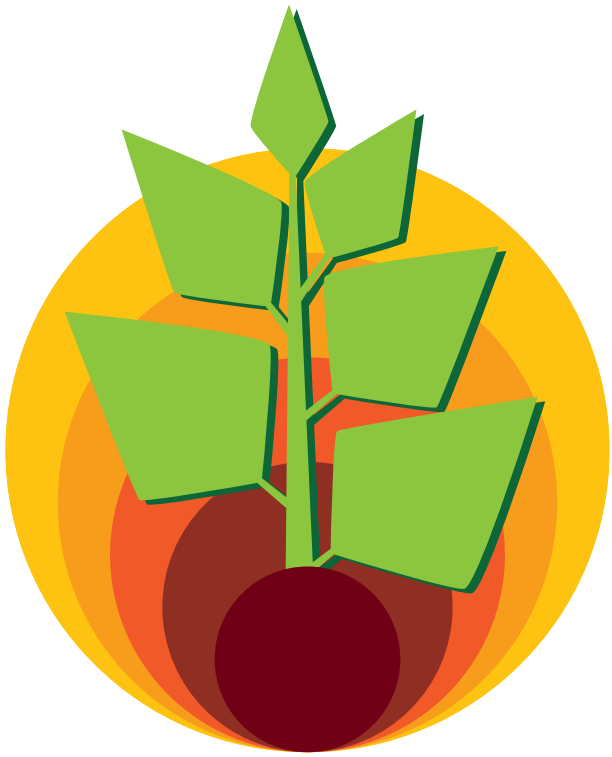


IX congresso ibérico de AGROENGENHARIA

IX congreso ibérico de AGROINGENIERÍA

livro de atas · libro de actas

organização · organización

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

Secção Especializada de Engenharia Rural - SCAP

AGRO Ingeniería

Sociedad Española de Agroingeniería

IX Congresso Ibérico de Agroengenharia

IX Congreso Ibérico de Agroingeniería

Livro de Atas

Libro de Actas

Título: IX Congresso Ibérico de Agroengenharia: Livro de Atas = IX Congreso Ibérico de Agroingeniería: Libro de Actas

Editores: José Carlos Barbosa Instituto Politécnico de Bragança, Portugal

António Castro Ribeiro Instituto Politécnico de Bragança, Portugal

Execução gráfica: Serviços de Imagem do Instituto Politécnico de Bragança

Edição: 1ª edição, 2018

Instituto Politécnico de Bragança
Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal

ISBN 978-972-745-247-7

DOI: https://doi.org/10.34620/9cia.2018

URI: http://hdl.handle.net/10198/17982

Por favor, use o seguinte formato para citação dos trabalhos apresentados nestas Atas:

Autor(s) (2018). Título. In: J. C. Barbosa, A. C. Ribeiro (Eds.) Atas do IX Congresso Ibérico de Agroengenharia. Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, pp. xxx-xxx.

Please, use the following format for citation:

Author(s) (2018). Title. In: J. C. Barbosa, A. C. Ribeiro (Eds.) Atas do IX Congresso Ibérico de Agroengenharia. Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, pp. xxx-xxx.

patrocinadores

Os trabalhos incluídos nestas Atas foram apresentados no IX Congresso Ibérico de Agroengenharia que se realizou de 4 a 6 de setembro de 2017, na Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança. Todos os trabalhos publicados foram sujeitos a revisão por pares, pela Comissão Científica deste Congresso.

Os textos publicados nestas Atas exprimem as ideias, pensamento e a obra dos autores, e são publicados na forma como foram apresentados. Alguns trabalhos apresentados durante o congresso podem não estar inseridos nesta publicação.

Na publicação destas Atas, os trabalhos estão agrupados por Área Temática.

Apresentação

Nestas Atas publicam-se os trabalhos apresentados no IX Congresso Ibérico de Agroengenharia que se realizou de 4 a 6 de setembro de 2017, na Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança.

Este congresso foi organizado conjuntamente pela Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, pela Secção Especializada de Engenharia Rural da Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal e pela Sociedad Española de Agroingeniería.

No IX Congresso Ibérico de Agroengenharia foram apresentadas cento e três comunicações orais e cinquenta e duas comunicações em forma de poster.

As comunicações estão distribuídas pelas dez áreas temáticas do congresso: Construções; Energia; Inovação Educativa em Agroengenharia; Mecanização; Tecnologia da Produção Animal e Aquicultura; Tecnologia Pós-colheita; Projetos, Meio Ambiente e Território; Solos e Águas; Tecnologias de Informação e Controlo de Processos; e Agricultura de Montanha.

Durante o IX Congresso Ibérico de Agroengenharia foram analisadas as mais avançadas inovações técnicas e metodológicas na área da Agroengenharia. Foram apresentadas comunicações orais e posters sobre o uso eficiente da água, energia e outros recursos, sustentabilidade, controlo de erosão, tratamento e valorização de resíduos, uso de TIC e tecnologias emergentes e qualidade da produção.

Nas várias sessões do congresso foram apresentados diversos trabalhos, de onde sobressaem temas relacionados com :

- a aplicação eficiente de fitossanitários e os avanços em operações mecanizadas;
- o uso eficiente da água e de novas técnicas de tratamento de águas residuais;
- a utilização de ferramentas de Zootecnia de precisão com aplicação na melhoria da eficiência de utilização dos recursos alimentares, do bem-estar animal e no controlo ambiental das instalações pecuárias;
- as novas tecnologias informáticas para modelação e simulação e o desenvolvimento de materiais sustentáveis incluindo a construção com madeira;
- o emprego de resíduos para a produção de energia, bem como a utilização sustentável da energia enquanto fator de produção;
- o uso de imagens de teledeteção e novas aplicações SIG;
- técnicas avançadas, como a interferometria, e a sua aplicação em soluções para temas sociais, culturais e económicos;
- o controlo e qualidade, e o uso de técnicas como a espectroscopia e a irradiação com vista à valorização dos produtos:
- o controlo da erosão e o uso de TIC (tecnologias de informação e comunicação) na gestão florestal.
- a possibilidade de colaboração entre disciplinas e o uso de plataformas avançadas na formação online, tendo em vista a inovação educativa em Agroengenharia.

De todas estas sessões sobressai a conclusão da importância da Agroengenharia na melhoria e modernização dos sectores produtivos, no desenvolvimento rural e na qualidade, segurança e sustentabilidade da produção de alimentos.

Presentación

En este libro de Actas se publican los trabajos presentados en el IX Congreso Ibérico de Agroingeniería que se ha realizado del 4 al 6 de Septiembre de 2017 en Braganza, Portugal, en las instalaciones de la Escola Superior Agrária del Instituto Politécnico de Braganza.

Este congreso se organizó conjuntamente por la Escola Superior Agrária de Bragança, la Secção Especializada de Engenharia Rural de la Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal, y por la Sociedad Española de Agroingeniería.

En el IX Congreso Ibérico de Agroingeniería se han presentado ciento tres comunicaciones orales y cincuenta y dos comunicaciones en formato poster.

Las comunicaciones presentadas abarcan las diez áreas temáticas del congreso: Construcción; Energía; Innovación Educativa en Agroingeniería; Mecanización; Tecnología de la Producción Animal y Acuicultura; Tecnología Poscosecha; Proyectos, Medio Ambiente y Territorio; Suelos y Aguas; Tecnologías de la Información y Control de Procesos; y Agricultura de Montaña.

Durante el IX Congreso Ibérico de Agroingeniería se analizaron las más avanzadas innovaciones técnicas y metodológicas del área de la Agroingeniería. Se presentaron comunicaciones orales y paneles sobre el uso eficiente del agua, energía y otros recursos, sustentabilidad, control de la erosión, tratamiento y valorización de residuos, uso de TIC y tecnologías emergentes y calidad de la producción.

En las varias sesiones del congreso se presentaran diversos trabajos, donde se destacan temas relacionados con:

- la aplicación eficiente de fitosanitarios y los avances en operaciones mecanizadas
- el uso eficiente del agua y de nuevas técnicas de tratamiento de aguas residuales
- la utilización de herramientas de Zootecnia de precisión con aplicación en la mejora de la eficiencia de utilización de los recursos alimenticios, del bienestar animal y en el control ambiental de las instalaciones pecuarias
- las nuevas tecnologías informáticas para modelación y simulación y el desarrollo de materiales sostenibles incluyendo la construcción en madera;
- el empleo de residuos para la producción de energía, así como otros temas de utilización sostenible de la energía como factor de producción;
- el uso de imágenes de teledetección y nuevas aplicaciones SIG;
- técnicas avanzadas como la interferometría, y su aplicación en soluciones para temas sociales, culturales y económicos;
- el control y calidad y el uso de técnicas como la espectroscopía y la radiación con vistas a valorar los productos
- el control de la erosión y el uso de TIC en la gestión forestal;
- la posibilidad de colaboración entre disciplinas y el uso de plataformas avanzadas en la formación on-line, teniendo en cuenta la innovación educativa en Agroingeniería

De todas estas sesiones se destaca la conclusión de la importancia de la Agroingeniería en la mejora y modernización de los sectores productivos, en el desarrollo rural y en la calidad, seguridad y sostenibilidad de la producción de alimentos.

Presentation

These Proceedings publishes the works presented at the IX Iberian Congress of Agricultural Engineering, held in Braganza, Portugal, from 4 to 6 of September 2017.

The Congress was organized by School of Agriculture – Polytechnic Institute of Bragança, in collaboration with the Portuguese Specialized Section of Rural Engineering/SCAP and the Spanish Society of Agricultural Engineering .

There were presented one hundred and three oral presentations and fifty two poster presentations, covering the main fields of interest of Agricultural Engineering.

Presentations were distributed in ten thematic areas: farm building structures and environment, energy and sustainability, innovation in agricultural engineering higher education, machinery and mechanization, animal production and aquaculture technologies, post-harvest and agri-food processing, engineering and rural landscape, soil and water, information technology and agricultural processes, mountain agriculture development.

During the various technical sessions, were analyzed the most advanced techniques and methodologies in agricultural engineering.

Comissão Organizadora / Comité Organizador

Presidente:
José Carlos Barbosa

Vice-presidente / Vicepresidente:
António Castro Ribeiro

Vogais / Vocales:
Arlindo Almeida
Maria José Miranda Arabolaza
Fátima Batista
José Luis García Fernández
João Verdial Andrade
Luis Leopoldo Silva
Carmen Rocamora Osorio
Álvaro César
Francisco Javier García Ramos

Organização / Organización

Escola Superior Agrária - Instituto Politécnico de Bragança

Secção Especializada de Engenharia Rural - Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal

Sociedad Española de Agroingeniería

Patrocinadores e Apoios / Patrocinadores e Apoyos

EurAgEng - European Society for Agricultural Engineers

CIMO - Centro de Investigação de Montanha

Termolan - Isolamentos Termo-Acústicos, S.A. / Rocterm

Vórtice - Equipamentos Científicos, Lda.

Fundação Caixa CA - Crédito Agrícola

Câmara Municipal de Bragança

Comissão Científica / Comité Científico

Presidente: Vasco Fitas da Cruz – Universidade de Évora/ICAAM
Adélia de Sousa – Universidade de Évora/ICAAM
Alfredo Augusto de Carvalho Aires - UTAD / CITAB
Álvaro Ramírez Gómez – Universidad Politécnica de Madrid
Ana Cristina Santos – Universidade de Évora/ICAAM
Ana Isabel García García – Universidad Politécnica de Madrid
Ana Martí de Olives – Universidad Miguel Hernández
Andrés Martínez Rodríguez – Universidad de Valladolid
António Bento Dias – Universidade de Évora/ICAAM
Antonio Brasa Ramos – Universidad de Castilla – La Mancha
Antonio Castro Ribeiro – Instituto Politécnico de Bragança
Antonio Ruiz Canales – Universidad Miguel Hernández de Elche
Antonio Torregrosa Mira – Universidad Politécnica de Valencia
Arlindo Ferreira de Almeida – Instituto Politécnico de Bragança
Bernardo Martín Gorriz – Universidad Politécnica de Cartagena
Carmen Rocamora - Universidad Miguel Hernández
Coral Ortíz Sánchez – Universidad Politécnica de Valencia
Divanildo Outor Monteiro – UTAD
Elsa Cristina Dantas Ramalhosa ESA / IPB
Emilio Camacho Poyato – Universidad de Córdoba
Emilio Gil Moya – Universidad Politécnica de Cataluña
Enrique Ortí García – Universidad Politécnica de Valencia
Enrique Relea Gangas – Universidad de Valladolid
Esperanza Ayuga Téllez – Universidad Politécnica de Madrid
Eugenio García Marí – Universidad Politécnica de Valencia
Fátima Baptista – Universidade de Évora/ICAAM
Fernando Augusto dos Santos – UTAD
Francisco Ayuga Téllez – Universidad Politécnica de Madrid
Francisco Javier García Ramos – Universidad de Zaragoza
Francisco Lúcio dos Santos – Universidade de Évora/ICAAM
Francisco Rodríguez Díaz – Universidad de Almería
Francisco Rovira Más- Universidad Politécnica de Valencia
Henrique Manuel da Fonseca Trindade – UTAD/CITAB
Ignacio Díaz-Maroto – Universidad de Santiago de Compostela.
Jaime Pires – CIMO- Centro de Investigação da Montanha, IPB
João Manuel Serrano – Universidade de Évora/ICAAM
José Alberto Pereira – Instituto Politécnico de Bragança
José Antonio Flores Yepes – Universidad Miguel Hernández de Elche
José Blasco Ivars – Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias
José Carlos Barbosa – Instituto Politécnico de Bragança
José Luís Garcia - Universidad Politécnica de Madrid

José Luis Torres Escribano – Universidad Pública de Navarra
José Manuel Gonçalves – Instituto Politécnico de Coimbra
José Maria Tarjuelo Martín-Benito – Universidad de Castilla-La Mancha
José Rafael Marques da Silva – Universidade de Évora/ICAAM
Luis Leopoldo Silva – Universidade de Évora/ICAAM
Luis Manuel Navas Gracia – Universidad de Valladolid
Luis Val Manterola – Universidad Politécnica de Valencia
Manuel Joaquim da Costa Minhoto – Instituto Politécnico de Bragança
Manuel Moya Ignacio – Universidad de Extremadura
Manuel Pérez Ruiz – Universidade de Sevilla
Margarida Maria Arrobas Rodrigues – ESA-IPB/CIMO
Margarita Ruiz Altisent – Universidad Politécnica de Madrid
María Ángeles Grande Ortíz – Universidad Politécnica de Madrid
Mariano Suarez de Cepeda Martínez – Universidad de Castilla-La Mancha
Martín Barrasa Rioja – Universidad de Santiago de Compostela
Miguel Ángel Moreno Hidalgo – Universidad de Castilla-La Mancha
Miguel Angel Muñoz García – Universidad Politécnica de Madrid
Montano Pérez Teruel – Universidad Politécnica de Valencia
Morris Villarroel Robinson – Universidad Politécnica de Madrid
Pablo Melgarejo Moreno – Universidad Miguel Hernández
Pablo Zarco Tejada – IAS, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Ricardo Suay Cortés – INRA, Sophia-Antipolis, Francia
Rosa Penélope Gutiérrez Colomer – Universidad Politécnica de Valencia
Rosario Castro Abengoza – Universidad de León
Salvador Calvet Sanz – Universidad Politécnica de Valencia
Victoriano Martínez Álvarez – Universidad Politécnica de Cartagena

Índice (publicações e autores)

Área Temática: Construções / Construcción **1**

Desarrollo de material sostenible con base de sulfato cálcico aditivado y arena de sílice 2
José Antonio Flores, Joaquín Julián Pastor, Antonio Martínez, F. Gimeno. Juan Manuel Berna, Luis Serna

Estudo Teórico e Experimental de Ligações Parafusadas em Chapas Onduladas de Silos Cilíndricos Metálicos 10
Tomaz Gurgel Dall Acqua, Carlito Calil Junior

Simulaciones de explosiones de almidón de maíz en silos agrícolas con sistemas de venteo 20
Pedro José Aguado, Alberto Tascón

Calibración de un modelo de simulación del comportamiento estructural de elementos lineales de hormigón pretensado 26
Santiago Laserna, Mª Teresa Calero, Elena Alcázar, Jesús Montero

Determinación de las propiedades mecánicas del castaño extremeño mediante medición de la velocidad de propagación de onda de ultrasonidos 36
José R. Villar, Jorge Crespo, Manuel Moya, Manuel Guaita

Importancia del marco legal en el desarrollo de la red de caminos rurales de Extremadura 45
Manuel Moya, Pablo Vidal, José Ramón Villar

Escalado a tamaño real de las mejoras en la resistencia de elementos constructivos de yeso y caña común (*Arundo donax L*.) 55
Antonio Martínez-Gabarrón, José A. Flores, Joaquín J. Pastor

Propiedades acústicas de paneles prefabricados de residuos de cañas 61
Cristina C. Ferrández García, Alfredo Castelló, Clara Eugenia Ferrández García, Manuel Ferrández-Villena, Mª Teresa Ferrández García, Teresa García Ortuño

Evaluación de paneles de tronco de palmera-cemento 70
Cristina C. Ferrandez-Garcia, Clara Eugenia Ferrandez-Garcia, Manuel Ferrandez-Villena, Mª Teresa Ferrandez-Garcia, Teresa Garcia-Ortuño

Software para cálculo de fluxo e pressões em silos cilíndricos metálicos para armazenamento de produtos agrícolas e industriais 80
Licia Coelho, Carlito Calil Júnior, Dorival Piedade Neto

Análisis comparativo de la acción del viento en invernaderos comerciales según el Código Técnico de la Edificación y la norma UNE-EN 13031-1 91
José Pérez-Alonso, Ángel J. Callejón-Ferre, Julián Sánchez-Hermosilla, Victor J. Rincón-Cervera

Análisis resistente en la establización de viales de jabre con cemento CEM II B-L 32.5N 101
C. Gilarranz, S. Laserna, J. Montero

Diseño y modelado gráfico 3D de un lisímetro de pesada de bajo coste 110
Juan Antonio Nicolás Cuevas, Dolores Parras Burgos, Leandro Ruiz Peñalver, José Miguel Molina Martínez

Compresión axial en la madera. Comparación normativa UNE-ASTM 119
Luis Acuña, Mª Milagrosa Casado, Enrique Relea, Andrés Martínez y Álvaro Pérez

Área Temática: Energia / Energía **129**

Sistema de aprovechamiento de hemoderivados mediante proceso a vacío de baja temperatura 130
José Manuel Magide, Hiram Varela

Rentabilidad de un sistema solar térmico con tubos de vacío para suministro de agua a 90 °C 138
Carlos Javier Porras-Prieto, Fernando R. Mazarrón, José Luis García

Evaluación de modelos para la estimación de la radiación fotosintéticamente activa a partir de medidas de irradiancia solar 147
Ignacio García, Alberto Royo, José Luis Torres, María Ángeles de Blas

Mejora en la huella carbono con aplicación de agricultura de conservación y ayuda al guiado en cultivos extensivos de secano y regadío 157
Francisco Márquez-García, Jesús Antonio Gil-Ribes, Emilio J. González-Sánchez, Gregorio Lorenzo Blanco-Roldán

Valorização energética de resíduos de kiwi por digestão anaeróbia 167
Bárbara Gonçalves, Larissa Paulista, Rui Boaventura, Ramiro Martins

Tratamento de efluente agroindustrial em reator UASB com valorização energética 176
Tatiane Mansano, Larissa Paulista, Rui Boaventura, Ramiro Martins

Efecto del riego deficitario con agua regenerada en el uso de energía y emisión de gases de efecto invernadero de un huerto de pomelo 185
José Francisco Maestre Valero, Bernardo Martin Gorriz, Emilio Nicolás Nicolás, Victoriano Martínez Alvarez

Utilización de residuos urbanos para la producción de cultivos agroenergéticos 194
Antonio Plaza, Pedro V. Mauri, Ines Bautista, M. Cruz Amorós y M. Carmen Lobo

Clasificación de parcelas de abastecimiento de biomasa y evaluación del coste de suministro para una planta de generación eléctrica renovable 204
Unai Gómez, Ignacio García, Eduardo Prieto, Almudena García, Andrés Seco

Área Temática: Inovação Educativa em Agroengenharia / Innovación Educativa en Agroingeniería 214

Desarrollo de un simulador de conducción de tractores con realidad virtual inmersiva para la formación en prevención de riesgos laborales 215
Dolores Ojados Gonzalez, Bernardo Martin-Gorriz, Isidro. Ibarra Berrocal, Alvaro Macian Morales, Gustavo Adolfo Salcedo, Beatriz Miguel Hernandez

Desarrollo de un proyecto de ingeniería agrícola como Trabajo Fin de Grado: implicaciones y valoración por los estudiantes 224
Alberto Tascón , Elena González

Aprendizaje-servicio en huertos urbanos como recurso didáctico 231
Carlos Javier Porras-Prieto, Fernando R. Mazarrón, Alberto Sanz-Cobena, José Luis García

Expectativas dos estudantes dos Cursos Técnicos Superiores Profissionais da Escola Superior Agrária de Bragança: Resultados preliminares 237
Maria Isabel Ribeiro; António Fernandes; Luís Santos

El valor pedagógico del trabajo colaborativo entre asignaturas 247
Rubén Rodrigo, Isabel González-Barragán

¿Cómo me ves? Experiencia de vídeos instructivos generados y evaluados por los alumnos 251
Belén Diezma, Adolfo Moya-González , Jaime Moya, José Antonio González

FRUTURA: Tecnologías para la calidad de frutas. Modalidad para la docencia no presencial en una plataforma global 258
M. Ruiz-Altisent, A. Moya-González, B. Diezma, E.Correa, P. Barreiro, N. Hernández, L. Lleó, G. Moreda, C. Valero-Ubierna

Uso del video divulgativo como herramienta de aprendizaje en estudios de Ingeniería Agraria 264
José-María Fuentes , Ana-Isabel García , Eutiquio Gallego, Francisco Ayuga

A importância da relação Brasil-União Europeia para seu mútuo desenvolvimento: implicações para a agroengenharia 273
Theo V. S. Ferreira, Deborah S. Souza, Cecília de F. Souza

PROYECTO TOPPS: Cinco años de formación en Buenas Prácticas Agrarias para la prevención de la contaminación de las aguas por escorrentía 283
J. Román-Vázquez, E. J. González-Sánchez, A. Miranda-Fuentes, J.A. Gil-Ribes

Utilización de grabaciones de sesiones docentes para el apoyo en el repaso de conceptos previos 291
Rosario Castro Abengoza

Innovación Docente en la Planta Piloto de Extracción de Aceites Vegetales de la ETSIAM de Albacete, España 300
Manuel Alvarez-Ortí, Adrián Rabadán, Eulogio López, Andrés Alvarruiz, Ricardo Gómez, Miguel Olmeda, Sergio Díaz, Carmen Gómez-Cantó, José Emilio Pardo

Fomento del trabajo fuera del aula con prácticas similares a problemas de examen evaluadas por pares 306
Francisco J. Castillo-Ruiz, Sergio Castro-Garcia, Juan Agüera-Vega

Uso del método del caso como herramienta para impulsar la innovación en las ingenierías 312
María-Ángeles Fernández-Zamudio , Antonio Ruiz Canales , Amparo Melián Navarro

Área Temática: Mecanização / Mecanización **320**

Influencia de la poda mecánica en la producción y calibre de los frutos de limoneros 'Fino 95' 321
Bernardo Martin-Gorriz, Carlos Martínez Barba, Antonio Torregrosa

Alternativas de implementación de pulverizadores hidroneumáticos en modelos numéricos de dinámica de fluidos computacional 330
Jorge Badules, F. Javier García-Ramos, Mariano Vidal, H. Malón

Aclareo mecánico de mandarinas 'Clemenrubí' con un vibrador de ramas 340
Antonio Torregrosa, Enrique Ortí, Sebastià Balasch, Coral Ortiz

Análisis de diferentes estrategias de poda mecanizada sobre la producción de naranja variedad Navel y sus costes 350
Guillermo Mateu, Antonio Torregrosa, Florentino Juste, Bernardo Martin-Gorriz, Patricia Chueca

Modelo de predicción de tracción de las labores de alzado con diferentes aperos 358
Mariano Suárez de Cepeda, Raimundo Romero

Perdas de mosto na colheita mecânica de uvas: Comparativo Brasil e Espanha 365
Wilson Valente da Costa Neto, Pilar Barreiro Elorza

La Compra Pública Precomercial como herramienta de innovación: el caso Mecaolivar 371
Jesús A. Gil-Ribes, Gregorio L. Blanco-Roldán, Sergio Castro-García, Emilio Gonzalez-Sanchéz, Rafael R. Sola-Guirado, Antonio Miranda-Fuentes, Francisco Márquez-García,Francisco J. Castillo-Ruiz, David-Ceular, Andrés Cuenca-Cuenca, José Colmenero-Martinez, Jesús I. Gil Cabanás, Sergio Bayano-Tejero, Alberto Godoy-Nieto

Sistema automatizado de asistencia al operario en la recolección del olivar intensivo con vibradores de troncos 380
Jose T. Colmenero-Martinez, Sergio Bayano-Tejero, Gregorio L. Blanco-Roldán, Francisco J. Castillo-Ruiz, Rafael R. Sola-Guirado, S. Castro-Garcia, David Ceular-Ortiz, Jesús A. Gil-Ribes

Alternativas al uso del atomizador convencional en olivar, PARTE 1: desarrollo de nuevos equipos especialmente concebidos para la reducción de las pérdidas de productos fitosanitarios 389
Gil-Ribes, J. A., Miranda-Fuentes, A., Cuenca, A., Godoy-Nieto, A., Llorens, J., González-Sánchez, E. J., Blanco-Roldán, G. L.

Alternativas al uso del atomizador convencional en olivar, PARTE 2: ensayo de nuevos equipos especialmente concebidos para la reducción de las pérdidas de productos fitosanitarios 399
Miranda-Fuentes, A., Cuenca, A., Godoy-Nieto, A., Llorens, J., González-Sánchez, E. J., Blanco-Roldán, G. L., Gil-Ribes, J. A.

Análisis del desprendimiento de la naranja por sistemas sacudidores de copa para su recolección mecanizada 407
Sergio Castro-García, Gregorio Lorenzo Blanco-Roldán, Rafael Rubén Sola-Guirado, Jesús Antonio Gil-Ribes

Desarrollo y ensayo de prototipos de cosechadora basadas en sacudidores de copa para cítricos de industria 418
Rafael R. Sola-Guirado, Sergio Castro-García, Gregorio L. Blanco-Roldán, Jesús A. Gil-Ribes

Desarrollo y análisis de costes del uso de un sistema aéreo no tripulado para aplicaciones de ultra-bajo volumen 427
Jorge Martínez, Pablo Agüera-Requena, Juan Agüera-Vega, Manuel Pérez-Ruiz

Avaliação de equipamentos portáteis para a colheita de azeitona 437
António F. Bento Dias, Anacleto Pinheiro, José O. Peça, Mário Figueira, Luis Boteta

Análisis del aclareo mecánico de mandarinas a través de los videos de desprendimiento en laboratorio 447
Coral Ortiz, Enrique Ortí, Sebastià Balasch¸ Bernardo Martin-Gorriz, Antonio Torregrosa

La inspección obligatoria de equipos en uso de aplicación de fitosanitarios. Disposiciones legislativas y normas relacionadas. Un caos interpretativo 455
Juan A. Boto, Víctor Marcelo, Francisco Javier López, Pablo Pastrana, José B. Valenciano

Estudio de la turbulencia del aire y su efecto en la distribución de producto en carretillas adaptadas para tratamientos en invernaderos 465
Ramón Salcedo, Jordi Llop, Montse Gallart, Javier Campos, Paula Ortega, Emilio Gil

Estudio preliminar del efecto de la asistencia de aire en la pulverización de fitosanitarios en invernadero 471
Víctor J. Rincón, Julián Sánchez-Hermosilla, Francisco C. Páez, David Nuyttens, José Perez-Alonso

Viabilidad técnica de un sistema sonar para estimación del tamaño de frutos 478
E. de Miguel, G.P. Moreda, M.A. Muñoz-García, J. Muñoz, P. Mishra, B. Diezma, M. Garrido-Izard

Desempenho de um semeador adaptado para sementes pequenas 486
Arlindo Almeida, Manuel Rodrigues, José Rocha

Área Temática: Tecnologia da Produção Animal e Aquicultura / Tecnología de la Producción Animal y Acuicultura 491

Efecto del tipo de suelo del alojamiento sobre el cortisol en saliva de cerdos de cebo 492
Aranzazu Mateos, Alba Peláez, Eduardo de Mercado, Emilio Gómez, Ismael Ovejero

Influencia del sexo sobre el crecimiento de lechones destetados en condiciones reales de explotación 500
Carmen Muiños, Roberto Besteiro, Tamara Arango, Mª Dolores Fernández, M. Ramiro Rodríguez

Estimación de la temperatura en la zona animal en alojamientos porcinos de transición en base a mediciones indirectas 509
Tamara Arango; Roberto Besteiro; Carmen Muiños; Mª Dolores Fernández, M. Ramiro Rodríguez

Avances en Ganadería de Precisión y su proyección hacia el nuevo paradigma de "Smart Farming" 519
Jesús Pomar, Vicente López

Monitorización singularizada de porcino durante transporte multimodal 528
Miguel Garrido-Izard, Jose M. Requejo, Belén Diezma, Eva C. Correa, Pilar Barreiro

Modelo para estimativa do volume e composição do chorume produzido em explorações de suínos pós-desmame com ventilação natural no Brasil 538
Jorge M.R. Tavares, Paulo Belli Filho, Arlei Coldebella, Paul Robin, Paulo Armando V. de Oliveira

Lesões do coxim plantar em frangos de corte na fase final de criação: influência do ambiente térmico e da cama 549
Patrícia de Paula Queiroz, Cecília de Fátima Souza, Márcia Gabrielle Lima Cândido, Ilda De Fátima Ferreira Tinôco, Juan Carlos Pajera Arcila, Fátima J.F. Baptista

Avaliação térmica de instalações para crescimento e terminação de suínos com diferentes concepções arquitetônicas 559
Daiane Cecchin, Vasco Fitas da Cruz, Francine Aparecida Sousa, Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz, Cristina Moll Huther, Letícia Cibele da Silva Ramos Freitas, Jaqueline Oliveira Castro, Alessandro Torres Campos, Rafaella Resende Andrade

Monitorização do ambiente térmico tendo em vista o bem-estar animal de suínos em fase de crescimento e engorda 567
José Rico, Fátima Baptista, Vasco F. Cruz

Indicadores de Bem-Estar Animal em Suínos na fase de crescimento e engorda 576
Catarina Martins, Rui Charneca, Vasco Fitas da Cruz

Efecto del orden de toma de muestras sobre el nivel de cortisol en saliva de cerdos alojados en grupo 584
Alba Peláez, Aranzazu Mateos, Emilio Gómez, Eduardo de Mercado, Ismael Ovejero

Influência de diferentes ambientes térmicos sobre a temperatura superficial de galinhas poedeiras durante a fase inicial de criação 590
Rafaella Resende Andrade, Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, Luiz Fernando Teixeira Albino, Vasco Manuel Fitas da cruz, Fátima de Jesus Folgôa Baptista, Cecília de Fátima Souza, Tatiany Carvalho dos Santos, Márcia Gabrielle Lima Cândido, Letícia Cibele da Silva Ramos Freitas, Carlos Gutemberg de Souza Teles Júnior

Levantamento da geração e emissão de amonia pelos dejetos da avicultura de postura em sistemas verticais de criação 596
Luís França, Richard Gates, Ilda Tinoco, Cecília Souza

Proposta de uma Interface Gráfica do Usuário (GUI) para o dimensionamento de um sistema de resfriamento evaporativo em galpões avícolas 604
Carlos Gutemberg de S. Teles Júnior, Richard S. Gates, Cecília F. Souza, Ilda F. F. Tinôco, Fátima J. F. Baptista[5], Monique de O. Vilela

Efeito do calor associado a umidade relativa e velocidade do ar na ingestão de água de codornas japonesas 614
Monique O. Vilela, Richard S. Gates, Cecília F. Souza, Ilda F. F. Tinôco, Fátima J. F. Baptista, Carlos G. S. Teles Junior, Keller S. O. Rocha, Damiana D. Rosa

Emisiones de amoníaco en ovino: cuantificación y comparación a partir de orina y sulfato amónico en un gradiente de temperatura 620
Ángel Javier Aguirre, Víctor Herrera, Antonio Boné, Esperanza Horcas, Francisco Javier García-Ramos

Potencial fertilizante da cama de frangos submetidos a diferentes dietas e distintos ambientes térmicos 629
Fabiano José de Brito Gomes; Cecília de Fátima Souza Ferreira; Kelle Pardim de Oliveira, Ilda de Fátima Ferreira Tinôco

Avaliação comportamental de suínos em terminação alojados em instalações com diferentes tipos de piso 639
Francine Aparecida Sousa, Vasco Fitas da Cruz, Daiane Cecchin, Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz, Pedro Ivo Sodré Amaral, Alessandro Torres Campos, Jaqueline Oliveira Castro, Giane Lima Nepomuceno

Área Temática: Tecnologia Pós-colheita / Tecnología Poscosecha 646

Caracterização biométrica e mecânica de cultivares portuguesas de amendoeira 647
Ivo Oliveira, Anne Meyer, Sílvia Afonso, Carlos Ribeiro, Berta Gonçalves

Valorização de produtos na produção de extrudidos 657
Altino Choupina, Maria de Fátima Lopes-da-Silva, Luís Santos, Luísa Beirão-da-Costa

Experiencias con distintas espectroscopias en la evaluación de la calidad de aceitunas y de aceite de oliva 668
Lourdes Lleó, Natalia Hernández-Sánchez, María Gómez-del-Campo, Margarita Ruiz-Altisent

A irradiação como tecnologia pós-colheita viável para conservação de cogumelos, vegetais e plantas aromáticas 674
José Pinela, Filipa Reis, Eliana Pereira, Ângela Fernandes, M. Beatriz P.P. Oliveira, Amilcar L. Antonio, Sandra Cabo Verde, Isabel C.F.R. Ferreira

Influencia de la temperatura en la extracción de aceites de frutos secos mediante prensa de tornillo 685
José Emilio Pardo, Adrián Rabadán, Eulogio López, Andrés Alvarruiz, Ricardo Gómez, Miguel Olmeda, Sergio Díaz, Carmen Gómez-Cantó, Manuel Alvarez-Ortí

Usefulness of physical parameters for pistachio cultivar and cultivar origin differentiation 690
Adrián Rabadán, Manuel Alvarez-Ortí, Eulogio López, Andrés Alvarruiz, Ricardo Gómez, Miguel Olmeda, Carmen Gómez-Cantó, Sergio Díaz, José Emilio Pardo

Economic analysis of nut oil extraction using two different pressing systems 696
Miguel Olmeda, Manuel Alvarez-Ortí, Adrián Rabadán, Ricardo Gómez, Eulogio López, Andrés Alvarruiz, Carmen Gómez-Cantó, Sergio Díaz, José Emilio Pardo

Influencia de las condiciones de procesado en la calidad del aceite de frutos secos 701
Ricardo Gómez, Manuel Alvarez-Ortí, Adrián Rabadán, Eulogio López, Andrés Alvarruiz, Miguel Olmeda, Sergio Díaz, Carmen Gómez-Cantó, José Emilio Pardo

Evaluación espectroscópica de un nuevo producto a base de pulpa de café 707
Belén Diezma, Eva C.Correa, Virginia Díaz-Barcos, César A. Echeverry, Beatriz Meneses, Ricardo Oteros

Avaliação das potencialidades da aplicação de Atmosfera Modificada em combinação com eugenol na conservação de uva de mesa 'Crimson Seedless' 716
Sara Ricardo-Rodrigues, Sílvia Tim-Tim, Joana Véstia, Juliana Agostinho, Ana Derreado, Ana Elisa Rato, Ana Cristina Agulheiro-Santos

Área Temática: Projetos, Meio Ambiente e Território / Proyectos, Medio Ambiente y Territorio 725

Características del arbolado urbano: opinión y valoración de los ciudadanos 726
Claudia García-Ventura, Esperanza Ayuga-Téllez, Álvaro Sánchez de Medina-Garrido, Mª Ángeles Grande-Ortíz

Modelo Territorial para Evaluar la Compatibilidad de la Modernización de Explotaciones Vitícolas en Zonas de Especial Protección para las Aves 736
Francisco Montero-García, Antonio Brasa-Ramos, Gerrit-Jan Carsjens, Francisco Montero-Riquelme

Variabilidade agrometeorológica na agricultura de regadio do Alentejo 748
Marta Santos, Vera Guerreiro, Luis Boteta, Gonçalo Rodrigues

Balanço de energia e gases de efeito estufa no cultivo da macaúba 758
Adriana Corrêa Guimarães, Anderson Barbosa Evaristo, Ignacio A. Fernández-Coppel Leonardo Duarte Pimentel, Luis Manuel Navas, Pablo Martin Ramos, Jesus Martín-Gil

Planificación de la mecanización agraria de las comarcas de Albacete 771
Rodolfo Bernabeu, Mariano Suárez de Cepeda, Fatima Oliveira, Raimundo Romero

PROYECTO TOPPS: Herramienta para la evaluación del riesgo de contaminación por escorrentía 780
J. Román-Vázquez, E. J. González-Sánchez, Gregorio L. Blanco-Roldán, J.A. Gil-Ribes

Avaliação da Produção de Metano pela Co-digestão Anaeróbia de Resíduos 789
Carina Malinowsky, Thaianna Cardoso, Isabela Bonatto, Lorena R. Vieira, Marco Antonio Casarin, Luíza D. Poletto, Jonathan Silva, Armando Borges de Castilhos Júnior

Proyecto INSPIA: Índice Europeo para una agricultura productiva y sostenible 795
Paula Triviño-Tarradas, Emilio J. González-Sánchez, Manuel Gómez-Ariza, Antonio Holgado-Cabrera, Francisco Sánchez-Ruiz, Oscar Veroz-González, Raúl Gómez-Ariza

Projeto HYDROREUSE - Tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais utilizando um sistema hidropónico inovador com plantas de tomate 803
Ana R. Prazeres, Flávia Fernandes, Silvana Luz, Alexandra Afonso, Mariana Regato, Adelaide Almeida, Teresa Carvalhos, Maria Pereira, Arlindo Gomes, Rogério Simões, Patrícia Palma, Fernando Beltrán, António Albuquerque, Javier Rivas, Eliana Jerónimo, Fátima Carvalho

Sistema de Información Geográfica LIFE+ Climagri 809
Antonio Holgado-Cabrera, Paula Triviño-Tarradas, Manuel Gómez-Ariza, Óscar Veroz-González, Francisco Márquez-García, Emilio Jesús González-Sánchez

Interferometría como herramienta para el estudio localizado de la erosión por escorrentía 819
Francisco A. Sánchez-Crespo, Francisco Ayuga, Ana I. García

Levantamento dos Aspectos Sociais, Culturais e Econômicos do Perfil da População para o Aproveitamento de Resíduo Sólido Urbano Orgânico no Município de Inhumas-GO 830
João Baptista Chieppe Júnior, Tharles de Sousa Andrade, Wilhiam Júnior Lemos Gomes

Análisis del sistema de codificación de agentes materiales intervinientes en accidentes de trabajo en el sector agrario: Maquinaria agrícola 838
Xosé Manuel López, Xoan Carlos Carreira, Martín Barrasa

Catalogación de los silos pertenecientes a la red española de silos y graneros en Castilla y León 847
Manuel V. Fernández-Fernández, Víctor Marcelo, José B. Valenciano, Juan A. Boto

Métodos de tratamento e destinação de cama aviária e resíduos da produção de frangos de corte no Brasil 854
Fernanda Sousa, Ilda Tinôco, Cecília Souza, Fátima Baptista, Vasco Cruz, Jadir Silva, Matteo Barbari, Diogo Coelho, Kelle Oliveira, Rafaella Andrade

Equivalente populacional suinícola e superfície agrícola utilizada (temporária e permanente): Parâmetros qualitativos das águas superficiais da bacia do Piranga-MG 862
Jadson L.S. Rocha, Cecília de F. Souza, Maurício S. Moreau, Fernando da C. Baêta, Ricardo S. Ramos.

Random Forest e SIG, integrados para classificar variáveis de qualidade de água, provenientes dos resíduos suinícolas na bacia do Piranga-MG 872
Jadson L.S. Rocha, Cecília de F. Souza, Alisson C. Borges, João M. Louzada, Gustavo E. Marcatti

Identificação das áreas potenciais de expansão do café na região das Matas de Minas, estado de Minas Gerais, Brasil 882
Karine Rabelo de Oliveira, Williams Pinto Marques Ferreira, Thalyta Varejão Miranda, Cecília De Fátima Souza

Área Temática: Solos e Águas / Suelos y Aguas **888**

Rega deficitária na cultura do pessegueiro 889
Abel Veloso, António Canatário Duarte, António Ramos

Valoración sobre la actuación de los agricultores respecto a la contaminación del agua durante la aplicación de fitosanitarios (proyecto europeo TOPPS) 900
Emilio Gil, Ramón Salcedo, Montse Gallart, Javier Campos, Jordi Llop, Manfred Roettele

Evaluación del ciclo de vida de un filtro de arena con un diseño de drenaje optimizado 905
Josep Bové, Joan Pujol, Jaume Puig-Bargués, Gerard Arbat, Miquel Duran-Ros, Francisco Ramírez de Cartagena, F

Diseño de un nuevo drenaje para producir menor pérdida de carga en filtros de arena para instalaciones de riego localizado 915
Josep Bové, Gerard Arbat, Jaume Puig-Bargués, Miquel Duran-Ros, Toni Pujol, Joan Pujol, Francisco Ramírez de Cartagena

Los mercados de agua y la desalinización de agua marina en la gestión de los recursos hídricos para riego del sureste español 925
Martínez-Alvarez, V., Gonzalez-Ortega, M.J., Maestre-Valero, J.F., Calatrava, J., Martin-Gorriz, B., Martinez-Granados, D.

Sincronización del calendario de riego y la producción de energía solar fotovoltaica para la gestión de redes de riego inteligentes 934
Aida Mérida García, Irene Fernández García, Emilio Camacho Poyato, Pilar Montesinos Barrios, Juan Antonio Rodríguez Díaz

A importância das auditorias técnicas aos sistemas de rega no uso eficiente da água e energia. O estado atual 941
Luis Boteta, Marta Fabião, Marta Santos, Paula Brás, Marta Varela, Hugo Santinhos, João Guerreiro, José Penacho, Vera Guerreiro, Gonçalo C. Rodrigues

Gestão de águas residuais de matadouros - Processos de tratamento convencionais e inovadores 949
Flávia Fernandes, Silvana Luz, Alexandra Afonso, Adelaide Almeida, Fátima Carvalho, Eliana Jerónimo, Ana R. Prazeres

Redução do nível de contaminação de águas residuais de queijarias por precipitação básica 958
Silvana Luz, Flávia Fernandes, Alexandra Afonso, Eliana Jerónimo, Fátima Carvalho, Ana R. Prazeres

Tratamento por precipitação química ácida de águas residuais provenientes de lagares 968
Alexandra Afonso, Flávia Fernandes, Silvana Luz, Eliana Jerónimo, Fátima Carvalho, Ana R. Prazeres

Da captação à disposição final: gestão da água em uma fazenda de bovinos de leite no sul do Brasil 977
Nicole Friedrich Neumann, Lucas Arns Neumann, Paulo Belli Filho, Jorge M. R. Tavares

¿Cómo seleccionar alternativas con mayor respaldo social para la modernización de regadíos? 984
Herminia Puerto, Carmen Rocamora, Ricardo Abadía

Efeito sobre propriedades hidráulicas do solo de mobilizações com tração animal: resultados de ensaio no NE Portugal 993
Tomás de Figueiredo, Aitor García-Tomillo, Arlindo Almeida, João Rodrigues, António Paz-Gonzalez, Jorge Dafonte, João Nunes, Zulimar Hernández, Douglas Bandeira

Repercusión económica de la uniformidad de riego en cultivos de gran demanda de agua en zonas semiáridas 1001
Ana Kelliane Silva, Francisco A Lima, Alfonso Domínguez, José Mª Tarjuelo, Angel Martínez-Romero

Estudio de propiedades hidrofísicas de calcisoles vitícolas 1009
Caridad Pérez-de-los Reyes, Carlos Bonilla, Sandra Bravo, Francisco Jesús García Navarro, Jose Ángel Amorós

Automatización en la caracterización del cultivo de céspedes en praderas urbanas 1017
José Marín, Javier Rocher, Lorena Parra, Antonio Plaza, Pedro V.Mauri, Juan Ruiz-Fernández, Sandra Sendra, Jaime Lloret

Análisis sensorial de tres ecotipos de garbanzo leoneses cultivados en diferentes suelos de la provincia 1027
José B. Valenciano, Juan A. Boto, Víctor Marcelo, Miguel A. Sanz

Aproximación preliminar de un modelo de predicción para la estimación de la evapotranspiración de referencia usando sensores de humedad 1032
Daniel Marín-Sánchez, Antonio Fernández-López, Ginés García-Mateos, José Miguel Molina-Martínez, Manuel Ferrández-Villena García, Antonio Ruiz-Canales

Efeito do regime hídrico e da fertilização azotada no rendimento e qualidade da cultura do tomate 1040
Miclay Carvalho, M. Ângelo Rodrigues, António Castro Ribeiro

Desarrollo de un método multiresiduo mediante SPE-GC-MS para la determinación de pesticidas y algunos de sus productos de degradación en aguas superficiales y subterráneas 1052
María José Climent Morales, Eliseo Herrero Hernández, María Jesús Sánchez Martín, María Sonia Rodríguez Cruz, Roberto Enrique Urrutia Perez

Área Temática: Tecnologias de Informação e Controlo de Processos / Tecnologías de la Información y Control de Procesos 1061

Efeito das árvores sobre a produtividade da pastagem: monitorização da temperatura e da humidade ao longo do ciclo vegetativo 1062
João Serrano, José Marques da Silva, Shakib Shahidian, Mário de Carvalho

Avaliação de tecnologias na monitorização do efeito das árvores sobre a produtividade e sobre a qualidade da pastagem 1071
João Serrano, Shakib Shahidian, José Marques da Silva, Eliana Machado, Mário de Carvalho

Evaluación del comportamiento dinámico de sensores de temperatura: aplicación a la cadena de frío 1081
Miguel.G. Manchego, Miguel Garrido-Izard, Eva C. Correa, Belén Diezma, Pilar Barreiro

Medida de aceites comestibles usando espectroscopía de infrarrojo medio de bajo coste 1091
María Maldonado Gil, Pilar Barreiro Elorza, Germán Vergara Ogando

Desarrollo de un sistema de trazabilidad y toma de datos para la recolección mecanizada en olivar de mesa 1100
Sergio Bayano-Tejero, Gregorio L. Blanco-Roldán, Francisco J. Castillo-Ruiz, José T. Colmenero-Martinez, Sergio Castro-García, David Ceular-Ortiz, Rafael R. Sola-Guirado, Jesús A. Gil-Ribes

Estimación de producción de fruta en cítricos a través de tecnologías basadas en drones y visión artificial 1110
Manuel Pérez-Ruiz, Pablo Agüera-Requena, Jorge Martínez, Miguel A. Polo, O. Enrique Apolo Apolo

Modelo simplificado para estimação do consumo de água e produção de chorume em explorações comerciais de suínos 1117
Jorge M.R. Tavares, Diogo Silva, Paulo Belli Filho, Arlei Coldebella, Paulo Armando V. de Oliveira

Sostenibilidad "De la granja a la mesa": desarrollo de un sistema IOT para el intercambio de datos en agricultura intensiva 1126
Manuel Berenguel Soria, Cynthia Lynn Giagnocavo, Francisco Rodríguez, Jorge Antonio Sánchez-Molina, Jan Van der Blom

Modelado del contenido de agua en el aire interior de un invernadero con sistemas de actuación de humidificación y deshumidficación 1133
Jorge A. Sánchez-Molina, Francisco Rodríguez, José Luis Guzmán, José María Cámara Zapata, Gladys Sánchez-Garrido

Análisis del funcionamiento de la cadena de alimentación de las máquinas deshuesadoras de aceitunas mediante diagnosis por visión artificial y redes neuronales 1143
Antonio Madueño Luna, Manuel de Jódar Lázaro, Alberto Lucas Pascual, Antonio Ruiz Canales, José Miguel Molina Martínez, M. López, J.M. Madueño, M. Justicia, J.A. Granados

Mejoras en el control de máquinas deshuesadoras rodajadoras y de relleno de aceituna de mesa 1151
A. Madueño Luna, A. Lucas Pascual, Manuel de Jódar Lázaro, A. Ruiz Canales, J. M. Molina Martinez, J.M. Madueño, M. López, J.A. Granados, M. Justicia

Reconhecimento de Padrões do Bulbilho de Alho Utilizando o Sensor TCS-230 para Posicionamento de Plantio 1160
Ana Sabrina Nino Ruge, Joel da Silva Ribeiro, Luis Eduardo Palomino Bolívar

Automatic chickpea classification using computer vision techniques 1167
Sajad Sabzi, Víctor Manuel García-Amicis, Yousef Abbaspour-Gilandeh, Ginés García-Mateos, José Miguel Molina-Martínez

Correlación del vigor de la planta de colza y el estado nutritivo del suelo con imágenes obtenidas a través de teledetección 1177
Isabel González-Barragán, Diego Merino, Rubén Rodrigo

Nueva metodología para determinar el coeficiente de difusión y el coeficiente convectivo en el secado de alimentos 1185
F. Javier Arranz, Tatiana Jiménez-Ariza, Belén Diezma, Eva C. Correa

Evaluación del confort térmico en una instalación para procesamiento húmedo de café por medio de simulación computacional 1194
Lina Marcela Guerra García, Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, Cecília de Fátima Souza, Williams Pinto Marques Ferreira, Jairo Alexander Osorio Saraz, Robinson Osorio Hernandez

Estudio comparativo de cámaras de bajo coste para su implementación en un nodo de visión para la monitorización de cultivos hortícolas 1203
José Manuel González Esquiva, Antonio Ruíz-Canalez, José Miguel Molina-Martínez, Ginés García-Mateos

Mapeamento de precipitação e temperatura do ar na região das Matas de Minas – MG 1208
Thalyta Varejão Miranda, Williams Pinto Marques Ferreira, Guilherme de Castro Oliveira, Cecília de Fátima Souza, Marcos Antônio Vanderlei Silva

Aplicación SIG para calcular el factor por accesibilidad a núcleos de población en la valoración de expropiaciones del suelo rural 1217
Jacinto Santamaría-Peña, Mª Elena Palacios-Ruiz, Félix Sanz-Adán

Aplicación de la fotogrametría métrica para el cálculo del porcentaje de cubierta vegetal del cultivo de lechuga 1225
José Cordero Gracia, Cesáreo Bas Vivancos, Francisco Javier Mesas Carrascosa, Antonio Ruiz Canales

Área Temática: Agricultura de Montanha / Agricultura de Montaña 1234

Aparición de la agricultura en las montañas orientales gallegas versus declive del área cubierta por bosques de frondosas caducifolias autóctonas 1235
Ignacio J. Díaz-Maroto, María Consuelo Díaz-Maroto

Planificación y gestión de los bosques de frondosas caducifolias en la montaña oriental gallega (Ancares-O Courel) 1241
Ignacio J. Díaz-Maroto, María Consuelo Díaz-Maroto

Obtenção de conservantes e bioativos a partir de matrizes naturais e sua aplicação em produtos alimentares 1247
Caleja, Cristina; Dias, Maria Inês; Pires, Tânia C.S.P.; Roriz, Custódio; Barros, Lillian; Oliveira, M. Beatriz P.P.; Barreiro, Maria Filomena; Ferreira, Isabel C.F.R

Análise da utilização das ferramentas FlorNExT® e FlorNExT Pro® e do seu possível impacto na gestão florestal do Nordeste Trasmontano 1257
Marcelo Fagundes, Luis Nunes, João C. Azevedo, Fernando Perez-Rodríguez

Short-term response of the canopy arthropod community to fire in a Portuguese olive grove 1266
David Barreales, Sónia A.P. Santos, Márcio Capelo, José A. Pereira, Jacinto Benhadi-Marín

Eficácia no controlo da erosão de medidas de gestão do solo baseadas em coberturas herbáceas: simulações para a viticultura do Douro, Portugal 1271
Tomás de Figueiredo, Zulimar Hernández, Felícia Fonseca, Jean Poesen

Produtividade e azoto recuperado de diversas proteaginosas cultivadas em sequeiro e regadio no Nordeste de Portugal 1279
Rosalino Viegas, Margarida Arrobas, M Ângelo Rodrigues

Resposta do trigo a sementes tratadas com zinco e aplicação de zinco ao solo 1290
Margarida Arrobas, Sandra Afonso, José Norberto P. Coutinho, Fernando Lidon, Ana Sofia Almeida, Fernando Reboredo, Maria Fernanda Pessoa, Paula Scotti, José Semedo, Isabel Pais, M. Ângelo Rodrigues

Área Temática:

Construções

Construcción

Desarrollo de material sostenible con base de sulfato cálcico aditivado y arena de sílice

José Antonio Flores[1], Joaquín Julián Pastor[1], Antonio Martínez[1], F. Gimeno[1]. Juan Manuel Berna[2], Luis Serna[3]

[1]Universidad Miguel Hernández, Elche, Alicante, Spain. Campus de Los Desamparados. Carretera de Beniel, Km. 3,2. ja.flores@umh.es; jjpastor@umh.es; antonio.martinez@umh.es

[2]Ingeniero Agrónomo

[3]Ingeniero T. Industrial

Resumen

Podemos enmarcar este artículo dentro del esquema organizativo del programa Hábitat de las Naciones Unidas. Su objetivo, es el de mejorar la calidad de vida en los asentamientos humanos en los países subdesarrollados o en vías de desarrollo.

Existe un problema con el acceso a la vivienda de ámbito casi universal, y se acentúa aun más en continentes como el asiático, africano y sudamericano, extendiéndose a los paises más desarrollados. Las zonas suburbiales deprimidas de las grandes ciudades, donde la gente sin recursos emplea para levantar sus viviendas materiales de mala calidad.

La utilización de los recursos naturales locales y sostenibles con el medio ambiente, hace necesario la investigación y el desarrollo de materiales que puedan dan servicio a una población creciente y a un precio adecuado (Sepúlveda *et al*, 2001; Montoya Bardalez, 2015).

La arena de sílice, material barato y de fácil obtención, combinada con yeso (material conseguido mediante proceso de bajo consumo energético) más aditivos especiales, consiguen conglomerados capaces de adaptarse a cualquier forma mediante sistemas de moldeo.

El ladrillo, de formas prismáticas y diferentes dimensiones, es la configuración idónea para la construcción de muros y tabiques.

Las bondades del prefabricado de arena con yeso van enfocadas a una fabricación sostenible, económica y de fácil aplicación. En determinados lugares donde la arena de sílice es un material abundante y asequible, constituye un medio idóneo para su empleo, bajo coste y no tener que emplear energía adicional para su obtención, como pasa con materiales como el hormigón.

Este conglomerado ha dado un buen resultado en los ensayos a propiedades mecánicas, siendo necesario investigar en el comportamiento a propiedades térmicas e hidrófugas.

Palabras clave: Construcción sostenible, yeso, ladrillo, mortero, arena de sílice

Development of sustainable material based in sulfate calcium additive and silica sand

Abstract

We can frame this item within the organizational scheme of the UN Habitat program. Its target, it is of improving the quality of life in the human establishments in the underdeveloped countries or about to development.

There is a problem with the access to housing of almost universal scope, and is even more accentuated in continents such as the Asian, African and South American, spreading to the more developed countries. The areas suburbiales depressed of the big cities, where the people without resources use to raise its material housings of bad quality.

The use of local natural resources and sustainable with the environment, it is necessary to research and the development of materials that can provide service to a growing population and an adequate price.

The quartz sand, cheap and easy to acquire, combined with plaster (material achieved through process of low energy consumption) more special additives, get conglomerates able to adapt to any shape using molding systems (Sepúlveda *et al*, 2001; Montoya Bardalez, 2015).

The brick, of prismatic forms and different dimensions, is the suitable configuration for the construction of walls and dividing walls.

The benefits of precast plaster sand are focused to a manufacture sustainable, economical and easy to apply. In certain places where the silica sand is abundant and affordable, it is a means suitable for use, low cost and not have to use extra energy to obtain, as it happens with materials such as concrete.

This conglomerate has given good results in trials to mechanical properties, being necessary to investigate in the behavior to thermal and water-repellent properties.

Keywords: Sustainable construction, plaster, brick, quartz sand

1. Introducción

El empleo del sulfato cálcico para la fabricación de elementos se viene usando desde tiempos inmemoriales. Es con el desarrollo de aditivos especiales, que contamos con la posibilidad de trabajarlo de un modo distinto a como se venía empleando tradicionalmente. El control de la cantidad de agua de amasado, reduciendo las partes añadidas a relaciones bajas, además del control del tiempo de fraguado, amplia la posibilidad de emplearlo en la fabricación de piezas especiales. En este sentido, el empleo del aditivo patentado P2392062 de la Universidad Miguel Hernández, aporta además, una elevada resistencia mecánica con un coste más que razonable.

Si bien es cierto que la cantidad de yesos, y su tecnología de fabricación, proporcionan distintas calidades y posibilidades infinitas de uso, tiene relación directa con los costes de fabricación de los mismos. Por tanto, para un uso racional de dicho material, el uso de yesos conseguidos con baja temperatura de fabricación, o yesos tradicionales de la construcción (yeso moreno, también llamado yeso negro), serán más que suficientes para el desarrollo de nuestro proyecto.

El soporte, mezcla de una cantidad de agua mínima, el sulfato cálcico moreno, y un aditivo incorporado a la matriz del sulfato cálcico, proporcionan una masa con resistencia a la flexión de 6N/mm^2 (Moneo Peco, 2014), y una resistencia a compresión que supera los 11N/mm^2, pudiendo incrementarse éstas en caso de necesidad. Se trata de un yeso modificado con aditivos, al que denominamos mortero modificado con la posibilidad de incorporar otros elementos a su matriz.

Se trata pues de un conglomerado, cuya forma es moldeable, pudiendo obtener distintas configuraciones. La más idónea quizás para el caso que nos define, es la de conformar un ladrillo de dimensiones viables de acuerdo al uso que se pretende. Así, desde el punto de vista constructivo, podemos trabajar con formas rectangulares de 6, 8, 12cm de espesor, altura de 8, 10, 12, 15 cm, y largos que pueden llegar hasta 50 cm. No obstante, se indica que la molde habilidad no impide cualquier forma que pueda elaborarse mediante el sistema de moldeo.

Posteriormente a la fabricación que puede ser manual o automática, se tendrán que secar para que el agua incorporada, necesaria para le fraguado, se evapore no suponiendo ni sobre peso ni disminución de las propiedades mecánicas. El empleo de aguas salobres tendría que ser estudiado para evaluar las consecuencias en la resistencia y durabilidad del mortero, si bien, solo se observan segregaciones de sales en caso de aguas duras.

Los minerales aportables a la matriz pueden ser de distinta índole: vermiculitas (Berná Serna, 2013), perlitas, arenas o sílices medios o finos, grabas, etc. Incluso la posibilidad de poliestirenos, poliuretanos, o fibras que ayuden a mejorar la ductilidad y resistencia mecánica.

Las bondades, que se expondrán en este documento, referidas al prefabricado de arena de sílice más sulfato cálcico, van enfocadas a una fabricación de elementos de los denominados de economía sostenible, y por tanto económicos y de fácil aplicación. La sílice, es unos elementos extraordinariamente duro, por tanto, la propiedad mecánica nunca se verá mermada siempre que el ligante o la matriz de unión sea la adecuada en proporción.

En determinados lugares donde la arena de sílice es un material abundante, constituye un medio idóneo para la economía local, debido, como ya se ha indicado, al bajo coste de fabricación, y al no tener que emplear energía adicional para su obtención.

Entre las limitaciones de recursos con que cuenta nuestro planeta están sin duda dos primordiales: el agua y la energía fósil. En el caso de ésta última, además, su uso indiscriminado tiene un importante efecto negativo sobre el calentamiento global. Así pues, una disminución en el uso de estos recursos redundará a largo plazo en una mejora medioambiental de nuestro planeta.

Así se defiende un consumo limitado de los mismos, de forma que no se comprometa el desarrollo de las generaciones futuras (Brundtland, 1987; Tendero, 2011).

En el sector de la construcción, la elección de los materiales también puede influir en la protección del medio ambiente, si elegimos aquellos con menores huellas hídrica y de carbono en el conjunto de su ciclo de vida. Otros factores también se pueden tener en cuenta, como su capacidad de aislamiento térmico (Barreca e Fichera, 2013), o un impacto positivo sobre la seguridad de cauces por una valorización de la caña común (Flores *et al*, 2011), así como el causado sobre el entorno social o cultural o la salud humana, según Rodríguez et al. (1999).

En la misma dirección, el Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006) promueve, en la línea de los códigos europeos: *"esta demanda de una mayor calidad de la edificación…. responde también a una nueva exigencia de sostenibilidad de los procesos edificatorios y urbanizadores, en su triple dimensión ambiental, social y económica."*

2. Materiales y Métodos

Se han empleado los siguientes materiales y aparatos:

- Yeso de construcción (B1/8/2)

- Agua de red para el amasado

- Aditivo retardante del fraguado en polvo seco. Patente: Número de publicación: 2392062; Número de solicitud: 201200897en dosifiación 0,6gr/1kg yeso

- Arena de sílice, de granulometría: 0,0625-2 mm

- Cubas de mezcla de material plástico de suficiente capacidad.

- Batidora-mezcladora eléctrica de uso manual.

- Paletas y espátulas diversas.

- Moldes de acero normalizados.

- Banco de ensayos mecánicos de flexión de la marca Controls, adaptado al ensayo de probetas de yeso de 100x100x750mm, con capacidad de carga de 150 kN, con captación de datos de carga y flecha mediante Arduino y software MATLAB a PC, para visualización de curvas de rotura en tiempo real.

- Micrómetro digital de la marca Mitutoyo para medida de la flecha de flexión, con rango de 0-13,6mm, conectado a hardware Arduino

- Báscula de precisión +/- 5 gr

- Báscula de precisión +/- 0,01 gr

- Máquina vibratoria, para mejorar el llenado de huecos en los moldes

Durómetro Shore C de la marca Baxlo. Sensibilidad una unidad Shore. Capacidad 0-100 unidades Shore.

Ensayo número 1. Aportación de sílice al 30%.

Aditivo: 0,6 gr/kg yeso. Mezcla: 300gr arena/1000gr yeso. Agua: 500 g amasada por amasada de mezcla de arena más yeso referido al total de yeso.

Ensayo número 2.Aportación de sílice al 50%

Aditivo: 0,6 gr/kg yeso. Mezcla: 500gr arena/1000gr yeso. Agua: 650 g amasada por amasada de la mezcla de arena más yeso referido al total de yeso.

Figura 1. Banco de ensayos mecánicos con probeta en zona de flexión (1).Detalle del posicionamiento del micrómetro y aparición de primera fisura (2).

El ensayo se ha realizado conforme a las Normas UNE-EN 13279-1 Marzo 2006 Parte 1 y UNE-EN 13279-2 Marzo 2006 Parte 2, con tamaño de probetas normalizadas de 40x40x160mm; y al procedimiento de secado de las mismas, que se ha realizado en atmósfera de laboratorio hasta masa constante, previamente a su ensayo. Se han utilizado moldes normalizados de acero. El amasado se ha realizado con la ayuda de una batidora mezcladora de fluidos.

Los resultados han sido tratados estadísticamente: para calcular el tamaño de las muestras se ha empleado la fórmula simplificada de Cochran y Cox. Se han obtenido parámetros muestrales descriptivos para cada serie.

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 1 y 2, se muestran los resultados de ensayos realizados delconjunto de 6 probetas, junto con los parámetros estadísticos descriptivos.

La validez del número de repeticiones de cada ensayo se ha comprobado mediante la fórmula simplificada de Cochran y Cox, para un error permitido máximo del 10% sobre el valor medio de la serie, con una probabilidad del 95% de no ser superado, habiéndose obtenido para todos los ensayos un número de repeticiones inferior a 6.

En dicha tabla podemos ver cómo los valores medios ($\dot{X}$) de los resultados de carga de rotura a flexión se mantienen en un calor de 3,49 N/mm^2 para el 30% de sílice.

Tabla 1. Resultados de análisis de propiedades mecánicas, de las (N) probetas ensayadascon el 30% de sílice.

Prob/ens	**Densidad Kg/m³**	**Flexión N/mm²**	**Elasticidad N/mm²**	**Compresión N/mm²**	**Shore C**
1	1.526,26	3,56	486,92	10,90	84,00
2	1.555,37	3,57	466,62	10,95	86,00
3	1.553,02	3,50	372,91	10,92	86,00
4	1.562,14	3,50	377,66	11,01	86,00
5	1.563,71	3,45	404,92	11,05	85,00
6	1.561,42	3,35	550,66	11,06	86,00
Media Ẋ	*1.553,65*	*3,49*	*443,28*	*10,98*	*85,50*
Desv. est.	*14,05*	*0,08*	*70,30*	*0,07*	*0,84*
Varianza	*197,44*	*0,01*	*4.941,82*	*0,00*	*0,70*
Coef.variacion	*0,00904417*	*0,02317716*	*0,15858552*	*0,006187226*	*0,0097855*

Tabla 2. Resultados de análisis de propiedades mecánicas, de las (N) probetas ensayadascon el 50% de sílice.

Prob/ens	**Densidad Kg/m³** Kg/m³	**Flexión N/mm²** N/mm²	**Elasticidad N/mm²** N/mm²	**Compresión N/mm²** N/mm²	**Shore C**
1	1.552,66	3,28	393,83	9,83	85,00
2	1.559,39	3,19	280,37	10,40	85,00
3	1.555,97	3,14	418,36	10,56	85,00
4	1.554,22	3,20	531,83	10,37	85,00
5	1.549,44	2,99	395,11	10,37	83,00
6	1.543,42	3,06	325,09	10,97	84,00
Media Ẋ	*1.552,52*	*3,14*	*390,77*	*8,72*	*84,50*
Desv. est.	*5,56*	*0,10*	*86,24*	*4,32*	*0,84*
Varianza	*30,86*	*0,01*	*7.437,87*	*0,14*	*0,70*
Coef. variacion	*0,00357824*	*0,03322428*	*0,22070321*	*0,496179284*	*0,0099013*

Se muestran los graficos de resultados:

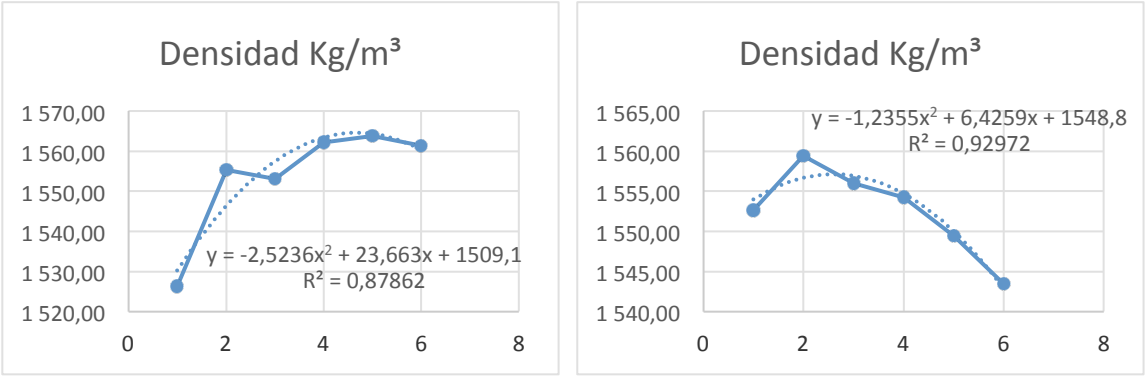


Figura 2. Densidad de las probetas al 30% y al 50% de árido.

En relación a la densidad, no aumenta con la cantidad de árido adicionado; son similares para los dos ensayos del 30% y 50% de aportación (1553,65 Kg/m^3-1552,52 kg/m^3). De hecho, al tener que usar más agua en la mezcla de más árido que debería producir un aumento de la densidad, se contrarresta por la menor densidad del yeso, debido a una mayor porosidad provocada por el aporte de agua adicional.

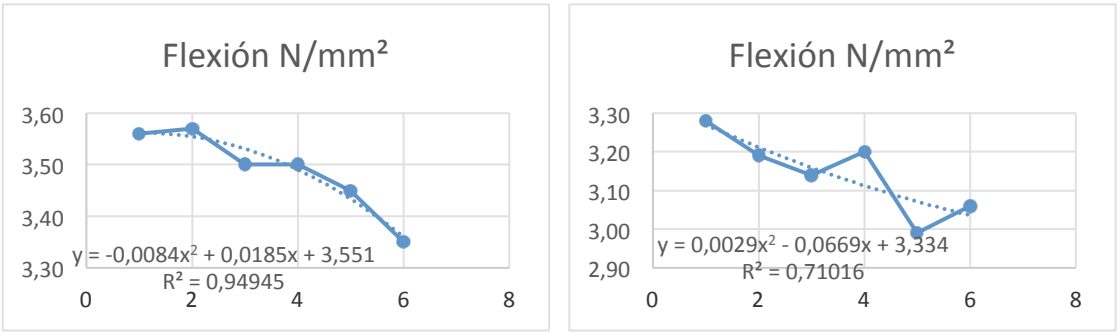


Figura 3. Resistancia a flexión del ensayo al 30% y al 50% de árido.

Se obtiene mejor valor para la mezcla de menos árido; valor medio de 3,49 N/mm^2, frente a 3,14 N/mm^2; siendo un resultado lógico a priori por disminuir la cantidad de conglomerante a la mezcla, pero, condicionado por la cantidad adicional de agua de mezcla; por tanto, una disminución de la misma, podría llevar a resultado similares.

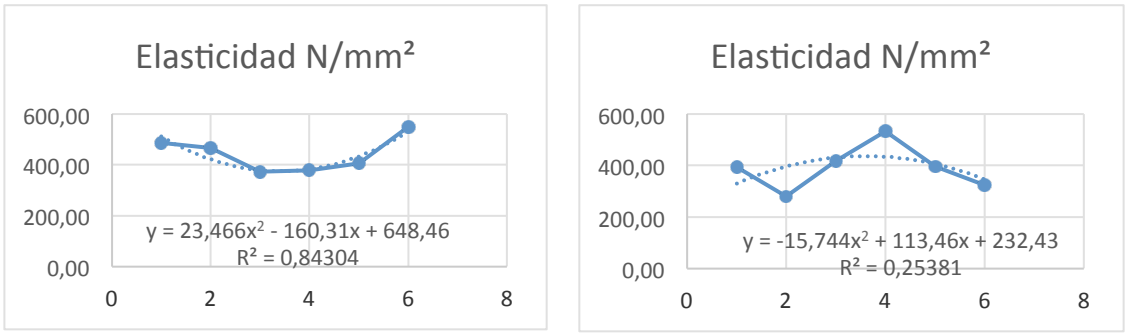


Figura 4. Módulo de elasticidad del ensayo al 30% y al 50% de árido.

Al aumentar la cantidad de árido, el ensayo se vuelve poco homogéneo. La elasticidad (al aumentar la cantidad de árido), disminuye, penalizada, además, por el agua de amasado. Para menor cantidad de árido, sin embargo, la regresión es mucho más coherente.

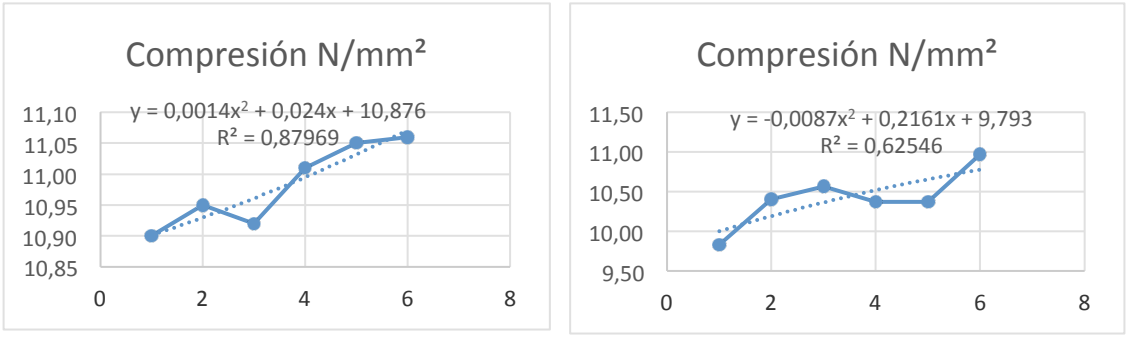


Figura 5. Resistancia a compresión del ensayo al 30% y al 50% de árido.

Se obtienen mejores y más uniformes resultados con más cantidad de yeso en la proporción del 30%; llegando a resistencia media de 10,98 N/mm^2.

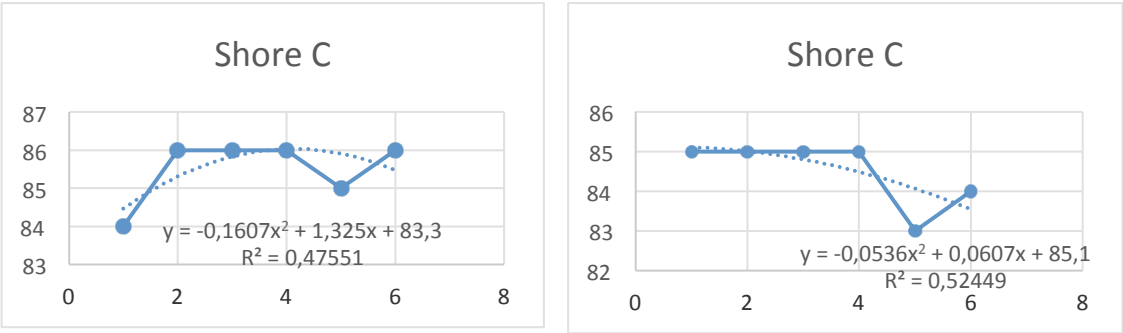


Figura 6. Dureza Shore C del ensayo al 30% y al 50% de árido.

o hay buena correlación en los resultados del ensayo (según las gráficas), pero si observamos los resultados en la tabla, losvalores son de más ±1; teniendo en cuenta que el durómetro, nos ofrece valores de unidad. Mejores resultados se obtienen para el ensayo con menos árido, más densidad de muestra y menos poros. Con una dureza de 85,85 de media y una desviación de 0,84.

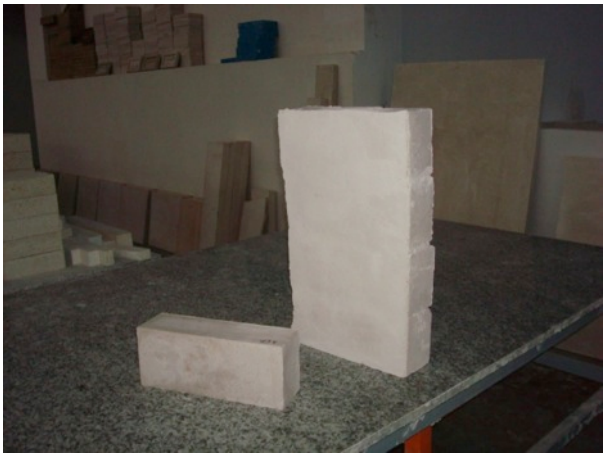


Figura 7. Producto terminado.

4. Conclusiones

Se pueden obtener mezclas estables de prefabricados con valores de arena de sílice con sulfato cálcico aditivado, de hasta el 50%, teniendo mejores resultados con menor porcentaje.

Al aumentar la cantidad de arena, se tiene que aumentar la cantidad de agua de amasado, siendo un factor determinante en las propiedades de la mezcla final.

Se pueden usar este tipo de elementos en construcción sostenible, sobre todo, en países donde exista la posibilidad de obtener yeso y arena.

Bibliografía

Berná Serna, J. M. 2013. "Evaluación de las propiedades mecánicas de los morteros aditivados de yeso con vermiculita." Tesis Doctoral".

Brundtland, G.H. Our Common Future, Chapter 2: Towards Sustainable Development. From A/42/427.In *Report of the World Commission on Environment and Development*, UN. 1987, Oslo.

CTE, 2006. Código Técnico de la Edificación. España, Ministerio de Fomento. Rodríguez Lledó, C. y Equipo de Arquitecturas Adaptadas al Medio, 1999. *Guía de bioconstrucción sobre materiales y técnicas constructivas saludables y de bajo impacto ambiental*. Madrid: Mandala Ediciones.

Tendero, R., M. Garcia de Viedma. 2011. Edificación para un desarrollo sostenible: una actividad modal. *Informes de la Construccion*, 63, 521, 75-87.

UNE-EN 13279-1.2006. "Yesos de construcción y conglomerados a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones."

UNE-EN 13279-2,2006. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo. España, AENOR.

Flores, J.A., J.J. Pastor, A. Martínez-Gabarrón, F.J. Gimeno, I. Rodríguez-Guisado and M.J. Frutos, 2011. Arundo Donax Chipboard Based On Urea-Formaldehyde Resin Using Under 4 Mm Particles Size Meets The Standard Criteria For Indoor Use. *Industrial Crops and Products*, 34: 1538-1542.

Barreca, F., C.R. Fichera, 2013. Wall panel of Arundo donax L. for environmentally sustainable agriculture building: thermal performance evaluation. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(2): 1353-57

Moneo Peco, L. 2014. "Protección de recipientes de gases licuados y/o hidrocarburos con revestimiento de morteros modificados para evitar fenómeno de bleve. "Tesis Doctoral".

Sepúlveda, S. Chavarría, H. Castro, A. Rojas, P, 2001. *Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible en espacios territoriales*. IICA, San José (Costa Rica)

Montoya Bardalez, Estefany, 2015. Prácticas sostenibles en la construcción de edificaciones. "Tesis Doctoral".

Rodríguez Lledó, C. y Equipo de Arquitecturas Adaptadas al Medio, 1999. *Guía de bioconstrucción sobre materiales y técnicas constructivas saludables y de bajo impacto ambiental*. Madrid: Mandala Ediciones.

Estudo Teórico e Experimental de Ligações Parafusadas em Chapas Onduladas de Silos Cilíndricos Metálicos

Tomaz Gurgel Dall Acqua[1], Carlito Calil Junior[2]

[1] Mestrando, Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP) 13566-590 São Carlos, São Paulo, Brasil. tomaz.acqua@usp.br

[2] Professor, Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP) 13566-590 São Carlos, São Paulo, Brasil. calil@sc.usp.br

Resumo

A ocorrência de ruína em silos, historicamente, tem sido superior comparada com outros tipos de estruturas. Por serem estruturas complexas, maiores responsabilidades são depositadas sobre seu projetista e há uma demanda crescente por documentação acerca de sua segurança estrutural. Este trabalho realiza estudo teórico e experimental de ligações parafusadas em chapas finas onduladas, com aço de alta resistência, submetidas a esforços de tração em situação de cisalhamento simples. A aplicação deste tipo de ligação ocorre em silos cilíndricos metálicos. O programa experimental compreendeu 118 ensaios. Dos resultados experimentais obtidos e analisados, a adoção de um coeficiente de redução da área líquida para o modo de falha por ruptura da chapa na seção líquida proposto pelas normas é muito conservador.

Palavras-chave: Silos metálicos. Ligação parafusada. Chapas finas de aço. Ruptura da seção líquida.

Theoretical and Experimental Study of Bolted Connections in Corrugated Sheets of Cylindrical Steel Silos

Abstract

The structural rate of failure in silos has historically been higher when compared to other types of structures. Owing to its complexity, greater responsibilities rely on silo designers causing a growing demand for documentation on structural safety. This paper reports on theoretical and experimental studies of bolted connections in thin, corrugated, high strength steel sheets, subjected to tension in simple shear condition. The applicability of this type of connection occurs in cylindrical steel silos. The experimental program comprised 118 tests. Results indicate that the adoption of a design coefficient to diminish the net area at the net-section fracture mode of failure leads to conservative results.

Keywords: Metallic silo. Bolted connection. Thin steel sheet. Net section fracture.

1. Introdução

Silos são estruturas de armazenamento que proporcionam uma maneira de estocar, em ambiente protegido, produtos granulares ou pulverulentos de modo que possam ser descarregados de forma rápida e facilitada. Segundo Arnold e Roberts (1985) a armazenagem e manipulação destes produtos é uma operação de destaque em um grande número de atividades industriais e agrícolas, sendo os custos destas etapas substanciais sobre os custos totais de produção. De acordo do Calil Jr (2007) as possibilidades de materiais empregados na sua construção são diversas, mas a predominância é de silos metálicos com chapas finas, corrugadas, zincadas e de alta resistência, unidas por ligações parafusadas. Este modelo de silo apresenta como vantagem o reduzido peso próprio, maior controle de qualidade devido aos componentes estruturais industrializados, facilidade de fabricação e rapidez na montagem da estrutura.

O sistema estrutural de um silo cilíndrico metálico é concebido de forma que suas chapas de parede estejam solicitadas por tração, tal qual uma estrutura em casca. Este trabalho apresenta um estudo

teórico e experimental de ligações parafusadas em chapas finas onduladas, com aço de alta resistência, submetidas a esforços de tração em situação de cisalhamento simples. A aplicação deste tipo de ligação ocorre na união entre chapas de parede de mesmo nível ao longo do perímetro em silos cilíndricos metálicos. Para o programa experimental, as configurações dos corpos de prova foram definidas de forma a representar os modelos de ligação empregados na prática, variando parâmetros como espessura da chapa e diâmetro e disposição dos parafusos. Observou-se dois modos de falha distintos; esmagamento da parede do furo e ruptura da chapa na seção líquida. Dados obtidos de Esteves Jr (1990) foram utilizados. Os resultado obtidos foram comparados com modelos propostos em normas de dimensionamento de estruturas de aço conformado a frio das seguintes organizações: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através de uma NBR (Norma Brasileira aprovada pela ABNT), American Iron and Steel Institute (AISI), Standards Australia (AS/NZS) e European Standards (EN).

2. Ligações parafusadas em chapas de aço formadas a frio

2.1. Modos de falha

Os primeiros estudos acerca dos modos de falha a que estão susceptíveis as ligações parafusadas em chapas finas de aço foram conduzidos por Winter (1956), que indicou quatro modos possíveis de ruína: rasgamento entre furo e borda, esmagamento da chapa junto ao parafuso, ruptura da chapa na seção líquida e cisalhamento do parafuso. Além destes, destaca-se o modo de falha por destacamento do bloco de ligação - *block shear* e também a possibilidade de ocorrência de modos combinados.

Na falha por esmagamento da parede do furo ocorre um princípio de rasgamento, partindo da região dos furos e na direção paralela à solicitação, o qual se estabiliza e resulta no esmagamento da chapa em frente ao parafuso. Não é uma característica deste modo de falha o estreitamento da chapa. A falha por ruptura da chapa na seção líquida é causada por insuficiência de área efetiva da seção crítica da ligação. Neste modo de falha a linha de ruptura contém os furos mais afastados da extremidade da peça e tem surgimento a partir da linha de furação original. É verificado o estreitamento da chapa, ao passo em que não há deslocamento fora do plano e nem esmagamento expressivo da borda dos furos. A Figura 1 ilustra as características destes modos de falha.

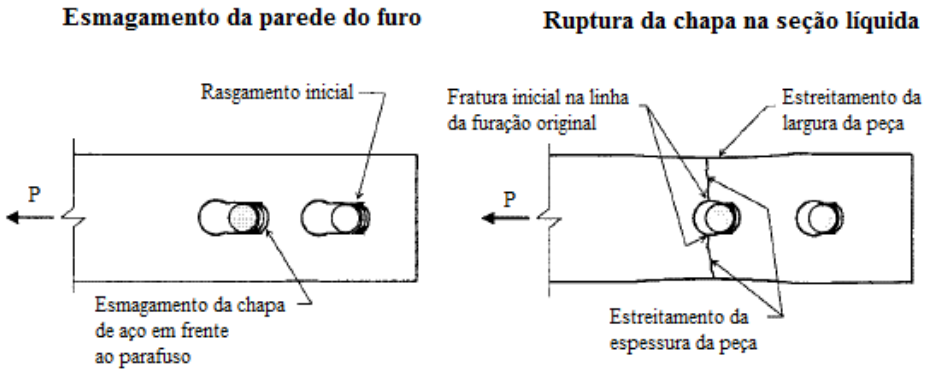


Figura 1 - Esmagamento da parede do furo e ruptura da chapa na seção líquida - adaptado de Rogers e Hancock (2000)

A falha por esmagamento da parede do furo é caracterizada por grandes deformações da chapa sem que haja capacidade da ligação em suportar acréscimo de força. Se o ensaio for conduzido até a situação de grandes deformações, podem surgir componentes de deslocamento fora do plano. Segundo Rogers e Hancock (2000) caso não seja impedido o deslocamento fora do plano na região da ligação, este pode ocorrer juntamente com o deslocamento no plano. Dessa forma, os elementos ao longo da espessura estão sujeitos a um estado de tensão com parcelas de tensão normal e de

cisalhamento. Devido à concentração de tensão na região do furo e ao estado de tensão desenvolvido, podem aparecer pequenas fraturas na borda dos furos, com direção de propagação diagonal ou perpendicular à solicitação. Caso haja liberdade de deslocamento fora do plano na região de extremidade da chapa, as linhas de ruptura se originam na região que sofreu esmagamento, fora da linha da furação original. Se o deslocamento fora do plano for impedido na região de extremidade na chapa, este pode ocorrer em outras regiões da ligação, originando fraturas a partir da linha de furação original. O ocorrência destas fraturas associadas ao modo de falha por esmagamento é observada após a ligação atingir sua carga última e a propagação destas descontinuidades pode causar dúvida quanto à ruína por ruptura da chapa na seção líquida. A Figura 2 ilustra estes fenômenos.

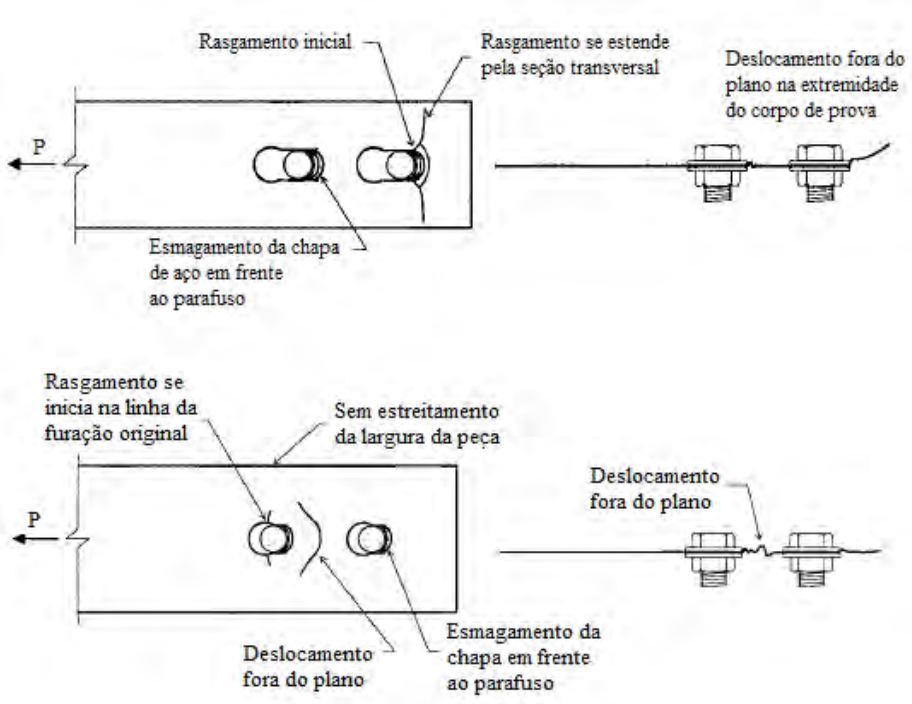


Figura 2 - Esmagamento com deslocamento fora do plano - adaptado de Rogers e Hancock (2000)

2.2. Resistência segundo normas de dimensionamento

Nesta seção apresenta-se as equações adotadas para a previsão da resistência nominal de ligações pelas seguintes normas: AISI S100-16 - *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*; EN 1993-1-3:2006 - *Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting*; AS/NZS 4600:2005 - *Cold-formed steel structures*; ABNT NBR 14762:2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Destas normas, a americana e a brasileira se aplicam a ligações cuja máxima espessura do elemento conectado não ultrapasse 4,75 mm. Para as normas australiana e europeia, este valor é de 3,00 mm.

A seguir descreve-se as equações da resistência nominal da ligação ao esmagamento da parede do furo segundo as normas consideradas.

Equação da norma AISI S100-16 sem a consideração da deformação do furo:

$$P_{nb} = C \cdot m_f \cdot d \cdot t \cdot f_u \quad (1)$$

Sendo C o fator de esmagamento, m_f o fator de modificação, d o diâmetro nominal do parafuso, t a espessura da chapa não revestida e f_u a tensão de ruptura do aço. Na Equação (1), se $d/t < 10$ então $C = 3{,}0$; caso $10 \leq d/t \leq 22$ tem-se que $C = 4 - 0{,}1 \cdot d/t$. Se a ligação possuir parafusos com arruela dupla, uma em cada lado da chapa, $m_f = 1{,}0$; caso contrário $m_f = 0{,}75$.

Equação da norma EN 1993-1-3:2006:

$$F_{b,R} = 2{,}5 \cdot \alpha_b \cdot k_t \cdot d \cdot t \cdot f_u \quad (2)$$

Na Equação (2) $\alpha_b = e_1/3d \leq 1{,}0$. Se $0{,}75\ mm \leq t \leq 1{,}25\ mm$ então $k_t = (0{,}8t + 1{,}5)/2{,}5$; caso $t > 1{,}25\ mm$ tem-se $k_t = 1{,}0$.

Equação da norma AS/NZS 4600:2005 sem a consideração da deformação do furo:

$$V_b = \alpha \cdot C \cdot d \cdot t \cdot f_u \quad (3)$$

Na Equação (3) o termo α é definido igualmente ao termo m_f.

Equação da norma ABNT NBR 14762:2010:

$$F_R = \alpha_e \cdot d \cdot t \cdot f_u \quad (4)$$

Na Equação (4) $\alpha_e = 0{,}183 \cdot t + 1{,}53$, com t em mm.

A seguir descreve-se as equações da resistência nominal da ligação à ruptura da chapa na seção líquida segundo as normas analisadas.

Equação da norma AISI S100-16:

$$P_{nt} = f_u \cdot A_e \quad (5)$$

Na Equação (5) A_e é a área efetiva da seção crítica dada por $A_e = U_{sl} \cdot A_{nt}$; sendo $U_{sl} = 0{,}9 + 0{,}1\ d/s$ e A_{nt} a área líquida da seção crítica.

Equação da norma EN 1993-1-3:2006:

$$F_{n,R} = \left[1 + 3r \cdot \left(\frac{d}{u} - 0{,}3\right)\right] \cdot A_{net} \cdot f_u \leq A_{nt} \cdot f_u \quad (6)$$

Na Equação (6) r é o número de parafusos na seção crítica divido pelo número de parafusos na ligação e $u = 2e_2 \leq p_2$, sendo e_2 a distância entre centro do furo e borda da chapa na direção perpendicular à solicitação e p_2 a distância entre centro de furos na mesma direção.

Equação da norma AS/NZS 4600:2005:

$$N_f = A_{nt} \cdot f_u \quad (7)$$

Equação da norma ABNT NBR 14762:2010:

$$N_t = C_t \cdot A_{nt} \cdot f_u \quad (8)$$

Na Equação (8) $C_t \leq 1{,}0$ é o coeficiente redutor da área líquida. Se todos os parafusos da ligação estiverem contidos em uma única linha transversal à solicitação então $C_t = 2{,}5 \cdot d/g$; Para dois parafusos na direção da solicitação $C_t = 0{,}5 + 1{,}25 \cdot d/g$; Para três parafusos na direção da solicitação $C_t = 0{,}67 + 0{,}83 \cdot d/g$; Para quatro ou mais parafusos na direção da solicitação $C_t = 0{,}75 + 0{,}625 \cdot d/g$; onde g é o maior valor entre espaçamento dos furos e a soma das distâncias entre os centros dos furos de extremidade às respectivas bordas, ambos na direção perpendicular à solicitação.

3. Material e Métodos

Foram analisados 118 ensaios em corpos de prova de ligações parafusadas em chapas finas de aço. Destes, 60 ensaios constam no trabalho de Esteves Jr (1990), 24 ensaios foram realizados em maio de 2015 no Laboratório de Estruturas (LE) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP) e os 34 ensaios restantes foram realizados no LE-EESC-USP em outubro de 2015. As chapas utilizadas nos ensaios apresentavam revestimento de zinco no padrão 450 g/m², o que corresponde a espessura de revestimento de 0,064 mm considerando ambas as faces, a qual deve ser descontada da espessura nominal da chapa para efeitos de cálculo. A Figura 3 mostra a máquina servo-hidráulica utilizada nos ensaios realizados no LE-EESC-USP, os quais foram conduzidos com controle de deslocamento do pistão do atuador à velocidade de 0,02 mm/s. A Figura 4 ilustra um exemplo de configuração de chapa que compõe os corpos de prova. Os furos se localizam nas cristas das ondas da corrugação das chapas. A Figura 5 mostra o dispositivo de ensaio empregado, em que as regiões de extremidade do corpo de prova são ligadas a chapas de maior resistência, as quais são ligadas às prensas da máquina de ensaio. A região central do corpo de prova é a ligação em estudo.

Figura 3 - Máquina de ensaios

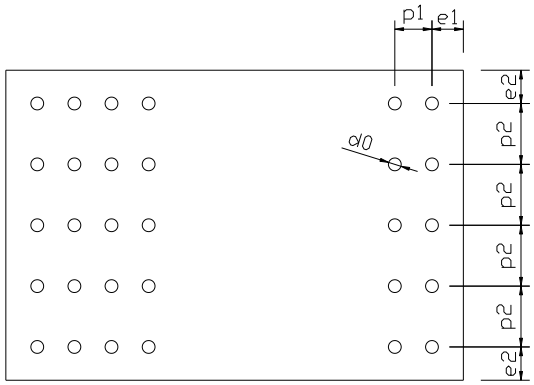


Figura 4 - Corpo de prova

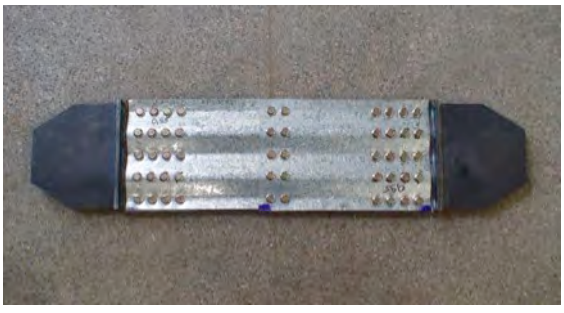


Figura 5 - Dispositivo da ligação

4. Resultados e Discussão

Nos ensaios realizados observou-se ocorrência de dois modos de falha, esmagamento da parede do furo e ruptura da chapa na seção líquida. A falha por esmagamento ocorreu em corpos de prova onde todos os parafusos da ligação foram posicionados em uma linha perpendicular à solicitação e, em alguns casos, onde os parafusos foram dispostos em duas linhas e a espessura da chapa era pequena. Estas configurações de ligação ocasionaram elevada pressão de contato na chapa junto à parede dos furos. A falha por ruptura da chapa na seção líquida ocorreu nos corpos de prova com múltiplos parafusos na linha com direção paralela à solicitação, por insuficiência de área efetiva na seção crítica da ligação. A Figura 6 mostra um corpo de prova que atingiu a situação de ruína por

esmagamento da parede do furo e a Figura 7 um corpo de prova com falha por ruptura da chapa na seção líquida.

Figura 6 - Esmagamento da parede do furo

Figura 7 - Ruptura da chapa na seção líquida

Dos 118 ensaios analisados, 23 atingiram a ruína por esmagamento da parede do furo e 95 falharam por ruptura da chapa na seção líquida. Inicialmente foi verificada a porcentagem dos corpos de prova em que as normas previram corretamente o modo de falha. Os corpos de prova em que a previsão normativa resultava modo de falha diferente do verificado nos ensaios foram excluídos de análises subsequentes. A Tabela 1 e a Tabela 2 mostram as porcentagens de ensaios com modo de falha teórico condizente com o experimental e a comparação entre os valores de resistência nominal da ligação por equações de norma e obtidos em ensaio, para os modos de falha por esmagamento e ruptura da seção líquida, respectivamente. A Figura 8 e a Figura 9 mostram graficamente estes resultados.

Tabela 1 - Ensaios com falha por esmagamento da parede do furo

Ensaio	**Esmagamento**	**Força teórica / Força experimental**	
Parâmetro estatístico	**Previsão correta do modo de falha (%)**	**Média**	**Desvio Padrão**
AISI S100-16	52,2	0,92	0,10
EN 1993-1-3:2006	69,6	0,79	0,15
AS/NZS 4600:2005	87,0	0,93	0,08
NBR 14762:2010	87,0	0,56	0,14

Tabela 2 - Ensaios com falha por ruptura da chapa na seção líquida

Ensaio	**Ruptura da seção líquida**	**Força teórica / Força experimental**	
Parâmetro estatístico	**Previsão correta do modo de falha (%)**	**Média**	**Desvio Padrão**
AISI S100-16	96,8	0,90	0,04
EN 1993-1-3:2006	100,0	0,86	0,06
AS/NZS 4600:2005	96,8	0,99	0,05
NBR 14762:2010	90,5	0,76	0,06

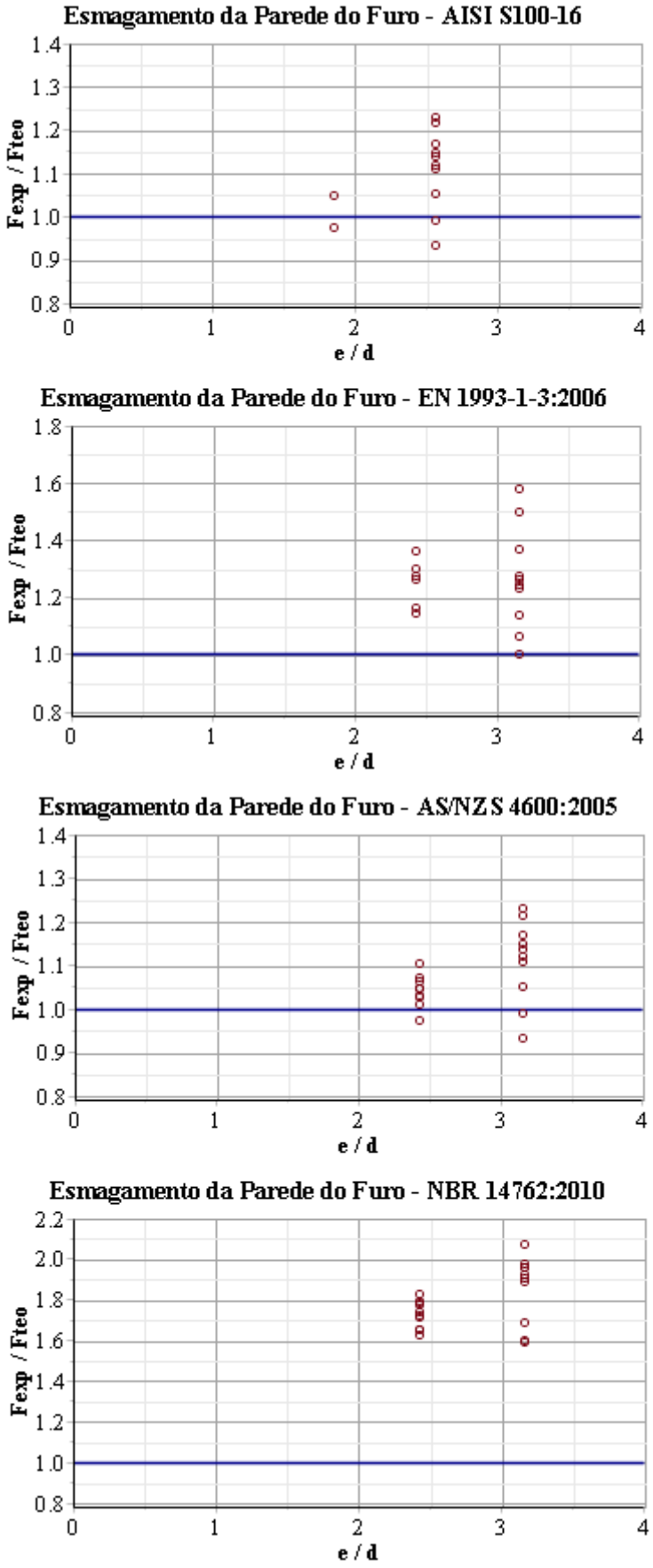


Figura 8 - Resultados teóricos e experimentais para falha por esmagamento da parede do furo

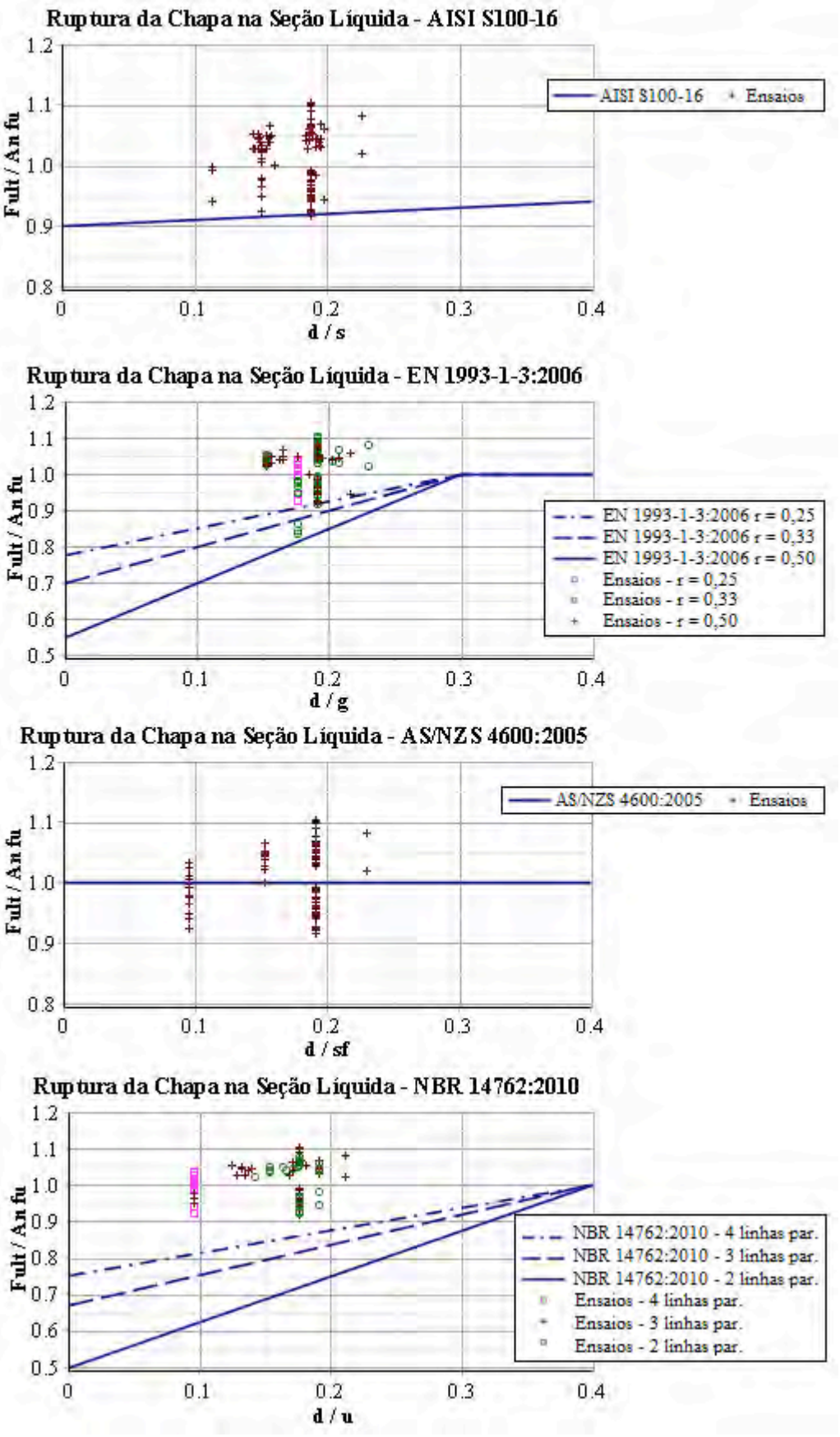


Figura 9 - Resultados teóricos e experimentais para falha por ruptura da chapa na seção líquida

Para o modo falha por esmagamento da parede do furo, as norma AISI S100-16 e AS/NZS 4600:2005 resultaram em valores próximos para resistência teórica experimental, com relação entre estes da ordem de 0,92 e 0,93 em média, respectivamente. Como ponto em comum, ambas as normas consideram a situação com uso de arruela dupla, uma em cada lado da chapa, por meio dos coeficientes m_f e α, respectivamente. A formulação das normas EN 1993-1-3:2006 e NBR 14762:2010 não ponderam este fato. Para estas normas os valores da relação entre resistência teórica e experimental foram 0,79 e 0,56 em média, respectivamente.

Para o modo de falha por ruptura da chapa na seção líquida, as equações das normas divergem quanto à adoção e formulação do coeficiente de redução da área líquida. A norma australiana, que não adota tal coeficiente, obteve os resultados mais próximos dos verificados em ensaio, com valores de 0,99 em média para a relação entre força teórica e experimental. As normas AISI S100-16, EN 1993-1-3:2006 e NBR 14762:2010 procedem à redução da área líquida na seção crítica da ligação, o que resultou em valores conservadores de resistência da ligação, com valores médios para a relação entre força teórica e experimental iguais a 0,90; 0,86 e 0,76 respectivamente. Segundo Rogers e Hancock (2000) não é necessário o emprego de um coeficiente de redução da área líquida, embora Teh e Gilbert (2012) afirmem que o efeito de shear lag no plano em ligações parafusada faz necessário adoção de tal coeficiente. Para os modelos de ligações deste trabalho, aplicáveis a silos cilíndricos metálicos, o uso de coeficiente redutor da área líquida no âmbito do modo de falha por ruptura da chapa na seção líquida não é adequado.

5. Conclusões

Os resultados dos ensaios em ligações parafusadas realizados neste trabalho mostram que as normas estudadas obtiveram êxito na previsão do modo de falha por ruptura da chapa na seção líquida. Houve prognóstico correto em mais de 90% do número total de corpos de prova com este tipo de ruína para todas as normas, com destaque para a norma EN 1993-1-3:2006, onde esse valor foi 100%. Todavia, o desempenho na previsão do modo de falha por esmagamento da parede do furo foi inferior, com prognóstico correto variando entre 52,2% para a norma AISI S100-16 e 87,0% para as normas AS/NZS 4600:2005 e NBR 14762:2010.

A resistência teórica das ligações em corpos de prova que falharam por esmagamento da parede do furo resultou em valores próximos aos observado experimentalmente para as normas AISI S100-16 e AS/NZS 4600:2005, principalmente pela ponderação que estas fazem acerca da presença ou não de arruelas duplas na ligação, uma em cada lado da chapa. As normas EN 1993-1-3:2006 e NBR 14762:2010 não levam este fato em consideração e seus resultados subestimaram consideravelmente os valores de resistência comparado aos resultados dos ensaios. Para os corpos de prova que atingiram a ruína por ruptura da chapa na seção líquida, a norma AS/NZS 4600:2005, que não considera coeficiente de redução da área líquida, obteve resultados praticamente equivalentes aos verificados experimentalmente, em média. As demais normas analisadas consideram este coeficiente, e resultaram em valores de resistência da ligação inferiores aos verificados nos ensaios. A consideração de um coeficiente de redução da área líquida para o modo de falha por ruptura da chapa na seção líquida não é adequado para ligações no escopo deste trabalho.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro à esta pesquisa.

Bibliografia

American Iron and Steel Institute. 2016. *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*. Washington: AISI.

Arnold, P. C. and A. W. Roberts. 1985. The Geometric Design of Storage Systems for Bulk Solids. In *Design of Steel Bins for the Storage of Bulk Solids*. Sydney: University of Sydney.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2010. *NBR 14762 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídasdas por perfis formados a frio*. Rio de Janeiro: ABNT.

Calil Jr, C. 2007. *Silos: pressões, fluxo, recomendações para o projeto e exemplos de cálculo*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Esteves Jr, P. 1990. Silos Metálicos de Chapas Corrugadas. Master`s Thesis Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

European Committee for Standardization. 2006. *EN 1993-1-3: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting*. Brussels.

Rogers, C. A. and G. J. Hancock. 2000. Failure modes of bolted-sheet-steel connections loaded in shear. *Journal of Structural Engineering* v126 n. 2: 288–296.

Standards Australia / Standards New Zealand. 2005. *AS/NZS 4600 - Cold-formed steel structures*. Sydney: AS/NZS.

Teh, L. H. and B. P. GILBERT. 2012. In-plane Shear Lag of Bolted Connections. *In 21st International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*. St. Louis.

Winter, G. 1956. Tests on bolted connections in light gage steel. *Journal of the Structural Division*. 82: 1-25.

Simulaciones de explosiones de almidón de maíz en silos agrícolas con sistemas de venteo

Pedro José Aguado[1], Alberto Tascón[2]

[1] Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias, ESTI Agraria, Universidad de León, Av. Portugal 41, 24071 León, Spain. pedro.aguado@unileon.es

[2] Departamento de Agricultura y Alimentación, Universidad de La Rioja, Av. Madre de Dios 51, 26006 Logroño, Spain. alberto.tascon@unirioja.es

Resumen

Los materiales combustibles, como son los productos agrícolas, cuando se encuentran en forma de polvo, y sus partículas tienen un tamaño suficientemente pequeño, pueden producir explosiones si se produce algún fenómeno que desencadene la reacción de combustión (fuente de ignición). Cuando éstas se producen en espacios confinados, como son los silos, se producen elevadas presiones que pueden destruir las estructuras y suponen un riesgo para las personas que se encuentren en sus proximidades. Debido a la complejidad del fenómeno, a la dificultad y al elevado coste de los ensayos, se cuenta con pocos datos para estudiar estos fenómenos, así como, para diseñar mecanismos de protección, como son los paneles de venteo. Los autores han realizado modelos utilizando la Dinámica de Fluidos Computacional (DFC), mediante el software FLACS-DustEx, simulando un silo con paneles de venteo de distintos tamaños, para explosiones de almidón de maíz. Para validar los resultados del modelo, se han utilizado los resultados de ensayos a escala real, en los que se colocaron sensores de presión en distintos puntos de un silo experimental. De la comparación realizada se puede concluir la validez de las simulaciones, aunque existen incertidumbres relacionadas con los niveles reales de turbulencia y concentración existentes en los ensayos. Los modelos realizados permiten, por un lado, analizar en profundidad estos fenómenos, y, por otro, estudiar distintos escenarios posibles (silos con diferentes dimensiones, concentraciones y tamaños de nube de polvo diferentes, valores diversos de energía de fuente de ignición, etc.)

Palabras clave: Explosiones de polvo, silos agrícolas, simulaciones numéricas, DFC, venteo

Simulations of vented maize starch dust explosions in agricultural silos

Abstract

Combustible materials, such as agricultural products, when are present in the form of fine dust can produce explosions. When they occur in confined spaces, such as silos, there are high pressures that can destroy structures and pose risk to people in their vicinity. Due to the complexity of the phenomenon and the high cost of the experimental tests, there is little data regarding to it, hindering the design of the protection systems, as are the vent panels. The authors have developed computational fluid dynamics models (CFD), using the FLACS-DustEx software, simulating a silo with different vent panel sizes for maize starch explosions. To validate the models results, these were compared with real-scale tests, in which pressure sensors were placed at different positions of the experimental silo. From the comparison made, the validity of the simulations can be concluded, although there are uncertainties related to the current levels of turbulence and concentration existing in the previous experimental tests. On the one hand, these models allow to analyse these phenomena in depth and, on the other hand, to study different scenarios (silos of different sizes, different concentrations and sizes of dust clouds, different energy values of the ignition source, etc.).

Keywords: Dust explosions, agricultural silos, numerical simulations, CFD, venting

1. Introducción

Las explosiones de polvo suponen un grave riesgo en aquellas actividades donde se almacenan o procesan productos agrícolas y alimentarios. Dichos materiales, al ser combustibles, cuando se

encuentran en forma de polvo, y sus partículas tienen un tamaño suficientemente pequeño, pueden producir explosiones si se produce algún fenómeno que desencadene la reacción de combustión (fuente de ignición). Los efectos de las explosiones pueden provocar muertes, grandes pérdidas económicas e importantes daños al medio ambiente (Blair, 2007). Muchas de estas explosiones de polvo se producen en los silos donde se almacenan (Eckhoff, 2003).

Para evitar estos accidentes se pueden adoptar medidas preventivas, como, por ejemplo, evitar que aparezcan fuentes de ignición, pero en muchos casos, debido a que no se puede tener la seguridad de que no pueda producirse dicha ignición, es recomendable instalar dispositivos de protección. Una forma de protección es la instalación de paneles de venteo, consistentes en unas compuertas que se abren en caso de explosión, liberando la presión y reduciendo las presiones máximas a las que se ve sometido el silo, evitando así su rotura. Cuanto mayor es el área de los paneles, menor es la presión máxima alcanzada.

En los últimos años se han realizado gran cantidad de estudios sobre las explosiones de polvo en las instalaciones agrícolas y alimentarias (Eckhoff, 2003). Sin embargo, aún se desconocen muchos aspectos de las explosiones de polvo en este tipo de silos y existe controversia sobre los métodos de ensayo para determinar las características de la explosión de un determinado polvo y su validez para extrapolar los resultados a las condiciones reales (Tascón y Aguado 2015). Por otra parte, debido a su complejidad y elevado coste, se han realizado muy pocos ensayos de explosiones de polvo en silos a escala real. Todo ello dificulta el desarrollo de métodos de cálculo de las instalaciones de protección, como son los paneles de venteo.

Desde mediados del siglo XX, los métodos numéricos se han convertido en valiosas herramientas para el estudio de fenómenos complejos. En el caso de explosiones de polvo, la Dinámica de Fluidos Computacional, está demostrando ser una valiosa herramienta en el estudio de explosiones de polvo (Tascón y Aguado 2015).

El objetivo del presente trabajo es realizar modelos utilizando la Dinámica de Fluidos Computacional (DFC), mediante el software FLACS-DustEx, simulando un silo silos con paneles de venteo de distintos tamaños, para explosiones de almidón de maíz. Para validar los resultados del modelo, se han utilizado los resultados de ensayos a escala real realizados por los autores, en los que se colocaron sensores de presión en distintos puntos de un silo experimental.

2. Metodología

Las simulaciones numéricas han sido realizadas con el código FLACS-DustEx, comercializado por la empresa noruega Gexcon (2015). Este programa de dinámica de fluidos computacional resuelve las ecuaciones de conservación de la masa, momento, entalpía y especies químicas en una malla cartesiana 3D. El conjunto de ecuaciones se cierra con la ley de gases ideales y el modelo k-ε de turbulencia de Launder y Spalding (1974). El programa asume que las partículas de polvo están en equilibrio térmico y cinético con la fase continua (Skjold, 2007). Esta simplificación supone que el programa no puede simular con detalle fenómenos como la aglomeración de partículas o el depósito del polvo debido a la gravedad; este enfoque, sin embargo, permite simular escenarios a escala industrial con un esfuerzo computacional razonable. Una descripción detallada de las ecuaciones de gobierno en FLACS-DustEx puede ser encontrada en trabajos previos (Tascón y Aguado, 2015).

El modelo de combustión implementado en FLACS-DustEx calcula la velocidad de combustión en condiciones turbulentas y la posición de la llama a partir de los valores determinados previamente en ensayos de laboratorio en la esfera de 20 litros (EN 14034-1, 2004) y cargados en el programa mediante un archivo de combustible (o *fuel file*) (Skjold, 2007).

Las simulaciones del presente trabajo pretenden replicar unos ensayos experimentales de explosión previamente publicados (Tascón et al., 2016), para así poder comparar y validar los modelos numéricos. Los ensayos fueron realizados en un silo modular, empleando almidón de maíz, y se

registraron simultáneamente la presión de apertura del panel de venteo y las sobrepresiones de explosión desarrolladas en el interior del silo. Los ensayos que se han simulado se corresponden con aquellos ensayos experimentales realizados en un módulo del silo de ensayo (Tascón et al., 2016).

La geometría del modelo implementado en FLACS-DustEX consistió en un silo cilíndrico de diámetro 1.9 m y altura 1.8 m (volumen = 5,1 m^3), dispuesto horizontalmente y elevado 20 cm sobre el terreno. El mallado 3D fue definido mediante celdas ortogonales de lado 10 cm. La fuente de ignición se situó a 75 cm del fondo del silo, con una energía total de 5 kJ. La nube de polvo previa a la ignición, que en los ensayos fue generada mediante la inyección de polvo desde una botella presurizada con aire comprimido, se modelizó como un punto de entrada de una mezcla aire/polvo de carácter transitorio y que dio lugar a una concentración media teórica en el volumen del silo de 775 g/m^3. El retardo de la ignición con respecto al inicio de la inyección de polvo se fijó en 700 ms, igual que en los ensayos experimentales previos. En cuanto al combustible, se han utilizado los valores de combustión correspondientes al almidón de maíz (Tascón et al., 2016), aumentados con un factor de corrección de 1,25, que es el valor recomendado a partir de simulaciones previas (Castellanos et al., 2013) para simulaciones con mallado de 0,10 m.

En uno de los extremos del silo - el correspondiente al techo - se dispuso un panel de venteo, cuya apertura es automática y completa una vez se alcanza su presión de activación, cuyo valor se estableció previamente en el modelo. Se han calculado simulaciones para paneles de venteo con 3 áreas diferentes: 0,35 m^2, 0,54 m^2 y 0,84 m^2. La presión de activación del panel de venteo (P_{act}) en las simulaciones se igualó a los valores registrados experimentalmente en cada uno de los ensayos reales, presentados por Tascón et al. (2016).

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se muestran los resultados de las presiones máximas de explosión ($P_{red,exp}$) y de apertura del panel de venteo (P_{act}) registradas en los ensayos experimentales, junto con las presiones máximas obtenidas en cada una de las simulaciones ($P_{red,sim}$).

Tabla 1. Comparación de los valores obtenidos mediante simulaciones numéricas con los valores registrados en ensayos reales de explosión por Tascón et al. (2016)

Nº ensayo	Área de venteo (m2)	P_{act} (kPa)	$P_{red,exp}$ (kPa)	$P_{red,sim}$ (kPa)
9a	0,35	13,4	24,6	40,7
9b	0,35	15,6	28,2	41,8
8a	0,54	19,6	25,1	23,3
8b	0,54	20,8	28,6	24,4
7a	0,84	20,0	23,4	23,3
7b	0,84	13,0	21,0	15,4

Como puede observarse, la precisión de las simulaciones es notable para los casos de área de venteo igual a 0,54 m^2 y 0,84 m^2. Sin embargo, para el área de venteo más reducida (0,35 m^2) las diferencias son mayores, con los modelos numéricos sobredimensionando la presión de explosión con respecto a los ensayos reales. Estas diferencias podrían deberse a que el modelo de combustión acelera en exceso las reacciones de combustión en espacios confinados con alto nivel de turbulencia, como es este caso, o bien a que las condiciones iniciales creadas por la inyección de polvo/aire en FLACS-DustEx difieren de las condiciones iniciales reales en los ensayos de explosión; en las simulaciones con área de venteo pequeña, estas condiciones pueden tener mayor importancia en el transcurso de la explosión, mientras que en el caso de aéreas de venteo más grandes una parte significativa de la explosión tiene lugar fuera del silo. Dichas condiciones iniciales no han podido ser contrastadas, ya

que en los ensayos reales no se pudieron realizar medidas de la velocidad del aire, turbulencia y concentración de polvo en el interior del silo (Tascón et al., 2016).

La Figura 1 muestra la concentración de polvo en el interior del silo justo antes de que se produzca la ignición (t = 700 ms) durante una de las simulaciones, en una sección realizada a lo largo del eje longitudinal del silo. Como puede observarse, la nube de polvo llena completamente el interior del silo, pero su concentración es poco homogénea. Para comprender mejor estos fenómenos y contribuir a la validación de simulaciones y de herramientas numéricas aplicadas a las explosiones, como el FLACS-DustEX, es necesaria la realización de programas de ensayos con medición de otros parámetros además de la presión (llama, turbulencia y concentración de polvo iniciales) (Skjold et al., 2008). Sin embargo, la puesta en marcha de programas de experimentación de calidad no resulta sencilla, ya que demandan una alta inversión en equipamiento y tienen un alto coste en personal y tiempo.

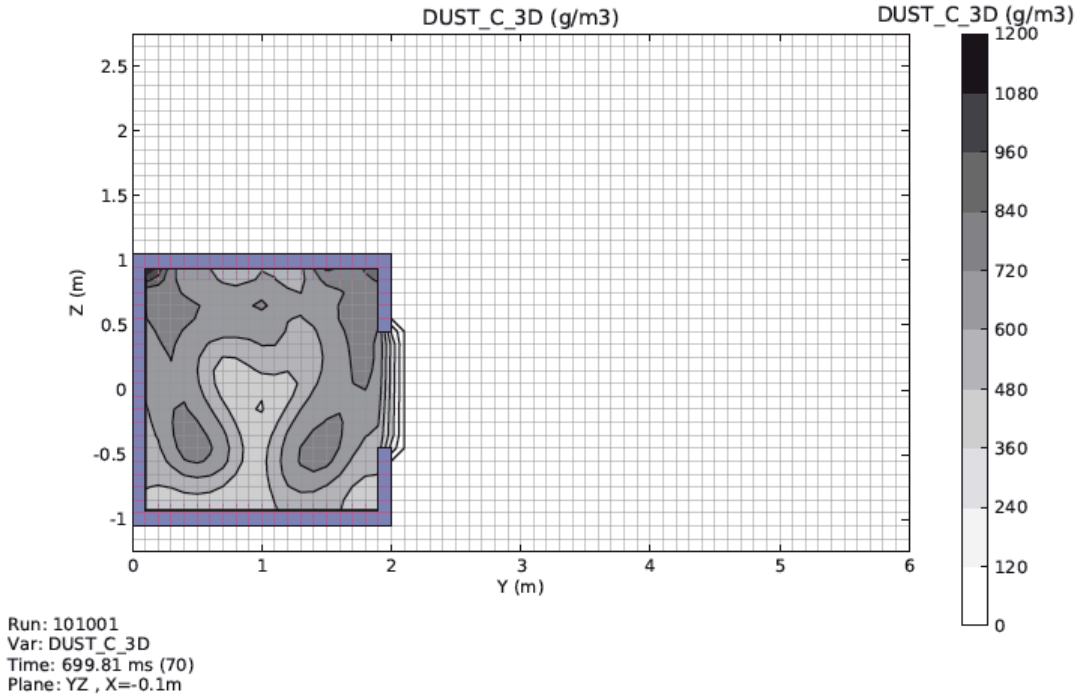


Figura 1. Concentración de polvo (almidón de maíz) en el momento de la ignición

En la Figura 2, correspondiente también a una de las simulaciones, se muestra la llama producida por la explosión, que sale del silo uno vez abierto el panel de venteo. En esta figura la llama se ha representado a partir de la concentración de los productos de combustión. Puede observarse la rapidez del fenómeno, ya que en solamente 250 ms la llama ha recorrido casi 6 m y ha alcanzado una distancia de 4 m fuera del silo. Este aspecto se ha podido contrastar con los vídeos tomados durante los ensayos.

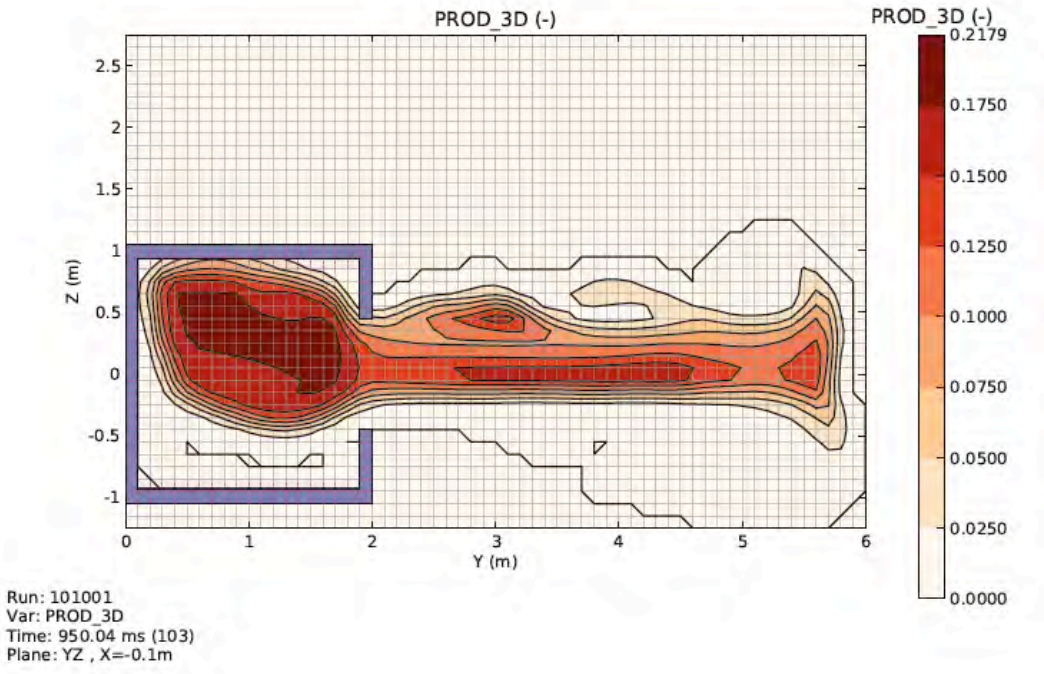


Figura 2. Desarrollo de la explosión en el instante t = 950 ms.

4. Conclusiones

Se han realizado modelos de silos en los que se simulan explosiones de polvo de almidón de maíz utilizando la Dinámica de Fluidos Computacional, mediante el software FLACS-DustEx, que incluyen paneles de venteo. Los resultados obtenidos muestran una alta correspondencia de los valores de presiones máximas con respecto a los obtenidos en ensayos experimentales a escala real desarrollados por los autores.

Estos modelos permiten analizar un fenómeno sumamente complejo y simular distintos escenarios posibles (silos con diferentes dimensiones, concentraciones y tamaños de nube de polvo diferentes, valores diversos de energía de fuente de ignición, etc.) , por lo que constituyen una poderosa herramienta para la investigación y para el desrrollo de medidas de protección.

Los resultados son menos precisos para areas de venteo reducidas, probablemente debido a que el modelo de combustión acelera en exceso las reacciones de combustión en espacios confinados con alto nivel de turbulencia, o bien, a que las condiciones iniciales creadas por la inyección de polvo/aire en FLACS-DustEx difieren de las condiciones iniciales reales en los ensayos de explosión. Este aspecto no ha podido ser aclarado porque en los ensayos a escala real desarrollados por los autores, aún no se han realizado medidas de la velocidad del aire, turbulencia y concentración de polvo en el interior del silo.

Uno de los aspectos relevantes observados en las simulaciones, es que la llama producida por la explosión, que sale por el panel de venteo, es muy rápida, alcanzando los 6 m (4 fuera del silo) en 250 ms.

Agradecimientos

Los trabajos se han realizado gracias a los siguientes proyectos de investigación:

Proyecto AGL2012-39994-C03-01 del Plan Nacional Español de I+D+i del Ministerio de Economía y Competitividad y Proyecto de la Convocatoria de Ayudas a Proyectos Competitivos de la Universidad de León del año 2015.

Bibliografía

Blair, A. S. 2007. Dust explosion incidents and regulations in the United States, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 20: 523–529.

Eckhoff, R. K. 2003. *Dust Explosions in the Process Industries*. Boston: Gulf Professional Publishing/Elsevier.

Castellanos, D., T. Skjold, K. van Wingerden, R. K. Eckhoff and M. S. Mannan. 2013. Validation of the DESC code in simulating the effects of vent ducts on dust explosions. *Industrial and Engineering Chemical Research* 52: 6057–6067.

EN 14034-1. 2004. *Determination of explosion characteristics of dust clouds, part 1, determination of the maximum explosion pressure p_{max} of dust clouds*. Brussels: European Committee for Standardization,

Gexcon. 2015. *FLACS v10.4 User's manual*. Bergen, Norway.

Launder, B. E. and D. B. Spalding. 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 3: 269–289

Skjold, T. 2007. Review of the DESC project. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 20: 291–302.

Skjold, T., K. van Wingerden, O. R. Hansen and R. K. Eckhoff. 2008. Modelling of vented dust explosions: Empirical foundation and prospects for future validation of CFD codes. In *Proceedings of the Hazards XX IChemE Symposium*, 838–850. 15-17 April, Manchester.

Tascón, A. and P. J. Aguado. 2015. CFD simulations to study parameters affecting dust explosion venting in silos. *Powder Technology* 272: 132–141.

Tascón, A., Á. Ramírez-Gómez and P. J. Aguado. 2016. Dust explosions in an experimental test silo: Influence of length/diameter ratio on vent area sizes. *Biosystems Engineering* 148: 18–33.

Calibración de un modelo de simulación del comportamiento estructural de elementos lineales de hormigón pretensado

Santiago Laserna[1] , Mª Teresa Calero[1] , Elena Alcázar[1] , Jesús Montero[1]

[1] Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario, s/n, 02071, Albacete. España. santiago.laserna@uclm.es, jesus.montero@uclm.es.

Resumen

El presente trabajo aborda el desarrollo de un modelo de simulación del comportamiento estructural de elementos lineales de hormigón pretensado mediante técnicas de elementos finitos (MEF), con el objetivo de reproducir las características a flexión de cualquier elemento estructural, pudiendo acometer una doble optimización en cuanto al diseño y al comportamiento resistente de los elementos. Para ello, se ha realizado un análisis experimental mediante ensayos a flexión sobre elementos reales de diferentes tipologías (viguetas pretensadas simples y con sección tubular) a la vez que paralelamente se reproduce la respuesta de dichos elementos mediante simulación por MEF, hasta calibrar el modelo a la respuesta real. Para la simulación de los elementos se ha utilizado la herramienta ATENA, de Červenka Consulting (República Checa), especialmente diseñada para la simulación de elementos de hormigón por métodos no lineales. El modelo es calibrado a partir de una serie de ensayos experimentales realizados mediante un pórtico autoportante de flexión de 500 kN de capacidad de carga. Los resultados de simulación muestran cómo el modelo calibrado presenta una respuesta que reproduce de forma muy ajustada la respuesta real de los elementos ensayados, consiguiendo errores medios del 6% tras comparar los momentos últimos resistentes medidos con los simulados. Además, las simulaciones sugieren que los niveles óptimos resistentes de los elementos analizados necesitan controlar las pérdidas de pretensado en el proceso de fabricación. De este modo, cuando se consiguen el nivel de pérdidas de pretensado acorde a las pérdidas teóricas estimadas, el nivel real resistente de los elementos puede incrementarse entre un 20-30% respecto al actual.

Palabras clave: Elementos Finitos, software ATENA, flexión

Calibration of a simulation model to predict the flexural capacity of pre-stressed concrete beams

Abstract

This work approaches the adaptation of a simulation model to the lineal structural elements behavior made of pre-stressed concrete, using the finite element method (MEF). Thus, the main objective was to calibrate the model in order to predict the flexural capacity of any other structural elements, and therefore, the achievement of a double optimization in the design and in the strength behavior. To do so, diverse flexural experiments have been conducted for several concrete elements with different typologies (Prestressed joist and tubular prestressed joist). Simultaneously, the same structural elements were analyzed by MEF simulation up to obtain the calibration of the model to the experimental results. The MEF analysis have been performed using ATENA software of Červenka Consulting (Chez Republic), specific software designed to analyze structural concrete elements by non-linear methods. The model was calibrated using the results obtained in the flexural experiments by a loading frame of 500kN capacity. The results of the calibrated model show very similar results to the obtained ones by the loading experiments with an error average of a 6% in the analysis-experiment comparison. As a conclusion, the simulation suggests that getting the optimum strength levels requires the control of prestressing losses in the manufacturing process of the joist. Furthermore, the analysis shows how the flexural capacity of any analyzed element can be increased up to 20-30% when the real prestressing losses are fitted to the theoretical estimated ones.

Keywords: Finite Element, ATENA software, flexural capacity

1. Introducción

El modelado mediante el Método de Elementos Finitos (MEF) supone un avance fundamental para la ayuda en el diseño de elementos complejos, ya que permite el análisis de los diferentes diseños de un elemento previamente a su fabricación, obteniendo resultados de comportamiento muy próximos a los que tendrá el elemento real a construir. Con estas técnicas ampliamente difundidas en muchos sectores, se agilizan los procesos de diseño, optimización y producción de cualquier elemento, lo que permite disponer de un producto final en menor tiempo, con el correspondiente ahorro económico para el fabricante.

En el campo del hormigón estructural, las teorías clásicas de análisis junto con la experiencia, han sido suficientes durante mucho tiempo para dar solución a elementos constructivos sencillos. Sin embargo, con el desarrollo tecnológico y social han aparecido nuevos problemas constructivos sobre los cuales las teorías clásicas no encuentran una respuesta fiable, de manera que múltiples autores plantean la utilización del MEF para buscar una solución práctica. Así, la aplicación del método de los elementos finitos al modelado del comportamiento del hormigón armado ha sido, y sigue siendo, muy estudiado por múltiples autores. Una excelente revisión bibliográfica sobre la aplicación del MEF para el análisis lineal y no lineal de estructuras de hormigón armado fue realizada por la American Society of Civil Engineers (ASCE) (Nilson, 1972; Meyer y Okamura, 1985; Isenberg, 1991).

En la actualidad aparecen herramientas de cálculo en cuyo funcionamiento integran los principales modelos, y los esfuerzos pasan por constatar la funcionalidad de esta implementación comparando los análisis con experiencias reales. Una revisión sobre múltiples modelos de daño y su implementación en programas de simulación numérica por MEF se puede encontrar en Herrera (2011). De este modo aparecen herramientas como ANSYS, ABAQUS o SOLIDWORKS, que cuentan con elementos finitos y modelos constitutivos adaptados en mayor o menor medida a reproducir el comportamiento del hormigón armado. Sin embargo, de forma general, los modelos de materiales en las herramientas de cálculo por elementos finitos implementan los modelos constitutivos de materiales con carácter genérico. Por tanto, para su utilización se debe dar valor a los diferentes parámetros que gobiernan las ecuaciones acorde a las propiedades del hormigón a modelar. Esto supone calibrar el modelo partiendo de cero en sus diferentes estados de comportamiento, de manera que en ocasiones es necesario configurar curvas complejas con cierta incertidumbre que dificultan la adaptación del material al resultado final, ya que no siempre se tiene el conocimiento para ello.

Ante esta problemática, aparecen otras herramientas específicamente diseñadas para el modelado de elementos de hormigón. Tal es el caso de la herramienta comercial ATENA, desarrollada por Červenka Consulting (República Checa), y diseñada como un software de cálculo mediante el método de elementos finitos específico para el análisis no lineal del hormigón armado, la cual utiliza modelos constitutivos que permiten autocompletar los valores basándose en la resistencia a compresión deseada, y a partir del cual se cumplimentan el resto de valores establecidos en las características descritas en el Eurocodigo 2 (2004). Así, la herramienta ATENA permite simular el comportamiento real de hormigón convencional y estructuras de hormigón armado de manera sencilla, incluyendo parámetros tan importantes como la fisuración del hormigón, el aplastamiento y el esfuerzo de las armaduras.

El objetivo del presente trabajo es el de desarrollar un modelo de simulación por Elementos Finitos utilizando la herramienta ATENA (de Červenka Consulting), que permita simular el comportamiento de diferentes elementos estructurales lineales de hormigón pretensado, comparando los resultados de la simulación con los de ensayos experimentales realizados. Este modelo, una vez contrastado y calibrado, puede servir como herramienta para diseñar, calcular y fabricar nuevos elementos estructurales de tipología más compleja.

2. Metodología

2.1. Elementos estructurales estudiados

Se han utilizado diferentes elementos lineales de hormigón pretensado: viguetas autorresistentes T13 y T18, y vigas tubulares TB35 (figura 1) con diferentes cuantías de armado. Estos elementos se fabricaron con hormigón HP-40 (f_{ck} 40 N/mm^2) y armadura activa de acero Y1860C (f_{yk} 1667 N/mm^2). Los diámetros de los alambres eran de 4 mm en el caso de las viguetas T13 y T18, y 5 mm para las vigas TB35, con una fuerza de pretensado inicial de 1275 N/mm^2.

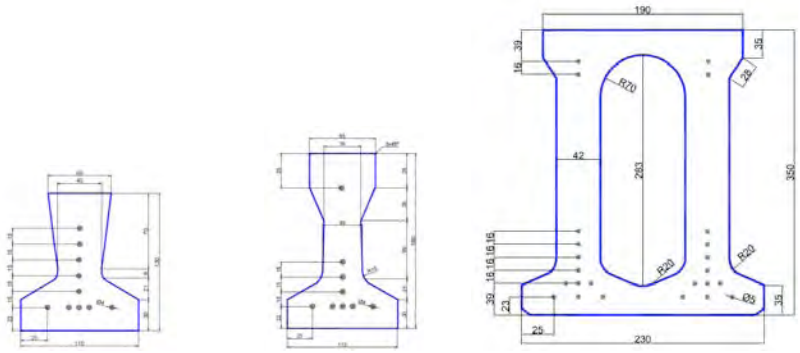


Figura 1. *Características geométricas de las vigas analizadas*

Se han utilizado tanto elementos débilmente armados y baja sección (T13 y T18), como elementos de mayor resistencia (TB35) donde la sección y el armado le confieren mayor resistencia a la flexión. Así, en vigas con una baja cuantía de armado la resistencia así como la capacidad rotacional viene principalmente determinada por la capacidad resistente elástica de las armaduras y su elongación crítica hasta la ruptura. En las vigas con alta cuantía de armado estas propiedades están controladas por la capacidad de la sección comprimida para absorber deformaciones en compresión sin un ablandamiento significante del hormigón. En la tabla 1 aparecen las características principales de los elementos analizados tanto experimental como analíticamente.

Tabla 1. Elementos estructurales analizados y sus parámetros resistentes según las fichas técnicas del fabricante

TIPO	REPET.	LONGITUD	CUANTÍA ARMADO		PÉRDIDAS		CARACTERÍSTICAS RESISTENTES	
	(ud)	*(m)*	$A_{inferior}$ *(‰)*	$A_{superior}$ *(‰)*	$A_{inferior}$ *(%)*	$A_{superior}$ *(%)*	$M_{último}$ *(kN·m)*	$M_{fisuración}$ *(kN·m)*
T13.1	2	2,40	3,0	1,5	18,6	17,5	3,8	1,7
T13.2	3	2,40	4,5	1,5	20,3	18,5	4,6	2,3
T18.1	3	2,40	2,3	1,2	17,7	16,4	5,9	2,5
T18.3	2	2,40	4,7	1,2	21,6	16,5	9,8	5,0
T35.3	2	4,10	4,1	1,0	18,2	11,2	67,5	49,6
T35.4	3	2,03	5,1	1,0	20,3	11,2	76,1	56,8
T35.5	2	3,70	5,1	2,0	21,9	11,3	82,2	63,2
T35.6	2	3,26	6,1	1,0	22,7	10,9	86,0	66,2

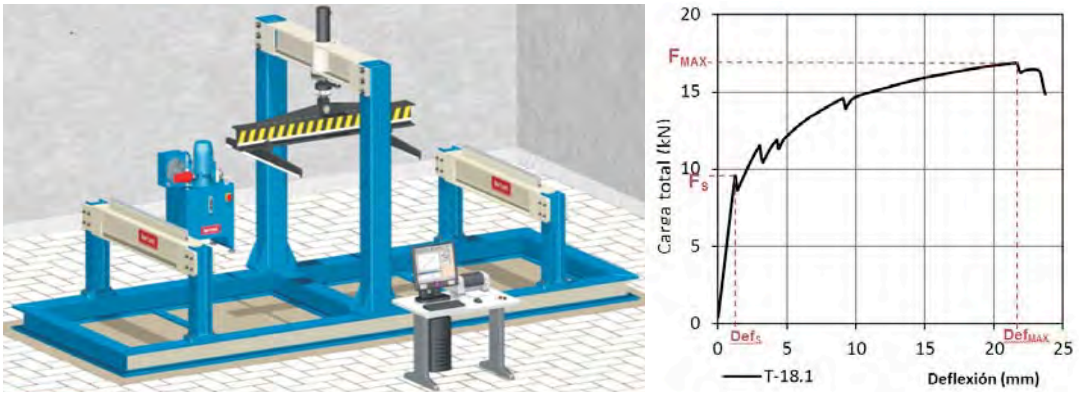
En la tabla, se denominan Pérdidas a la merma en la fuerza de pretensado final transmitida al hormigón desde la fuerza inicial de pretensado de las barras de acero que conforman la armadura (1275 N/mm^2). Las características resistentes son las correspondientes a la estimación por cálculo de dichas secciones. El subtipo en cada vigueta hace relación al nivel de armado siendo mayor conforme es mayor dicho índice.

2.2. Ensayos experimentales a flexión

Los ensayos experimentales se han realizado utilizando un pórtico autoportante (figura 1a) para ensayos de elementos a flexión, ubicado en el Laboratorio de Construcción y Geotecnia de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Albacete (UCLM). Se trata de un pórtico especialmente diseñado para realizar la caracterización mecánica a flexión de elementos prefabricados o armados de hormigón (placas alveolares, vigas, viguetas…).

Para la realización de los ensayos experimentales, se han considerado las recomendaciones publicadas por el Instituto Eduardo Torroja, y extrapolando lo indicado por la norma UNE-EN 12390-4 para determinar la resistencia a flexión en probetas de hormigón. Se realizan 2-3 repeticiones de cada tipo de elemento ensayado en función de los elementos suministrados.

En estos ensayos se registran las lecturas correspondientes de Carga y Desplazamiento del punto central que permiten configurar el diagrama hasta su rotura. Además, se caracterizan las fisuras obtenidas por video de alta resolución, y posteriormente se realiza el mapa de fisuración para compararlo con el obtenido en la simulación. La fuerza se obtiene mediante célula de carga de 500 kN ubicada en el pistón de carga. Por su parte, la deformación se obtiene con un deformímetro LVDT de 0,01 mm de precisión. Las medidas registradas se representan en un diagrama FUERZA - DEFORMACIÓN para poder ser comparados con los ensayos analíticos (figura 2b). A partir de estos diagramas, se determinan: la FUERZA DE FISURACIÓN (F_S): carga que soporta el elemento en el instante en el que aparece la primera fisura, a partir del cual hormigón y acero comienzan a trabajar juntos; la FUERZA DE ROTURA (F_{MAX}): carga máxima capaz de soportar el elemento antes de producirse la rotura total; la DEFORMACIÓN DE FISURACIÓN (DEF_S) y DEFORMACIÓN DE ROTURA (DEF_{MAX}): valores de deformación medidos en la viga en el momento de producirse la primera fisura o la rotura de la viga, respectivamente.



(a) (b)

Figura 2. Pórtico autoportante para ensayos de flexión en elementos lineales de hormigón (a) y ejemplo de gráfica Fuerza vs. Deformación con sus valores característicos (b).

2.3. Modelización por Elementos Finitos

Para realizar los modelos analíticos de los elementos anteriormente descritos, se ha utilizado la herramienta ATENA Science v4, de Cervenka Consulting (República Checa). Dicha aplicación es utilizada para realizar el análisis y el postprocesado de los resultados. La herramienta está desarrollada en entorno GID de CIMNE (Universidad Politécnica de Cataluña), de la cual se sirve para realizar la geometría del modelo, y aplicar sus propios modelos constitutivos y condiciones de contorno. Con ello, las principales características del modelo utilizado son las siguientes:

2.3.1. Materiales

- **HORMIGÓN.** Se utiliza el modelo constitutivo especifico de hormigón *CC3DNonLinCementitious2*, que reproduce el comportamiento no lineal del hormigón asumiendo un régimen de endurecimiento previo a que la tensión de compresión sea alcanzada, y que está basado en los mecanismos de fallo de Fractura Plástica combinando modelos constitutivos para comportamiento de tracción y compresión. La configuración de los parámetros del modelo se realiza en función de las clases resistentes correspondientes en la experimentación, de entre las descritas en el Eurocódigo 2 para la resistencia a compresión real de los elementos.
- **ARMADURA.** El modelo de refuerzo utilizado es *1DCCreinforcement*, el cual sigue la aproximación de armadura embebida y el modelo de adherencia descrito en Jendele y Cervenka (2006). Este modelo se aplica a elementos línea que cruzan los elementos finitos de carácter volumétrico correspondientes al hormigón. Así, la definición del elemento para cada armadura se describe por los parámetros básicos de diámetro de barra (∅), resistencia del acero (f_{yd}) y módulo de elasticidad (E) entre otros que definen su comportamiento como es el tipo de barra (corrugada o cable) o las condiciones de adherencia de la misma.
- **ACERO EN ELEMENTOS AUXILIARES**. En los puntos de aplicación de la carga se simulan pequeños elementos metálicos que eviten la concentración de los esfuerzos sobre un nodo del elemento. Estos elementos sin interés analítico son modelados mediante un modelo material elástico-lineal con un módulo de elasticidad de 210.000 MPa.

Así, el Hormigón corresponde a una tipología C45-55 acorde a las propiedades resistentes del Eurocódigo 2, mientras que el acero corresponde a un acero tipo Y1860C.

2.3.2. Geometria

Cada viga de hormigón se reproduce mediante elementos sólidos, que posteriormente son mallados mediante elementos hexaedro, con un tamaño de elemento aproximado de 20-30 mm. Por su parte, los refuerzos son modelados mediante elementos línea mallados en un solo elemento de principio a fin. Como condicionantes de contorno se utilizan restricciones convencionales aplicadas en el análisis de elementos finitos. En este caso se aplica una restricción al desplazamiento en el apoyo, restricción de simetría en el centro de vano (para hormigón y refuerzos) y condiciones de contacto entre los elementos auxiliares de acero y el volumen de hormigón.

2.3.3. Configuración del análisis

La simulación se configura para obtener el patrón completo de Carga-Desplazamiento incluso tras alcanzar la plastificación de las armaduras o el ablandamiento del hormigón, y poder caracterizar así el comportamiento de la viga para ser comparado con el obtenido en el análisis experimental. De este modo, la simulación se configura mediante una deformación prescrita en los puntos de aplicación de la carga, lo que permite simular un ensayo con control de desplazamiento.

Para simular las pérdidas de pretensado del modelo, se ha utilizado un paso previo a la carga en el cual se aplica una contracción volumétrica como condición de contorno a cada refuerzo, de manera que dependiendo de la sección del mismo se determina el valor de la contracción en función de su módulo de elasticidad.

Esta situación de control por deformación prescrita permite utilizar el método clásico de resolución de Newton-Raphson, y obtener la solución completa del comportamiento del elemento analizado, incluso tras alcanzar su resistencia máxima. Para la obtención de los esfuerzos y desplazamientos, la herramienta ATENA utiliza Puntos de Monitoreo que recogen la información correspondiente a la información deseada. Así, se configuran dos puntos de monitoreo, uno para la reacción en el punto de aplicación de la carga y otro para la determinación de la deformación.

Una mayor descripción de la herramienta Atena aparece en Cervenka et al (2014) y en Laserna (2015).

2.3.4. Calibración de los modelos

La calibración se realiza con dos elementos principales que intentan abordar las dos situaciones más extremas de rotura de un elemento: (a) una situación débilmente armada donde se espera una rotura por tracción de las armaduras (vigueta T18-1) y, (b) un elemento con alta cuantía de armado, donde la rotura se produce por agotamiento del hormigón(viga TB35.5).

Los parámetros sobre los que se ha actuado en la calibración han sido los siguientes:

• *Compressive strength (f_c).* El valor resistencia a compresión inicial no ha sido modificado en los ensayos, ya que para la calibración del modelo se han utilizado los valores reales determinados en el control de calidad de la empresa mediante los correspondientes ensayos de resistencia a compresión del hormigón.

• *Módulo Elástico inicial (E_c).* Además del parámetro anterior, la respuesta del modelo necesita una pequeña calibración de la parte primera de la curva, que es controlada por el Módulo de Elasticidad del hormigón y del cual no se disponen datos reales para su introducción en el modelo. Así, se analizan los escalones de 28000, 32000 y 36000 N/mm^2.

• *Tensile Strength (f_t)* y *Energy Fracture (G_f).* Estas características del hormigón influyen en la resistencia a tracción de los elementos. Los escalones de resistencia a tracción analizados han sido 2,8, 3,5 y 4,2 Mpa. Por su parte los valores analizados para la energía de fractura han sido 7,0, 9,5 y 13,0 GPa.

• *Pérdidas de pretensado (P_p).* La pérdida de la fuerza inicial del pretensado según el cálculo teórico da como resultados simulaciones con resistencia superior a la resistencia real, tanto en elementos muy armados como débilmente armados. Así, se procede a analizar las pérdidas de pretensado aplicando cinco escalones: 0% (sin pérdidas) 25%, 35%, 45% y 55%.

• *Fuerza de Adherencia (F_a).* Además de la respuesta de la curva, un factor que determina la rotura de los elementos es la fuerza de adherencia de las armaduras al hormigón. Ante la dificultad de determinar este parámetro de forma experimental, de igual forma que para el caso anterior, se realiza la simulación de este factor mediante el cambio de variables con los valores de 4, 8 y 12 MPa.

3. Resultados y Discusión

A continuación se resumen los resultados obtenidos en este estudio. Un mayor detalle aparece en Calero (2016).

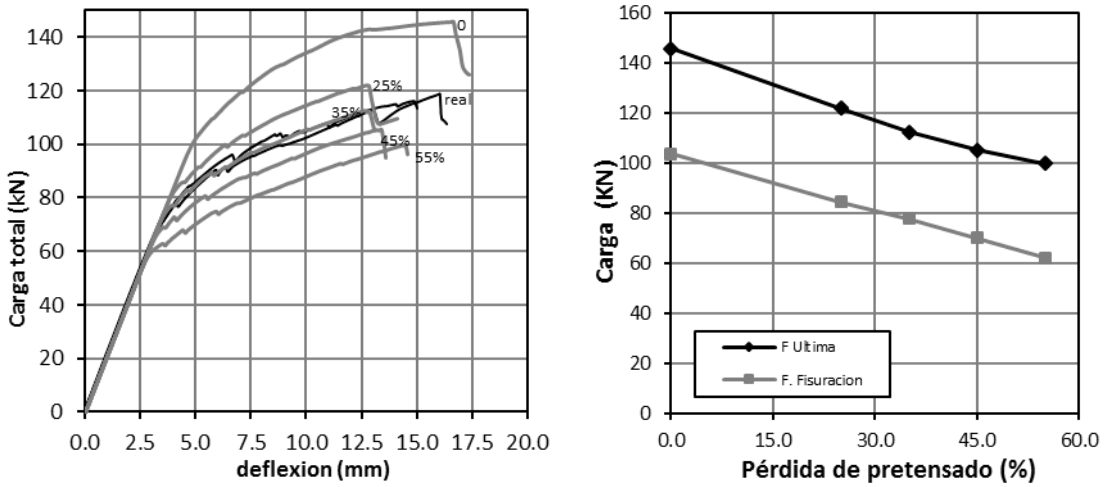
3.1 Calibración

Tras realizar diferentes análisis de calibración, los parámetros más importantes para el ajuste del modelo a flexión han sido: nivel de pretensado, módulo de elasticidad del hormigón y fuerza de adherencia. A continuación, se describen los resultados más destacados para cada uno de ellos.

- Nivel de pérdida de pretensado.

Los resultados de la simulación muestran como el nivel de pérdidas de pretensado que mejor reproduce la respuesta obtenida en los ensayos experimentales es el nivel de 35%, de manera que, es necesario aplicar un mayor nivel de pérdidas que el considerado en las fichas técnicas. Así, en el caso de la viga TB35-5 (figura 3a) se pasa de un 21,9% estimado de forma teórica a un 35% (+12%), mientras que en la T18-1 el incremento aumenta desde un 17,7% teórico a un 35% en simulación (+13,3%). Además, tal y como se muestra en la figura 3b, las pérdidas de carga mantienen una correlación lineal con los niveles de Fuerza tanto Última como de Fisuración que alcanza el elemento

analizado. Por tanto, se evidencia cómo dicho factor es el parámetro fundamental que gobierna la resistencia de los elementos.



(a) (b)

Figura 3. Diagramas Carga-Deformación simulados para diferentes niveles de pretensado en la viga TB35.5 (a) y evolución de Fuerza de Fisuración y Fuerza Última con las pérdidas de pretensado (b)

Este aspecto pone de manifiesto que la fabricación de los elementos analizados consigue un nivel de pérdidas de pretensado mayor al estimado por determinación teórica, de manera que, si se consiguiesen limitar dichas pérdidas en los productos finales mediante la optimización del proceso, los elementos incrementarían su resistencia sin coste adicional para la empresa.

- Módulo de Elasticidad.

Los resultados de calibración de los modelos muestran como la variación de este parámetro no varía el nivel resistente final del mismo, controlando fundamentalmente la primera parte de la curva. Así, la simulación obtiene que el valor de Módulo de Elasticidad que mejor se ajusta al ensayo experimental es 32000 N/mm^2 para ambos tipos de viga (T18.1 y TB35-5).

- Fuerza de Adherencia.

Además de la respuesta de la curva, se ha calibrado la fuerza de adherencia entre las armaduras y el hormigón para controlar el patrón de fisuras del modelo. De este modo, el valor óptimo de adherencia que mejor se adapta a los patrones de fisuras de los ensayos experimentales ha sido 12 MPa (figura 4). Se trata de un valor próximo al valor por defecto que genera la herramienta para una barra de acero corrugada (13,4 MPa), distando en gran proporción del valor generado para alambres en frío (0,6 MPa) y de barras enrolladas en caliente (2,0 MPa), por lo que lo más aconsejable para este tipo de piezas es utilizar el modelo configurado para tipo “Ribed Reinforcement” para generar el modelo de adherencia.

La resistencia a tracción y la Energía de fractura no han resultado significativamente determinantes en la respuesta del modelo a los ensayos a flexión analizados, por lo que se ha optado por dejar los valores por defecto. Respecto a la resistencia a compresión, no se han realizado modificaciones ya que se han utilizado los valores correspondientes a los ensayos de control de calidad disponibles por la empresa en probetas a compresión.

De este modo, los valores de calibración del modelo que mejor reproduce la respuesta estructural experimental, y que se han utilizado para simular el resto de elementos lineales pretensados, se recogen en la tabla 2.

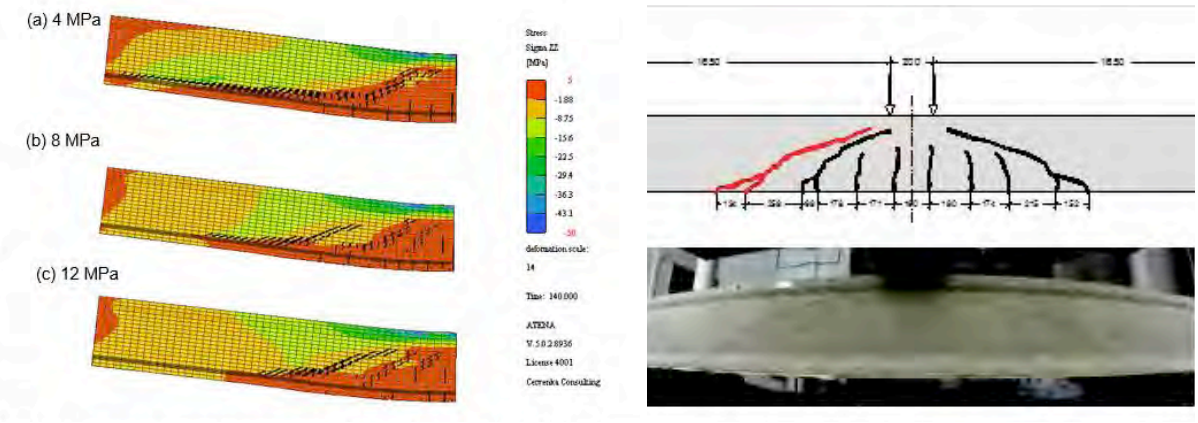


Figura 4. Distribución de fisuras en la simulación con diferentes niveles de fuerza de adherencia (a) y obtenido en el ensayo experimental (b) para la viga T35.5. En rojo se muestra la fisura de rotura.

Tabla 2. Valores finales de la calibración del modelo en ATENA para simular los elementos pretensados.

Parámetro	Valor de calibración	Parámetro	Valor de calibración
Resistencia a compresión f_c.-	48 MPa	Energía de Fractura Gf.	9,5 GPa
Módulo elástico inicial Ec.-	32000 MPa	Pérdidas de pretensado Pp	35%
Resistencia a tracción ft.-	3,5 MPa	Fuerza de Adherencia Fa	12 MPa

3.2. Resultados de la simulación de los elementos con los parámetros resultantes de la calibración y comparación con los ensayos experimentales

Una vez realizada la calibración de los modelos, se simulan todas las piezas ensayadas experimentalmente para poder comparar el grado de ajuste global que se ha obtenido tras este ajuste. Puesto que el objetivo de este estudio es determinar la capacidad del modelo para reproducir fielmente el MOMENTO DE FISURACIÓN y el MOMENTO ÚLTIMO a flexión de los elementos de hormigón pretensado, a continuación, se procede a comparar el grado de ajuste de estos parámetros entre la simulación y el ensayo experimental. En la tabla 3 se resumen ambos valores para cada elemento, así como su grado de ajuste, calculando las diferencias tanto en valor absoluto como en porcentaje respecto al valor experimental.

Así, se observa como el resultado global de la comparativa simulación-experimento arroja errores que oscilan entre un 0,24% hasta un 15%, tanto en fisuración como en resistencia última, pudiendo concluir que de forma global se obtiene un grado de ajuste aceptable, con diferencias medias entre un 6-7%. Además, la comparativa global de los resultados muestra como el ajuste es muy bueno en casi todo el recorrido de la curva Carga-Deformación. Se puede concluir que las curvas Carga-Deformación que se obtiene en las simulaciones a flexión se ajustan bastante bien en todo su recorrido a los resultados experimentales. Sin embargo, existen ligeras diferencias en algunos elementos que merece la pena analizar para comprender el potencial del modelo. Así, a continuación, se recogen las principales observaciones a las simulaciones realizadas, haciendo hincapié en las mayores diferencias respecto a la resistencia última de los elementos.

Tabla 3. Comparativa de los principales resultados a flexión, Momento de Fisuración y Momento Último, obtenidos experimentalmente y en la simulación.

Elemento	Momento de Fisuración (kN·m)				Momento Último (kN·m)			
	Exper.	Simul.	diferencia	(%)	Exper.	Simul.	diferencia	(%)
T13-1	2,60	2,99	0,39	15,00	5,30	5,19	-0,11	-2,08
T13-2	3,43	3,60	0,17	4,96	6,53	6,49	-0,04	-0,61
T18-1	4,51	4,25	-0,26	-5,76	8,15	7,14	-1,01	-12,39
T18-3	6,46	6,27	-0,19	-2,94	12,64	12,67	0,03	0,24
Global viguetas				**7,17**				**3,83**
TB35-3	37,60	36,14	-1,46	-3,88	66,45	58,55	-7,90	-11,89
TB35-4	43,78	50,12	6,34	14,48	71,57	73,88	2,31	3,23
TB35-5	63,65	61,20	-2,45	-3,85	96,45	92,70	-3,75	-3,89
TB35-6	65,58	63,72	-1,86	-2,84	113,10	98,56	-14,54	-12,86
Global Vigas tubulares				**6,26**				**7,97**
Media total				**6,71**				**5,90**

Respecto a los valores individuales conseguidos de Momento de Máximo, se observa como la totalidad de las simulaciones dan un resultado similar o ligeramente inferior al obtenido de forma experimental, por lo que en caso de error nos pone del lado de la seguridad. Esto confirma que la herramienta ATENA puede ser perfectamente utilizada para estimar la resistencia máxima de los diferentes elementos.

La explicación a los errores mayores al 10% obtenidos por los elementos T18-1, TB35-3 y TB35-6 puede ser la siguiente:

- **Viga T18-1.-** Se trata de un elemento de una resistencia muy débil, con una diferencia en valor absoluto entre simulación y experimento de 1 kN·m. Esta diferencia no es especialmente significativa, y pone de manifiesto la sensibilidad en cuanto a los parámetros medios considerados en la calibración. El error respecto al momento de fisuración ha sido del 5,8%.
- **Viga tubular TB35-3 y TB35-6.-** En este caso, se trata de elementos más resistentes, donde las diferencias obtenidas en la Carga máxima han sido de -10 y -17 kN, respectivamente. Analizando el ajuste global que presenta la curva Carga-Deformación de cada pareja de elementos, se comprueba como la curva que reproduce la simulación presenta un alto grado de ajuste en todo su recorrido a la respuesta experimental; en el punto de deformación donde la simulación obtiene la rotura es similar al experimental.

  Esta característica hace pensar que, debido a que la simulación comienza con una buena respuesta que reproduce el comportamiento de la viga, sea necesario la calibración de un parámetro adicional que permita conseguir ajustar la curva en este último tramo previo a la rotura. Analizando el modo de rotura, donde se observa como la rotura de las vigas en los ensayos experimentales se obtiene por la aparición de una fisura determinante oblicua y ubicada entre el punto de aplicación de la carga y el apoyo, hace pensar que pueda ser necesario realizar una calibración de los parámetros de control del hormigón que gobiernan el comportamiento a cortante, para otorgarle una mayor resistencia a este factor, y que en este estudio de optimización de elementos a flexión no ha sido abordado.

Aun así, debido al buen ajuste de las curva obtenidas por la simulación en todo su recorrido hasta la rotura y a que los valores quedan del lado de la seguridad en cuanto al valor máximo realmente

obtenido por los elementos, se puede considerar que el modelo reproduce con bastante precisión el comportamiento de todos los elementos ensayados.

4. Conclusiones

Como conclusión principal a este estudio se obtiene que, tras la consecución de diferentes análisis experimentales y simulaciones numéricas de los mismos elementos, es posible reproducir la respuesta a flexión de los elementos fabricados por la empresa interesada mediante la herramienta ATENA. Así, se consigue un buen grado de ajuste entre la respuesta experimental y la simulación en cuanto a Momento de Fisuración y Momento flector último con un error medio alrededor del 6-7%.

Así, para adecuar la respuesta de la simulación a la respuesta real obtenida en los ensayos experimentales a flexión, ha sido necesario calibrar determinados parámetros del modelo constitutivo de hormigón, siendo los más influyentes las pérdidas del pretensado, el módulo de elasticidad y la fuerza de adherencia, siendo menos determinantes la resistencia a tracción y la energía de fractura.

Como aspecto muy destacable extraído de los resultados de las diferentes simulaciones numéricas realizadas se obtiene que, es necesario aplicar unas pérdidas a las fuerzas iniciales de pretensado de un 35% para adecuar el modelo a la respuesta resistente real. Así pues, la aplicación del modelo induce que los elementos que actualmente se fabrican consiguen un valor de pérdidas de pretensado muy superiores a las que teóricamente se deberían obtener por cálculo (15-20%), de manera que los elementos resultantes se encuentran en un escalón inferior de resistencia respecto al potencial que podrían conseguir si se llegase a controlar este factor.

Bibliografía

Calero, M.T. 2016. Desarrollo de un modelo de simulación del comportamiento estructural de elementos de hormigón pretensado mediante técnicas de Elementos Finitos. Trabajo Fin de Master. Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España.

Červenka, V., L. Jendele and J. Červenka. 2014. ATENA Program Documentation. Part 1. Theory. Červenka Consulting. http://www.cervenka.cz/assets/files/atena-pdf/ATENA_Theory.pdf

Eurocode 2. 2004. Design of Concrete Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings (EN 1992-1-1); European Committe for Standarization (CEN): Brussels, Belgium.

Herrera, L.A. 2011. *Modelación Numérica del Concreto Simple con Elementos Finitos Usando un Modelo Constitutivo de Daño*. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá, D.C, Universidad Nacional de Colombia.

Isenberg, J. 1991. *Finite element analysis of reinforced concrete structures*. II Committee on Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures, American Society of Civil Engineers.

Jendele, L. and J. Červenka. 2006. *Computers & Structures* 84(28):1780-1791.

Laserna, S. 2015. Avances en el comportamiento del hormigón reciclado: fabricación, propiedades mecánicas y simulación numérica. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla- La Mancha, Albacete, España.

Meyer, C. and H. Okamura. 1985. Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures. *Proceedings of the US-Japan Joint Seminar on Finite Element Analysis of Reinforced Concrete*, Tokyo, Japan.

Nilson, A.H. 1982. *Finite element analysis of reinforced concrete*. American Society of Civil Engineers, Committee on Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures.

Determinación de las propiedades mecánicas del castaño extremeño mediante medición de la velocidad de propagación de onda de ultrasonidos

José R. Villar[1], Jorge Crespo[2], Manuel Moya[3], Manuel Guaita[4]

[1,3] Grupo de Investigación Forestal, Dpto. Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal. Centro Universitario de Plasencia, Universidad de Extremadura, Avda. Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia, Cáceres, España. jrvillar@unex.es, manuelmi@unex.es

[2] Plataforma de Ingeniería de la Madera Estructural - PEMADE, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, C/ Benigno Ledo s/n, 27002 Lugo, España. jorge.crespo@usc.es

[4] Dpto. Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, C/ Benigno Ledo s/n, 27002 Lugo, España. m.guaita@usc.es

Resumen

La obtención de las constantes elásticas de un material permite conocer su matriz de flexibilidad, de tal manera que el material queda totalmente definido a efectos elásticos. En este trabajo se determinaron las constantes elásticas del castaño (Castanea sativa Mill.) cacereño, provincia donde se concentra su producción en Extremadura, a través de la medida de la velocidad de propagación de ondas de ultrasonidos.

La determinación de todas las constantes elásticas para cada muestra se realizó empleando una única probeta. Para ello resulta necesario tallar la misma con una forma poliédrica, de tal forma que se permita la propagación de los ultrasonidos en las orientaciones que determina la ortotropía de la madera para la obtención de dichas constantes en cada dirección, de otro modo habría que obtener 6 probetas con cada una de las direcciones.

Se compararon los valores obtenidos con los del castaño español de otras procedencias, apreciándose que los valores fueron similares, los módulos de elasticidad longitudinal y de elasticidad transversal resultaron superiores, mientras que los coeficientes de Poisson se mantuvieron en el mismo orden. Esto indica que se trata de una madera ligeramente más rígida. De las comparativas se puede concluir que el castaño cacereño, y por extensión el extremeño, es un excelente material, debiendo recuperarse y potenciarse su uso estructural.

Palabras clave: madera estructural, constantes elásticas, ortotropía, Castanea sativa

Determination of the mechanical properties of Extremadura chestnut wood by measuring the propagation velocity of ultrasonic waves

Abstract

The obtaining of the elastic constants of a material allows knowing its stiffness matrix, in such a way that the material is totally defined to elastic effects. In this work the elastic constants of the Caceres chestnut wood (Castanea sativa Mill.), province where its production in Extremadura is concentrated, by means of the measurement of the propagation speed of ultrasound waves.

The determination of all elastic constants for each sample was performed by using a single specimen. For this, it is necessary to carve this one with a polyhedral shape. It must be done in such a way that the ultrasound propagation is allowed in the orientations determined by the orthotropic wood for obtaining these constants in each direction. Otherwise, six specimens would have to be obtained for each of the directions.

The values obtained were compared with those reported for Spanish chestnut from other places. The values were similar, the longitudinal modulus of elasticity and the transverse modulus of elasticity were higher, whereas the Poisson's coefficients were maintained in the same order. This indicates that it is a slightly more rigid wood. From the comparatives, it can be concluded that the Caceres chestnut wood, and by extension the Extremadura chestnut wood, is an excellent material. Therefore, its structural use should be recovered and enhanced.

Keywords: structural timber, elastic constants, orthotropic, Castanea sativa

1. Introducción

Este trabajo se ha centrado en el estudio de las propiedades mecánicas del castaño (Castanea sativa Mill.), con procedencia del norte de la provincia de Cáceres, de interés tanto por su uso en construcción tradicional como por su potencial uso estructural moderno, así como por su representatividad en la región, además, resulta ser una madera aún poco conocida en cuanto a sus propiedades mecánicas.

La determinación de las propiedades mecánicas se realizó mediante la determinación de las constantes elásticas del material a través de una metodología recientemente aplicada en la madera estructural, como es la medida de la velocidad de propagación de ultrasonidos (Bucur, 2006 ; Goncalves et al., 2011; Majano-Majano et al., 2012; Kohlhauser y Hellmich, 2012; Goncalves et al., 2014) pues constituyen un procedimiento al que se está tendiendo en la actualidad como ensayo no destructivo (Vázquez et al., 2014).

La obtención de las constantes elásticas de un material permite conocer su matriz de rigidez y flexibilidad, de tal manera que el material queda totalmente definido a efectos elásticos lo que permite conocer su comportamiento ante cargas externas. Esto constituye el fundamento del comportamiento del material y dota de capacidad al mismo para su empleo en programas de cálculo por el Método de Elementos Finitos (MEF) Argüelles (1992), que permiten reproducir cualquier situación de carga del material, desde el dimensionado de barras hasta la comprobación de elementos singulares como las uniones en madera, punto crucial en el cálculo de estas estructuras.

La madera es un material ortótropo, hablamos de materiales ortótropos como aquellos que presentan tres planos de simetría elástica perpendiculares entre sí. La diferenciación de estos tres planos se deriva de la constitución anatómica de la madera. Mientras que en los cuerpos isótropos las tres constantes elásticas, módulo de elasticidad longitudinal *E*, módulo de elasticidad transversal *G*, y coeficiente de Poisson *υ*, definen las relaciones entre las tensiones y deformaciones unitarias, en los cuerpos ortótropos se necesita conocer doce constantes elásticas: tres módulos de elasticidad longitudinal, tres módulos de elasticidad transversal y seis coeficientes de Poisson (Argüelles et al., 2013):

E_i : módulo de elasticidad en dirección i (que podemos tomar para el caso de la madera como longitudinal L, transversal T y radial R) que relaciona la tensión σ y el alargamiento unitario ε en la dirección i.

G_{ij} : módulo de elasticidad transversal en el plano ij (RT, TL, LR) que relaciona la tensión tangencial τ_{ij} y la distorsión γ_{ij} .

υ_{ij} : coeficiente de Poisson, que deduce la deformación longitudinal unitaria ε_j que genera la tensión normal σi por la relación: $\varepsilon_j = - \upsilon_{ij} \, . \, \varepsilon_i = - \upsilon_{ij} \, . \sigma_i / E_i$

En los materiales ortótropos las ecuaciones que relacionan tensiones y alargamientos si los ejes coinciden con las direcciones principales de la ortotropía son, aplicado a las direcciones tangencial, radial y longitudinal de la madera:

$$\varepsilon_R = \frac{\sigma_R}{E_R} - \frac{\nu_{TR}}{E_T}\sigma_T - \frac{\nu_{LR}}{E_L}\sigma_L \qquad (1)$$

$$\varepsilon_T = -\frac{\nu_{RT}}{E_R}\sigma_R + \frac{\sigma_T}{E_T} - \frac{\nu_{LT}}{E_L}\sigma_L \qquad (2)$$

$$\varepsilon_L = -\frac{\nu_{RL}}{E_R}\sigma_R - \frac{\nu_{TL}}{E_T}\sigma_T + \frac{\sigma_L}{E_L} \qquad (3)$$

Las distorsiones angulares γ_{ij} se relacionan directamente con las tensiones τ_{ij} y con los módulos de elasticidad transversal G_{ij} según:

$$\gamma_{TL} = \frac{\tau_{TL}}{G_{TL}};\ \gamma_{LR} = \frac{\tau_{LR}}{G_{LR}};\ \gamma_{RT} = \frac{\tau_{RT}}{G_{RT}} \tag{4}$$

Estas ecuaciones, que se corresponden con la ley generalizada de Hooke, se pueden recoger en la ecuación matricial:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_R \\ \varepsilon_T \\ \varepsilon_L \\ \gamma_{TL} \\ \gamma_{LR} \\ \gamma_{RT} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{1}{E_R} & -\frac{\nu_{TR}}{E_T} & -\frac{\nu_{LR}}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{RT}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & -\frac{\nu_{LT}}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{RL}}{E_R} & -\frac{\nu_{TL}}{E_T} & \frac{1}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{TL}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} \end{Bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \sigma_R \\ \sigma_T \\ \sigma_L \\ \tau_{TL} \\ \tau_{LR} \\ \tau_{RT} \end{Bmatrix} \tag{5}$$

De forma resumida esta ecuación se expresa:

$$\{\varepsilon\} = [f] \cdot \{\sigma\} \tag{6}$$

Siendo *f* la matriz de flexibilidad del material, la que define su comportamiento elástico y la que se pretende conocer en este trabajo a través de las constantes elásticas indicadas.

2. Materiales y Métodos

2.1. Obtención, tallado y preparación de las muestras

Para la obtención de muestras, se ha contado con la colaboración de aserraderos del norte de Cáceres que se dedican a la transformación de madera de Castaño, Figura 1, y dentro de este marco que representasen a distintas zonas de producción para asegurar la variabilidad de la muestra. El procedimiento de obtención de muestras se basa en recortes de piezas que tenían como destino elementos estructurales para asegurar que se estaría ensayando madera destinada a construcción y que cumplan con las dimensiones y características necesarias.

Las probetas resultantes destinadas a los ensayos de laboratorio han de estar libres de defectos (fendas, nudos, etc.) y han de tener unas dimensiones mínimas que permitan obtener las probetas de ensayo del tamaño correspondiente y con la orientación adecuada de las fibras de madera, por lo que se tomaron en origen piezas cúbicas con un mínimo de 9 cm de lado.

Figura 1. Uno de los aserraderos visitados y muestras recogidas.

El primer paso para poder realizar los ensayos es el tallado y acondicionado de las muestras. La particularidad de este caso y lo que dota de una gran relevancia al trabajo es que se ha realizado la determinación de todas las constantes elásticas para cada muestra empleando una única probeta (Majano-Majano et al., 2012), para ello resulta necesario tallar la misma con una forma poliédrica, de tal forma que se permita la propagación de los ultrasonidos en las orientaciones que determina la ortotropía de la madera para la obtención de dichas constantes en cada dirección (Figuras 2 y 3), de otro modo habría que obtener 6 probetas con cada una de las direcciones (Figura 4), lo que multiplicaría los trabajos de preparación, la cantidad de madera de partida necesaria y por tanto el coste de los ensayos.

Figura 2. Tallado de muestras.

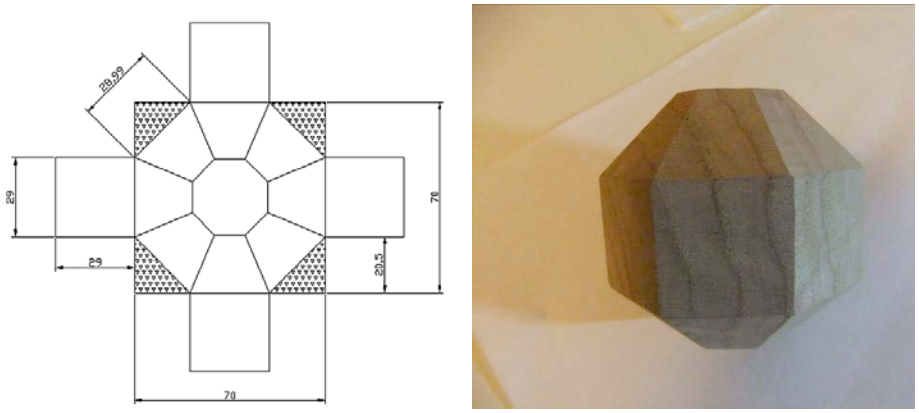


Figura 3. Probeta con forma de poliedro ya tallada. Dimensiones según Vazquez et al. (2014).

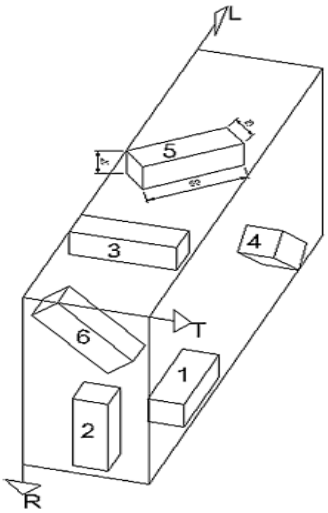


Figura 4. Múltiples probetas prismáticas en cada dirección (Tomado de Goncalves et al., 2011).

Todas las muestras fueron acondicionadas en cámara a 20º y 65% de humedad de acuerdo con la norma UNE 56528 (AENOR, 1978) que establece las condiciones de preparación de especímenes de madera para ensayos. Esto implica una pérdida de humedad de las muestras por lo que pueden ocasionarse fendas de secado que invaliden algunas de las probetas preparadas, en este caso el total final de muestras utilizables fueron 29.

2.2. Medición de la propagación de la onda de ultrasonidos

Los métodos acústicos están basados en la determinación de la velocidad de transición del sonido en el material, en este grupo se incluyen las técnicas basadas en ultrasonidos. El equipo empleado es un Olimpus EPOCH 600 DMTA10007 que consta de un módulo de hardware dotado de pantalla para lectura de datos, paneles de navegación y salidas de conexión para emisión y recepción de ultrasonidos, por otro lado consta de palpadores de contacto que permiten la emisión y recepción de las ondas en contacto directo con la pieza bajo ensayo, Figura 5.

Con el equipo indicado se mide el tiempo de propagación de la onda, con lo que, conociendo la longitud recorrida en cada dirección, la cual es medida con un calibre de precisión sobre la probeta, permite conocer la velocidad de la onda. Conocida la velocidad de propagación y a través de una serie de transformaciones, en las que intervienen la densidad y humedad de las probetas (que también fueron determinadas), se obtienen las constantes elásticas.

Figura 5. Equipo de ultrasonidos.

La lectura se realiza situando los palpadores en las direcciones pertinentes aprovechando la geometría del poliedro previamente definida según las direcciones longitudinal, radial y tangencial a las fibras de la madera, tal y como se puede apreciar en la Figura 6. Las dimensiones del poliedro fueron tales que la distancia recorrida sea superior a la longitud de onda según recomiendan Bucur

(2006) y Kohlhauser y Hellmich (2012) y sin llegar a ser excesiva para evitar la atenuación de la misma, aconsejando algunos autores entre 3 y 5 veces dicha longitud (Bucur, 2006; Trinca y Gonçalves, 2009). En este trabajo se está en el entorno de 5 veces la longitud de onda en todas las mediciones realizadas.

Figura 6. Disposición de los palpadores para las distintas lecturas.

3. Resultados y Discusión

Para cada probeta se obtiene una tabla donde se recogen, para las distintas orientaciones, los tiempos de propagación (µs), la longitud recorrida por la onda (mm), los valores de densidad y la necesaria corrección por humedad según Ozyhar et al., (2013), Tabla 1. Con las adecuadas transformaciones se obtienen los valores de las constantes elásticas y de las matrices de rigidez y flexibilidad del material para la probeta en cuestión.

Tabla 1. Ejemplo de tabla de adquisición y tratamiento de datos para una probeta.

Orientación	Largo (mm)	Tiempo (µs)	Velocidad (m/s)	Veloc. 12% (m/s)	Densidad (kg/m³)	Dens 12% (kg/m³)	Coef. Rigidez (N/mm²)	Humedad (%)
LL (11)	70.04	16.22	4318	4298	565.70	567.00	**10475**	11.54
RR (22)	68.40	27.84	2457	2446	565.70	567.00	**3391**	11.54
TT (33)	70.13	40.33	1739	1731	565.70	567.00	**1699**	11.54
RT	68.40	87.02	786	782	566	567	347	12
TR	70.13	87.53	801	798	566	567	361	12
RT(44)							354	
LT	70.04	57.44	1219	1214	566	567	835	12
TL	70.13	53.19	1318	1312	566	567	977	12
LT (55)							906	
LR	70.04	45.00	1556	1549	566	567	1361	12
RL	68.40	41.17	1661	1654	566	567	1551	12
LR (66)							1456	
LR45 (12)	68.65	41.54	1653	1645	565.70	567.00	**2514**	11.54
LT45 (13)	69.47	54.14	1283	1277	565.70	567.00	**1776**	11.54
RT45 (23)	70.89	86.62	818	815	565.70	567.00	**1619**	11.54

MATRIZ DE RIGIDEZ					
10475	2514	1776	0	0	0
2514	3391	1619	0	0	0
1776	1619	1699	0	0	0
0	0	0	354	0	0
0	0	0	0	906	0
0	0	0	0	0	1456

MATRIZ DE FLEXIBILIDAD					
1.21E-04	-5.39E-05	-7.54E-05	0	0	0
-5.39E-05	5.65E-04	-4.82E-04	0	0	0
-7.54E-05	-4.82E-04	1.13E-03	0	0	0
0	0	0	2.83E-03	0	0
0	0	0	0	1.10E-03	0
0	0	0	0	0	6.87E-04

CONSTANTES ELÁSTICAS	
E_L:	**8253**
E_R:	**1771**
E_T:	**888**
G_{LR}:	**1456**
G_{LT}:	**906**
G_{RT}:	**354**
v_{RT}:	**0.853**
v_{TR}:	**0.428**
v_{LT}:	**0.622**
v_{LR}:	**0.444**
v_{RL}:	**0.095**
v_{TL}:	**0.067**

Con la totalidad de las lecturas de ultrasonidos, sobre las 29 probetas, se genera la Tabla 2 para las distintas propiedades mecánicas, donde se muestra el resultado medio obtenido para cada constante así como los coeficientes de variación (C.V.), siendo los mismos razonables dentro de la variabilidad que suelen presentar las propiedades mecánicas de la madera como material natural.

Tabla 2. Valores de las constantes elásticas obtenidas expresadas en MPa.

Valor Medio		Desv. Est.	C.V.
E_L:	**11249**	2675	*23.8%*
E_R:	**2277**	451	*19.8%*
E_T:	**1076**	216	*20.1%*
G_{LR}:	**1596**	195	*12.2%*
G_{LT}:	**979**	139	*14.2%*
G_{RT}:	**361**	72	*20.0%*
υ_{RT}:	**0.694**	0.11	*15.8%*
υ_{TR}:	**0.330**	0.07	*20.0%*
υ_{LT}:	**0.510**	0.09	*18.2%*
υ_{LR}:	**0.413**	0.08	*20.1%*
υ_{RL}:	**0.087**	0.03	*30.5%*
υ_{TL}:	**0.051**	0.02	*31.2%*

En la Tabla 3 se comparan los resultados obtenidos de las constantes elásticas del castaño (Castanea sativa Mill.) con procedencia del norte de Cáceres con los resultados medios obtenidos con la misma técnica para castaño de procedencia nacional de las zonas de Cataluña, Asturias y Galicia (Vázquez et al., 2014).

Tabla 3. Comparativa de los valores de las constantes elásticas para la madera de castaño con origen en el norte de Cáceres frente a procedentes de otras zonas de la geografía española (Valores en MPa).

Castaño Extremeño		Otras procedencias España
E_L:	**11249**	9973
E_R:	**2277**	1441
E_T:	**1076**	790
G_{LR}:	**1596**	1139
G_{LT}:	**979**	760
G_{RT}:	**361**	299
υ_{RT}:	**0.694**	0.70
υ_{TR}:	**0.330**	0.39
υ_{LT}:	**0.510**	0.66
υ_{LR}:	**0.413**	0.60
υ_{RL}:	**0.087**	0.08
υ_{TL}:	**0.051**	0.05

En la misma se puede observar que los valores son similares a los obtenidos para el castaño de otras procedencias españolas, si bien los módulos de elasticidad E y módulos de elasticidad transversal G son superiores, mientras que los coeficientes de Poisson υ se mantienen en el mismo orden.

En la Tabla 4 se comparan las relaciones que se establecen entre sí para las constantes elásticas del castaño cacereño a), el de procedencia nacional b), y los valores para madera de frondosas proporcionados por el libro Estructuras de madera - Bases de cálculo (Argüelles et al., 2013). Se aprecia que el castaño ensayado se encuentra entre los valores de comparación, aunque ligeramente más elevados que en el caso de otras procedencias españolas.

Tabla 4. Comparativa de las relaciones entre constantes para: a) castaño cacereño, b) otras zonas de la geografía española, c) recogido en el libro Estructuras de madera - Bases de cálculo (Argüelles et al., 2013).

	(a)	(b)	(c)
E_L/E_R	4.9	3.6	8.0
E_L/E_T	10.5	5.9	13.5
E_R/E_T	2.1	1.6	1.7
G_{LR}/G_{RT}	4.4	2.9	3.4
G_{TL}/G_{RT}	2.7	1.5	2.6

4. Conclusiones

La madera de castaño (Castánea sativa Mill.) extremeña tiene su procedencia principal en el norte de la provincia de Cáceres. La misma ha sido ensayada, con propósitos de conocimiento estructural, mediante la técnica no destructiva de aplicación de ultrasonidos, consistente en la determinación de la velocidad de transición del sonido en el material, lo cual ha permitido conocer sus propiedades de rigidez a través de la determinación de sus constantes elásticas.

Ha sido posible obtener muestras libres de defectos y de las dimensiones adecuadas que permitieron tallar adecuadamente geometrías poliédricas para determinar todas las constantes elásticas con una única probeta para cada especimen.

En los resultados obtenidos se puede apreciar que los valores de las propiedades mecánicas son similares a los obtenidos para el castaño de otras procedencias españolas, si bien los módulos de elasticidad *E* y módulos de elasticidad transversal *G* son superiores, mientras que los coeficientes de Poisson *υ* se mantienen en el mismo orden. Esto indica que se trata de una madera ligeramente más rígida, dura y en cierto modo resistente.

De las comparativas anteriores se puede concluir que el castaño cacereño es un excelente material para su empleo en construcción, con algunas propiedades de mejor calidad estructural que la media de procedencia española.

Se trata de un material sobre el que sería recomendable ampliar su conocimiento y potenciar su empleo estructural, retomando la tradición constructiva ancestral del empleo del castaño local en la comarca cuyos buenos resultados han llegado hasta nuestros días, así como favorecer su expansión.

El presente trabajo constituye un arranque en el estudio de este material en la Comunidad Autónoma de Extremadura y lo deseable sería profundizar en su conocimiento con un mayor número de muestras y ampliando la tipología de los ensayos.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias a los fondos del Proyecto de Investigación ACCVII-02 2015: "Estudio de la potencialidad del empleo de maderas locales como material de construcción sostenible en infraestructuras de acceso y disfrute turístico en áreas protegidas de la provincia de Cáceres" del Plan de Iniciación a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación de la Universidad de Extremadura 2015, financiado por la Diputación Provincial de Cáceres. También se ha contado con la colaboración del Grupo de Investigación Forestal de la Universidad de Extremadura RNM004. Agradecer igualmente a Maderas Peralejo la aportación del material para la fase experimental.

Bibliografía

AENOR. 1978. UNE 56528: 1978. *Características físico-mecánicas de la madera. Preparación de probetas para ensayo*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

Argüelles, R. 1992. *Fundamentos de elasticidad y su programación por elementos finitos*. Madrid: Bellisco Ediciones.

Argüelles, R., F. Arriaga. 2013. *Estructuras de Madera*. Bases de Cálculo. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, AITIM.

Bucur, V. 2006. *Acoustics of wood*, 2nd edn. Springer Series in Wood Science. Berlin: Springer.

Gonçalves, R., A. J. Trinca and D.GP. Cerri. 2011. Comparison of elastic constants of wood determined by ultrasonic wave propagation and static compression testing. *Wood Fiber Science* 43: 64-75

Gonçalves, R., A. J. Trinca and B.P. Pellis.2014. Elastic constants of wood determined by ultrassound using three geometries of specimens. *Wood Sci Technol* 48: 269–287

Kohlhauser, C. and C. Hellmich. 2012. Determination of Poisson's ratios in isotropic, transversely isotropic and orthotropic materials by means of combined ultrasonic-mechanical testing of normal stiffnesses: application to metals and wood. *Eur J Mech A-Solid* 33: 82–98

Majano-Majano, A., J.L. Fernandez Cabo, and S. Hoheisel. 2012. A test method to ccharacterizing clear wood using a single specimen. *Experimental Mechanics* 52: 1079-1096.

Ozyhar, T., S. Hering, S.J. Sanabria and P. Niemz. 2013. Determining moisture-dependent elastic characteristics of beech wood by means of ultrasonic waves. *Wood Sci Technol* 47(2): 329–341

Trinca, A.J. and R. Gonçalves. 2009. Effect of the transversal section dimensions and transducer frequency on ultrasound wave propagation velocity in wood. *Rev Árvore* 33(1): 177–184

Vázquez, C., R. Gonçalves, C. Bertoldo, V. Baño and M. Guaita. 2014. Determination of the mechanical properties of Castanea sativa Mill. using ultrasonic wave propagation and comparison with static compressionand bending methods. *Wood Science and Technology* 49: 607-622.

Importancia del marco legal en el desarrollo de la red de caminos rurales de Extremadura

Manuel Moya[1] , Pablo Vidal[2] , José Ramón Villar[3]

[1 1] Grupo de Investigación Forestal, Centro Universitario de Plasencia. Universidad de Extremadura. Avda. Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia, Cáceres, España, manuelmi@unex.es

[2] Grupo de investigación Ingeniería Mecánica y de Fluidos. Departamento de Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal, Escuela de Ingenierías Agrarias de Badajoz, Avda. Adolfo Suarez s/n, 06071 Badajoz, España, pvidal@unex.es

[3] Grupo de Investigación Forestal, Centro Universitario de Plasencia. Universidad de Extremadura. Avda. Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia, Cáceres, España, jrvillar@unex.es

Resumen

La red extremeña de caminos rurales supera los 80.000 km de longitud, lo que demuestra el papel trascendental que desempeña ésta en el desarrollo de la región. La aprobación de la ley 12/2001 de caminos rurales, actualmente englobada en la ley 6/2015 agraria de Extremadura, ha contribuido significativamente a darle a éstos la importancia real que poseen, siendo la única Comunidad Autónoma que cuenta con una ley específica para los caminos rurales. En el resto de España éstos se rigen en la inmensa mayoría de los casos por ordenanzas reguladoras por términos municipales, al recaer su titularidad de forma mayoritaria en los Ayuntamientos.

Por otro lado, Extremadura es la única región española declarada Objetivo 1 para la Unión Europea para el período 2014-2020, lo que está favoreciendo el mantenimiento y expansión de su red de caminos rurales y el desarrollo rural de la región.

Este trabajo analiza los aspectos más relevantes de la ley agraria 6/2015 para los caminos públicos de Extremadura. Además, revisa el contenido y alcance del catálogo de caminos públicos existente y desglosa el plan de caminos rurales para el período 2016-2020.

Entre las principales conclusiones cabe destacar el elevadísimo nivel de cumplimiento alcanzado en los principales preceptos recogidos en la antigua ley 12/2001, así como el papel trascendental que está jugando el plan de desarrollo rural de la región. Finalmente, se plantea la duda de lo que podría ocurrir con la red de caminos públicos si Extremadura dejara de ser Objetivo 1 para la Unión Europea.

Palabras clave: desarrollo rural, catálogo de caminos públicos, gestión, conservación, Administración

Importance of the legal framework in the development of the rural road network of Extremadura

Abstract

The rural road network of Extremadura exceeds 80,000 km in length, which shows the vital role it plays in the region development. The approval of law 12/2001 of rural roads, currently included within the Agrarian law 6/2015 of Extremadura, has significantly contributed to give them the real importance they have, being the only Autonomous Community that has a specific law for rural roads. In the remaining regions of Spain, they are governed in the vast majority of cases by regulatory ordinances by municipalities, with their majority ownership falling on town councils.

On the other hand, Extremadura is the only Spanish region declared Objective 1 by the European Union for the period 2014-2020, which is favouring the maintenance and expansion of its rural road network as well as the rural development of the area.

This work analyses the most relevant aspects of the agrarian lay 6/2015 for the public roads of Extremadura. In addition, it reviews the content and scope of the existing public road catalogue and details the rural road plan for the period 2016-2020.

Among the main conclusions, they should be emphasized the great level of accomplishment achieved in the main precepts included at the old law 12/2001, as well as the vital role that is playing the rural development plan of the region. Finally, it arises the doubt about what it could happen with the public road network in case that Extremadura ceased to be Objective 1 region for the European Union.

Keywords: rural development, catalogue of public roads, management, maintenance, Administration

1. Introducción

Los caminos rurales constituyen una infraestructura fundamental en el desarrollo del medio rural en cualquier país del mundo. Por este motivo, España no es una excepción y se puede afirmar tajantemente que su papel ha sido clave en el desarrollo de la agricultura en nuestro país durante el siglo XX (Gallego et al., 2016).

Desde este punto de vista, durante el siglo pasado fueron especialmente importantes las décadas de los años 50, 60, 70 y 80 porque durante éstas se construyó el grueso de la actual red de caminos rurales existente en nuestro país (Moya et al., 2011). Sin embargo, la tendencia observada en diversos países europeos y Estados Unidos, en lo que se refiere a la evolución experimentada en las prácticas agrícolas, conllevó cambios en los usos de los caminos rurales, pasando a desempeñar éstos funciones diferentes de aquéllas para las que se habían diseñado inicialmente, lo que ha supuesto un empeoramiento generalizado de su estado de conservación (Prater, 1998; Pauwels y Gulink, 2000).

En 2008 se estimaba que la longitud de la red de caminos rurales en España ascendía a 421.118 km, cifra que se ha incrementado en la última década, aunque no se tengan datos precisos para corroborar esta afirmación, únicamente comunicaciones personales. En cualquier caso, si nos ceñimos a la cifra oficial del año 2008, el 85,85% de esos caminos rurales eran propiedad de los Ayuntamientos. Además, la repercusión que poseen los caminos rurales en nuestro país viene avalada por el hecho de que ese año la longitud total de la red viaria construida alcanzaba los 664.852 km, por lo que éstos representaban el 63,3% de dicha longitud total (Gallego et al., 2008a). Para hacernos una idea de lo que suponen estas cifras, cabe comentar que la red viaria de Marruecos, que absorbe el 92% del transporte total de viajeros y el 75% del de mercancías del país, ascendía a 57.520 km en el año 2000 (Ghellab, 2000), de los que algo más de la mitad se encontraban pavimentados, previendo tener para el año 2010 la construcción de 1.500 km nuevos de autopistas.

A pesar de las cifras anteriores y de la trascendencia que poseen los caminos rurales en el desarrollo de nuestro país, el principal problema que atañe a su estado de conservación, que es bastante precario en general, se debe al hecho de que los Ayuntamientos son los principales propietarios de los mismos. Como se sabe, éstos se encuentran en una débil situación económica, por lo que no se cuenta con un mantenimiento periódico adecuado de los caminos rurales que dependen de ellos a través de programas de conservación que impulse la propia administración. Para intentar solucionar estos serios inconvenientes, en 2001 se desarrolló una metodología sencilla, rápida y económica para determinar el estado de conservación de los caminos rurales de nuestro país, minimizando los medios necesarios para tal fin (Gallego et al, 2008a). Esta metodología fue valida posteriormente aplicándola a una muestra de 41 caminos rurales distribuidos por todo el territorio nacional llegando a la conclusión de que el 49% de los caminos inspeccionados se encontraban en un estado de conservación pobre o muy pobre (Gallego et al., 2008b).

Además, la escasa regulación que se hace de los caminos rurales desde el punto de vista legal corrobora el desinterés que posee la Administración por ellos. De hecho, la única Comunidad Autónoma que ha sido capaz de desarrollar una ley propia y específica para los caminos rurales ha sido Extremadura, la cual en 2001 aprobó la ya derogada ley 12/2001, de caminos públicos de Extremadura, actualmente englobada dentro de la ley 6/2015, Agraria de Extremadura. Por ello, a

continuación se procederá a exponer el marco legal existente en nuestro país para, acto seguido, comentar el contenido más destacado de la ley extremeña de caminos rurales. De esta manera estaremos en condiciones de conocer el grado de cumplimiento de lo que inicialmente se previó en la ley 12/2001 y qué perspectiva de futuro existe en torno a los caminos rurales de la región.

2. Análisis del Marco Legal en el Estado español

En España, el texto legal por el que se rigen las carreteras del Estado es la ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras. Dicha ley recoge aspectos claves relacionados, entre otros, con los cambios que se han producido en la seguridad vial en los últimos años, la integración ambiental de las carreteras, los cambios producios en las posibilidades de financiación o la importancia que se da cada vez más al servicio que prestan éstas.

En esta ley se excluyen ciertos tipos de vías, tal como se recoge en el artículo 2, apartado 6 de la misma, en la que se dice textualmente que *no tendrán la consideración de carreteras ni de elemento funcional de éstas los caminos de servicio, entendiendo por tales las vías construidas para facilitar el acceso a las propiedades colindantes o, en general, como elementos auxiliares o complementarios de las actividades específicas de los titulares de dichas propiedades*. Dado que el fin principal para el que se construyen los caminos rurales es el de dar acceso a sus propietarios a las explotaciones e instalaciones agrarias existentes en los términos municipales que integran nuestro país, este tipo de vías estarían incluidas entre ellas, además de estarlo también tanto las pistas forestales, las vías pecuarias, así como los viales y caminos de los que responsable el Estado y que forman parte del Viario Anexo a la Red de Carreteras del Estado.

3. Análisis del Marco Legal en las Comunidades Autónomas

De las 17 Comunidades Autónomas existentes en nuestro país, la de Madrid es la única que no ha desarrollado su propia ley de carreteras. Tras revisar las 16 leyes correspondiente al resto de Comunidades Autónomas que sí tienen ley propia, se ha corroborado que al igual que ocurre con la ley estatal 37/2015, de carreteras, en todas ellas los caminos rurales quedan expresamente excluidos de su ámbito al tratarse de vías diferentes a las convencionales y cuyo fin principal, por lo tanto, no es el de favorecer la comunicación entre núcleos de población.

Exceptuando lo que ocurre en Extremadura, con la aprobación de la ley 12/2001, actualmente incluida en la ley 6/2015, en el resto de las Comunidades Autónomas, a falta de esa ley específica, se han aprobado Ordenanzas Reguladoras de los caminos rurales por términos municipales, las cuales se basan en las leyes reguladoras de las bases de régimen local.

Básicamente, estas Ordenanzas Reguladoras de los caminos rurales por términos municpales regulan, valga la redundancia, el reconocimiento, la delimitación, la gestión y la protección administrativa de éstos. Además, definen el ejercicio de los usos compatibles con ellos, fijan los derechos y obligaciones de los usuarios y exponen de manera explícita las potestades otorgadas a los Ayuntamientos.

Siguiendo las experiencias desarrolladas en otros países como Holanda (Jaarsma y van Dijk, 2002), algunos municipios han implantado una tasa por la utilización de los caminos públicos que transcurren dentro de los límites de su término municipal. Tal es el caso de Alsasua, localidad ubicada en la Comunidad Foral de Navarra, que aprobó la Ordenanza Reguladora del uso de las pistas y caminos forestales y en cuyos artículos 22 y 23 especifica todo lo relativo a la cuota tributaria y al devengo, liquidación e ingreso de ésta. Además, incluye un anexo de Tarifas que a su vez consta de 4 epígrafes, en el que exponen las condiciones particulares aplicadas a cada caso.

El primer epígrafe se centra en el tránsito de vehículos con finalidad de recreo, turismo o disfrute de aprovechamientos cinegéticos; el segundo recoge el tránsito de vehículos con finalidades referentes a actividades agrícolas, ganaderas, forestales o de carácter económico en general, con carácter

permanente, incluidos los tractores; el tercer epígrafe es específico para los vehículos pesados, mientras que el cuarto y último afecta a vehículos pesados vinculados a explotaciones o actividades económicas. A modo de ejemplo, para los vehículos a los que se refiere el primero de esos epígrafes se especifica que la tasa fijada para vehículos inscritos en el Registro Municipal del Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica (en adelante RMIVTM) que pertenezcan a un titular empadronado en Alsasua ascenderá a 10,00 €/año; en cambio, si el vehículo está inscrito en el RMIVTM pero su titular no está empadronado en esta localidad la tasa correspondiente asciende a 20,00 €/año. Además, si el vehículo no está inscrito en el RMIVTM pero el titular del mismo sí está empadronado en el municipio, la tasa asciende a 20,00 €/año, mientras que en caso de que el vehículo no esté inscrito en el RMIVTM y su titular tampoco esté empadronado en el municipio la tasa correspondiente es de 50,00 €/año. Como se ve, las tarifas aplicadas dependen, por lo tanto, de que tanto el vehículo como el propietario del mismo estén inscritos en el RMIVTM y en la oficina de empadronamiento, respectivamente, del municipio en cuestión. Tarifas similares a éstas se aplican, según casos, en los restantes epígrafes recogidos en esta Ordenanza y a los que se ha hecho mención anteriormente.

4. Ley 6/2015, Agraria de Extremadura

La ley 6/2015, Agraria de Extremadura, publicada en el Diario Oficial de Extremadura (D.O.E.) número 59, de 26 de marzo de 2015, se refiere a todas las actividades e infraestructuras que se precisan para favorecer el desarrollo de la agricultura en la Comunidad Autónoma de Extremadura. Como se ha comentado en secciones anteriores, en ella se ha incluido, también, en este caso derogándola, la que hasta entonces era la única ley específica sobre caminos rurales existente en nuestro país, la ley 12/2001, de caminos públicos de Extremadura, que fue publicada en el D.O.E. nº 143, de 15 de diciembre de 2001.

Al comparar el contenido y la extensión de ambas leyes se observa que la ley 12/2001 constaba de 44 artículos repartidos en 9 títulos e incluía 4 disposiciones adicionales, una disposición transitoria y una disposición final, mientras que la ley 6/2015 consta de 9 títulos más un título preliminar que incluye los 5 primeros artículos, 18 disposiciones adicionales, 11 disposiciones transitorias, una disposición derogatoria única y 16 disposiciones finales. De ella, la parte dedicada a los caminos públicos se encuentra recogida en el Título VI “De las infraestructuras rurales”, Capítulo II “Infraestructuras viarias”, Sección 1ª “De los caminos”, artículos 170 a 199, ambos inclusive. Obviamente, el contenido actual de esta ley difiere en algunos de sus artículos de su redacción original en la ley 12/2001, en ocasiones ampliándolo, en otras reduciéndolo, para adaptar éste a las circunstancias existentes en la actualidad.

La ley 12/2001 se concibió para conseguir, básicamente, los siguientes objetivos:

- Adecuar los caminos a la necesidad actual de transporte, mejorando la seguridad, rapidez y comodidad de los usuarios.
- Defensa del patrimonio público y sus elementos funcionales como patrimonio al servicio de la comunidad.
- Adecuación de las mejoras y usos de la red de caminos al entorno medioambiental del medio rural en el que están insertos.

Con esta ley se pretendía regular la planificación, financiación, construcción, conservación, uso y explotación de los caminos públicos de Extremadura.

En los párrafos siguientes se va a proceder a desglosar los aspectos más importantes que se recogen en la ley 6/2015 en la parte dedicada íntegramente a los caminos públicos.

El primero de los artículos de los que consta el capítulo II del Título VI, el 170 concretamente, define los caminos rurales como las vías públicas de comunicación terrestre de dominio y uso público que

cubran las necesidades de acceso generadas en las áreas rurales, bien dando servicio a núcleos de población o a los predios agrícolas o forestales, incluyendo en su concepto la plataforma, el material del firme, las cunetas, las obras de fábrica, los desmontes, los terraplenes y las obras e instalaciones auxiliares que como tal se cataloguen (fuentes, abrevaderos, muros de piedra, descansaderos, etc., así como otros elementos de interés histórico y etnográficos; siempre que estos no resulten de propiedad privada) y que, por no reunir las características técnicas y requisitos para el tráfico general de vehículos automóviles, no puedan clasificarse como carreteras.

De dicha definición se deduce que es muy amplio el espectro de vías que se incluyen en la misma pues además de los caminos rurales en esta tipología se incluyen también las pistas forestales de los montes incluidos en el Catálogo Oficial de los Montes de Utilidad Pública. Además, en esta definición se expone claramente que el fin primordial para el que se diseñan y construyen estos caminos es el de servir para facilitar el acceso a todas las necesidades que puedan existir en las áreas rurales. Por lo tanto, y así se expone explícitamente, quedan excluidas de esta definición las vías que sirven para comunicar localidades, pues éste es el fin primordial para el que se construyen las carreteras y, por lo tanto, están reguladas por las leyes de carreteras (tanto la ley nacional 37/2015, como las que están en vigor en las Comunidades Autónomas que han desarrollado éstas y que son todas excepto la Comunidad de Madrid, como ya se comentó anteriormente).

A pesar de lo que se ha explicado en el párrafo anterior, la tendencia socioeconómica que se da en las zonas rurales de todo el mundo, incluyendo a España, consiste en que estas zonas van despoblándose lenta pero progresivamente como consecuencia del envejecimiento de la población radicada en ellas y ante la falta de oportunidades laborales para la gente joven, que tiende a emigrar a las grandes urbes en busca de mejorar sus posibilidades socioeconómicas. La principal consecuencia que se deriva de esta tendencia es que se produce un desequilibrio territorial creciente que se ve impulsado inexorablemente por las políticas agrarias que se están adoptando y que favorecen, al menos en Europa, el abandono del campo. Por este motivo las pequeñas poblaciones han ido quedando, o están quedándose en la actualidad, cada vez más marginadas con respecto a los principales núcleos socioeconómicos de cada país, de modo que los caminos rurales se erigen en la única vía de comunicación entre dos núcleos rurales, fin para el que no fueron concebidos en su momento y que, ante la ausencia de un programa de mantenimiento periódico adecuado para ellos provoca que su estado de conservación no sea el más adecuado precisamente en la actualidad y, lo que es peor, que éste pueda ir empeorando de manera progresiva en los años venideros.

El artículo 172 proporciona la clasificación de los caminos rurales, catalogando éstos en tres grandes grupos que son los siguientes:

- Red primaria
- Red secundaria
- Red de pistas forestales

La red primaria la integran caminos que constituyen el único acceso entre localidades o de una localidad a la red de carreteras, por lo que en ella tienen cabida gran parte de esos caminos a los que se hacía referencia anteriormente como consecuencia de la tendencia que están siguiendo las zonas rurales en los últimos tiempos desde el punto de vista de la evolución de su población.

En cuanto a la red secundaria, en ella se incluye el resto de caminos rurales a excepción de aquéllos que se clasifican dentro del tercer grupo, la red de pistas forestales concretamente.

Finalmente, la red de pistas forestales está constituida por todos aquellos caminos y pistas forestales de los montes propios de la Junta de Extremadura, así como los que se incluyen en el catálogo oficial de los Montes de Utilidad Pública.

El artículo 173 es muy importante ya que en él se determina qué Administración ostenta la titularidad de los distintos caminos públicos existentes en la Comunidad Autónoma de Extremadura.

Como se dijo anteriormente, este aspecto es clave ya que el estado de conservación de los caminos depende en gran medida de la Administración sobre la que recae dicha titularidad pues los fondos económicos con los que cuentan éstas no son iguales en unos u otros casos.

Por su parte, el artículo 178 trata sobre el "Catálogo" y en el mismo se expone que las administraciones titulares de los caminos dispondrán en todo momento de un catálogo de éstos y demás bienes inmuebles que integran el dominio público viario de su titularidad. Además, en este artículo se establece la información que se debe incluir en dicho catálogo, entre la que cabe citar la numeración reglada de los caminos y contener datos relativos, al menos, a su longitud y anchura, límites inicial y final, además de una descripción de las características generales de cada uno de ellos.

En el artículo 183, que trata sobre la coordinación y la colaboración, se expone que los Ayuntamientos, las Diputaciones y la Junta de Extremadura podrán establecer acuerdos y convenios de colaboración en orden a la mejora y mantenimiento de la red de caminos rurales públicos de la Región, tanto en sus aspectos técnicos como financieros.

Por otro lado, el artículo 184 se refiere a los planes viarios, determinando que éstos serán establecidos por las administraciones titulares de los distintos caminos. Añade también que dichos planes se conciben para garantizar la existencia de una red viaria adecuada a su territorio, además de su mantenimiento y conservación.

En este mismo artículo se fija, además, el contenido mínimo del que deben constar estos planes viarios, determinando que, entre otros aspectos, se debe reflejar la relación de nuevos caminos o tramos que se acometan, los programas de mejoras y mantenimiento de los existentes, la inversión que se precisa para llevar éstos a cabo, la financiación prevista para tal fin y la fijación de un calendario de actuaciones. Por lo tanto, la Administración autonómica se compromete con la aprobación de estos planes a realizar una serie de mejoras en los caminos incluidos dentro del territorio sobre el que tiene potestad, estando obligada a prever la inversión necesaria, así como las posibles vías de financiación y fijando un plazo para su puesta en marcha. Este aspecto se antoja esencial en una Comunidad Autónoma como la extremeña en la que existe una amplísima red de caminos rurales que juega un papel trascendental en el desarrollo de la región.

Finalmente, en este artículo se fija un período de actuación de 4 años para este tipo de planes, de modo que una vez se cumpla dicho plazo se hace preciso elaborar un nuevo plan.

5. Situación actual de los caminos rurales en Extremadura

La extensión de la red de caminos rurales públicos de Extremadura supera actualmente los 80.000 km (comunicación personal), quedando lejos los más de 40.000 km a los que se refería la ley 12/2001 en su preámbulo. En el presente y futuro más inmediato de esta red hay un factor determinante, y es que Extremadura es actualmente en nuestro país la única Región Objetivo 1, categoría que se asigna a aquellas regiones cuyo PIB se sitúa por debajo del 75% de la media europea. Por este motivo, Extremadura es una región prioritaria para recibir fondos de la Unión Europea en el período 2014-2020, aspecto esencial de cara a favorecer el desarrollo de la misma.

Con el fin de conocer de primera mano el grado de cumplimiento que se ha alcanzado en la realidad con respecto a lo que se había previsto inicialmente en la ley 12/2001, se puede comprobar en la figura 1 cómo la Junta de Extremadura ha logrado desarrollar un catálogo de los caminos públicos existentes en la región facilitando para éstos, al menos, la información mínima exigida en el artículo 178 de la ley agraria y a la que se ha hecho referencia anteriormente.

Figura 1. Carátula del Catálogo de Caminos Públicos de Extremadura. Fuente: Dirección General de Desarrollo Rural, Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio de la Junta de Extremadura (2013).

Al analizar los Planes de caminos rurales de Extremadura, de conformidad con lo expuesto en el artículo 183 de la ley agraria, se puede afirmar que, efectivamente, se viene realizando periódicamente una adecuada coordinación entre administraciones tanto en los caminos rurales que se están construyendo (que son muy pocos) como, sobre todo, en los que se están reparando (la inmensa mayoría de las actuaciones que se están llevando a cabo). Una de las fórmulas más frecuentemente utilizadas para llevar a cabo esta colaboración entre administraciones es la que viene realizando asiduamente la Junta de Extremadura con algunos Ayuntamientos. Ante la falta de recursos económicos que poseen estos últimos, y con el fin de mejorar determinados caminos previamente propuestos por éstos, se suscriben convenios por los que los Ayuntamientos ceden temporalmente la titularidad de dichos caminos, y la de los terrenos que necesiten para ello, a la Junta de Extremadura, que es quien gestiona los fondos europeos que le corresponden, para poder llevar a cabo así esos trabajos, de modo que una vez finalizan éstos la titularidad vuelve a los Ayuntamientos sin que los costes de dichos arreglos repercutan en sus maltrechas arcas.

Pero es que, además, la Unión Europea se asegura de contar con el compromiso de la Administración regional o local, según casos, a los que destina parte de sus fondos y, para ello, exige una cofinanciación para los proyectos de desarrollo rural que se deseen acometer. En el caso concreto de los caminos rurales, dicha cofinanciación se pacta entre la Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio de la Junta de Extremadura y el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural, de ahí la necesidad de contar, aunque sólo sea temporalmente, con la titularidad de los caminos y terrenos aledaños a éstos en los que se realizan las mejoras.

El actual plan de caminos rurales de Extremadura se ha aprobado para el período 2016-2020 y cuenta con una financiación que asciende a 60.500.000 €. Entre los objetivos que se prevén cumplir en el mismo destacan la construcción, mejora y acondicionamiento de caminos rurales públicos de titularidad municipal.

Para proceder a la mejora de los caminos rurales el protocolo que se sigue consiste en que los Ayuntamientos deben solicitar formalmente a la Junta de Extremadura los caminos sobre los que desean que se realicen dichos trabajos de mejora o acondicionamiento. Para ello, deben facilitarle a la Junta un listado con un máximo de tres caminos de su competencia, priorizando el orden de preferencia. La intención de la administración autonómica es la de intentar extender los fondos en la medida de lo posible para tratar de atender, como mínimo, a 250 municipios de la región. En ese sentido, la Junta de Extremadura considera prioritarias las actuaciones sobre aquellos caminos que faciliten la conectividad entre municipios, así como intenta atender también los caminos de ámbito

supramunicipal y prestar apoyo a los parques de maquinaria de las Mancomunidades con la intención de dotar a éstas de la maquinaria que precisen para el acondicionamiento de sus caminos y cederles en propiedad dicha maquinaria como forma de garantizar su óptimo mantenimiento en el futuro.

Finalmente, en lo que se refiere a la tipología de los proyectos que se están realizando por parte de la Junta de Extremadura en los últimos años dentro del plan de caminos rurales de la región previsto, cabe comentar que se consideran prioritarios aquellos caminos realizados con materiales granulares (fundamentalmente procedentes de terrenos de préstamo o zahorras) y que, además, en la medida de lo posible se intenta minimizar el uso del hormigón, admitiendo éste únicamente cuando hay causas que justifiquen su uso debidas, fundamentalmente, a problemas estructurales importantes como, por ejemplo, en casos de pendientes elevadas, zonas con especial dificultad para evacuar el agua o cuando se constate la existencia de otros problemas relacionados con la morfología del camino. Asimismo, se restringen los tratamientos asfálticos, limitando éstos únicamente a caminos que posean gran longitud o que tengan una considerable intensidad de tráfico pero con la condición, en ambos casos, de que dichos caminos estén próximos a los núcleos urbanos. Por otro lado, también se da prioridad a las actuaciones que se deben llevar a cabo en infraestructuras asociadas a cauces públicos pero supeditando éstas en cualquier caso al grado de urgencia que pudiera existir y al coste que pudiera suponer cada actuación. Por último, comentar que también son prioritarias aquellas actuaciones encaminadas a mejorar, reforzar, reparar y acondicionar caminos rurales existentes.

6. Futuro de los caminos rurales de Extremadura

Aunque, obviamente, no es una tarea sencilla predecir con exactitud cuál va a ser del devenir de los caminos rurales de Extremadura, lo cierto es que el análisis de ciertos parámetros orientadores puede permitir atisbar una idea de lo que podría ocurrir a medio o largo plazo.

En primer lugar, como se ha comentado en párrafos anteriores, actualmente Extremadura es la única Región Objetivo 1 para la Unión Europea. Esta circunstancia le está permitiendo recibir fondos económicos que están impulsando, entre otras actuaciones, la mejora del sistema viario rural de la región. Sin embargo, las dudas surgen al plantear qué ocurrirá con éstos si Extremadura dejara de ser región prioritaria para recibir estos fondos europeos. Si se diera esta circunstancia, parece evidente que la inversión que se viene realizando anualmente, que ronda los 20 millones de euros, sufriría un recorte drástico pues la Junta de Extremadura por sí sola no podría garantizar el mantenimiento de una inversión de estas características todos los años.

Por un lado, cabe destacar el hecho de que el número de países miembros de la Unión Europea se ha ido incrementando paulatinamente en los últimos años, destacando especialmente la inclusión en ella de algunos de los tradicionalmente denominados países del este, cuyo PIB es sensiblemente inferior a la media europea en la inmensa mayoría de los casos, lo que, de entrada, supone que el PIB medio está disminuyendo.

Por otro lado, la inminente salida de la zona Euro del Reino Unido, uno de los países más poderosos de cuantos integran la Unión Europea actualmente, por el respaldo que han dado la mayoría de los ciudadanos de aquel país al Brexit, provocará también una disminución en el nivel de riqueza medio de la Unión Europea (su PIB, por lo tanto).

Teniendo en cuenta los dos hechos que están aconteciendo en el entorno de la Unión Europea, y dado que en ambos casos se intuye una disminución del PIB medio de la Unión Europea, no sería descartable que Extremadura superara el 75% del mismo y que, en tal caso, dejara de ser considerada como Región Objetivo 1 en un futuro próximo (¿quizás a partir de 2020?), perdiendo esos fondos que están posibilitando el desarrollo rural de la región.

Además de la disminución del PIB de la zona Euro, otro aspecto que hay que tener en cuenta es el fenómeno migratorio que se está dando en los últimos años en las zonas rurales debido, fundamentalmente, a la precaria oferta laboral existente. No son pocos los jóvenes que viven en zonas rurales que se animan a marcharse a vivir a grandes ciudades, no sólo españolas, sino también extranjeras, en busca de mejores oportunidades laborales. Este hecho, unido al progresivo envejecimiento de la población por la conjunción de dos factores, el incremento de la esperanza media de vida, por un lado, y la disminución de la ya baja de por sí tasa de natalidad registrada en nuestro país, en general, y en Extremadura, en particular, junto con las directrices que se marcan en la Política Agraria Común (PAC), en la que desde hace años se vienen concediendo subvenciones por no producir, provoca que muchos pequeños municipios extremeños se estén despoblando lenta pero paulatinamente, fenómeno que se espera que, desgraciadamente, vaya a más en los años venideros. Por este motivo, se está produciendo progresivamente un desequilibrio territorial nada deseable, lo que podría conllevar que la Administración se plantease en un momento dado el abandono de los programas regionales o comarcales encaminados a paliar e incluso revertir dicha tendencia. Si se confirmara en un futuro a medio o largo plazo el abandono de las zonas rurales está claro que los caminos rurales no saldrían indemnes de este proceso, por lo que su deterioro iría a más. A este hecho podría contribuir significativamente el hecho de que, en el peor de los casos, la Administración no pudiera disponer de los fondos económicos necesarios para evitar esta situación ya que no habría un tamaño de población suficientemente importante como para justificar las inversiones que se deberían realizar en dichas zonas.

Para evitar las consecuencias derivadas del supuesto realizado en el párrafo anterior, cabe comentar que casi con toda seguridad la única posibilidad de favorecer el desarrollo de las zonas rurales extremeñas pasa por disponer de una red de caminos rurales en un óptimo estado de conservación. Por ello, teniendo en cuenta que Badajoz y Cáceres son, por este orden, las dos provincias más extensas de nuestro país, los caminos rurales existentes en ambas provincias deben jugar un papel clave para garantizar el desarrollo local en ellas y, por ello, es fundamental que su estado de conservación sea el mejor posible.

Ante el oscuro futuro que se atisba para los caminos rurales, especialmente a partir del año 2021, no cabe duda de que, guardando siempre cautela para ver cómo se van desarrollando los acontecimientos, la conservación en estado óptimo de la extensísima red de caminos rurales de Extremadura podría pasar necesariamente por la búsqueda de nuevas fuentes de financiación. La actual precariedad por la que atraviesan las arcas de la Administración, da igual si es a nivel nacional, autonómico o local, por los altos niveles de déficit alcanzados y el límite de gasto impuesto por ley supone un gran escollo con el que no va a ser fácil bregar en el futuro a corto o medio plazo. Por ello, no sería descabellado plantear la implantación de tasas a los usuarios de los caminos rurales encaminadas a captar parte de los fondos económicos que se precisan para garantizar un óptimo estado de conservación de éstos, siguiendo, así, el ejemplo anteriormente citado de Alsasua (Navarra) o de otras zonas en otros países como Holanda (Jaarsma y van Dijk, 2002).

7. Conclusiones

Las principales conclusiones que se pueden extraer de este trabajo son las siguientes:

- Extremadura es la única Comunidad Autónoma que ha aprobado una ley específica para caminos rurales, lo que manifiesta la importancia que se atribuye a este tipo de vías pues la Administración autonómica es consciente del papel crucial que desempeñan estas vías en el desarrollo regional.

- En general se puede afirmar que, aunque con ciertos retrasos en algunos casos, las actuaciones y planes o programas previstos en la ley 12/2001 se están cumpliendo. Gracias a

ello el grado de conservación con el que cuenta la red de caminos rurales de Extremadura en la actualidad se puede considerar que es aceptable aunque mejorable.

- La consideración de Extremadura como Región Objetivo 1 está permitiendo disfrutar a ésta del Plan de Desarrollo Rural para el período 2014-2020. Gracias a él, se estén llevando a cabo múltiples actuaciones en algunos caminos rurales dispersos por la región, invirtiéndose una media de alrededor de 20 millones de euros al año para tal fin. Con estas ayudas se está cumpliendo, por lo tanto, lo previsto en la ley 6/2015, agraria de Extremadura, en aras de lograr un estado óptimo de conservación de los caminos rurales de la zona.
- A pesar de la incertidumbre que siempre se cierne en torno al futuro, teniendo en cuenta los fenómenos migratorios que se están dando en la actualidad, la progresiva pérdida de población asentada en las zonas rurales, las escasas oportunidades laborales que se presentan para la población activa en estas zonas, las directrices que está siguiendo la PAC, la disminución del PIB medio de la Unión Europea y la posibilidad de que Extremadura deje de ser considerada como Región Objetivo 1, todos estos factores auguran un futuro poco esperanzador para los caminos rurales de la región a partir del año 2021. Las Administraciones autonómica y local deberán plantearse seriamente de dónde van a poder obtener los fondos económicos necesarios para poder mantener en condiciones mínimamente óptimas la red de caminos rurales existente en esta Comunidad Autónoma, por lo que no sería descartable que la Administración recurriese a la implantación de una tasa por uso en los caminos rurales como vía adicional para la obtención de los fondos económicos necesarios para tal fin.

Agradecimientos

A Rafael Dal-Ré Tenreiro, maestro y referente en el desarrollo de la Ingeniería Rural en España (D.E.P.).

Bibliografía

Gallego, E., M. Moya, A.I. García and F. Ayuga. 2008a. Valuation of low volume roads in Spain. Part 1: Methodology development. *Biosystems Engineering* 101(1): 123-134.

Gallego, E., M. Moya, M. Piniés and F. Ayuga. 2008b. Valuation of low volume roads in Spain. Part 2: Methodology validation. *Biosystems Engineering* 101(1): 135-142.

Gallego, E., M. Moya, E. Ayuga, A.I. García and F. Ayuga. 2016. The influence of management and construction methods in the repair costs of Spain's low-volume road network. *Journal of Agricultural Engineering* XLVII(537): 118-126.

Ghellab, K. 2000. Presentación de la red viaria de Marruecos. *Carreteras, Revista Técnica de la Asociación Española de la Carretera* 109: 9-11.

Jaarsma, R. and T. van Dijk. 2002. Financing local rural road maintenance. Who should pay and what share and why? *Transportation Research Part* 36(6): 507-524.

Moya, M., E. Gallego, A.I. García and F. Ayuga. 2011. A proposed methodology for the management of low-volume roads in Spain. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(3): 153-162.

Pauwels, F. and H. Gulinck. 2000. Changing minor rural road networks in relation to landscape sustainability and farming practices in West Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 77(1-2): 95-99.

Prater, M. 1998. The future adequacy of rural roads. Agricultural transportation challenges for the 21st Century. Agricultural Servicie, Washington DC, USA [Último acceso: 6 July 2011]. Disponible en Internet: <http://ntl.bts.gov/DOCS/ contents/ch4m.pdf >.

Escalado a tamaño real de las mejoras en la resistencia de elementos constructivos de yeso y caña común (*Arundo donax L.*)

Antonio Martínez-Gabarrón[1], José A. Flores[2], Joaquín J. Pastor[3]

[1,2,3] Universidad Miguel Hernández de Elche. EPSO. Dep. Ingeniería. Ctra. De Beniel km 3,2-Orihuela-Alicante-España. CP: 03312 antonio.martinez@umh.es; ja.flores@umh.es; jjpastor@umh.es

Resumen

El presente trabajo se enmarca en la línea de recuperación de materiales de construcción con menor huella de carbono que los convencionales (acero y hormigón). El yeso (sulfato cálcico dihidratado) y la caña común (*Arundo donax* L.), se han venido empleando conjuntamente en la construcción tradicional principalmente en zonas de clima templado, y muy especialmente en gran parte de la península ibérica, habiendo caído en desuso a partir de la segunda mitad del siglo XX, en favor de los mencionados materiales convencionales. Por otra parte, la valorización de la caña común, invasora de cauces de agua, como material de construcción, ayudaría a mejorar el control de esta planta, que requiere importantes inversiones en limpieza de cauces.

En trabajos anteriores se ha logrado mejorar la resistencia a flexión de probetas normalizadas de yeso con caña frente al diseño tradicional, en base a una mejora en la colaboración estructural entre las superficies de ambos materiales, alcanzando en el caso de probetas con caña ranurada incrementos de hasta un 116,2% frente al diseño tradicional (5,34 N/mm^2 frente a 2,47 N/mm^2), a la vez que se mejoraba el mecanismo de rotura.

A partir de estos resultados, utilizando el mencionado diseño de yeso con caña ranurada, se ha realizado un escalado de la sección resistente al tamaño real de forjados, adaptando la metodología de la Norma UNE-EN 13279.2 Parte 2 a probetas de 100x100x750 mm, realizando ensayos para distancia de entrevigado de 700 mm, con diferentes diámetros de caña en la zona traccionada, y diferentes cantos de forjado. En estas condiciones se ha comprobado sobradamente la validez del diseño de sección propuesto para el soporte de la carga total exigida por el CTE en forjados (8,292 kN/m^2), empleando cantos de sección incluso de 75 mm.

Palabras clave: construcción sostenible, yeso, forjado, caña común

Scaled to real size of the improvements in the strength of plaster and common cane (*Arundo donax* L.) building elements

Abstract

This work is part of the recovery line of building materials with lower carbon footprint than conventional ones (steel and concrete). Gypsum (calcium sulphate dihydrate) and common cane (Arundo donax L.) have been used together in traditional construction mainly in temperate zones, and especially in much of the Iberian peninsula, having fallen into disuse From the second half of the twentieth century, in favor of the aforementioned conventional materials. On the other hand, the valorization of the common cane, invasive of channels of water, like material of construction, would help to improve the control of this plant, that requires important investments in cleaning of channels.

In previous works, it has been possible to improve the flexural strength of normalized gypsum samples compared to the traditional design, based on an improvement in the structural collaboration between the surfaces of both materials, achieving, in the case of slotted rods, increments of Up to 116.2% compared to the traditional design (5.34 N / mm2 versus 2.47 N/mm2), while improving the rupture mechanism.

Based on these results, using the aforementioned gypsum plaster design, a scaling of the section resistant to the actual size of slabs was performed, adapting the methodology of UNE-EN 13279.2 Part 2 to 100x100x750 mm specimens, performing Tests for distance of 700 mm, with different diameters of cane in the traction zone, and different edges of forged. In these conditions, the validity of the proposed section design for the support of the total load required by the CTE in slabs (8,292 kN/m2), using section corners even of 75 mm, has been verified.

Keywords: Sustainable construction, plaster, forged, common cane

1. Introducción

Entre las limitaciones de recursos con que cuenta nuestro planeta están sin duda dos primordiales: el agua y la energía fósil. En el caso de ésta última, además, su uso indiscriminado tiene un importante efecto negativo sobre el calentamiento global. Así pues, una disminución en el uso de estos recursos redundará a largo plazo en una mejora medioambiental de nuestro planeta.

Así se defiende un consumo limitado de los mismos, de forma que no se comprometa el desarrollo de las generaciones futuras (Brundtland, 1987; Tendero y Garcia de Viedma, 2011).

En el sector de la construcción, la elección de los materiales también puede influir en la protección del medio ambiente, si elegimos aquellos con menores huellas hídrica y de carbono en el conjunto de su ciclo de vida. Otros factores también se pueden tener en cuenta, como su capacidad de aislamiento térmico (Barreca, 2013), o un impacto positivo sobre la seguridad de cauces por una valorización de la caña común (Flores, 2011), así como el causado sobre el entorno social o cultural o la salud humana, según Rodríguez et al. (1999).

En la misma dirección, el Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006) promueve, en la línea de los códigos europeos: *"esta demanda de una mayor calidad de la edificación…. responde también a una nueva exigencia de sostenibilidad de los procesos edificatorios y urbanizadores, en su triple dimensión ambiental, social y económica."*

El empleo conjunto del yeso y la caña común se ha comprobado satisfactorio tradicionalmente hasta mediados del Siglo XX (Barreca, 2012), tanto en elementos de compartimentación, recubrimientos o forjados, en obra nueva o en restauración (Vegas y Mileto, 2011) habiéndose estudiado las posibilidades de mejora para este último uso, tanto en lo referido a la resistencia (5,34 N/mm^2 para probetas de caña ranurada frente a 2,47 N/mm^2 de probetas de diseño tradicional), como en los mecanismos de rotura (Martínez-Gabarrón, 2012; Martínez-Gabarrón et al., 2014), si bien estas investigaciones se han realizado con probetas de tamaño 40x40x160mm (distancia entre apoyos de 100mm) conforme a la Norma UNE-EN 13279-2 Marzo 2006 Parte 2.

Con los experimentos aquí recogidos, pretendemos realizar un escalado a tamaño real de los ensayos mencionados, para forjados resistentes con entrevigado de 700mm, tanto en lo referido a la mejora en la resistencia a flexión como en el mecanismo de rotura del elemento resistente, eligiendo para ello el modelo de sección ensayada con resultados más favorables (Martínez-Gabarrón et al., 2014), es decir el de yeso con caña ranurada, tanto por sus mejoras en la resistencia, en el mecanismo de rotura, como por la simplicidad en la fabricación. Y todo ello para comprobar la capacidad de soporte de las cargas exigidas por el CTE (CTE, 2006) para forjados resistentes de planta.

2. Materiales y Métodos

Se han empleado los siguientes materiales y aparatos:

- Yeso de construcción (B1/8/2)
- Agua de red para el amasado
- Aditivo retardante del fraguado (ADIFOC dosificado al 6‰)
- Caña común (*Arundo donax* L.) ranurada, de 745mm de longitud y diferentes diámetros.
- Cubas de mezcla de material plástico de suficiente capacidad.
- Batidora-mezcladora eléctrica de uso manual.
- Paletas y espátulas diversas.
- Moldes de madera hidrofugados y desencofrante (Fig.2).

- Banco de ensayos mecánicos de flexión de la marca Controls, adaptado al ensayo de probetas de yeso de 100x100x750mm, con capacidad de carga de 150 kN, con captación de datos de carga y flecha mediante Arduino y software MATLAB a PC, para visualización de curvas de rotura en tiempo real (Fig.1).

- Micrómetro digital de la marca Mitutoyo para medida de la flecha de flexión, con rango de 0-13,6mm, conectado a hardware Arduino (Fig.1)

- Báscula de precisión +/- 5 gr

- Báscula de precisión +/- 0,01 gr

- Máquina vibratoria, para mejorar el llenado de huecos en los moldes

- Sierra de hoja de acero de corte continuo, para ejecución de ranuras en las cañas

Figura 1. Banco de ensayos mecánicos con probeta en zona de flexión (1).Detalle del posicionamiento del micrómetro y aparición de primera fisura (2).Extracción de datos con MATLAB y curva de rotura N-mm (3)

La mezcla se ha realizado con una relación Agua/Yeso (A/Y) de 0,4 a la que se ha añadido un retardante de fraguado para permitir una mayor manejabilidad, que en este caso se hace imprescindible ya que las cantidades de yeso amasado son muy voluminosas para lograr el llenado de los moldes de 3 probetas de 100x100x750mm por amasada (hasta 32,5 kg de yeso). En un principio se ensayaron probetas testigo de solo yeso con relación A/Y=0,5 con el retardante, y al apreciarse un exceso de fluidez en la pasta y de agua de amasado, se decidió reducir la proporción de agua a A/Y=0,4, ya que es sobradamente conocida la mejora en las propiedades mecánicas al reducir la proporción de agua de amasado, primordial para los objetivos de resistencia perseguidos en los forjados.

El ensayo se ha realizado conforme a la Norma UNE-EN 13279-2 Marzo 2006 Parte 2, excepto claro está en lo referente al tamaño de las probetas (que en nuestro caso se ha aumentado hasta 100x100x750mm frente a las normalizadas de 40x40x160mm) y al procedimiento de secado de las mismas, que se ha realizado en atmósfera de laboratorio hasta masa constante, previamente a su ensayo. Se han utilizado moldes de madera sin poro y con un desencofrante (Fig.2). El amasado se ha realizado con la ayuda de una batidora mezcladora de fluidos.

Respecto de la caña común, se han empleado 3 diámetros, de los siguientes rangos: 9-13mm/12-16mm/15-18mm, ranuradas cada 20mm con ranuras de 2mm de espesor y 3mm de profundidad (Fig.2)

Para cada ensayo se han realizado 2 amasadas de 3 probetas cada una (6 probetas por ensayo). En total se han realizado 8 ensayos: 2 de probetas testigo de 100mm de canto sin caña (A/Y=0,5 y A/Y=0,4); 3 de probetas de 100mm de canto con caña de diferentes diámetros (9-13mm/12-16mm/15-18mm); y otros 3 de probetas de 75mm de canto con los mismos 3 diámetros de caña.

Todos los ensayos con caña se han realizado con A/Y=0,4. Para fijar la posición de las cañas en el fondo de los moldes, con las ranuras hacia arriba, se han colocado en un extremo del fondo de los

moldes tiras de espuma de poliéter de 10x10x100mm, que mantienen presionadas las cañas. Para el llenado completo del fondo de las probetas con caña, han sido necesarias 7 uds para el rango de 9-13mm, 6 uds para el de 12-16mm y 5 uds para el de 15-18mm (Fig.1)

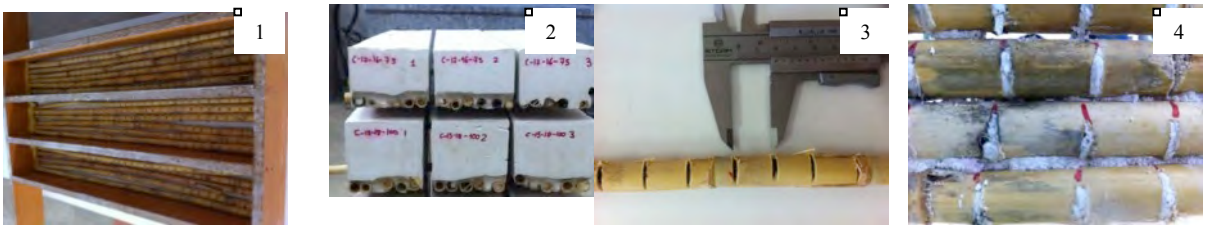


Figura 2. Disposición de las cañas en el fondo de los moldes(1). Codificación de amasada de probetas de 75 y 100mm de canto total (2). Detalle de ranuras en caña (3). Detalle introducción del yeso en las ranuras (4)

Las cargas unitaria a soportar por el forjado resistente Q_f, según el CTE, incluyendo mayoraciones del 35% para peso propio y sobrecarga de tabiquería, y del 50% para sobrecargas de uso, resultan ser de Q_f = 8,292 kN/m^2 [tesis] que, para las dimensiones de nuestra probeta podemos calcular por la ecuación (1) como Q_p, carga aplicada en el centro de la probeta, como situación más desfavorable:

$$Q_p = Q_f * d_e * a_p \qquad \text{donde:} \qquad (1)$$

Q_p es la carga mínima a soportar por la probeta ensayada, aplicada en su centro (N)

Q_f es la carga uniformemente distribuida exigida por el CTE para forjados de piso (kN/m^2)

d_e es la distancia de entrevigado del forjado (0,7m)

a_p es el ancho de la probeta ensayada (0,1m)

Así pues resulta que los elementos resistentes ensayados han de soportar, al menos, una carga de:

Q_p=0,580 kN = 580 N

Los resultados han sido tratados estadísticamente: para calcular el tamaño de las muestras se ha empleado la fórmula simplificada de Cochran y Cox. Se han obtenido parámetros muestrales descriptivos para cada serie. Los valores atípicos se han detectado mediante diagramas de caja.

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se muestran los resultados de carga de rotura de las probetas ensayadas, junto con los valores medios de cada ensayo y otros parámetros estadísticos descriptivos. La validez del número de repeticiones de cada ensayo se ha comprobado mediante la fórmula simplificada de Cochran y Cox, para un error permitido máximo del 10% sobre el valor medio de la serie, con una probabilidad del 95% de no ser superado, habiéndose obtenido para todos los ensayos un número de repeticiones inferior a 6.

En dicha tabla podemos ver cómo los valores medios ($\dot{X}$) de los resultados de carga de rotura a flexión de todas las probetas ensayadas están muy por encima de la derivada de la exigencia del CTE, de 580 N, incluso todas las repeticiones de cada ensayo también lo están.

Naturalmente, los ensayos T0,5 y T0,4 (probetas sin caña) no son viables por presentar un tipo de rotura frágil (se han ensayado con el objeto de disponer de una referencia) donde la pieza colapsa a la primera fisura (Fig.3). Por el contrario, el resto de diseños (con relación A/Y = 0,4), aun con menor carga de rotura que su testigo de referencia (T0,4), presentan resultados válidos muy superiores a 580 N: 3351,38 N, 3135,53 N y 2400,32 N para los tres diseños de canto 100mm, y 1913,37 N, 2178,77 N y 2002,14 N para los otros tres diseños de canto 75mm, es decir que incluso para el menor

de los cantos ensayados (canto total de 75mm), se logran sobradamente las exigencias de carga rotura del CTE (CTE, 2006).

Tabla 1. Resultados de carga de rotura (N) de las probetas ensayadas

	TEST SOLO YESO		CAÑA CON CANTO 100mm			CAÑA CON CANTO 75mm		
prob\ens	**T 0,5**	**T 0,4**	**C9-13,100**	**C12-16,100**	**C15-18,100**	**C9-13,75**	**C12-16,75**	**C15-18,75**
1	2905,47	4585,28	3371,39	3683,29	2358,15	1830,04	1946,99	1709,52
2	2108,11	4401,57	3073,76	3044,44	2424,52	(*)	2257,78	2313,95
3	2369,36	4371,71	3608,87	2757,75	2420,53	2278,84	2362,98	1879,34
4	2580,34	4525,23	3392,47	3027,28	2415,24	1795,43	2128,39	2012,35
5	2392,25	4391,27	3296,54	3174,51	2397,29	1841,62	2204,16	2109,51
6	2602,74	4409,59	3365,26	3125,88	2386,18	1820,93	2172,34	1988,17
Med $\dot{X}$	2493,05	4447,44	3351,38	3135,53	2400,32	1913,37	2178,77	2002,14
Desv.es *S*	269,58	86,58	172,43	304,76	25,31	205,01	139,37	204,82
C var *Cv*	0,11	0,02	0,05	0,10	0,01	0,11	0,06	0,10

(*)Mediante diagramas de caja se han descartado valores que se consideran atípicos o erróneos.

Para el caso más desfavorable, el de las probetas de 75mm, si consideramos un coeficiente de minoración de las propiedades del material de yeso, a semejanza del empleado para el hormigón en la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 (2008) Y_c=1,5, el valor medio de la tensión de rotura minorada sería de 1275,58 N, 1452,51 N y 1334,76 N respectivamente según el diámetro de caña empleado, que siguen estando muy por encima de la exigida (220%, 250% y 230%), lo que demuestra la validez de los diseños ensayados para su aplicación en forjados de planta.

En la Fig.3 puedes verse unos ejemplos representativos de las curvas de rotura de los diferentes grupos de ensayos.

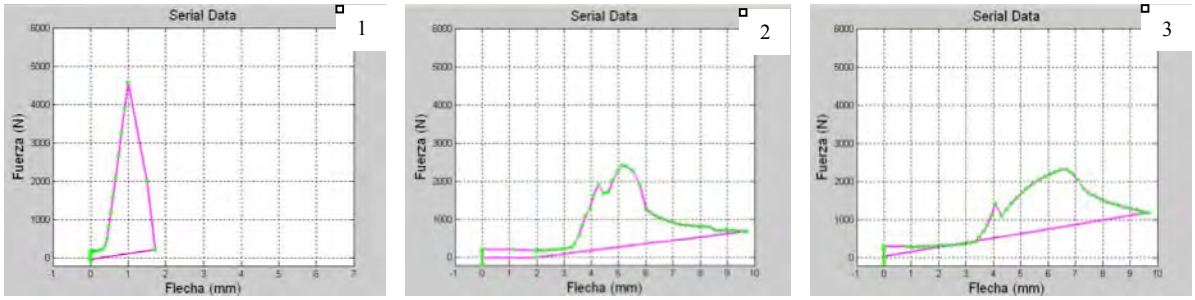


Figura 3. Curvas de rotura de las probetas T0,4-1 (1), C15-18,100-2 (2), C15-18,75-2 (3)

La primera de las curvas (1), representativa de las probetas sin caña, aunque presenta una tensión de rotura mayor, no se considera viable al presentar una rotura frágil con colapso de la pieza, sin aviso y escasa deformación. La segunda (2) es representativa de las probetas con caña de 100mm de canto, se aprecia la aparición de la primera fisura y entrada en carga de la "armadura" de caña, incrementando incluso su resistencia además de la deformación más allá incluso de su rotura, con lo que presenta unas condiciones de seguridad, por el no colapso de la pieza, muy favorables. La tercera curva (3) es representativa de las probetas de 75mm, siendo similar a la anterior pero incluso con un mejor mantenimiento de la resistencia más allá de la rotura, lo que redunda en una mayor seguridad.

4. Conclusiones

Con los resultados obtenidos en los ensayos realizados podemos concluir que los diseños de forjado de yeso y caña común (*Arundo donax* L.) dispuesta en la cara inferior traccionada, son válidos para soporte de las cargas exigidas por el CTE para estos elementos estructurales.

Incluso en el caso de un menor canto total (75mm), que cuenta con un espesor neto de yeso aprox. de entre 57-66mm, comparable con la capa de compresión habitualmente empleada en forjados de hormigón armado, se obtienen resistencias del entrevigado del forjado por encima del doble de las necesarias, 220%, 250% y 230% respectivamente para los diámetros de caña 9-13mm, 12-16mm y 15-18mm.

Además, la forma de rotura de los elementos presenta un incremento progresivo de las deformaciones y el mantenimiento de cierta resistencia, evitando el colapso instantáneo, y por lo tanto mejorando la seguridad de su uso.

Bibliografía

Barreca, F. 2012. Use of giant reed *Arundo donax* L. in rural constructions. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 14(3): 46-52.

Barreca, F., C.R. Fichera, 2013. Wall panel of *Arundo donax* L. for environmentally sustainable agriculture building: thermal performance evaluation. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(2): 1353-57

Brundtland, G.H. *Our Common Future, Chapter 2: Towards Sustainable Development. From A/42/427.*In report of the World Commission on Environment and Development, UN. 1987, Oslo.

CTE, 2006. *Código Técnico de la Edificación.* España, Ministerio de Fomento.

EHE-08, 2008. *Instrucción de Hormigón Estructural.* España, Ministerio de Fomento.

Flores, J.A., J.J. Pastor, A. Martínez-Gabarrón, F.J. Gimeno, I. Rodríguez-Guisado and M.J. Frutos, 2011. Arundo Donax Chipboard Based On Urea-Formaldehyde Resin Using Under 4 Mm Particles Size Meets The Standard Criteria For Indoor Use. *Industrial Crops and Products*, 34: 1538-1542.

Martínez-Gabarrón, A., 2012. Comportamiento mecánico del yeso (sulfato cálcico dihidrato) reforzado con fibra de caña común *(Arundo donax.*L). Ph. D. Thesis*.* Universidad Miguel Hernández de Elche, Orihuela.

Martínez Gabarrón, A., J.A. Flores, J.J. Pastor, J.M. Berná, L.C. Arnold and F.J. Sánchez, 2014. Increase of the flexural strength of construction elements made with plaster (calcium sulfate dihydrate) and common reed (Arundo donax L.) *Construction and Building Materials,* 66: 436-441.

Rodríguez Lledó, C. y Equipo de Arquitecturas Adaptadas al Medio, 1999. *Guía de bioconstrucción sobre materiales y técnicas constructivas saludables y de bajo impacto ambiental.*Madrid: Mandala Ediciones.

Tendero, R., M. Garcia de Viedma. 2011. Edificación para un desarrollo sostenible: una actividad modal. *Informes de la Construccion*, 63, 521, 75-87.

UNE-EN 13279-2,2006. *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.* España, AENOR.

Vegas, F., C. Mileto, 2011. *Aprendiendo a restaurar. Un manual de restauración de la arquitectura tradicional de la Comunidad Valenciana.* Valencia: COACV.

Propiedades acústicas de paneles prefabricados de residuos de cañas

Cristina C. Ferrández García[1], Alfredo Castelló[1], Clara Eugenia Ferrández García[1], Manuel Ferrández-Villena[1], Mª Teresa Ferrández García[1], Teresa García Ortuño[1].

[1]Departamento de Ingeniería. Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Alicante). Universidad Miguel Hernández de Elche. España

Resumen

Tradicionalmente, las fibras vegetales han sido utilizadas en construcción como materiales aislantes, sin embargo, en el último siglo fueron reemplazadas por nuevos materiales cuyos procesos de fabricación tienen mayor consumo energético. El objetivo de este estudio fue determinar las propiedades acústicas y mecánicas de paneles hechos de residuos de caña común. El documento se centra en la evaluación de la absorción acústica de los tableros para ser empleados en edificación. Los materiales utilizados fueron partículas a partir de cañas y urea formaldehido como adhesivo. Se elaboraron paneles con tres tamaños de partículas y se evaluó su influencia. Para determinar el coeficiente de absorción, las muestras se sometieron a pruebas con frecuencias desde 50 a 6300 Hz. Los resultados mostraron que los tableros tuvieron un coeficiente de absorción medio para la gama de frecuencias bajas y altas, existiendo diferencias significativas según el tamaño de partícula. Los tableros con partículas de 2 a 4 mm podrían clasificarse como absorbentes del sonido clase D (EN ISO 11654), y los de tamaño de partícula de 0.25 a 1 tuvieron la mayor pérdida de transmisión sonora. Al contrario que en las propiedades acústicas, a menor tamaño de partícula utilizada, mejores eran las propiedades mecánicas de los tableros. Los resultados indicaron que éste puede ser un material aislante acústico interesante para usos comerciales.

Palabras clave: Tablero aglomerado, *Arundo donax* L., propiedades mecánicas y acústicas.

Acoustical properties of panels made from residues of giant reed

Abstract

Traditionally, vegetal fibers have been used in construction as isolating material, however, in the last century they were replaced with new materials which manufacture processes have higher energy consumption. The aim of this study was to determine the mechanical and acoustical properties of panels made from residues of giant reed. This paper was focused in the evaluation of the sound absorption of the particleboards and to apply them in construction. The materials were obtained from giant reed residues and urea formaldehyde as adhesive. Panels were made using three different particle sizes and its influence was analyzed. In order to determine the sound absorption coefficient, panels were tested in frequencies that ranged from 50 to 6300 Hz. The results showed that the panels had a medium sound absorption coefficient in low and in high frequencies, depending vastly on the particle size. Panels made of particles from 2 to 4 mm could be classified as D type (EN ISO 11654), and the ones made of particles from 0.25 to 1 mm had the higher sound transmission loss. In contrast to the acoustical properties, the smaller the particle used, the better mechanical properties the particleboards had. The results showed that this material could be an interesting acoustic isolator material in commercial uses.

Keywords: Particleboard, *Arundo donax* L., mechanical and acoustical properties.

1. Introducción

Tradicionalmente, las fibras vegetales han sido utilizadas en edificación como material aislante. En este último siglo, han sido remplazadas por materiales tecnificados que consumen gran cantidad de energía en su elaboración. Actualmente el uso de materiales sostenibles se está convirtiendo en una práctica común para la reducción de ruido en la edificación e ingeniería civil. Los materiales de construcción verde deben ser renovables, locales y abundantes. Uno de los materiales vegetales

utilizado como absorbente del sonido es la madera en forma de tableros o en paneles de partículas. Para satisfacer la demanda causada por la disminución de los suministros de madera maciza y materiales a base de madera, se han realizado varias investigaciones que han utilizado fibras vegetales en el desarrollo de tableros de partículas.

En general los materiales vegetales son porosos y buenos absorbentes del sonido, con buenas propiedades aislantes acústicas en una amplia gama de frecuencias. El hecho de que las fibras vegetales puedan ser más económicas, ligeras y respetuosas con el medio ambiente, justifica que se hayan estudiado como una alternativa a las fibras sintéticas (Zhu et al. 2014).Algunas, como el kenaf o la fibra de madera, ya se encuentran en el mercado, con lo que su empleo podría empezar a extenderse. Asdrubali et al. (2015), indican que el rendimiento de las fibras vegetales es similar a las fibras sintéticas. Como sustitutos de materiales acústicos, se han realizado varias investigaciones con tableros de partículas que han utilizado diferentes residuos vegetales, entre ellos tallos de arroz (Yang et al. 2003), fibras de coco (Zulkifli et al. 2009), bambú (Karlinasari et al. 2012), residuos vegetales (Sampathrajan et al. 1991, Lü et al. 2013), yute con látex (Fatima and Mohanty,2011), residuos de la palma de aceite (Kerdtongmee et al. 2016) y fibras de palmera datilera (Khidir et al 2014).

Yang et al. (2003) fabricaron paneles acústicos de tallos de arroz, con una densidad específica de 400 y 600kg·m^{-3}, que eran adecuados como material aislante en la absorción de sonido en las construcciones de madera. Este ensayo mostró que, independiente del tamaño de partícula utilizado, se producía una disminución en el coeficiente de absorción del sonido para frecuencias medias y un aumento en la absorción de sonido en el rango de frecuencia baja y alta. Karlinasari et al. (2012) indicaron que los paneles de bambú tenían buen comportamiento como absorbentes acústicos en frecuencias altas y bajas, y que en medias frecuencias tenían valores muy bajos. Con paneles de fibras de coco Zulkifli et al. (2009) concluyeron que aumentando el espesor y realizando perforaciones a los tableros mejoraban las propiedades acústicas, mientras que con paneles de fibras de raquis de palmera datilera de baja densidad (77 kg·m^{-3}, 100 kg·m^{-3}y 125 kg·m^{-3}) Khidir et al., (2014) indicaron que el coeficiente de absorción acústica aumentaba al aumentar la densidad.

En este trabajo se utiliza como material caña común, que ya fue tradicionalmente utilizada en la zona del levante español como material de construcción. La caña es la mayor de las gramíneas de las regiones mediterráneas, siendo una planta salvaje en la que no se ha realizado selección de genotipos ni mejora genética. Es una planta perenne que forma densos cañaverales. Con la industrialización, los materiales vegetales dejaron de emplearse en los edificios, convirtiéndose la caña común en una planta invasora que puede provocar graves problemas. Cuando la caña crece en los márgenes de las corrientes fluviales, al producirse crecidas de agua, es arrancada y transportada, formando grandes masas que obstruyen los cauces, provocando inundaciones y arrasando a su paso todo tipo de construcciones.

El objetivo de este estudio fue determinar las cualidades de las partículas de caña comúnen la elaboración de tableros aislantes acústicos, evaluar dichos tableros mediante la obtención del coeficiente de absorción y pérdida de transmisión acústica, así como las propiedades mecánicas de los tableros y a la vez comprobar la influencia del tamaño de partícula utilizada en el tablero. Con la utilización de cañas se contribuiría al control y reciclaje de estos residuos, y una mejora ambiental.

2. Materiales y Métodos

2.1 Materiales

El material utilizado fue caña común procedente de la limpieza del cauce del río Segura. Las cañas se dejaron secar durante 6 meses al aire. Posteriormente se desfibraron mediante una desfibradora de cuchillas y se clasificaron las partículas por las dimensiones, según atravesaban los tamices de una tamizadora vibradora.

Como aglutinante se utilizó urea formaldehído (UF) comercial con un contenido en sólidos del 64 a 66%, en un 8% basado en el peso de las partículas de palmera. Como endurecedor se utilizó un 4% de sulfato amónico.

2.2. Proceso de fabricación

Se fabricaron 3 tipos de tableros con distinto tamaño de partículas (0.25 a 1 mm; 1 a 2 mm y 2 a 4 mm) obtenidas de las cañas. Las partículas se mezclaron mediante inyección con un 8% de UF en una amasadora volteadora de eje horizontal marca IMAL.

Para elaborar los tableros de partículas aglomeradas (EN 309), se formó la manta en un molde de dimensiones 400 mm x 600 mm y se sometió en una prensa de platos calientes a una presión de 2.6 MPa y temperatura de 120º C durante 4 minutos. Los tableros formados se dejaron enfriar al aire en posición vertical durante 24 h.

Se fabricaron 8 tableros de cada tipología. Posteriormente se cortaron las probetas con las dimensiones adecuadas que indican las normas europeas para cada uno de los ensayos de laboratorio.

2.3. Métodos

Se empleó la microscopía electrónica de barrido (SEM) para determinar la textura y analizar las propiedades morfológicas de la caña común. Se tomaron micrografías a partir la caña y de secciones transversales de los tres tipos de tableros de 5 cm por 5 mm. Se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido de Emisión de Campo Modelo Nova NanoSEM 200 Marca FEI con una resolución de 1ηm a 30Kv, 1.5 ηm a 10 kV (Bajo vacío). Voltaje Acelerador: 200 V a 30 kV.

Los ensayos mecánicos de laboratorio se realizaron conforme a las normas europeas aplicadas a los tableros de partículas. Para el ensayo de densidad se procedió según indica la norma EN 323 utilizando 6 probetas de cada tablero de dimensiones 50 x 50 mm. Las propiedades mecánicas se determinaron mediante la máquina universal de ensayos marca IMAL, que cumple con la velocidad indicada para cada ensayo. Para obtener el módulo de ruptura en flexión (MOR) y el módulo de elasticidad en flexión (MOE) en $N \cdot mm^{-2}$, se realizó el ensayo de acuerdo con la norma europea EN 310 utilizando 6 probetas de cada tablero.Para el ensayo de cohesión interna o resistencia a tracción (IB) en $N \cdot mm^{-2}$ se utilizaron tres probetas y se empleó la norma europea EN 319 que indica que la carga se aplica perpendicular a la cara de la probeta y a velocidad constante durante todo el ensayo.

Ensayos acústicos. El método seguido para determinar el coeficiente de absorción acústica de un material bajo incidencia normal, es el basado en el tubo de impedancia acústica. Este método de ensayo utiliza un tubo de impedancia, dos posiciones de micrófono y un sistema digital de análisis de señal, según la norma EN ISO10534-2. Esta técnica necesita un procedimiento previo de corrección de ensayo para minimizar las diferencias en las características de amplitud y de fase entre los dos micrófonos. Para realizar los ensayos se utilizó el tubo de impedancia Acupro Spectronics, con una gama de frecuencias entre 50 y 6300 Hz.En la figura 1 se puede observar el montaje para la medición.

Figura 1. Montaje de tubo de impedancia para la determinación del coeficiente de absorción

Para los ensayos acústicos se utilizaron tres probetas de cada tipo de tablero. Las diferentes probetas se pueden observar en la figura 2.

Figura 2. Probetas de ensayos acústicos.

3. Resultados y Discusión

3.1 Microscopia electrónica de barrido

Según se puede ver en la figura 3,(en la micrografía de la superficie de la caña común), tiene haces vasculares de fibras compactos rodeados por fitolitos de sílice, alineados a lo largo de toda la superficie exterior de la caña, que le dan el aspecto brillante y satinado.

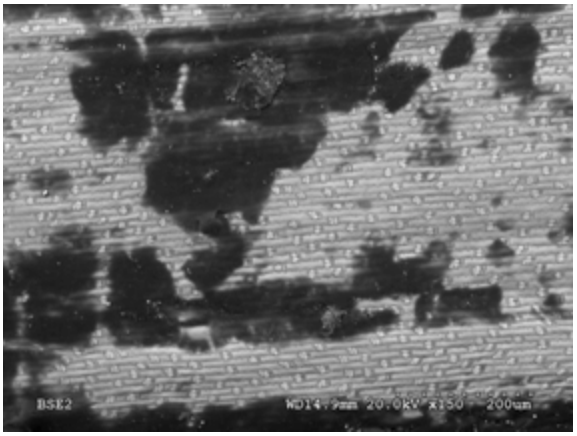


Figura 3. Micrografía de la superficie de la caña común

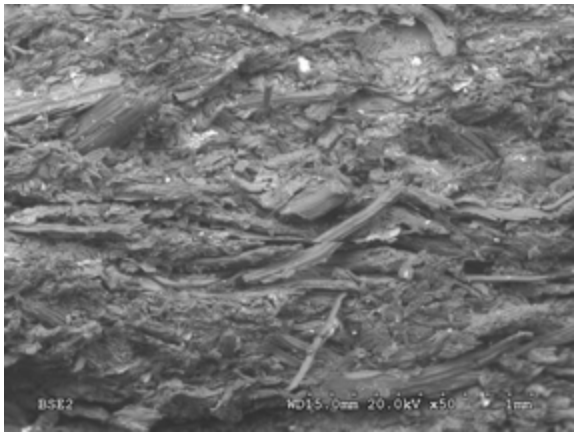


Figura 4. Fractura del tablero partículas 0.25 a 1 mm

Las figuras 4, 5 y 6son micrografías de la fractura de paneles elaborados con partículas de 0.25 a 1 mm, de 1 a 2 mm y de 2 a 4 mm.

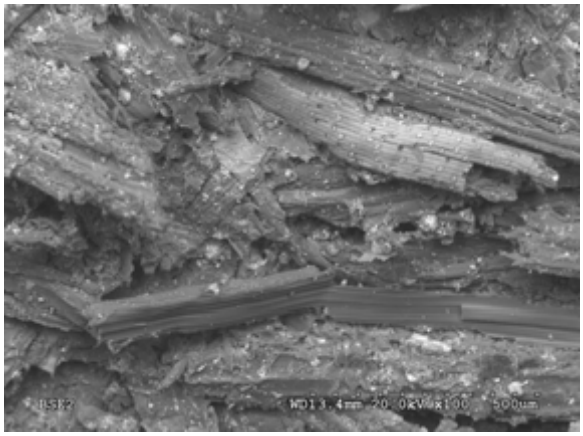


Figura 5. Fractura del tablero partículas 1 a 2 mm

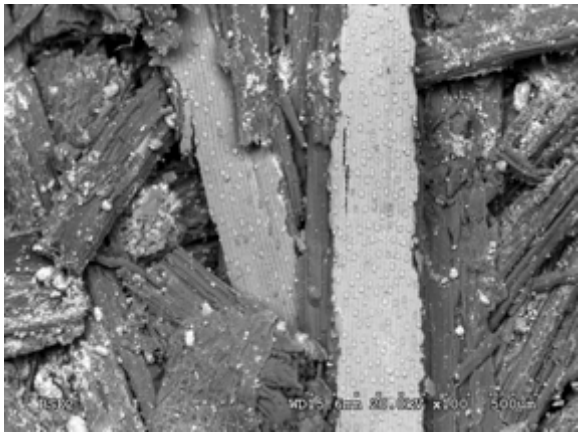


Figura 6. Fractura del tablero partículas 2 a 4 mm

Como se observa en los paneles con partículas de mayor tamaño existe mucha porosidad y los tableros fracturan más fácilmente cuando las partículas corresponden a las capas superiores de la caña, donde se pueden observar los fitolitos. Todo parece indicar que los tableros con tamaños de partículas mayores tendrán menor densidad y menores propiedades mecánicas ya que tienen una gran superficie de fitolitos que impiden una mejor cohesión de las partículas presentando más dificultad de adhesión de la resina Urea Formaldehido. En los tableros con partículas de pequeño tamaño se observa que tienen menor porosidad salvo las fibras de los haces vasculares que al ser de mayor dureza no se han comprimido.

3.2. Propiedades físicas y mecánicas

Para proceder a los ensayos de laboratorio, las probetas de los diferentes ensayos se mantuvieron a una atmósfera controlada con una temperatura de 20ºC y una humedad relativa del 65%. Los valores medios obtenidos de los ensayos se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de los tableros de partículas de caña común.

Partícula (mm)	Densidad (kg·m-^{3})	MOR (N·mm-^{2})	MOE (N·mm-^{2})	IB (N·mm-^{2})
0.25 a 1	817.8	17.2	2300.3	1.2
1 a 2	752.6	13.2	1789.6	1.2
2 a 4	719.6	10.0	1190.7	1.0
EN 312 clase P4	660-820	16	2300	0.40

La densidad de los tableros oscila entre 719.6y817.8 kg·m^{-3}, aumentando unos 50kg·m^{-3} aproximadamente de un tamaño de partícula al tamaño superior. Con la presión aplicada se obtiene una densidad media, existiendo diferencias significativas entre los tableros con diferente tamaño de partícula, a mayor tamaño de partícula menor densidad.

La resistencia a flexión (MOR) depende del tamaño de partícula. El MOR para partículas de 0.25 a 1 mm alcanza un valor de 17.2 N·mm^{-2}, disminuyendo con partículas de mayor tamaño. El módulo de elasticidad en flexión (MOE) también depende del tamaño de partícula obteniendo valores de 1190.7a 2300.3N·mm^{-2}. Los valores de cohesión interna (IB) no dependen del tamaño de partícula y se obtienen valores altos desde 1.0 hasta 1.2 N·mm^{-2}.

Los tableros con partículas de 0.25 a 1 mm pueden tener un uso estructural, ya que alcanzan las propiedades mecánicas mínimas requeridas por las normas europeas (EN 312). Todos los tableros tienen propiedades mecánicas superiores a los tableros aislantes usados en la construcción.

3.3. Propiedades acústicas

En la figura7 se indican los valores obtenidos del coeficiente de absorción acústica de los ensayos realizados con tres probetas de cada tablero. Como puede observarse, existen diferencias notables entre los tableros fabricados según el tamaño de las partículas. En la figura 8 se indican los valores medios del ensayo de absorción acústica en función del tamaño de partícula, para frecuencias de bandas de octavas normalizadas.

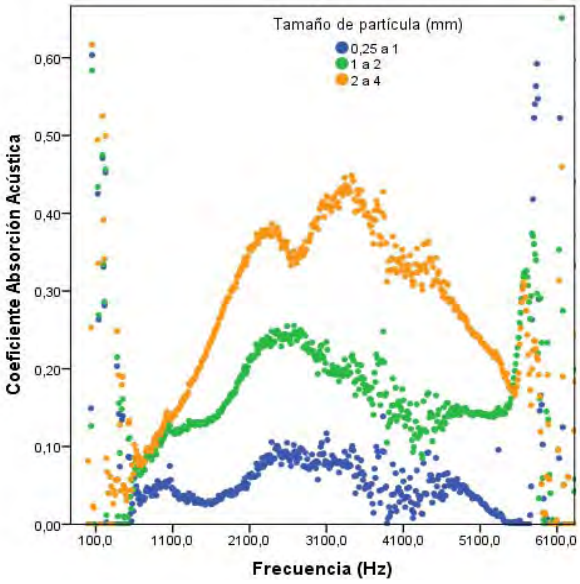


Figura 7. Resultados del ensayo

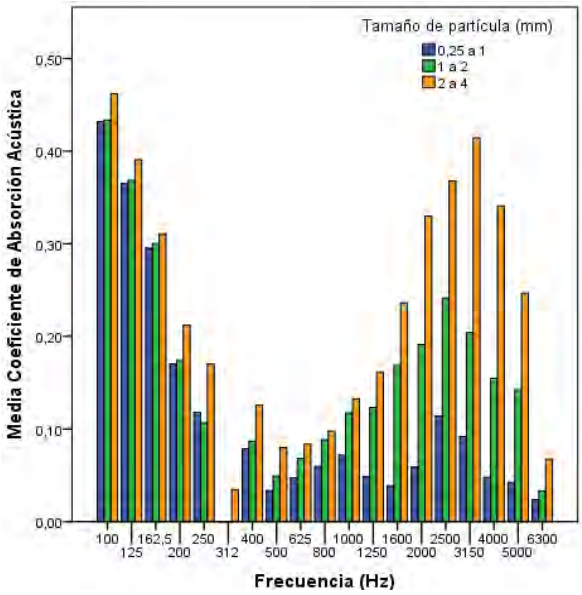


Figura 8. Coef.α en función del tipo de tablero

Como se indica en la gráfica del ensayo de absorción acústica,con los tres tamaños de partícula se obtiene un valor alto para frecuencias muy bajas (con 50 Hz el coeficiente de absorción es 0.7), posteriormente va disminuyendo para frecuencias medias hasta valores bajos y nuevamente vuelve a aumentar. Las gráficas de los diferentes tipos de paneles indican que hay diferencias significativas entre unos tipos de tableros y otros, especialmente en las bandas de 1250 a 5000 Hz. Realizado el análisis estadístico se puede concluir que hay diferencias significativas respecto al tamaño de partícula utilizado, ya que a mayor tamaño de partícula, mayores son los coeficientes de absorción acústica. Esto puede ser debido a que los tableros tienen distintas densidades, lo que indica una porosidad diferente también observada en las micrografías. Pero es probable que también influya el tamaño de partícula, pues con la disminución de densidad entre las partículas de 0.25 a 1 mm y de 1 a 2 mm, las diferencias entre los valores de absorción acústica no son tan significativos como con los paneles de partículas 2 a 4 mm, teniendo una diferencia de densidad similar.

Según la norma EN ISO 11654, con valores de coeficiente de absorción acústica desde 0.30 hasta 0.55 serían absorbentes de clase D, con valores de 0.15 hasta 0.25 se clasificarían como absorbente clase Ey para valores menores estarían sin clasificar. En general los tableros de caña de partículas de 2 a 4 mm podrían clasificarse como tableros absorbentes acústicos clase D, salvo para la frecuencia de 500 Hz.

Otros estudios con otras fibras vegetales coinciden con este trabajo en la disminución en el coeficiente de absorción del sonido para frecuencia medias y aumento de la absorción de sonido en

el rango de frecuencia baja y alta. En cambio hay diversos resultados respecto a la influencia de la partícula del tablero. Con fibras de tallo de arroz (Yang et al. 2003) observaron que no influye el tamaño de las partículas, e indican que solo depende de la densidad. En este trabajo se han observado mayores valores de absorción acústica en partículas de mayor tamaño, en cambio Karlinasari et al. (2012) comprobaron que en paneles de bambú se obtenía mayor coeficiente de absorción acústica con menor tamaño de partícula.

En la tabla 2 se muestran los coeficientes de absorción acústica en función de las frecuencias centrales de bandas de octavas normalizadas. Los resultados obtenidos se han referido a estas frecuencias ya que son las más usadas en acústica arquitectónica y en la mayoría de trabajos y estudios consultados. Esto facilita la posterior comparación de los resultados con los valores obtenidos para otros materiales de la misma densidad empleados habitualmente en construcción.

Tabla 2. Coeficientes de absorción acústica (α) en función de la frecuencia

Material	**Partícula(mm)**	**Frecuencia (Hz)**					
		125	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
Paneles decaña	0.25 a 1	0.37	0.12	0.03	0.07	0.06	0.05
	1 a 2	0.37	0.11	0.05	0.12	0.19	0.15
	2 a 4	0.39	0.17	0.08	0.13	0.33	0.34
Madera		0.15	0,11	0,10	0.07	0.06	0.07
Panel de madera contrachapada 1cm espesor		0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11

Los resultados obtenidos indican que los tableros de partículas de 2 a 4 mm son mejores absorbentes del ruido que las maderas y paneles contrachapados comerciales de igual densidad. Los tableros con partículas de 1 a 2 mm son más absorbentes del sonido que los tableros de madera. Con los tableros de partículas de 0.25 a 1 mm se obtienen valores menores a partir de frecuencias de 125 Hz.

El coeficiente de absorción acústica depende del espesor del panel. Los paneles ensayados tenían un espesor medio de 6.7 mm, por lo que aumentando el espesor se mejorarían sus propiedades de absorción del sonido.

Otro indicador importante es la pérdida de transmisión, un parámetro expresado en dB que depende de la frecuencia e indica en cuanto se atenúa la energía sonora incidente al atravesar un material. En la figura 9 se indican los valores obtenidos en función de las frecuencias centrales de bandas de octavas normalizadas.

La energía acústica perdida es mayor en los tableros de partículas de menor tamaño, siendo menor la energía sonora que la energía incidente hasta 52 dB a una frecuencia de 400 Hz. La media de pérdida de transmisión acústica para los tableros de 0.25 a 1 mm es de 37.5 dB, para los tableros de 1 a 2 mm es 31.5 dB y para los tableros de 2 a 4 mm 15 dB. La pérdida de transmisión acústica depende de la densidad del tablero y del tamaño de partícula. Esto nos indica que los tableros de caña pueden ser buenos aislantes acústicos ya que con partículas de menor tamaño se atenúa más el sonido y con partículas de mayor tamaño es mayor el coeficiente de absorción acústica.

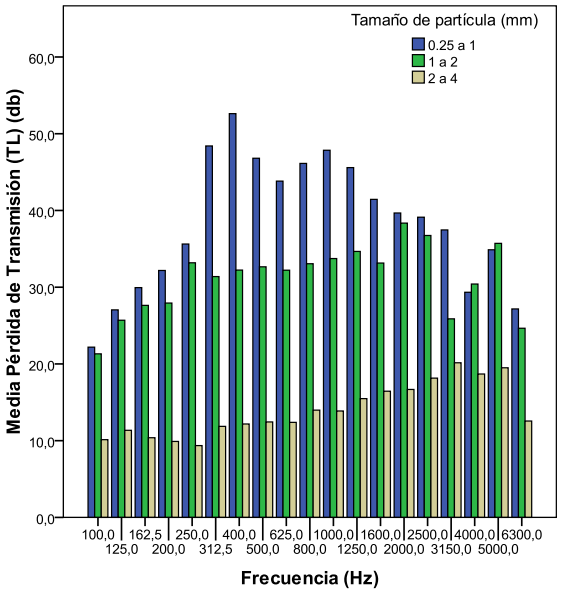


Figura 9. Pérdida de transmisión acústica en función de la frecuencia y del tipo de tablero

4. Conclusiones

Los tableros obtenidos son de densidad media y ésta depende del tamaño de partícula con una diferencia entre ellos de 50 en $kg \cdot m^{-3}$.

Según las propiedades mecánicas obtenidas, los tableros de partículas de 0.25 a 1 mm son tableros estructurales (EN 312), los de partículas de 1 a 2 mm son tableros de uso general y los de 2 a 4 mm sólo podrían utilizarse como aislantes (EN ISO 11654).Todos los tableros tenían un módulo de ruptura en flexión mayor que el necesario para los tableros para aislamiento.

Los tableros de caña con un tamaño de partícula de 2 a 4 mm son adecuados como material de aislamiento para absorción del sonido. Estos tableros tienen mejores valores que la madera en general y que los tableros contrachapados empleados en la construcción. Con partículas de menor tamaño hay mayor pérdida de energía sonora.

El tamaño de partícula del tablero es una variable importante ya que influye en todas las propiedades tanto mecánicas como acústicas.

La elaboración de tableros de caña común tiene menor coste energético. El secado del material se ha realizado al exterior (sin consumo de energía) y la temperatura de la prensa (120ºC) es menor que la temperatura utilizada en la elaboración de tableros industriales (180ºC).

La utilización de este residuo para producir tableros de partículas aglomeradas conllevaría un beneficio ambiental, evitaría la contaminación de los ríos y se obtendrían tableros de menor coste energético.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad de España (MINECO, AGL2013-41612-R)

Bibliografía

Asdrubali, F., D'Alessandro, F. and Schiavoni, S. 2015. A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4: 1-17.

EN 309. 2005. Tableros de partículas. Definición y clasificación. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 310. 1993. Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 312. 2010. Tableros de partículas. Especificaciones. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 319. 1993. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 323 .1993. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la densidad. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN ISO 10534-2. 2002. Acústica Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia. (ISO 10534-2:1998). European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN ISO 11654. 1997. Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica. (ISO 11654:1997). European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

Fatima, S. and MohantyA.R. 2011. Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials. *Applied Acoustics*, 72: 108–114.

Karlinasari, L., Hermawan, D., Maddu, A., Bagus, M., Lucky, I. K., Nugroho, N. and Hadi, Y. S. 2012. Acoustical properties of particleboards made from betung bamboo (Dendrocalamus asper) as building construction material. *BioResources,* 7(4): 5700-5709.

Kerdtongmee, P., Saleh, A., Eadkhong, T., and Danworaphong, S. 2016. Investigating Sound Absorption of Oil Palm Trunk Panels Using One-microphone Impedance Tube. *BioResources,* 11(4):8409-8418.

Khidir, E. A., Nik Mohamed, N. A., Nor, M., Jailani, M., Tahir, M. F. M., Zulkifli, R., and Nuawi, M. Z. 2014. Effect of density on the sound absorption of date palm fibers. *In Applied Mechanics and Materials* (Vol. 663, pp. 437-441). *Trans Tech Publications*.

Lü, X., Lu, T., Lipponen, O. and Viljanen, M. 2013. Insulation Materials Made with Vegetable Fibres. In Nearly Zero Energy Building Refurbishment (pp. 411-455). Springer London.

Sampathrajan, A., Vijayaraghavan, N. C., and Swaminathan, K. R. 1991. Acoustic aspects of farm residue-based particleboards. *Bioresource Technology,* 35(1): 67-71.

Yang, H. S., Kim, D. J. and Kim, H. J. 2003. Rice straw–wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology,* 86(2): 117- 121

Zhu, X., Kim, B. J., Wang, Q. and Wu, Q. 2014. Recent advances in the sound insulation properties of bio-based materials. *BioResources,* 9(1): 1764-1786.

Zulkifli, R., Nor, M. J. M., Ismail, A. R., Nuawi, M. Z. and Tahir, M. F. M. 2009. Effect of perforated size and air gap thickness on acoustic properties of coir fibre sound absorption panels. *European Journal of Scientific Research,* 28(2): 242-252.

Evaluación de paneles de tronco de palmera-cemento

Cristina C. Ferrandez-Garcia[1], Clara Eugenia Ferrandez-Garcia[1], Manuel Ferrandez-Villena[1], Mª Teresa Ferrandez-Garcia[1], Teresa Garcia-Ortuño[1].

[1] Departamento de Ingeniería. Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Alicante). Universidad Miguel Hernández de Elche. España

Resumen

Los paneles de madera-cemento cada vez se utilizan más como materiales prefabricados para la construcción. Debido a los problemas medioambientales, se está incrementando el uso de recursos renovables. Por ello, se está aumentando en todo el mundo la utilización de otras fibras vegetales en el desarrollo de nuevos productos. En este trabajo se discute el uso de partículas de palmera canaria en la fabricación de paneles de fibras con un 20 % de cemento, utilizando como plastificante distintas proporciones de almidón. En la elaboración se utilizó una presión de 2.6 MPa y una temperatura de 100ºC. Se estudió la densidad, hinchamiento en espesor, cohesión interna, resistencia a la flexión y la conductividad térmica. Las pruebas mecánicas indicaron que los valores de MOR y MOE aumentaron con el tiempo, por lo que las partículas de la palmera, parecieron tolerar la alcalinidad del cemento. El tablero con un 5% de almidón tenía a los 28 días un MOR de 15.76 $N \cdot mm^{-2}$, y un MOE de 1872 $N \cdot mm^{-2}$. Los tableros con espesores de 6.7 mm tenían una conductividad térmica media de 0.054 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Estas placas alcanzaron buenas propiedades mecánicas y podrían utilizarse para usos generales y como aislante térmico.

Palabras clave: Phoenix canariensis, cemento, almidón, propiedades físicas, mecánicas y térmicas

Evaluation of cement-palm trunk´s panel

Abstract

Wood-cement panels are increasingly used as prefabricated materials for construction. Due to environmental problems, the use of renewable resources is incrementing. Because of this, the utilization of other vegetable fibres in the development of new products, is increasing worldwide. This paper discusses the use of Canarian palm particles in the fibre panels production with 20% cement, using as a plasticizer different proportions of starch. These panels was made with a pressure of 2.6 MPa and temperature of 100ºC. The study of density, thickness swelling, internal cohesion, bending strength and thermal conductivity of these panels, was carried out. The mechanical tests indicated that the values of MOR and MOE increased over time, so that palm particles seemed to tolerate the alkalinity of cement. 5 % starch panel had a 15.76 N·mm-2 of MOR and 1872 N·mm-2 of MOE at 28 days. The boards with thicknesses of 6.7 mm had an average thermal conductivity of 0.054 W · $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. These boards achieved good mechanical properties and could be used for general purposes as well as thermal insulation.

Keywords: Phoenix canariensis, cement, starch, physical, mechanical and thermal properties

1. Introducción

Cada vez se utilizan más en la edificación los paneles de madera-cemento para encofrados, cubiertas, paneles sandwich, revestimientos, tabiques-particiones, casas prefabricadas, falsos techos y solados. Son tableros elaborados con partículas de madera o fibras de celulosa mezcladas con cemento, agua y aditivos químicos. Generalmente, se fabrican mediante un proceso húmedo con alta temperatura y presión durante unos minutos para, posteriormente, dejar curar entre 8 y 18 días presionados a una temperatura de 75 a 80ºC.

Ante la escasez de maderas, las últimas tendencias se dirigen hacia la utilización de otras fibras vegetales. En todo el mundo se genera gran cantidad de residuos vegetales a partir de diversas

fuentes, de forma que la utilización de estos deshechos contribuiría a su reciclaje y valorización. Uno de los residuos vegetales que pueden ser utilizados son las partículas del tronco de palmera canaria, los cuales, se consiguen con facilidad como consecuencia de los restos de esta planta cuando se infecta por la plaga del picudo rojo (Rhynchophorus ferrugineus). Estas palmeras deben ser trituradas y los residuos llevados a vertederos autorizados. La utilización de estos deshechos puede contribuir a la adopción de soluciones sostenibles para el control y erradicación de especímenes contaminados y producir una mejora ambiental.

Se han ensayado diferentes fibras vegetales con cementos y morteros de cemento: fibras de sisal, bambú, cáscara de coco y yute natural (Sen and Reddy, 2011), fibras de cáñamo (Sedan et al., 2008), fibras de sisal y banano (Savastano et al., 2009), fibras de raquis de palmera datilera (Kriker et al., 2008) y *Arundo donax* L. (Ferrández-García et al., 2015).

Chandra and Flodin, (1987) concluyeron que en general, las fibras vegetales presentan problemas de degradación con el cemento. Por lo que hay diferentes propuestas de modificación de las fibras vegetales para evitar su degradación: Tratamiento alcalino de fibras de yute (Chakrabortyet al., 2013), tratamiento con silano de fibras del bagazo de caña de azúcar (Bilba and Arsene, 2008), modificación de las fibras de kenaf mediante diversos tratamientos químicos (Mahjoub et al., 2014) y tratamientos en tres soluciones alcalinas de fibras de raquis de palmera datilera (Kriker et al., 2008).

En ensayos realizados de compuestos de fibras vegetales con cemento Savastano et al., (2009) indicaron que sufrieron una severa disminución de la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad en flexión, después de la exposición durante un año a ambientes templados o tropicales, concluyendo que las reducciones podrían atribuirse a la carbonatación de la matriz seguida de lixiviación y microfisuración progresiva. Igualmente Ramakrishna and Sundararajan, (2005) demostraron que la degradación se debía a la carbonatación de las fibras vegetales.

En una revisión sobre las recientes investigaciones del uso de fibras vegetales en materiales compuestos de cemento, Yan et al., (2016) dedujeron que los elementos celulósicos presentan una gran variabilidad en las propiedades mecánicas, debido a que se degradan principalmente por la degradación alcalina y por la mineralización de las fibras. Estos mecanismos producen cambios en la composición químicas de las fibras que provocan una disminución en su resistencia, una degradación de la matriz polimérica y una degradación en el enlace interfacial de la matriz de fibra / polímero.

En general en la bibliografía consultada se indica que en los materiales compuestos de cemento reforzado con fibras vegetales se producía una disminución del calor de hidratación (Bilba et al., 2003; Sudin and Swamy, 2006; Fan et al., 2012), atribuyéndolo a distintos componentes de las fibras vegetales. Por lo que Vo and Navard (2016) indicaron que seleccionar fuentes de biomasa con bajo contenido en estos compuestos, minimizaría estos inconvenientes.

Onuaguluchi, and Banthia, (2016) recomendaron en la revisión realizada sobre las fibras naturales reforzando composites de cemento que se mejoraría al principio la hidratación del cemento aumentando la temperatura de curado, añadiendo aceleradores químicos y utilizando materiales que tuviesen un área superficial alta.

Igualmente se ha investigado la adición de almidón al cemento. Dewacker and Mcad, (1996) sugirieron que una mezcla de polisacáridos tales como celulosa y almidón eran un buen agente de retención de agua. Estos aditivos son también agentes retardantes del fraguado, mejoran el tiempo de trabajabilidad y modifican la hidratación del cemento. Zhang et al., (2007), realizaron un estudio sobre el mecanismo de dispersión del almidón sulfonado como agente reductor del agua para el cemento. Ferrández-García et al., (2015), estudiaron placas de cemento con distintas proporciones de almidón, concluyendo que tenían propiedades mecánicas de tableros estructurales.

El tronco de palmera canaria ha sido estudiado para la elaboración de tableros de partículas por Ferrandez-García et al., (2015) e indicaron que usando como adhesivo un 20% de almidón y un

tiempo de 30 minutos de prensado en caliente, los tableros podían clasificarse como tipo P2 que podrían utilizarse para la fabricación de muebles, revestimiento de pisos y falsos techos

El objetivo de este estudio fue evaluar un nuevo composite con biomasa del tronco de la palmera canaria aglomerada con cemento y almidón, analizar las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de estos paneles, y averiguar si se produce degradación de las partículas de palmera a lo largo del tiempo. Dado que los tableros se consideran productos de alto valor ambiental y larga duración, la fabricación de tales tableros podría ayudar a disminuir la concentración atmosférica de CO2, fijándola, contribuyendo así a mejorar el medio ambiente.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

Los materiales empleados fueron cemento portland tipo CEM II/B-LL 32,5N, agua, partículas de tronco de palmera canaria y distintas proporciones de almidón de patata.

La biomasa de palmera canaria se obtuvo de palmeras de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Los troncos de palmera se cortaron, después se trocearon y se mantuvieron al aire libre para su secado durante 6 meses. Posteriormente se trituraron en una desfibradora de cuchillas para conseguir partículas con un tamaño inferior a 0.25 mm y una humedad relativa del 54%, por lo que se dejaron secar al aire durante 3 meses más hasta una humedad relativa del 10%.

Como plastificante se utilizó almidón de patata de la industria alimentaria con un grado de pureza del 90%. Químicamente el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares que son la amilosa y la amilopectina. El almidón de patata contiene típicamente grandes gránulos ovales y gelifica a una temperatura de 58-65ºC.

2.2. Proceso de fabricación

El proceso de fabricación consistió en mezclar en seco el cemento y las partículas de palmera con proporciones diferentes de almidón (0%, 5% y 10%), obteniendo 3 clases de paneles. Posteriormente se pulverizó un 10% de agua sobre la masa, removiéndola durante 15 minutos para su homogeneización. La manta se formó en un molde de dimensiones 600 mm x 400 mm y se sometió a presión y calor en una prensa de platos calientes, con una presión de 2.6 MPa, una temperatura de 100ºC durante 2 o 3 horas. Posteriormente, se dejaron los paneles enfriar en posición horizontal hasta su enfriamiento. Los tableros tenían unas dimensiones aproximadas de 600 x 400 x 6.7 mm. Una vez fríos, se cortaron las probetas para realizar los ensayos necesarios para la caracterización de las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de cada uno de las 6 tipos de tableros sometidos a estudio. Para cada tipo se elaboraron 10 paneles.

El tiempo en la prensa y los porcentajes de cada uno de los componentes de la mezcla en función de la dosificación en peso, fueron los que se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Dosificación en peso

Tipo de tablero	Tiempo (h)	Partículas de palmera	Cemento Portland	Agua	Almidón
A1	2	1	0.20	0.10	0
A2	3	1	0.20	0.10	0
B1	2	1	0.20	0.10	0.05
B2	3	1	0.20	0.10	0.05
C1	2	1	0.20	0.10	0.10
C2	3	1	0.20	0.10	0.10

2.3. Métodos

El método seguido fue experimental mediante ensayos en el laboratorio de resistencia de materiales. Los valores se determinaron siguiendo las normas europeas establecidas para los tableros de partículas de madera (EN 309). Antes de proceder a los ensayos se cortaron las probetas de cada tablero y se acondicionaron a una temperatura de 20ºC y una humedad relativa del 65%.

Se midió a los 28 días la densidad (EN 323), el hinchamiento en espesor y absorción de agua tras 2 y 24 horas de inmersión en agua (EN 317) y la cohesión interna o resistencia a tracción (EN 319).

Para evaluar la posible degradación de las partículas de palmera canaria en contacto con el cemento, se evaluó el módulo de ruptura a flexión (MOR) y el módulo de elasticidad a flexión (MOE) a los 8, 28 y 90 días según la norma EN 310. En este ensayo se utilizaron 2 probetas de cada tablero.

Los ensayos mecánicas se realizaron en la máquina de ensayos marca IMAL, que cumple con la velocidad requerida en cada ensayo, según indican las normas europeas aplicables.

La conductividad y la resistencia térmica se determinaron mediante el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor (EN 12667). Los ensayos térmicos se realizaron en un medidor de flujo de calor marca NETZSCH instruments, Inc, USA. En este ensayo se utilizó una probeta de cada tablero con dimensiones de 300 x 300 x 6.7 mm.

De los valores medios de los ensayos se obtuvo la desviación estándar y se realizó el análisis de la varianza (ANOVA). Para comparar las diferencias entre los tipos de tableros se utilizó el test de Duncan ($P<0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa informático SPSS v. 21.0

3. Resultados y Discusión

3.1. Propiedades físicas

Los valores de densidad se observan en la figura 1. La densidad de los tableros disminuye al añadir almidón desde 1083.65 kg·m^{-3} en los tableros sin almidón hasta 1039.26 kg·m^{-3} en los tableros que se ha añadido un 10% de almidón. Aunque en el análisis estadístico no se observa que la densidad dependa del tipo de tablero.

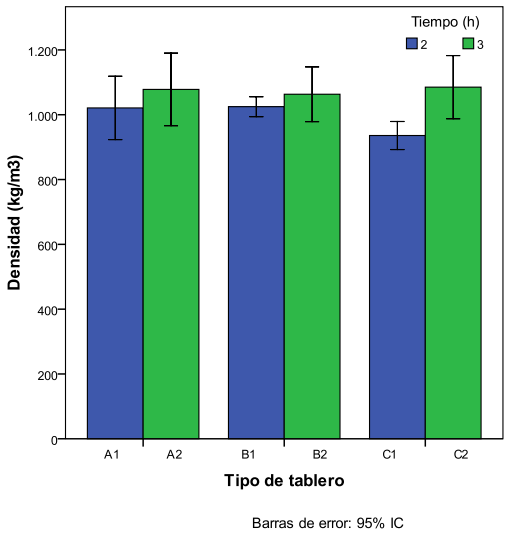


Figura 1. Densidad media en función del tipo de tablero.

Los resultados del ensayo de hinchamiento en espesor (TS) se indican en la figura 2. En el ensayo de inmersión en agua de los tableros se observa que a las 2h los tres tipos de tableros tienen un hinchamiento en espesor con valores similares (13%). A las 24 h, los tableros sin almidón tienen un TS de 29,8%, con un 5% de almidón un TS de 24.8% y con un 10% de almidón un TS de 23,1%. Aunque estadísticamente no se observa que dependa del almidón añadido, esto puede ser porque se utilizó poca cantidad. Habría que realizar nuevos ensayos añadiendo mayores cantidades de almidón, ya que los resultados parecen indicar que a mayor proporción de almidón menor es el TS a las 24h.

El hinchamiento en espesor es muy alto, por lo que habría que añadir alguna cera para conseguir valores menores.

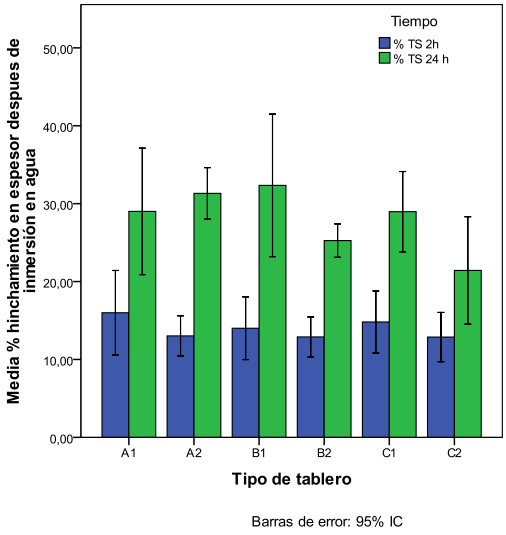


Figura 2. Porcentaje de hinchamiento en espesor a las 2 y 24 h

Como se observa en la figura 3, el comportamiento de las tres clases de tableros sobre la absorción de agua después de inmersión (WA) es similar a las 2h (WA ≈ 30%) y a las 24 h (WA ≈ 51 %), no habiendo diferencias significativas entre los tres tipos de tableros. En los tableros con un 10% de almidón se observa que hay mayor desviación estándar. Este dato puede indicar que en la elaboración del tablero todo el almidón no ha gelificado, por tanto unas probetas han absorbido más agua que otras en el ensayo.

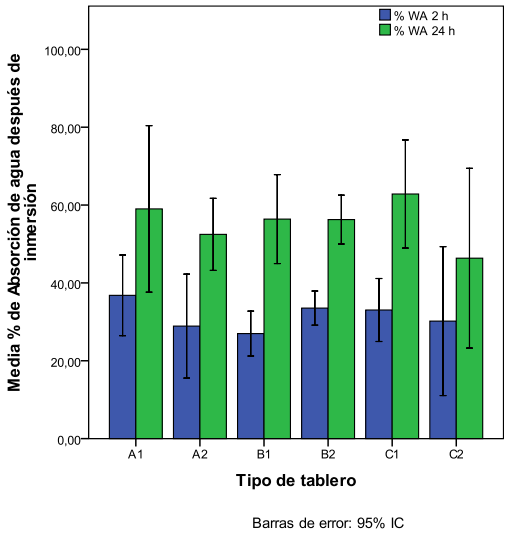


Figura 3. Porcentaje de absorción de agua a las 2 y 24 h

3.2. Propiedades mecánicas

Los valores de cohesión interna (IB) se muestran en la figura 4 destacando que son muy altos. Los tableros con un 5% de almidón alcanzan valores medios de 0.86 $N \cdot mm^{-2}$ y los que no contenían almidón 0.58 $N \cdot mm^{-2}$, existiendo una gran desviación. Este aspecto puede ser debido a la competencia por el agua entre el cemento, las partículas y el almidón. El análisis estadístico indica que no hay diferencias significativas entre las tres clases de tableros ni del tiempo que estuvieron en la prensa de platos calientes.

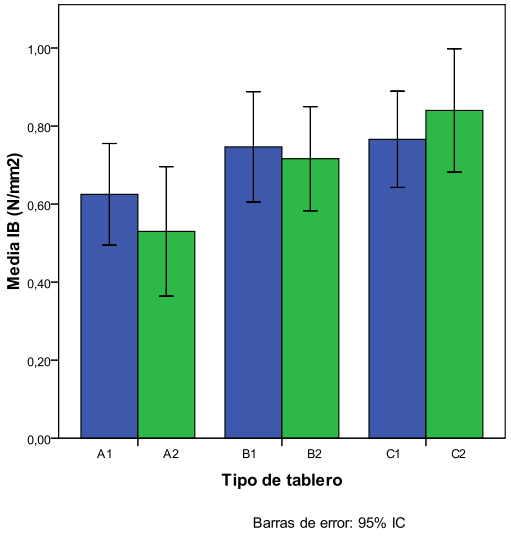


Figura 4. Cohesión interna en función del tipo de tablero

Los resultados del ensayo a flexión a los 8, 28 y 90 días se muestran en las figuras 5 y 6. Se observa que en los 6 tipos de tableros aumentan los valores del módulo de rotura en flexión (MOR) y el módulo de elasticidad en flexión (MOE) a lo largo del tiempo, lo que indica que la biomasa de palmera tolera la alcalinidad del cemento. Los valores de MOR y MOE dependen del tipo de tablero. El tablero con un 5% de almidón tenían a los 28 días un MOR de 15.76 $N \cdot mm^{-2}$, y un MOE de 1872 $N \cdot mm^{-2}$, en cambio sin almidón el MOR es de 13.61 $N \cdot mm^{-2}$, y el MOE 1799 $N \cdot mm^{-2}$. En los tableros de clase C, aunque tienen buenos valores de MOR y MOE, parece que todo el almidón no ha gelificado, que ha habido competencia por el agua entre las partículas de palmera, el cemento y el almidón. No se observan diferencias significativas debido al tiempo que estuvieron los tableros en la prensa de platos calientes.

El tiempo que los tableros estuvieron en la prensa parece que influye en las propiedades a lo largo del fraguado. El tiempo de prensado fue de 2 y 3 horas y los tableros de madera-cemento industriales permanecen 8 horas. Parece que a mayor tiempo mejores propiedades mecánicas, esto habrá de confirmarse con nuevos ensayos donde se contemple un proceso de elaboración con mayor tiempo en la prensa.

Las tres clases de tableros ensayadas pueden clasificarse como tableros tipo P2 (EN 312, 2010), para usos generales, incluso utilización para muebles. Para poder tener mayores prestaciones y clasificarse como estructurales habría que disminuir el TS.

Otras fibras vegetales se degradan con el cemento, en cambio parece que a la biomasa del tronco de la palmera canaria tolera la alcalinidad, ya que aumenta la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad a los 90 días de fraguado. En paneles de morteros de cemento con fibras de sisal y banano, Savastano et al., (2009) concluyeron que las reducciones MOR y MOE producidos al año en ambiente húmedo, podrían atribuirse a una microfisuración progresiva. Por lo que para poder confirmar que las partículas de palmera canaria no se degradan con cemento habría que realizar ensayos al año de fraguado.

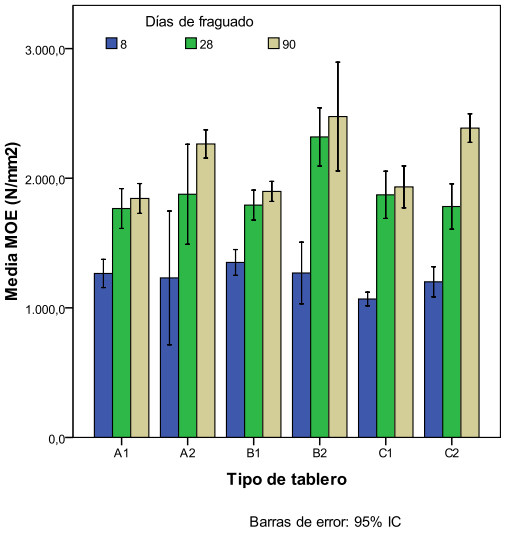


Figura 5. Módulo de rotura de flexión (MOR)

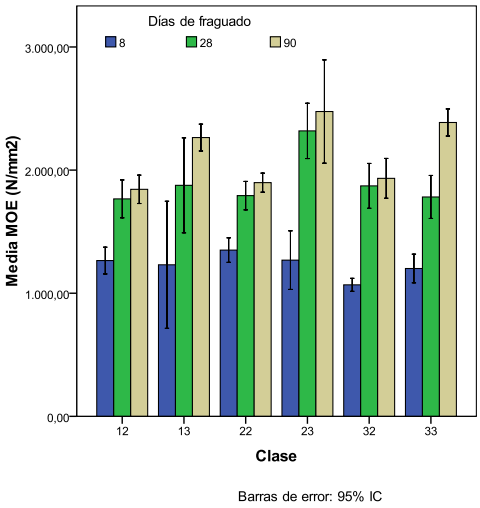


Figura 6. Módulo de elasticidad de flexión (MOE)

Kriker et al., (2008) utilizaron fibras de raquis de palmera datilera con tratamientos alcalinos como refuerzo del hormigón, y concluyeron que el rendimiento era muy bajo. En este trabajo se han utilizado partículas de tronco de palmera canaria sin tratamientos, con muy poca cantidad de cemento (20%), por lo que la alcalinidad de la mezcla era menor que en los hormigones.

Según Vo and Navard, (2016) los azúcares solubles de las fibras vegetales tienen efectos adversos sobre las prestaciones del hormigón. La palmera canaria tiene un gran contenido de azúcares, sin embargo, en este ensayo no se aprecian esos efectos, por tanto, puede depender del tipo de azúcares de la biomasa vegetal.

Con tratamientos con tetrahidruro de silicio, Bilba and Arsene, (2008) destacan que el bagazo de caña de azúcar toleraba la alcalinidad del cemento. Ferrández-García et al., (2015) indican que el contenido de silicio de la caña común produce un efecto beneficioso para su durabilidad en morteros de cemento. El tronco de palmera canaria contiene silicio, luego puede ser que favorezca que no haya degradación de las partículas.

3.2. Propiedades térmicas

En la figura 7 se exponen los valores obtenidos de conductividad térmica. No hay diferencias entre las tres clases de tableros que tienen una conductividad térmica media de 0.054 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Este valor indica que son buenos aislantes térmicos.

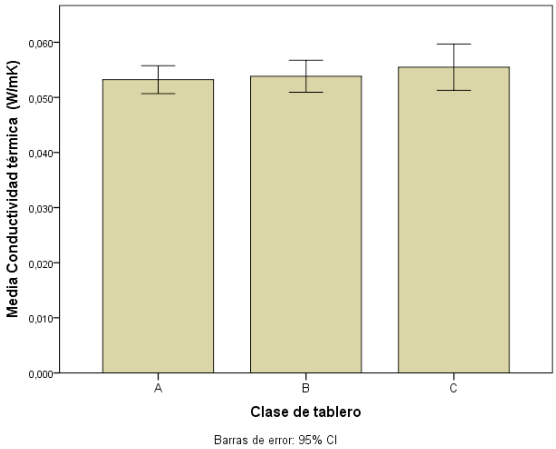


Figura 7. Conductividad térmica λ en función de la clase de tablero

En la tabla 2 semuestran los valores de conductividad térmica de diferentes fibras vegetales.

Tabla 2. Conductividad térmica λ obtenida en diferentes ensayos

Referencia	Material	Conductividad térmica ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
Este trabajo	Tronco palmera canaria-cemento	0.054
Agoudjil et al. (2011)	Raquis palmera datilera	0.083
Behzad and Sain (2007)	Cáñamo	0.111
Kalaprasad et al. (2000)	Sisal	0.070

Como se observa, los paneles de palmera canaria y cemento tienen mejores propiedades térmicas que otras fibras vegetales que han sido propuestas en otros trabajos, para su utilización como materiales aislantes térmicos.

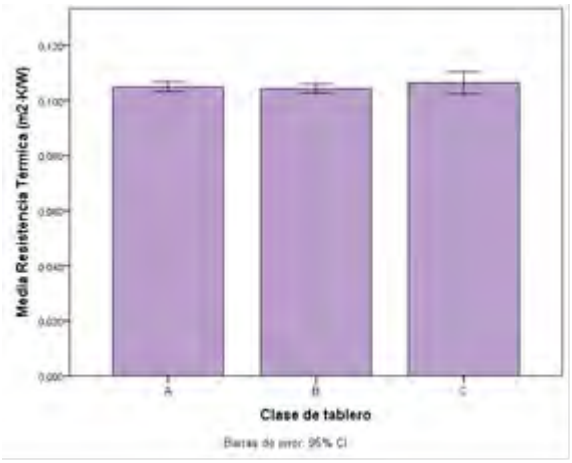


Figura 8. Resistencia térmica en función de la clase de tablero.

En la figura 8 se indican los valores obtenidos de la resistencia térmica de los tableros. Como se observó, no hay diferencias significativas entre ellos. La resistencia térmica media fue de 0.105 $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$. Los paneles de palmera-cemento poseen una resistencia térmica mayor que las maderas en general.

Los valores térmicos obtenidos indican que los tableros de partículas de palmera canaria-cemento se comportan como buenos aislantes.

4. Conclusiones

Los resultados demuestran que se pueden obtener con pequeñas cantidades de cemento (mediante un proceso de calor y presión), placas de cemento-palmera canaria con buenas propiedades mecánicas y térmicas.

A lo largo del tiempo la resistencia a flexión aumenta, por lo que parece que las partículas del tronco de la palmera canaria toleran la alcalinidad del cemento. Con un 5% de almidón como plastificante, aumentan las propiedades mecánicas (MOR y MOE). El almidón no influye significativamente en el resto de propiedades de los paneles.

Las tres clases de tableros obtenidos tienen las propiedades adecuadas para su uso general, incluso en aplicaciones para muebles. Destacando las bajas conductividades térmicas logradas que abriría las puertas para su empleo como aislantes térmicos.

Sería necesario seguir investigando sobre las distintas proporciones de partículas de palmera canaria, cemento, agua y almidón, y mayor tiempo en la prensa de platos calientes para obtener un producto con menor hinchamiento en espesor después de inmersión en agua.

Las partículas de tronco de palmera canaria pueden ser una alternativa para la fabricación de placas de fibras con cemento. El uso de los residuos de palmera podría ser una buena aplicación para el reciclaje y obtención de un nuevo material "verde" que produciría un beneficio industrial y ambiental.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad de España (MINECO, AGL2013-41612-R).

Bibliografía

Agoudjil, B., Benchabane, A., Boudenne, A., Ibos, L., and Fois, M. 2011. Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood. *Energy and buildings*, 43(2): 491-497.

Behzad, T. and Sain M. 2007. Measurement and prediction of thermal conductivity for hemp fiber reinforced composites. *Polymer Engineering and Science,* 47 (7): 977–983.

Bilba K and Arsene MA. 2008. Silane treatment of bagasse fiber for reinforcement of cementitious composites. *Composites Part A,* 39:1488-95.

Chakraborty, S., Kundu, S.P., Roy, A., Adhikari, B. and Majumder, S.B. 2013. Polymer modified jute fibre as reinforcing agent controlling the physical and mechanical characteristics of cement mortar. *Construction and Building Materials,* 49: 214-222.

Chandra, S., and Flodin, P. 1987. Interactions of polymers and organic admixtures on Portland cement hydration. *Cement and Concrete Research,* 17(6): 875-890.

EN 12667. 2001. Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 309. 2005. Tableros de partículas. Definición y clasificación. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 310. 1993. Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 312. 2010. Tableros de partículas. Especificaciones. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 317. 1993. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 319. 1993. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 323. 1993. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la densidad. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

Ferrández-García, M.T., García-Ortuño, T., Ferrández-Villena, M., Andreu-Rodríguez, J., and Ferrández-García, C.E. 2015. Estudio de las propiedades de placas de cemento mejoradas con

almidón. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería. Retos de la nueva agricultura mediterránea ISBN 978-84-16024-30-8. Editor: Universidad Miguel Hernández. Pp 387-389.

Ferrández-García, C.E., García-Ortuño, T., Andreu-Rodríguez, J., Ferrández-Villena, M. and Ferrández-García M. T. 2015. Mechanical Properties of a Cement Mortar Reinforced with *Arundo donax* L. Reeds. *International Journal of Civil and Structural Engineering– IJCSE*, 2(1): 305-308.

Ferrández-García, A., Ferrández-García, M.T., Ferrández-Villena, M., Andreu-Rodríguez, J., García-Ortuño, T., Ferrández-García, C.E. 2015. The influence of Starch in Canary Island date palm trunk panels without synthetic adhesive. Proceeding, International Conference Sustainable Materials Science and Technology. Paris (France), 15-17 July 2015. Pp 223.

Kalaprasad, G., Pradeep, P., Mathew, G., Pavithran, C. and Thomas, S. 2000. Thermal conductivity and thermal diffusivity analyses of low-density polyethylene composites reinforced with sisal, glass and intimately mixed sisal/glass fibres, *Composites Science and Technology,* 60 (16): 2967–2977.

Kriker, A., Bali, A., Debicki, G., Bouziane, M., and Chabannet, M. 2008. Durability of date palm fibres and their use as reinforcement in hot dry climates. *Cement and Concrete Composites*, 30(7): 639-648.

Mahjoub, R., Yatim, J.M., Mohd Sam, A.R., and Hashemi, S.H. 2014. Tensile properties of kenaf fiber due to various conditions of chemical fiber surface modifications. Construction and Building Materials, 55:103-13.

Ramakrishna, G., and Sundararajan, T. 2005. Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar. *Cement and Concrete Composites,* 27(5): 575-582.

Savastano, H., Santos, S. F., Radonjic, M., and Soboyejo, W. O. 2009. Fracture and fatigue of natural fiber-reinforced cementitious composites. *Cement and Concrete Composites,* 31(4): 232-243.

Sedan, D., Pagnoux, C., Smith, A., and Chotard, T. 2008. Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: influence of the fibre/matrix interaction. *Journal of the European Ceramic Society,* 28:183-92.

Sen, T., and Reddy, H. J. 2011. Application of sisal, bamboo, coir and jute natural composites in structural upgradation. *International Journal of Innovation, Management and Technology,* 2 (3):186.

Vo, L.T. and Navard, P. 2016. Treatments of plant biomass for cementitious building materials – A review. *Construction and Building Materials,* 121:161-76.

Yan, L., Kasal, B., and Huang, L. 2016. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. *Composites Part B: Engineering,* 92: 94-132.

Software para cálculo de fluxo e pressões em silos cilíndricos metálicos para armazenamento de produtos agrícolas e industriais

Licia Coelho[1], Carlito Calil Júnior[2], Dorival Piedade Neto[3]

[1] Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São-carlense, número 400, CEP: 13566-590, São Carlos, São Paulo, Brasil, liciacarvalhocoelho@gmail.com.

[2] Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São-carlense, número 400, CEP: 13566-590, São Carlos, São Paulo, Brasil, efvfv calil@sc.usp.br

[3] Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São-carlense, número 400, CEP: 13566-590, São Carlos, São Paulo, Brasil, dpiedade@sc.usp.br.

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e exemplos de aplicação de um software para cálculo de fluxo e pressões em silos cilíndricos metálicos de produtos agrícolas e industriais. As propriedades dos produtos a granel variam amplamente, e consequentemente suas pressões, tanto em grandeza e distribuição. Esses cálculos são importantes para prever picos de pressões imprevisíveis que podem causar sérios danos.

O software está desenvolvido em linguagem Python com embasamento nas formulações do EN 1991-4 para silos esbeltos, medianamente esbeltos e baixos, com e sem excentricidades de carregamento e descarregamento, tremonhas cônicas, piramidais quadráticas, em forma de cunha ou de saída retangular dos tipos íngreme, rasa ou fundo plano. O programa é rápido, confiável, modular, estruturado e de fácil manuseio. A interface do software é simples para interação entre os dados fornecidos pelo usuário, tais como propriedades dos produtos armazenados, propriedades geométricas do silo e da tremonha, e os resultados obtidos das pressões e determinação do tipo de fluxo.

São desenvolvidos exemplos de aplicação e análise dos resultados em silos cilíndricos metálicos de chapa corrugada muito comuns de uso em fazendas e cooperativas. Espera-se fornecer uma importante ferramenta para projetistas e desta forma criar projetos de silos mais eficientes, diminuindo falhas e colapsos.

Palavras-chave: Programa computacional. Python. Estruturas.

Software to calculate pressure and flow in metal cylindrical silos for storage of agricultural and industrial products

Abstract

This paper presents the development and application examples of software for calculation of pressures and flow in metal cylindrical silos of agricultural and industrial products. The properties of bulk materials vary widely, and consequently pressures, both in magnitude and distribution. These calculations are important to avoid peak unpredictable pressures that may cause serious damage.

The software is developed in Python with grounding in the formulations of EN 1991-4 for silos slender, intermediate slenderness and squat, with and without loading and unloading eccentricities, conical and square pyramidal hoppers, wedge hoppers and hoppers of rectangular planform, shallow, steep or flat bottom. The program is fast, reliable, modular, structured and easy to handle. The software interface is simple for interaction between the data provided by the user, such as properties of stored products, geometric properties of the silo and hopper, and the results of the pressures and determining the type of flow.

Are developed application examples and analysis of results in very common corrugated sheet metal cylindrical silos use in farms and cooperatives. It is expected to provide an important tool for designers and thus be more efficient silo designs, reducing failures and breakdowns.

Keywords: Computer program. Python. Structures.

1. Introdução

Os silos são estruturas de armazenamento para produtos granulares ou pulverulentos a granel, utilizados largamente pela indústria e agricultura. Para os projetos de novas unidades armazenadoras com segurança, economia e eficiência é essencial o correto conhecimento das máximas pressões capazes de atuar sobre as paredes do silo durante sua vida operacional.

Os produtos armazenados, ao contrário dos fluídos que possuem apenas o estado de tensão hidrostática com tensões tangenciais nulas, transmitem tensões tangenciais oriundas do atrito entre os grãos e as paredes. Portanto, uma abordagem baseada em fluídos para cálculo de pressões em silos está condenada a produzir valores irreais.

Apesar das teorias existentes no estudo de pressões em unidades armazenadoras, muitos parâmetros de cálculo ainda não foram corretamente determinados, principalmente quando se trata de pressões relacionadas com o descarregamento excêntrico, que produzem pressões não uniformes ao longo do perímetro do silo e da altura.

Este trabalho tem como objetivo realizar o estudo do fluxo de produtos armazenados e das pressões, propondo um software para determinação das pressões baseado nas recomendações normativas do Eurocode (EN 1991-4:2006).

O primeiro software para cálculo de silos foi proposto por Benink (1989), na Holanda, no qual foram feitas análises críticas sobre as teorias e formulações, comparando com resultados experimentais. Neste trabalho foi desenvolvido um programa em MS-DOS, capaz de determinar o tipo de fluxo com base no comportamento do produto durante o escoamento, a abertura crítica da tremonha e as pressões nas paredes tanto na fase de carregamento, quanto na fase de descarregamento, com base nas teorias de Walker (1966), Walters (1873), Jenike (1964), Janssen (1895) e nas normas ACI, BMHB e DIN, vigentes na época.

Outros programas computacionais foram desenvolvidos no Brasil para análise e dimensionamento de silos. Alves (2001) desenvolveu um programa em linguagem FORTRAN, denominado PROGSILO, que calcula ações que atuam sobre estruturas de silos unicelulares em concreto armado de forma cilíndrica e também calculam as armaduras necessárias para absorver as tensões e solicitações geradas por tais ações.

Palma (2005) desenvolveu um programa denominado “Pressões Silos Esbeltos 1.0”, que foi desenvolvido pelas orientações da norma internacional ISO 11697 (1995). O programa calcula as pressões devidas ao produto armazenado em silos verticais esbeltos com fundo plano e cônico. A saída de dados é realizada por meio da apresentação dos resultados (pressões) na forma de tabela e na forma gráfica.

Cheung (2007) desenvolveu um programa mais refinado, baseado em computação bioinspirada e em confiabilidade. Denominado P-Silos, o programa é capaz de realizar os seguintes procedimentos:

- determinar as propriedades físicas dos produtos armazenados;
- calcular as pressões no corpo e nas paredes do silo;
- calibrar os modelos de pressões de Janssen e de Jenike com os Algoritimos Genéticos;
- calcular as vazões do silo;
- calcular a função radial por meio do método de Runge-Kutta de 4ª ordem;
- calcular a confiabilidade de silos metálicos de chapa ondulada e fundo plano por meio de simulação de Monte Carlo;
- estimar os parâmetros das distribuições de probabilidades a partir dos dados experimentais das propriedades físicas aplicando os testes de Kolmogorov-Smirnov e de Anderson-Darling.

O programa P-Silos foi implementado em C++, na plataforma Borland C++ Builder5, a mesma utilizada por Palma (2005). Para o cálculo da pressão de carregamento foi utilizado o modelo de

Janssen (1895), por apresentar simplicidade e consistência, sendo o mesmo adotado neste trabalho. Já para o cálculo das pressões de descarregamento, Cheung (2007) utilizou o modelo de Jenike et at. (1973) e os coeficientes de sobrepressão, constatando, posteriormente, que os valores obtidos de sobrepressões dinâmicas com este modelo apresentam-se um pouco elevados quando comparados com os valores obtidos em ensaios em silos reais.

2. Metodologia

O programa desenvolvido neste trabalho, denominado Eurosilo, propõe em silos cilíndricos metálicos: determinação do tipo de fluxo, cálculo das pressões de carregamento, descarregamento, sobrecarga e excêntricas no corpo do silo, das pressões de carregamento e descarregamento atuantes no fundo do silo.

O software foi programado em linguagem Python, por ser uma linguagem de programação de alto nível, orientada a objetos e compatível com sistemas operacionais usuais: Windows, Linux e Mac. Uma de suas principais características é exigir poucas linhas de código se comparado ao mesmo programa em outras linguagens de programação e de fácil aprendizado. Foi utilizada uma biblioteca de desenvolvimento de interfaces gráficas de usuários baseado no Qt, denominada PySide.

A estrutura do programa baseia-se em uma única tela de entrada de dados e saída de resultados. Além do traçado dos gráficos em função da altura do silo e da tremonha, os resultados também são fornecidos em arquivo extensão ".txt".

Foram implementados todos os produtos caracterizados pelo EN 1991-4, e também dada a opção do usuário entrar com as propriedades de qualquer produto em uma tela auxiliar. Para consideração da característica da parede corrugada, outra tela auxiliar se abre para que mais informações sejam inseridas no programa.

A tela inicial do software Eurosilo, está apresentada na Figura 1. No lado direito o usuário coloca as entradas de dados, e ao lado esquerdo o programa cálcula as pressões e determina em qual fluxo está o descarregamento.

Foram propostos modelos estruturais de silos metálicos cilíndricos de chapa ondulada enrijecidos comumente utilizados em fazendas e cooperativas. Foram realizadas as seguintes análises:

SILO 1. Fundo plano e descarregamento excêntrico.

SILO 2. Fundo inclinado e descarregamento excêntrico.

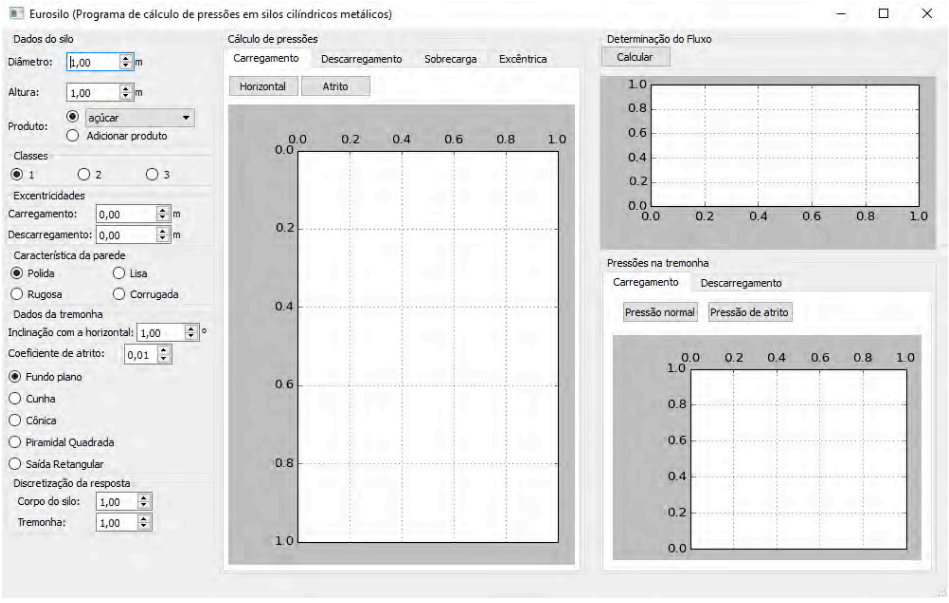


Figura 1. Tela inicial do Eurosilo.

A determinação das propriedades físicas dos produtos armazenados é o primeiro passo para o projeto estrutural e de fluxo dos silos e deve ser conduzida nas condições mais severas daquelas esperadas que ocorram em um silo. Nos dois modelos, o produto armazenado é grão de soja. As propriedades físicas utilizadas para este produto, tabelado pelo EN 1991-4, estão apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1 – Propriedades físicas do grão de soja.

Peso específico (γ)		Ângulo de repouso (ϕ_r)	Ângulo de atrito interno (ϕ_i)		K		C_{op}
Inferior	Superior		Médio	Fator	Médio	Fator	
7,0 kN/m³	8,0 kN/m³	29º	25	1,16	0,63	1,11	0,5

Os silos estudados nestes exemplos possuem 11 metros de diâmetro e altura de 15,20m, com capacidade aproximada de 1140 m³, o que corresponde a ± 912 toneladas de grãos de soja.

A parede do silo foi adotada com chapas galvanizadas corrugadas (ondulada de 4") com um enrijecimento interno por meio de montantes conformados a frio.

O silo 1 possui fundo plano e execentricidade de descarregamento de 5 m, mostrado na Figura 2. O silo 2 possui as mesmas dimenões de altura, diâmetro e chapas do silo 1, porém tremonha cônica com inclinação de 45 graus e a excentricidades de descarregamento de 5m, indicado na Figura 3.

Essa geometria favoreceu a formação do canal de fluxo excêntrico e não assimétrico, podendo avaliar qual a importância de considerar as excentricidades em projetos de silos.

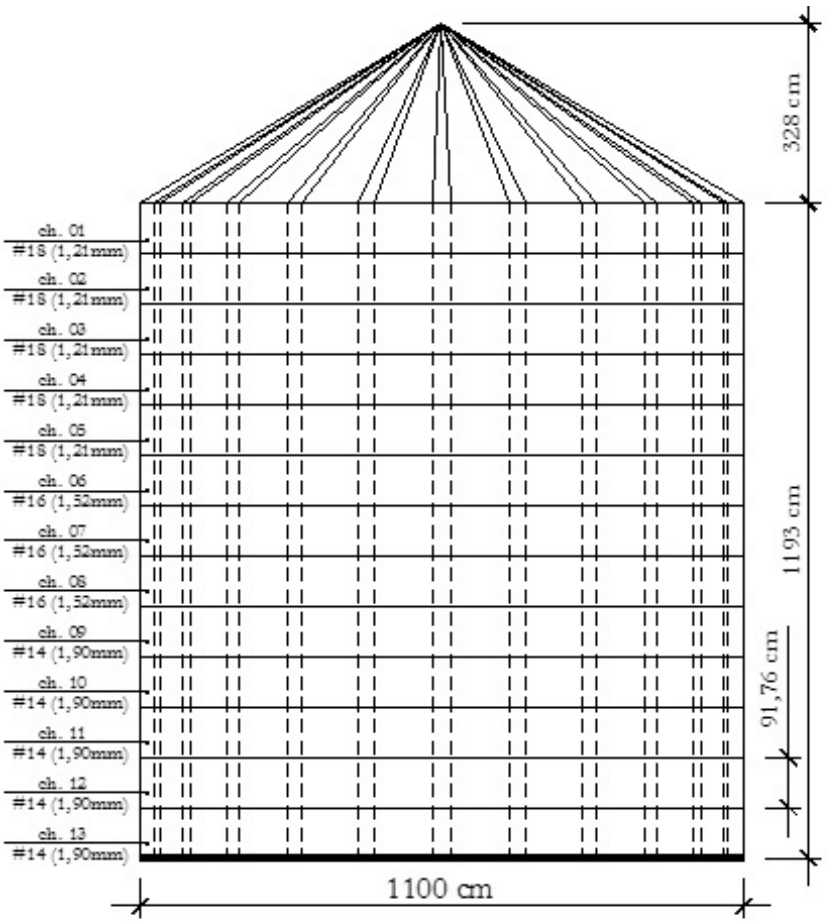


Figura 2 –Exemplo de aplicação Silo 1.

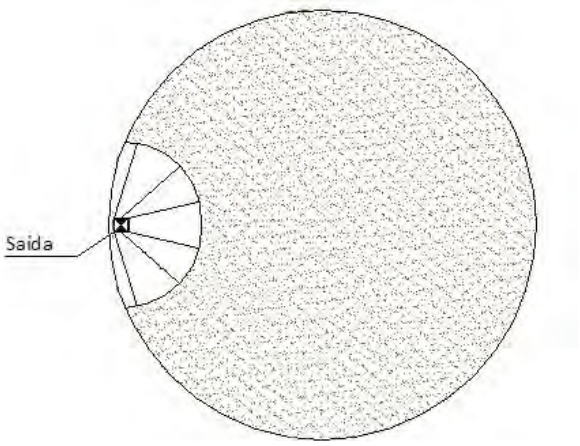


Figura 3 - Excentricidade de descarregamento.

3. Resultados e Discussão

Para a classificação do silo pelo EN 1991-4 é necessário determinar o valor do índice de esbeltez pela razão entre a altura total e o diâmetro. A altura total foi considerada como sendo a soma da altura da parede e a altura h_o, mostrado na Figura 4.

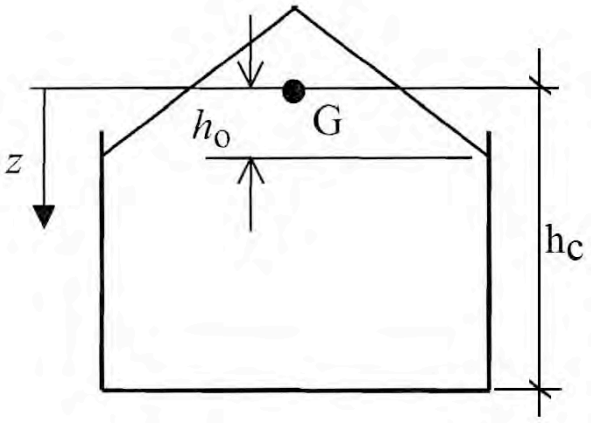


Figura 4 – Alturas para o cálculo do índice de esbeltez.

Para este silo circular, o valor da altura h_o foi calculada pela expressão:

$$h_o = \frac{r}{3} tan\, \emptyset_r \qquad (1)$$

Portanto, o índice de esbeltez é 1,18 e trata-se de um silo medianamente esbelto.

$$\frac{h_c}{d_c} = \frac{11{,}93 + 1{,}01}{11{,}00} = 1{,}18 \qquad (2)$$

Em silos com fundo plano, não é necessário fazer a determinação do tipo de fluxo pois sempre apresentam fluxo funil. Os valores utilizados na determinação do tipo de fluxo na tremonha cônica, foram 0,20 para o coeficiente de atrito da parede da tremonha (μ_w), e inclinação de 45 graus. Na Figura 5, está o resultado pelo software Eurosilo. O ponto vermelho destacado mostra que o fluxo é funil.

Para paredes do tipo ondulada (d4), o cálculo do coeficiente de atrito da parede específico foi determinado por:

$$\mu_{eff} = (1 - a_w)\, tan(\emptyset_i) + a_w \mu_w \qquad (3)$$

O valor do coeficiente de atrito da parede (μ_w) refere-se ao da superfície de parede lisa (D1) e o fator a_w calculado conforme dimensões do perfil da chapa de aço, mostrados na Figura 6.

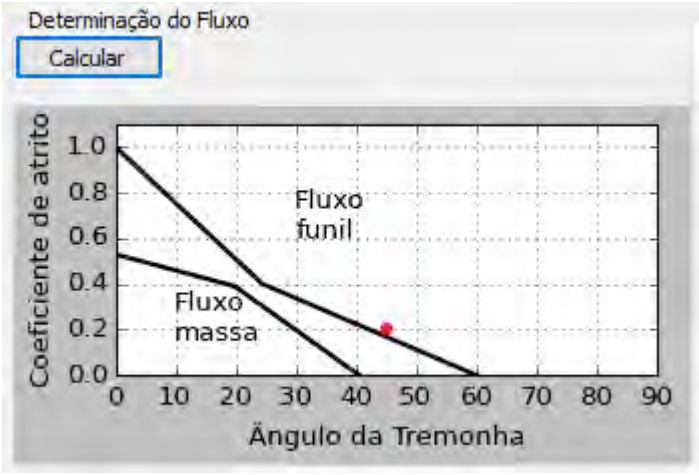


Figura 5- Determinação de fluxo pelo Eurosilo

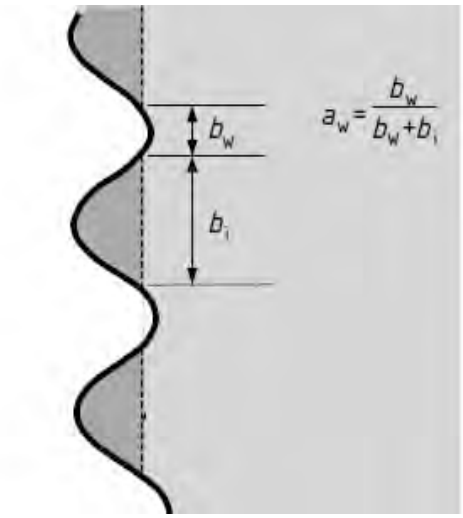


Figura 6 - Perfil de chapa de aço

Os valores de b_w e b_i representam os comprimentos relativos dentro de uma onda completa da parede, neste caso foram utilizados os valores de 20% e 80% da altura total da onda recomendados pelo PrEN 1991-4:2002 mostrados na Figura 7. O valor calculado do coeficiente de atrito efetivo μ_{eff} é 0,49.

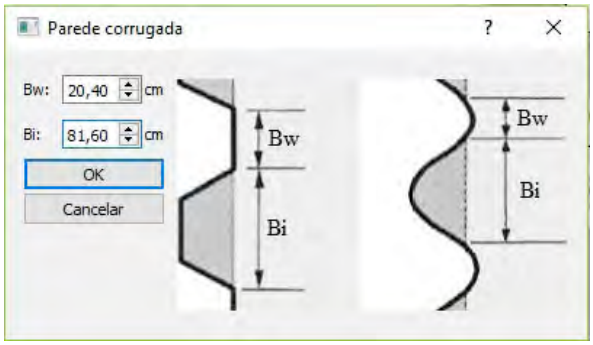


Figura 7 – Tela adicional para incluir valores dos comprimentos relativos da chapa corrugada.

Nas duas análises, as pressões nas paredes do corpo do silo nas fases de carregamento e descarregamento são as mesmas. Os resultados obtidos pelo software Eurosilo estão mostrados a seguir.

- Pressões no corpo dos silos na fase de carregamento:

Pode-se perceber que a pressão é zero na altura h_o= 1,02, conforme era esperado por se tratar de silo medianamente esbelto. Na Figura 8, está o resultado mostrado pelo programa graficamente. Os valores obtidos em todos os pontos também são dados pelo programa no arquivo de texto.

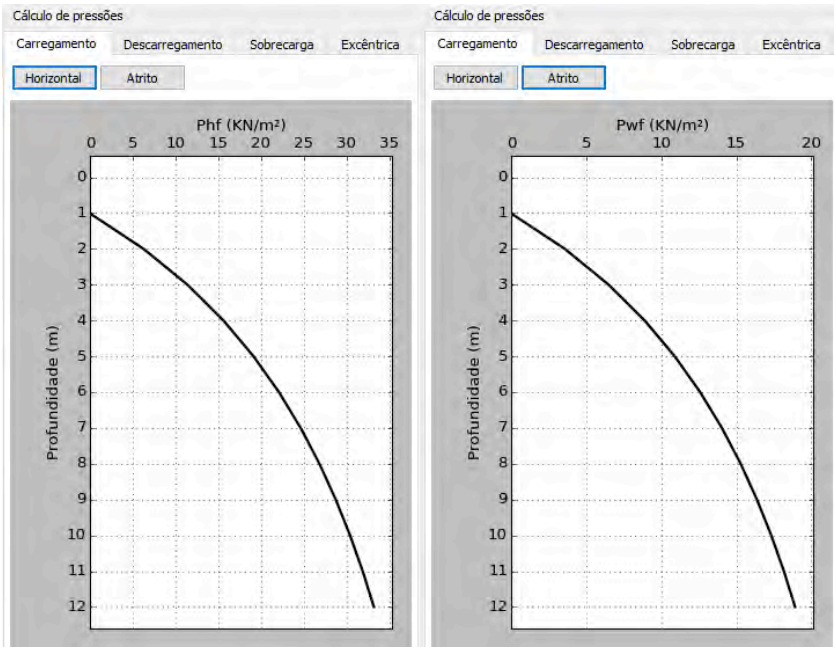


Figura 8 – Pressões de carregamento nos silos 1 e 2.

- Pressões no corpo do silo na fase de descarregamento:

Os resultados das pressões de descarregamento, estão Figura 9.

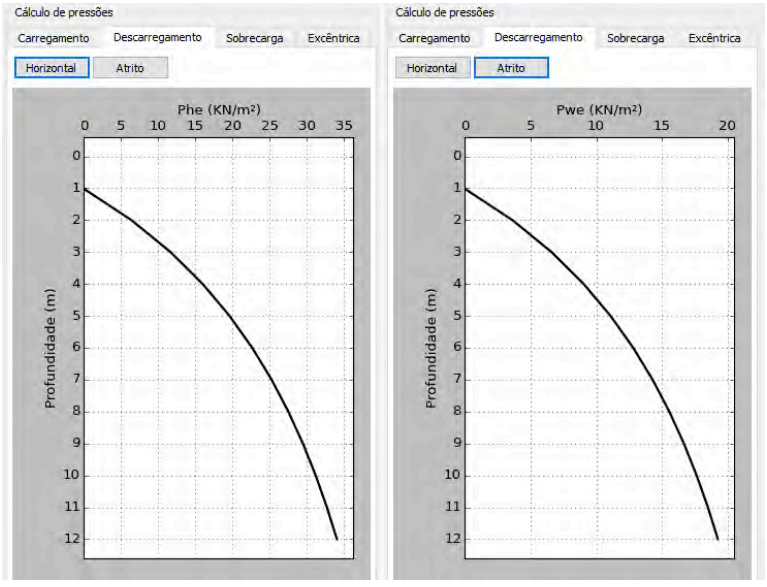


Figura 9 - Pressões de descarregamento nos silos 1 e 2.

Os resultados não demonstraram variação significativa neste caso para pressões horizontais e de atrito, pois os coeficientes utilizados na ponderação das pressões foram aproximadamente: C_s,= 0,18, C_h=1,03 e C_w=1,02.

- Sobrecarga de carregamento e descarregamento:

Como a excentricidade de descarregamento é 5 metros, a sobrecarga é maior do que no caso de silos com descarregamento concêntrico, mostrado graficamente na Figura 10.

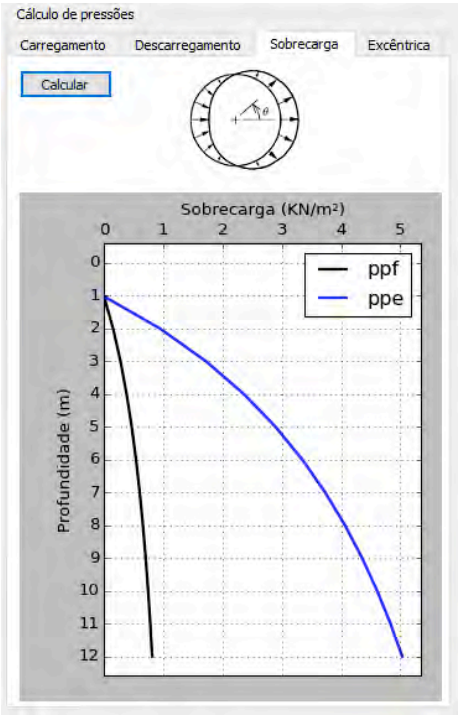


Figura 10 - Sobrecarga de carregamento e descarregamento nos Silos 1 e 2.

Para exemplificar a variação de valores de acordo com θ, alguns valores retirados do arquivo-texto gerado pelo programa, para z=2,00 metros, estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de sobrecarga com variação circunferencial nos silos 1 e 2.

Z (m)	θ (°)	p_{pf} [kN/m²]	p_{pe} [kN/m²]
2,00	0	0,15	0,94
2,00	45	0,11	0,67
2,00	90	0,00	0,00
2,00	135	-0,11	-0,67
2,00	180	-0,15	-0,94

- Pressões excêntricas:

O Eurosilo faz o estudo das pressões excêntricas para os três tamanhos nos raios de excentricidade do canal de escoamento, mostrados nas Figuras 11 e 12 a seguir.

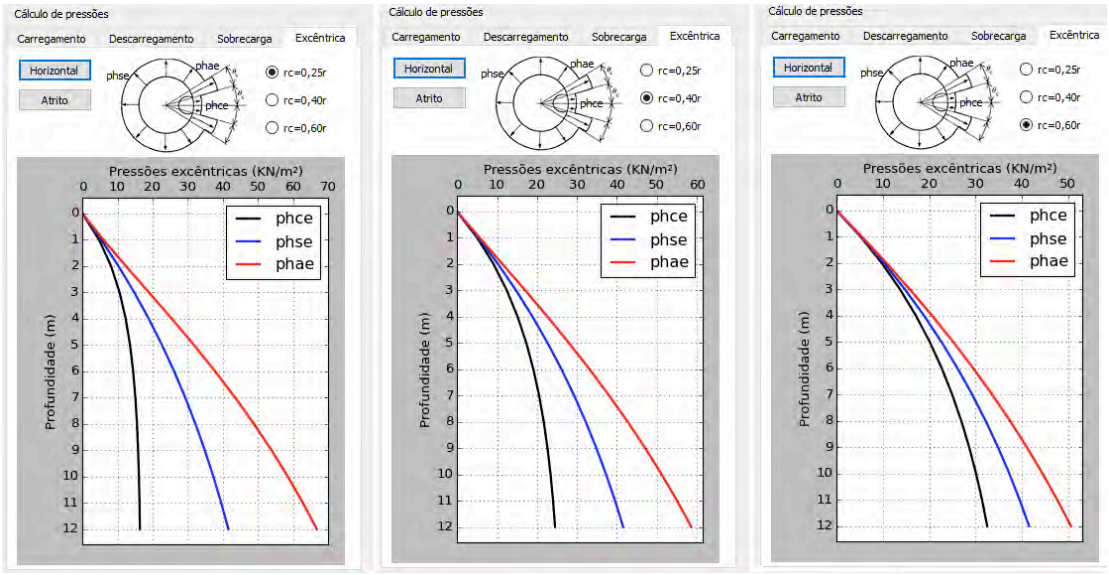


Figura 11 -Pressões excêntricas horizontais nos Silos 3 e 4.

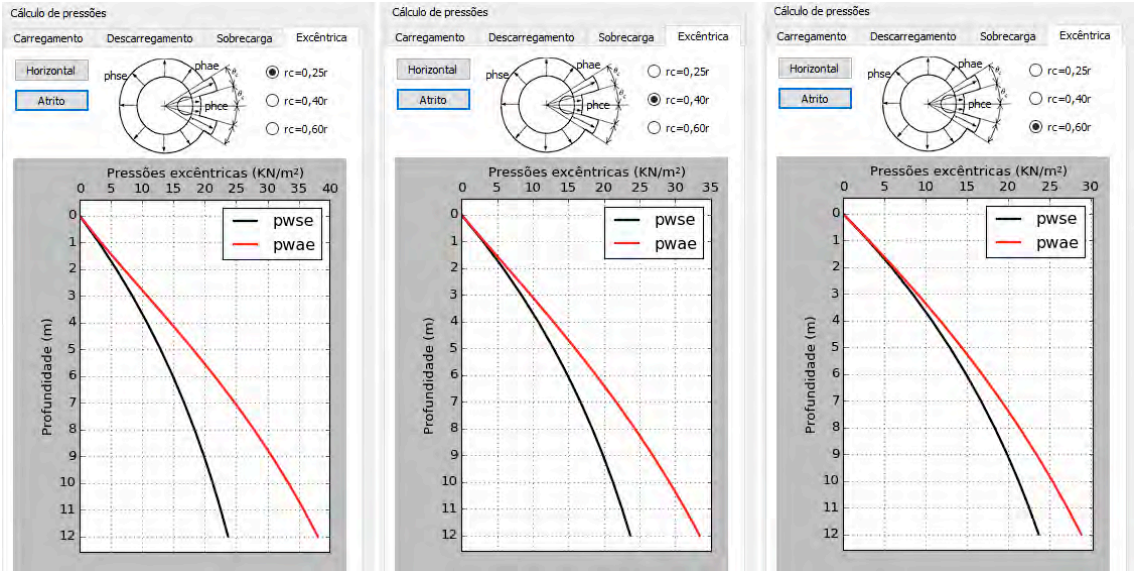


Figura 12 - Pressões excêntricas de atrito nos Silos 3 e 4.

- Pressões no fundo do silo:

No silo 1 com fundo plano, o gráfico não é traçado, pois se considera apenas a pressão vertical no fundo, e uma mensagem é dada pelo programa em uma tela auxiliar, mostrada na Figura 13.

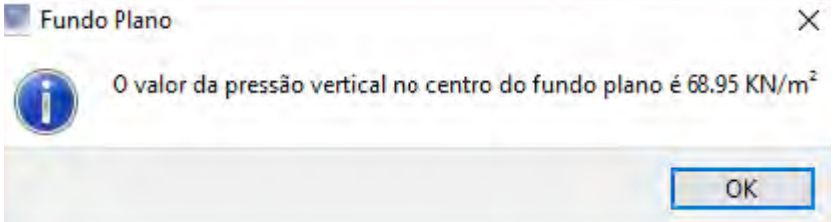


Figura 13-Pressão vertical no fundo plano.

No silo 2 com tremonha cônica de 45 graus, íngrime, as pressões estão mostradas nas Figuras 14 e 15, para os casos de carregamento e descarregamento.

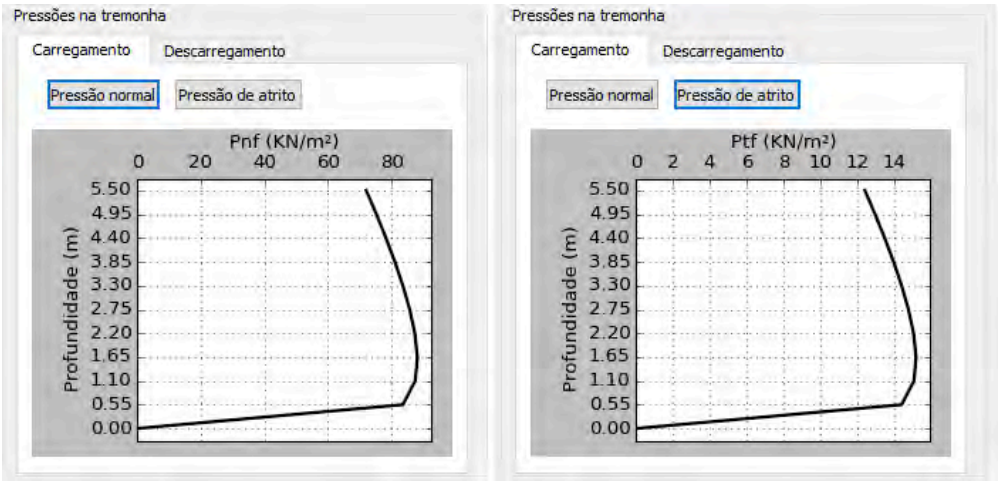


Figura 14- Pressões de carregamento na tremonha íngreme silo 1 e 2.

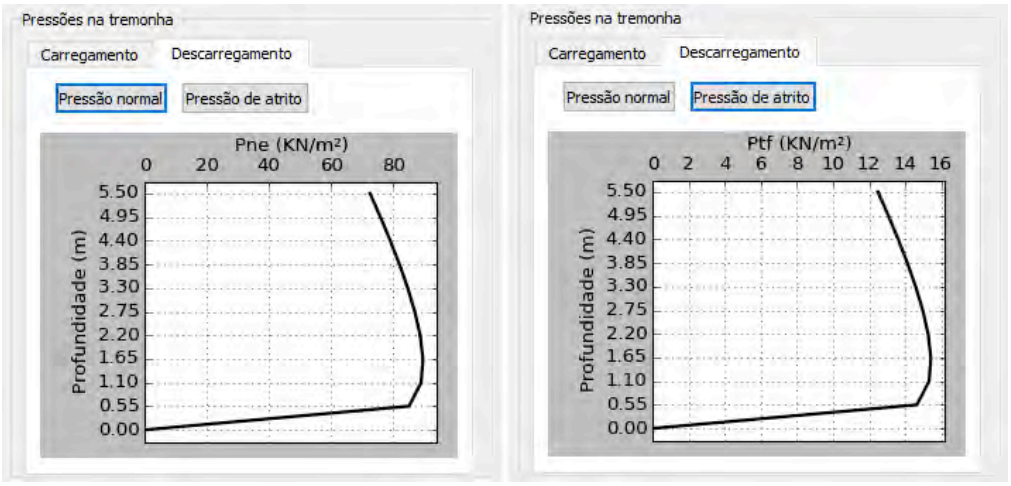


Figura 15- Pressões de descarregamento na tremonha íngreme silo 1 e 2.

4. Conclusões

Foi possível desenvolver um software capaz de calcular o fluxo e as pressões de produtos armazenados em silos metálicos cilíndricos: o Eurosilo.

Tal software apresenta as seguintes funcionalidades, em silos cilíndricos metálicos:

- Determinação do tipo de fluxo;
- Cálculo das pressões simétricas e assimétricas no corpo do silo;
- Cálculo das pressões de carregamento e descarregamento atuantes no fundo do silo.

Os estudos das pressões em silos metálicos, principalmente com descarregamento excêntrico, são imprescindíveis para um projeto estrutural seguro. Os exemplos realizados mostraram que o software Eurosilo, apresentou resultados satisfatórios para auxiliar o projetista através dos valores obtidos de pressão, fazer o dimensionamento da estrutura, além de ser uma proposta para uma futura norma brasileira de ações em silos.

Bibliografia

Alves, V. 2001. Análise e dimensionamento de silos de concreto armado: desenvolvimento de um programa computacional. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

American Concreto Institute. 1977. ACI-313: Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stracking Tubes for Storing Granular Materials**.** EUA.

Benink, E. J. 1989. *Flow and stress analysis of cohesionless bulk materials in silos related to codes*. University of Twente. ISBN 90-9002704-1. Enschede. The Netherlands.

Cheung, A. B. 2007. Modelo estocástico de pressões de produtos armazenados para a estimativa da confiabilidade estrutural de silos esbeltos. 252 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. USP. São Carlos.

Deutsche Norm - DIN. 2005. DIN 1055-6: Basis of design and actions on structures – Part 6: design loads for building and loads in silo bins**.** Berlin, Verlaz.

European Committee of Standardization. 2006. PrEN 1991-4:Actions on Silos and tanks. CEN. United Kingdom.

International Organization for Standart. 1995. ISO 11697: Bases for design of structures: Loads due bulk materials**.** London.

Janssen, H. A. 1895. Versuche Über Gestreindedruck in Silozellen. Zeitschrift. *Verein Deustscher Ingeniure*. v. 39.

Jenike, A. W. 1964. *Storage and flow of solids*. Salt Lake City: University of Utah.

Palma, G. 2005. Pressões e fluxo em silos esbeltos (h/d≥1,5). 109 p. Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. USP, São Carlos.

Walker, D. M. 1966. An Appoximate Theory for Pressures and Arching in Hoppers. *Chem. Eng. Sci..* V.21.

Walter, J.K. 1973. A theoretical analysis of stresses in silos with vertical walls**.** *Chemical Engineering Science*. v. 28.

Análisis comparativo de la acción del viento en invernaderos comerciales según el Código Técnico de la Edificación y la norma UNE-EN 13031-1

José Pérez-Alonso[1] , Ángel J. Callejón-Ferre[1] , Julián Sánchez-Hermosilla[1] , Victor J. Rincón-Cervera[1]

[1] Departamento de Ingeniería, Universidad de Almería, La Cañada de San Urbano, Ctra. de Sacramento s/n, 04120 Almería, España. jpalonso@ual.es

Resumen

El diseño y construcción de invernaderos comerciales en España no tiene una norma específica de obligado cumplimiento, por lo que se puede aplicar de forma subsidiaria el Código Técnico de la Edificación (CTE) español o bien la norma UNE-EN 13031-1 Invernaderos, Proyecto y construcción. Parte 1: Invernaderos para producción comercial, diseñada para normalización. Ambas normas son adaptaciones de los eurocódigos europeos. Y puesto que la acción del viento es determinante en el diseño constructivo de este tipo de invernaderos, en el presente trabajo se realiza un análisis comparativo del valor de la acción del viento a considerar en el cálculo de las estructuras de estos invernaderos. Para ello, se adopta el Documento Básico del CTE específico de acciones (DB-SE-AE), así como la norma UNE-EN 13031-1, que en España para la determinación de la acción del viento en invernaderos comerciales se desarrolló el Informe UNE 76209 IN Acciones del viento en invernaderos comerciales, por el comité Técnico AEN/CTN 76 Estructuras metálicas. Asimismo, en España, la adaptación del Eurocódigo 1 fue desarrollada por el Comité Técnico AEN/CTN 140: "UNE-EN 1991-2-4 Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-4: Acciones generales. Acciones del viento". Por todo ello, en el presente trabajo, se determinada la acción del viento en cada zona del invernadero mediante la aplicación de cada una de ambas normas para un invernadero comercial de un solo túnel de tipo B15 ubicado en la zona costera de Almería, de forma que se han obtenido diferencias en el valor de la carga de viento.

Palabras clave: Carga eólica, estructuras, cultivos intensivos, invernáculo, Almería

Comparative analysis of the wind action in commercial greenhouses according to the Spanish Technical Building Code and the UNE-EN 13031-1 standard

Abstract

The design and construction of commercial greenhouses in Spain does not have a specific standard of mandatory compliance, so that the Technical Building Code (CTE) can be applied in a subsidiary way or standard UNE-EN 13031-1 Greenhouses: Design and construction. Part 1: Commercial production Greenhouses, designed for standardization. Both standards are adaptations of the European Eurocodes. And since the wind action is determinant in the constructive design of this type of greenhouses, in the present work a comparative analysis of the value of the wind action in the calculation of the structures of these greenhouses is realized. To do this, the Basic Document of the CTE specific to the actions (DB-SE-AE), as well as the standard UNE-EN 13031-1, which in Spain for the determination of the wind action in commercial greenhouses, was adopted the Report UNE 76209 IN Wind actions for commercial greenhouses, by the Technical Committee AEN/CTN 76 Metallic structures. Also in Spain, the adaptation of Eurocode 1 was developed by the Technical Committee AEN/CTN 140: "UNE-EN 1991-2-4 Eurocode 1: Project bases and actions in structures. Part 2-4: General Actions. Actions of the wind". Therefore, in the present work, the wind action in each zone of the greenhouse was determined by applying each of the two standards for a commercial greenhouse of a single type B15 tunnel located in the coastal area of Almería, obtaining differences in the value of the wind load.

Keywords: Wind load, structures, intensive crops, hothouse, Almería

1. Introducción

España es uno de los países con mayor superficie de invernaderos de cubierta plástica, disponiendo de una superficie invernada de 45.000 has, de forma, que la mayor densidad se sitúa en el sudeste español, destacando la provincia de Almería con 26.500 has (Callejón- Ferre et al., 2009, 2011; Pérez-Alonso et al., 2011a), lo que ha provocado una intensificación de la agricultura especializada en el cultivo hortícola bajo invernadero, con gran consumo de insumos y producción, que a su vez ha generado una industria de construcción de invernaderos asociada a la misma. Los invernaderos son construcciones agrarias, constituidas por estructuras ligeras de bajo coste que facilitan las condiciones microclimáticas que necesitan los cultivos, siendo el modelo de invernadero tradicionalmente empleado en Almería el denominado "tipo parral", aunque en estas últimas décadas ha sido sustituido por otros más perfeccionados, como el llamado "raspa y amagado", así como el multitúnel (Pérez- Alonso et al., 2011b, 2012), que posibilita un mejor control climático y posibilidades de automatización.

El invernadero multitúnel, conocido también como invernadero industrial, como se ha dicho anteriormente, ha experimentado una relativo aumento en los últimos años en superficie invernada en Almería, siendo el principal invernadero utilizado en el centro y norte de Europa, ya que permite un mayor control climático y automatización. Por ello, para conseguir una mayor seguridad en el diseño y construcción de estos invernaderos y que sean más competitivos, el Comité Europeo de Normalización (CEN) desarrolló en el año 2001 la Norma Europea EN 13031-1 denominada *Greenhouses: Design and construction. Part 1: Commercial production greenhouses*, adoptando las prescripciones de los eurocódigos europeos. En el marco de esta norma se han realizado diseño de cálculo de invernaderos industriales, tales como los trabajos de Waaijemberg et al. (1998), Castellano et al. (2004), Vázquez-Cabrera et al. (2009) y Vázquez-Cabrera (2011). El año 2002 la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) miembro de CEN, elaboró la versión española de la misma (UNE-EN 13031-1), titulándose en español *Invernaderos: Proyecto y construcción. Parte 1: Invernaderos para producción comercial*. Con posterioridad a finales del año 2002, y debido a la importancia que tiene la acción del viento en el comportamiento estructural de este tipo de invernaderos (Garcimartín et al., 2001; Vázquez-Cabrera et al., 2009; Vázquez-Cabrera, 2011; Kwon et al., 2016), el Comité Técnico AEN/CTN 76 Estructuras metálicas, desarrolló el Informe UNE 76209 IN *Acciones del viento en invernaderos comerciales*, con el fin de facilitar la determinación de la acción de viento según la norma UNE-EN 13031-1 en España.

Por otra parte, en España se realiza la transposición de los eurocódigos estructurales en el año 2006, con anterioridad se había realizado la del hormigón mediante la Instrucción de Hormigón Estructural EHE en 1998, mediante la aprobación del Código Técnico en la Edificación (CTE), con algunas modificaciones posteriores, con la finalidad de adaptar la normativa española a la europea (Tomás y Morales, 2012). En el cuerpo normativo del CTE hay un Documento Básico diferenciado para la determinación de las acciones en la edificación, en concreto el DB-SE-AE. La aplicación del CTE al diseño constructivo de invernaderos multitúnel se debe realizar de forma subsidiaria debido a la naturaleza de los mismos.

Por lo tanto, el diseño y construcción de invernaderos comerciales en España no tiene una norma específica de obligado cumplimiento, por lo que se puede aplicar de forma subsidiaria el CTE o bien la norma UNE-EN 13031-1 diseñada para normalización. Ambas normas son adaptaciones de los eurocódigos europeos. Y puesto que la acción del viento es determinante en el diseño constructivo de este tipo de invernaderos, como se ha indicado con anterioridad, el objetivo del presente trabajo es realizar un análisis comparativo del valor de la acción del viento a considerar en el cálculo de las estructuras de los invernaderos comerciales con ambas normas.

2. Materiales y Métodos

En el presente trabajo, se realiza un estudio comparativo de la determinación de la acción del viento para cada zona de un invernadero comercial tipo túnel del área costera de Almería (Figura 1), mediante la aplicación del Documento Básico de Acciones en la Edificación (DB-SE-AE) del CTE y la norma UNE-EN 13031-1 Invernaderos: Proyecto y construcción. Parte 1: Invernaderos para producción comercial, remarcándose las principales diferencias.

En el estudio se realiza un análisis de las fórmulas que permiten determinar la carga de viento según ambas normas, identificando los distintos parámetros y realizando una comparación de los mismos. Con el objetivo de cuantificar estas diferencias en la carga de viento, que entraría en el diseño global de la estructura, se ha realizado un ejemplo de aplicación para un invernadero industrial tipo túnel de clase B15 de acuerdo a UNE-EN 13031-1, con canalón, con h/s ≥ 0,2 y una dirección del viento de 0º (Figura 1), cuyas dimensiones son: de 8 m de luz, de 7 m de altura en cumbrera, de 4,5 m de altura de pilares, de 60 m de longitud, y con separación de pórticos de 4 m.

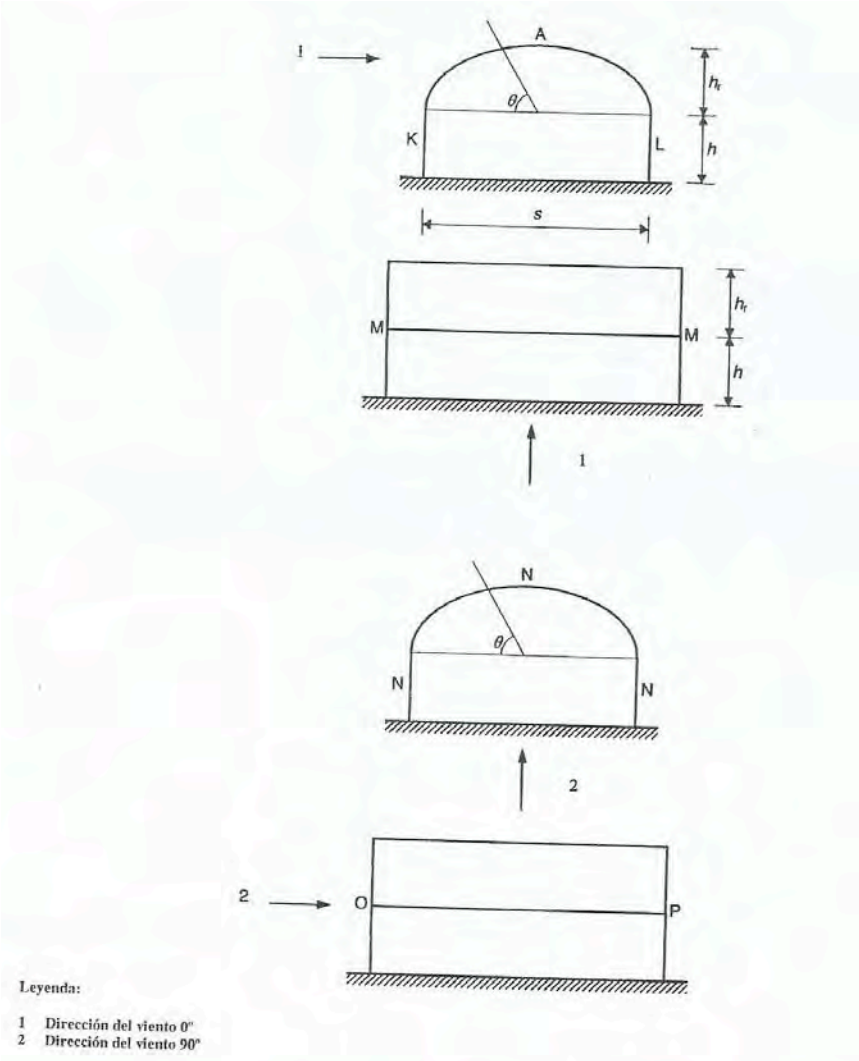


Figura 1. Descripción del invernadero comercial estudiado

3. Resultados y Discusión

3.1. Determinación de la acción del viento

En los dos siguientes subepígrafes se describe la formulación utilizada en el CTE y en UNE-EN-13031-1 para determinar la acción del viento.

3.1.1. Determinación de la acción del viento según el CTE

La formulación utilizada por el DB-SE-AE del CTE para determinar la acción del viento se basa en la transposición del EC-1. El CTE adopta como fórmula para calcular la acción del viento la Ecuación (1).

$$Fv = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot A \quad (1)$$

Siendo:

q_b: Presión dinámica del viento (kN/m^2).

c_e: Coeficiente de exposición.

c_p: Coeficiente de eólico o de presión.

A: Área de la estructura expuesta al viento (m^2).

El valor básico de la presión dinámica del viento se obtiene por la Ecuación (2).

$$q_b = 0{,}5 \cdot \delta \cdot v_b^2 \quad (2)$$

Siendo:

δ: Densidad del aire (kg/m^3).

Vb: Valor básico de la velocidad del viento (m/s).

En el anejo D del DB-SE-AE se proporciona un mapa para España en el que aparecen 3 zonas eólicas A, B y C que se corresponden con un valor básico de la velocidad del viento de 26, 27 y 29 m/s respectivamente.

El coeficiente de exposición c_e se determina de acuerdo al anejo D del DB-SE-AE por transcripción del EC-1 mediante las Ecuaciones (3) y (4).

$$c_e = F \cdot (F + 7k) \quad (3)$$

$$F = k \cdot \ln(\max(z, Z)/L) \quad (4)$$

Siendo k, L y Z los parámetros característicos de cada tipo de entorno según la Tabla 1.

Tabla 1. Coeficientes para tipo de entorno

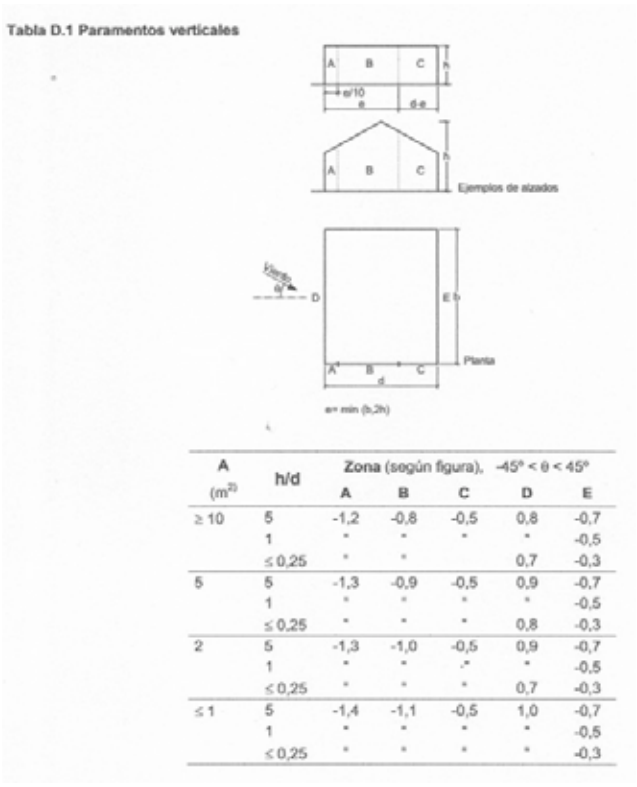
Grado de aspereza del entorno	k	L (m)	Z (m)
I. Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,15	0,003	1,00
II. Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importanica	0,17	0,01	1,00
III. Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,00
IV. Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,30	5,00
V. Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,00	10,00

El coeficiente eólico o de presión c_p se determina para el interior y el exterior del edificio, ya que si este tiene huecos, hay que analizar el efecto neto de la acción del viento sobre los paramentos. Este coeficiente tiene en cuenta la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie.

En la Tabla 2 se muestran los coeficientes de presión interior para naves y construcciones diáfanas propuestos por el CTE en función de la esbeltez en el plano paralelo al viento del edificio y el área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del mismo. Valores negativos indican succión del viento y positivos sobrepresión. Asimismo, en el anejo D del DB-SE-AE se proporcionan los coeficientes de presión exterior para diferentes formas de edificios. Debido al objetivo planteado en este trabajo, tomaremos la tabla D.1 del citado anejo, correspondiente a paramentos verticales con cubierta no plana (Figura 2), y la tabla D.10 del citado anejo, correspondiente a cubiertas cilíndricas (Figura 3).

Tabla 2. Coeficientes de presión interior para construcciones diáfanas

Esbeltez en el plano paralelo al viento	**Área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del edificio**										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
≤1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5
≥4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3



A (m^2)	h/d	Zona (según figura), $-45° < \theta < 45°$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"		0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	"	-0,3

Figura 2. Coeficientes de presión exterior en paramentos verticales de edificios

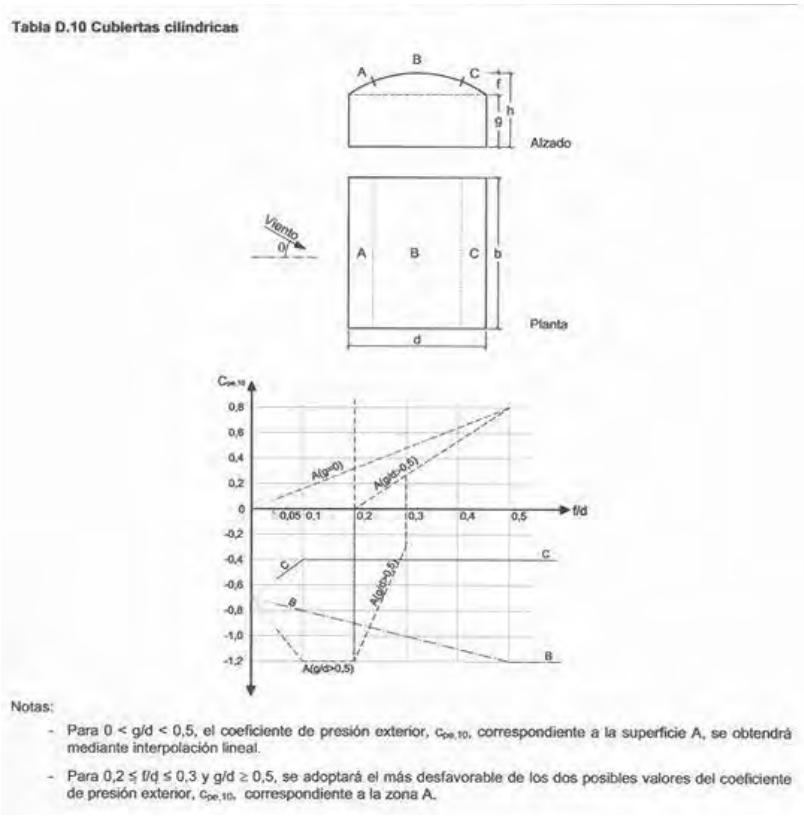


Figura 3. Coeficientes de presión exterior en edificios de cubierta cilíndrica

Finalmente indicar que la fórmula (1) adoptará la siguiente expresión en función de las ecuaciones (2), (3) y (4).

$$Fv = \left\{k^2\left[\ln^2\left(\frac{z}{L}\right) + 7\cdot\ln\left(\frac{z}{L}\right)\right]\right\}\cdot\left(0{,}5\cdot\delta\cdot v_b^2\right)\cdot c_p\cdot A \qquad (5)$$

3.1.2. Determinación de la acción del viento según UNE-EN-13031-1

La norma UNE-EN-13031-1, en su artículo 10.4.3., indica que la acción del viento se determinará de acuerdo a la norma experimental ENV 1991-2-4, es decir, al Eurocódigo 1, y según el anexo B de la misma. Posteriormente fue complementada mediante la publicación del Informe UNE 76209 IN Acciones del viento en invernaderos comerciales. Por lo que la determinación de la acción del viento se basa en la transposición del EC-1 a invernaderos. Por lo tanto la fórmula para calcular la acción del viento F_w (kN) es la Ecuación (6), la de la presión del viento sobre una superficie externa o interna w (kN/m^2) la ecuación (7), y la de la fuerza de rozamiento sobre una superficie expuesta al viento F_{fr} (kN/m^2) la ecuación (8).

$$Fw = q_{ref}\cdot c_e(z)\cdot c_p\cdot c_d\cdot c_f\cdot A_{ref} \qquad (6)$$

$$w = q_{ref}\cdot c_e(z)\cdot c_p \qquad (7)$$

$$F_{fr} = q_{ref}\cdot c_e(z)\cdot c_{fr}\cdot A_{fr} \qquad (8)$$

Siendo:

q_{ref}: Presión de referencia del viento (kN/m^2).

$c_e(z)$: Coeficiente de exposición.

c_d: Coeficiente dinámico de respuesta de ráfagas.

c_f: Coeficiente de fuerza o de escala.

c_p: Coeficiente de presión externa o interna de la estructura.

c_{fr}: Coeficiente de rozamiento.

A_{ref}: Área de referencia de la estructura expuesta al viento (m^2).

A_{fr}: Área expuesta al viento (m^2).

El valor básico de la presión de referencia del viento q_{ref} se obtiene por la Ecuación (2) cambiando v_b por v_{ref}, la cual se obtiene por la ecuación (9) de acuerdo a EC-1 y UNE 76209 IN.

$$v_{ref} = C_{DIR} \cdot C_{TEM} \cdot C_{ALT} \cdot C_{ref.0} \quad (9)$$

Siendo:

$v_{ref.0}$: Valor básico de la velocidad de referencia del viento (m/s) definido en el anexo A del EC-1.

c_{DIR}: Factor de dirección, que se tomará 1,0, salvo que se indique lo contrario en el anexo A del EC-1.

c_{TEM}: Factor de temporal, que se tomará 1,0, salvo que se indique lo contrario en el anexo A del EC-1.

c_{ALT}: Factor de altitud, que se tomará 1,0, salvo que se indique lo contrario en el anexo A del EC-1.

El Informe UNE 76209 IN admite que los 3 coeficientes anteriores valen 1,0, por lo que coincide la velocidad de referencia con el valor básico de la velocidad del viento. La velocidad de referencia del viento se define como la velocidad media del viento en un tiempo de diez minutos, medida a una altura de diez metros sobre el nivel del suelo en un terreno de categoría II (véase Tabla 3) con una probabilidad anual de ser excedida de 0,02 (este valor se corresponde para un periodo de retorno de 50 años). Este Informe UNE fija 5 velocidades de referencia para cada una de las 5 zonas eólicas en que divide España, velocidades de 25, 27, 28, 29 y 30 m/s, que no coincide con el mapa de zonas eólicas del CTE que son solamente 3.

El coeficiente de exposición, $c_e(z)$, tiene en cuenta los efectos que la rugosidad del terreno, la topografía y la altura sobre el nivel del suelo provocan sobre la velocidad media del viento y la turbulencia. Se define por la Ecuación (10) según EC-1:

$$c_e(z) = c_r^2(z) \cdot c_t^2(z) \cdot \left[1 + 2g \cdot l_v(z)\right] \quad (10)$$

Siendo:

g: Factor de pico; que para ráfaga cuasiestática se puede adoptar g =3,5.

lv(z): Intensidad de turbulencia, dada por la Ecuación (11):

$$l_v(z) = \frac{k_T}{c_r(z) \cdot c_t(z)} \quad (11)$$

Siendo:

k_T : Factor del terreno, que depende de la categoría del terreno según la Tabla 3.

$c_t(z)$: Coeficiente topográfico, que tiene en cuenta el incremento de velocidad media del viento sobre colinas aisladas y escarpaduras. Para el caso que se analiza, invernaderos, se puede tomar el valor de 1.

$c_r(z)$ es el coeficiente de rugosidad, que tiene en cuenta la variabilidad de la velocidad media del viento en el lugar donde se ubica la estructura.

El coeficiente de rugosidad a una altura z se define mediante la siguiente ley logarítmica expresada por las ecuaciones (12) y (13):

$$c_r(z) = K_T \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ para } z_{\min} \le z \le 200m \quad (12)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ para } z \le z_{\min} \quad (13)$$

Donde k_T, z_0 y z_{min} son parámetros que dependen de la categoría del terreno según Tabla 3, siendo z_0 la longitud de rugosidad y z_{min} la altura mínima.

Tabla 3. Categorías del terreno según EC-1

Categoría del terreno	k_T	z_0 (m)	z_{min} (m)
I. Mar abierto, lagos de al menos 5 km de fetch en la dirección del viento, terreno llano sin obstáculos	0,17	0,01	2,00
II. Granjas con setos, pequeñas estructuras agrarias ocasionales, casas o árboles	0,19	0,05	4,00
III. Áreas suburbanas o industriales, bosques permanentes	0,22	0,3	8,00
IV. Áreas urbanas con al menos el 15% de superficie cubierta con edificios de altura media mayor de 15 m	0,24	1,00	16,00

El coeficiente dinámico de respuesta de ráfagas c_d se puede obtener mediante la Ecuación (14), siendo los parámetros que lo definen los indicados anteriormente.

$$c_d = \sqrt{1 + \frac{2 \cdot g \cdot k_T}{c_r \cdot c_t}} \quad (14)$$

El coeficiente de rozamiento c_{fr} adopta un valor de 0,01 de acuerdo a UNE-EN-13031-1 en su apartado B.2.2.11, que establece además las zonas de paredes y cubiertas que deben considerarse en el cálculo de A_{fr} y de las fuerzas de rozamiento.

Finalmente indicar que la fórmula (6) adoptará la siguiente expresión en función del resto de parámetros.

$$Fw = \left\{k^2\left[\ln^2\left(\frac{z}{z_0}\right) + 7 \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right]\right\} \cdot \left(0{,}5 \cdot \delta \cdot v_{ref}^2\right) \cdot c_p \cdot c_d \cdot c_f A_{ref} \quad (15)$$

3.2. Comparación de la determinación de la acción del viento con ambas normas mediante un ejemplo de aplicación para un invernadero comercial del área costera de Almería.

Una vez realizados los cálculos con la formulación indicada en los epígrafes 3.1.1 y 3.1.2, se exponen los mismos resumidos en la Tabla 4. Como se puede observar para la zona costera de Almería la v_b es de 26,0 m/s mientras que v_{ref} es de 27 m/s, lo que supone una variación del 3,85%, y ello provoca una variación en la presión dinámica del viento del 7,83%. Asimismo, el coeficiente de exposición es mayor según CTE que EN-13031-1 un 7,98%, adoptándose para su cálculo un grado de aspereza del entorno III (CTE) y de categoría del terreno II (EN-13031-1), que son los propios del invernadero que se calcula. Respecto de los coeficientes de presión, el CTE solamente considera un valor = 0,1 mientras que EN-13031-1 considera dos 0,2 y -0,2, lo que induce variaciones en la fuerza neta en cada zona del invernadero. Los coeficientes de presión exteriores son mayores en valor absoluto, en general, en el CTE, excepto en las zonas E de paramentos laterales y la zona A de la cubierta. De estas diferencias entre ambas normas indicadas, se induce grandes diferencias en la acción del viento, que

en la Tabla 4 se muestra en N/m^2. En general en los paramentos verticales es mayor la acción del viento si se calcula con el CTE mientras que en la cubierta es mayor si se calcula con EN-13031-1.

Tabla 4. Comparación de los resultados obtenidos por CTE y UNE-EN-13.031-1

Parámetro	**CTE**		**UNE-EN-13031-1**			**Variación (%) respecto de CTE**	
Velocidad del viento	vb	26,0	vref	27,0		-3,85	
Presión dinámica del viento (N/m^2)	qb	422,5	qref	455,6		-7,83	
Coeficiente de exposición	ce	2,13	ce	1,96		7,98	
Coeficiente de presión interno	cpi	0,10	cpi	0,20	-0,20	0,20	-0,20
Coeficiente de presión externo para viento a 0º	Cpe		cpe				
Cpe paramentos verticales según zona Figura 2	A	-1,20		-0,36		70,00	
	B	-0,80		-0,36		55,00	
	D	0,78		0,60		23,08	
	E	-0,47		-0,54		-14,89	
Cpe cubierta según Figura 3	A	0,25		0,30		-20,00	
	B	-1,10		-1,00		9,09	
	C	-0,40		-0,40		0,00	
Acción del viento neta (N/m^2)	Fv		Fw				
Acción del viento neta según zona Figura 2	A	-1170,07		-790,54	-225,87	32,44	80,70
	B	-810,05		-790,54	-225,87	2,41	72,12
	D	612,04		564,67	1129,34	7,74	-84,52
	E	-509,43		-1044,64	-479,97	-105,06	5,78
Acción del viento neta según zona Figura 3	A	135,01		141,17	705,84	-4,56	-422,81
	B	-1080,07		-1694,02	-1129,34	-56,84	-4,56
	C	-450,03		-847,01	-282,34	-88,21	37,26

4. Conclusiones

A pesar que CTE y EN-13031-1 son transcripciones de los eurocódigos a la normativa de edificación de España y a la norma para normalización de invernaderos comerciales europea, ambas transcripciones conllevan diferencias de interpretación y de adaptación de parámetros climáticos diferentes.

De estas diferencias entre ambas normas, se inducen grandes diferencias en la acción del viento para el invernadero y emplazamiento considerado, de forma que en general, en los paramentos verticales es mayor la acción del viento si se calcula con el CTE mientras que en la cubierta es mayor si se calcula con EN-13031-1.

Bibliografía

Asociación Española de Normalización y Certificación. 2002. *Invernaderos. Proyecto y construcción. Parte 1: Invernaderos para producción comercial (UNE-EN-13031-1)*. Madrid.

Asociación Española de Normalización y Certificación. 2002. *Acciones del viento en invernaderos comerciales (UNE 76209 IN)*. Madrid.

Callejón-Ferre, A. J., J. Pérez-Alonso, J. Sánchez-Hermosilla and A. Carreño-Ortega. 2009. Ergonomics and psycho-sociological quality indices in greenhouses, Almería (Spain). *Journal of Agricultural Research* 7: 50-58.

Callejón-Ferre, A. J., J. Pérez-Alonso, A. Carreño-Ortega and B. Velázquez-Martí. 2011. Indices of ergonomic-psychosociological workplace quality in the greenhouses of Almería (Spain): crops of cucumbers, peppers, aubergines and melons. *Safety Science* 49: 746-750.

Castellano S., A. Candura and G. Scarascia-Mugnozza. 2004. Greenhouse structures SLS análisis: experimental results and normative aspects. In *Greensys, Internacional Conference on sustainable Greenhouse Systems*, 691-697. 12-16 Septiembre, Leuven.

Garcimartín, M. A., E. Sánchez, M. P. Larrañeta, J. F. López and J. Massana. 2001. Propuesta sobre las acciones del viento aplicables en la norma EC-1-13031-1 de invernaderos. *Hormigón y acero* 220: 69-76.

Kwon, K., D. Kim, R. Kim, T. Ha andI. Lee. 2016. Evaluation of wind pressure coefficients of single-span greenhouses built on reclaimed coastal land using a large-sized wind tunnel. *Biosystems Engineering* 141: 58-81.

Ministerio de la vivienda. 2006. *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico, Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación*. Madrid.

Pérez-Alonso, J., A. Carreño-Ortega, A. J. Callejón-Ferre and F. J. Vázquez-Cabrera. 2011a. Preventive activity in the greenhouse-construction industry of south-eastern Spain. *Safety Science* 49(2): 345-354.

Pérez-Alonso, J., A. J. Callejón-Ferre, A. Carreño-Ortega and J. Sánchez-Hermosilla. 2011b. Approach to the evaluation of the thermal work environment in the greenhouse-construction industry of SE Spain. *Building and Environment* 46: 1725-1734.

Pérez-Alonso, J., A. Carreño-Ortega, F. J. Vázquez-Cabrera and A. J. Callejón-Ferre. 2012. Accidents in the Greenhouse-Construction Industry of SE Spain. *Applied Ergonomics* 43: 69-80.

Tomás, A. and M. Morales. 2012. Revisión y estudio comparativo de la acción del viento sobre las estructuras empleando Eurocódigo y Código Técnico de la Edificación. *Informes de la Construcción* 64: 381-390.

Vázquez-Cabrera F. J., A. Carreño-Ortega, J. Pérez-Alonso and A. J. Callejón-Ferre. 2009. Comportamiento frente a la exportación de invernaderos multitúnel. In *XIII Congreso Internacional de Ingeniería de proyectos*, 627-632. 8-10 Julio, Badajoz.

Vázquez-Cabrera F. J. 2011. Bases para el diseño de invernaderos multitúnel tecnológicamente avanzados. Ph.D. Thesis. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Waaijemberg D., D. Briassoulis and Y. Tsirogiannis. 1998. Designing of plastic covered greenhouses following the new European Standard for greenhouses prEN 13031-1. In *GAgEng International Conference of Agricultural Engineering*, 39. 24-27 Agosto, Oslo.

Análisis resitente en la establización de viales de jabre con cemento CEM II B-L 32.5N

C. Gilarranz[1], S. Laserna[2], J. Montero[3]

[1] Profesor titular del Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (UPM). carlosandres.gilarranz@upm.es

[2] Profesor asociado del Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Escuela de Ingenieros Agrónomos de Ciudad Real (UCLM). santiago.laserna@uclm.es

3 Profesor de titular Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (UCLM). jesus.montero@uclm.es

Resumen

El fin de esta publicación es difundir los resultados obtenidos en la investigación referente a la estabilización de viales utilizado jabre como material soporte y cemento CEM II B-L 32.5N como conglomerante.

En un primer lugar se ha realizado una identificación del jabre mediante su curva granulométrica y el cálculo de su curva humedad-densidad mediante en el ensayo Proctor Normal.

A partir de los datos obtenidos del Proctor, se identificó su humedad óptima y una vez fijada esta, se analizaron estos datos por medio de un estudio estadístico ANOVA con probetas realizadas con distintos porcentajes de cemento a esa humedad óptima con tres repeticiones por dato, de tal forma que se pueda establecer la correlación lineal de los datos y poder calcular así sus rectas de regresión a 2,7 y 21 días de curado.

En último lugar se compararán los datos obtenidos con el pliego de prescripciones técnicas generales para carreteras (PG-3) para así poder establecer recomendaciones técnicas de porcentajes mínimos de conglomerante a usar en función de su uso.

Palabras clave: camino, proctor, granulometría, ensayo.

Resistant analysis in paths and roads stabilization of Jabre-CEM II B-L 32.5N

Abstract

Characteristics of jabre (granular material) was analyzed in the first part of the studio, as well as Atterberg Limits and Proctor tests that it identified the maximum dry density and its % humidity.

The next step was jabre-cement mixing. There were made multiple cylinders at different concentrations of water (ranged from 3% to 12,5%) and different concentrations of cement (from 0% to 10% in weight). Test cylinders were broken at 2, 7 and 21 days from forming, in order to determine the ideal percentage of mixing.

It has been establish a statistical model (using STATGRAPHICS program) of the evolution of the compressive strength expressed in N/cm2 depending on the curing-time (2, 7 or 21 days), always for the maximum value of dry-density expressed in % humidity (8,7%). It has been compared with the minimum resistance that roads should have 1,5 MPa (150 N/cm2). Depending on the curing-time graphic, those points may be at 7 or 21 days.

3,5% CEM at 7 days overtake the resistance of 150 N/cm2. Henceforth and depending on the weight of the use of traffic it may be estimated the optimal percentage of cement in paths and roads stabilizations following the statistical model based on those experiments.

Keywords: path, road, granulometry, proctor.

1. Introducción

El propósito de este trabajo es dar a conocer los resultados de la investigación sobre el control de la dosificación en el cemento CEM II B-L 32.5N con agua en la estabilización Jabre-Cemento.

El jabre es un material granular con muy poca cohesión, necesita de un conglomerante para darle cohesión. En el presente artículo se ha hecho un estudio de cómo se comporta resistentemente este material granular, jabre, con este tipo de cemento que lleva como adición una ceniza volante de naturaleza silícea.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

Los materiales utilizados en la presente experimentación fueron el jabre, cemento y agua.

Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua. Dosificado y mezclado apropiadamente con agua y áridos produce un hormigón o mortero que conserva su trabajabilidad durante un tiempo suficiente alcanzando unos niveles de resistencias preestablecido y presentando una estabilidad a largo plazo, según nos indica el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

El cemento de Portland elegido CEM II B-L 32.5N. Los componentes de este cemento son los que indica la tabla nº 1.

Tabla 1. Componentes principales normalizados (Certificación AEdNyC, 2000)

Componentes	
Clínker	65-79 %
Caliza	21-35 %
Componentes minoritarios	0-5 %

La elección de este tipo de cemento se hizo por llevar un alto porcentaje de caliza. La caliza participa activamente en el proceso de la hidratación, favoreciendo este proceso, así como también de filler calizo.

Jabre

La composición mineralógica del jabre está formada por arenas de cuarzos granulares (pseudoesféricos), feldespatos (ortosa), turmalinas, biotitas, etc., unidas por partículas arcillosas (caolinita). Se encuentra en las zonas meteorizadas de los grandes batolitos graníticos próximos a la calzada romana, de donde se extrae con facilidad mediante medios mecánicos rudimentarios dada su escaso grado de compactación (Montes, 2004).

Las características granulométricas de este material se han analizado en laboratorio desprendiendo los siguientes valores, como se aprecia en la tabla nº 2 y en el gráfico granulométrico (Figura 1).

Tabla 2. Granulometría del jabre

Partícula	Diámetro (mm) (UNE)	**Jabre**
Gravas	>40	**0 %**
Gravillas	40–2	**89 %**
Arenas	2–0.06	**9%**
Limos	0.06-0.002	**2%**
Arcillas	<0.002	

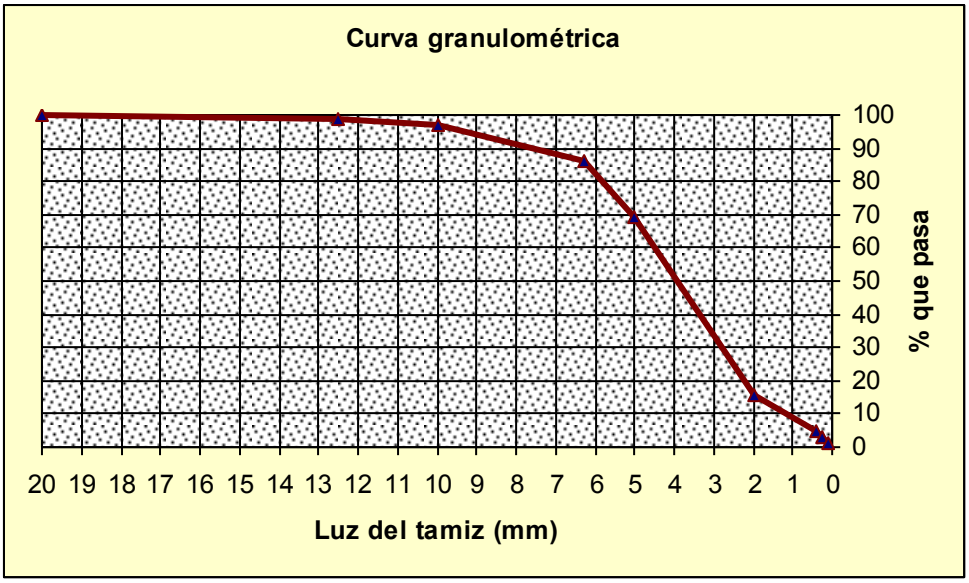


Figura 1. Gráfico granulométrico del jabre

De acuerdo con el grafico granulométrico, este material granular es óptimo para estabilizarse con el cemento, por esto se eligió el cemento como conglomerante.

Los límites de Atterberg se analizaron siguiendo las normas UNE, como más adelante se explica, y sus resultados fueron de: 23% para el Límite Líquido y Límite Plástico (LL y PL). Obviamente, el índice de plasticidad (IP) es 0%.

La prueba Proctor identifica la densidad seca máxima y su % de humedad con una energía de compactación 0,583 J/cm^3 para el Proctor Normal.

Agua

El agua a emplear, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente en cantidades tales que afecte negativamente a las propiedades del mortero u hormigón. Considerándose que las aguas potables son aptas para el uso en adición con cemento.

Así el agua debe cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Exponente de hidrógeno. PH > 5
- Sustancias disueltas < 15 gramos por litro (15.000 p.p.m.)
- Sulfatos, expresados en SO4, máximo de 1 gramo por litro (1.000 p.pm.)
- Hidratos de carbono, deben ausentarse.
- Sustancias orgánicas disueltas en eter < de 15 gramos por litro (15.000 p.p.m.)

En este ensayo se ha utilizado agua corriente proporcionada por el Canal de Isabel II, esta agua proviene en mayoría de los embalses localizados en la zona norte de la Comunidad de Madrid, esta agua es utilizada habitualmente como agua potable, por lo que cumple con las necesidades expuestas en el PG-3 (Pretel, 2002).

Según el Real Decreto 140/2003 en los mismos parámetros indicados antes, los límites para considerar un agua potable son:

- Exponente de hidrógeno. PH mínimo de 6,5 y máximo de 9,5.
- Sulfatos, expresados en SO4, máximo de 0,250 gramos por litro (250 p.pm.)

- Hidratos de carbono, sumando todos los tipos de hidrocarburos no debe sobrepasar 0,1 µg/l, es decir 0,1 p.p.m.
- Carbono orgánico total, sin cambios anómalos, siempre por debajo de 1 gramo por litro.

Los valores exigidos para determinar un agua como potable son mucho más exigentes que los que determinan su uso en construcción, por lo cual, el agua utilizada es válida para su mezcla con cemento.

2.2. Métodos

La metodología empleada ha sido la Norma UNE para todos los ensayos.

Los ensayos realizados han sido los siguientes:

- Determinación del Límite Plástico (AENOR, 1993a).
- Determinación del Límite Líquido por el aparato de Casagrande (AENOR, 1993b).
- Determinación del Proctor Normal (AENOR, 1994).
- Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 41: Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de las mezclas de áridos con conglomerante hidráulico (AENOR, 2003).

3. Resultados y Discusión

Después de realizar un análisis de regresión polinomial de orden 2 (parabólico) de cinco muestras con tres repeticiones por muestra se observa que:

- Para el Proctor Normal (Figura 2) la parábola que explica la relación entre los datos observados y los predichos tiene una correlación R^2 del 99,5%. Al darnos un p-valor de 0,000 < 0.05, se puede inferir estadísticamente que la siguiente parábola explica la realidad con un nivel de confianza de al menos el 95%:

$$D_{seca} = 1{,}04783 + 0{,}203842 \cdot H - 0{,}0116878 \cdot H^2 \qquad \text{Ecuación (1)}$$

El valor máximo corresponde a PN (8,7%, 1,93 kg/dm^3)

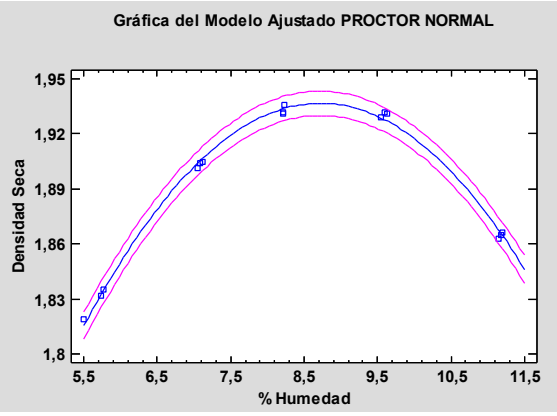


Figura 2. Gráfico del modelo ajustado de Proctor Normal

De forma conjunta se realizará un análisis multifactorial ANOVA que nos ligue y discrimine la resistencia a compresión simple (N/cm^2) con los porcentajes de cemento utilizados (0-1,5-2,5-3,5-4,5-5,5-6,5-7,5-8,5 y 10%) a los distintos días a rotura (2, 7 y 21 días) con repeticiones de 3 por cada ensayo (Figura 3).

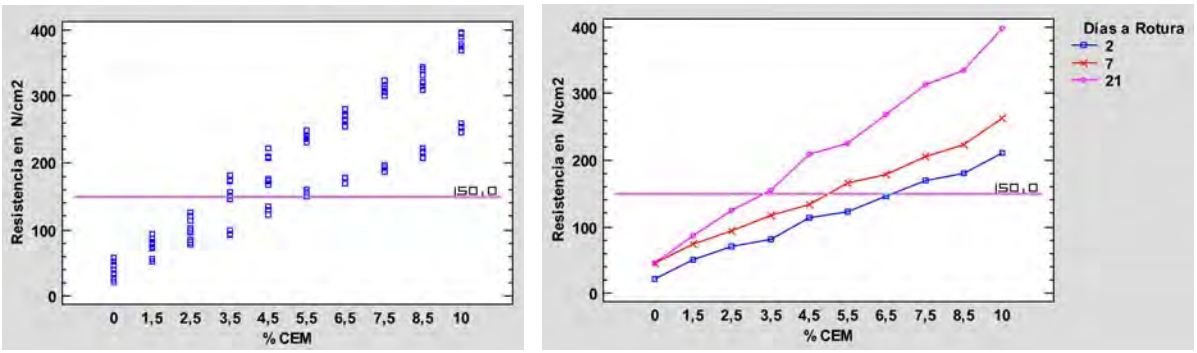


Figura 3. Gráficos de la distribución de los datos

A simple vista se observan dos cosas básicamente, que las curvas a 2 y 7 días son prácticamente paralelas y la segunda, que la curva a 21 días de rotura tiene una pendiente mayor que las otras, alcanzando resistencias más altas a la misma concentración de cemento usada en la mezcla.

Al introducir como variable dependiente la resistencia y como factores, el %CEM y días a rotura en el análisis ANOVA multifactorial en Sstatgraphics, nos muestra la siguiente tabla resumen:

Tabla 3. Análisis de Varianza para Resistencia

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:% CEM	544010,	9	60445,6	3934,26	0,0000
B:Días a Rotura	153063,	2	76531,4	4981,25	0,0000
INTERACCIONES					
AB	43469,8	18	2414,99	157,19	0,0000
RESIDUOS	921,833	60	15,3639		
TOTAL (CORREGIDO)	741464,	89			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de Resistencia en contribuciones debidas a los dos factores (%CEM y días a rotura). La contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que los 3 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Resistencia con un 95,0% de nivel de confianza, comprobándose que se cumple la homocedasticidad de los errores y que el ruido no es significativo (Figura 4).

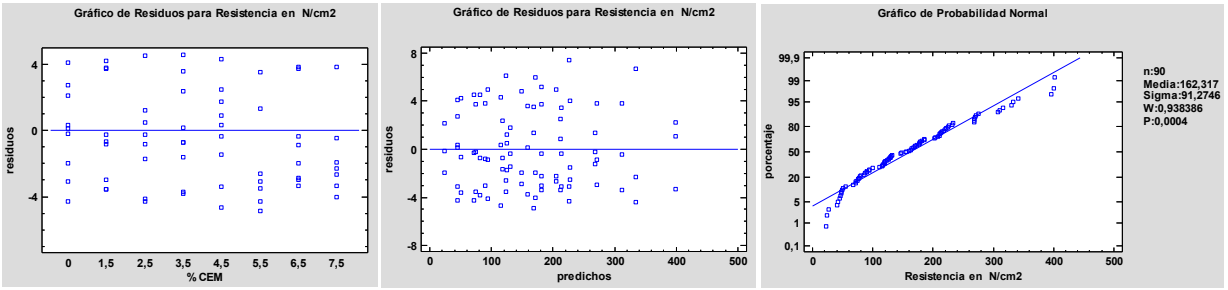


Figura 4. Gráficos estadísticos y de distribución de los datos

Una vez identificada la máxima densidad seca y fijando este valor se han realizado las rectas de regresión a 2, 7 y 21 días de curado que nos ligan los valores de resistencia a compresión (expresada en N/cm^2) con cada porcentaje de cemento utilizado.

A continuación analizaremos estas rectas de regresión, realizando un análisis estadístico de regresión lineal con análisis de la varianza.

Regresión Lineal para un curado de 2 días

Variable dependiente: Resistencia

Variable independiente: %CEM

El modelo propone la recta de regresión siguiente:

$$R_{N/cm2} = 22{,}5849 + 19{,}1043 \cdot CEM_{\%} \qquad \text{Ecuación (3)}$$

Se demuestra la validez del modelo mediante el siguiente análisis estadístico:

Tabla 3. Análisis de Varianza para la recta de regresión a 2 días

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Modelo	100733,	1	100733,	2980,11	0,0000
Residuo	946,453	28	33,8019		
Total (Corr.)	101680,	29			

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,0692% de la variabilidad en Resistencia (N/cm^2). El coeficiente de correlación es igual a 0,995335, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables (Figura 5).

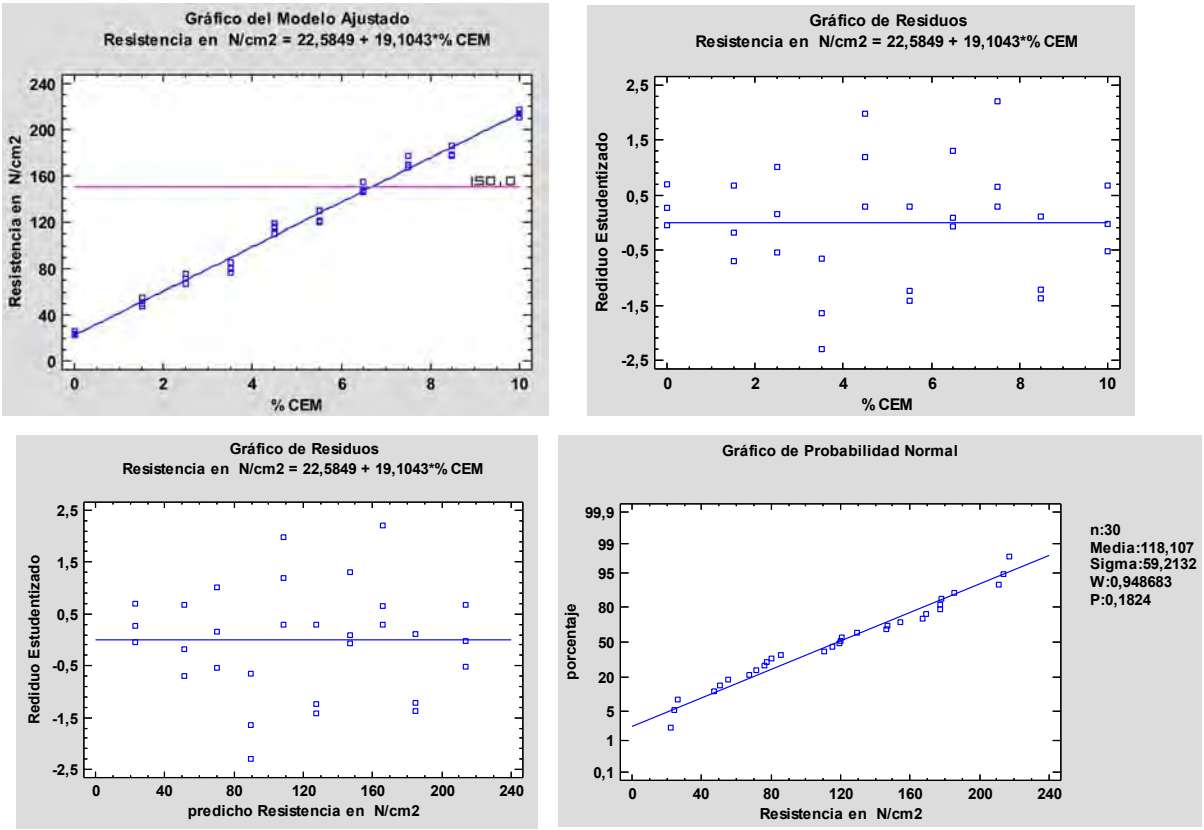


Figura 5. Gráficos estadísticos y de distribución de los datos para 2 días de rotura

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Resistencia y % CEM con un nivel de confianza del 95,0%, además de comprobarse que se cumple la homocedasticidad de los errores y que el ruido no es significativo.

Regresión Lineal para un curado de 7 días

Variable dependiente: Resistencia

Variable independiente: %CEM

El modelo propone la recta de regresión siguiente:

$$R_{N/cm2} = 40{,}3604 + 22{,}2239 \cdot CEM_{\%} \qquad \text{Ecuación (4)}$$

Y se demuestra que este modelo es acertado según el siguiente análisis estadístico:

Tabla 4. Análisis de Varianza para la recta de regresión a 7 días

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Modelo	136317,	1	136317,	4285,78	0,0000
Residuo	890,59	28	31,8068		
Total (Corr.)	137208,	29			

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,3509% de la variabilidad en Resistencia (N/cm^2). El coeficiente de correlación es igual a 0, 0,996749, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables (Figura 6).

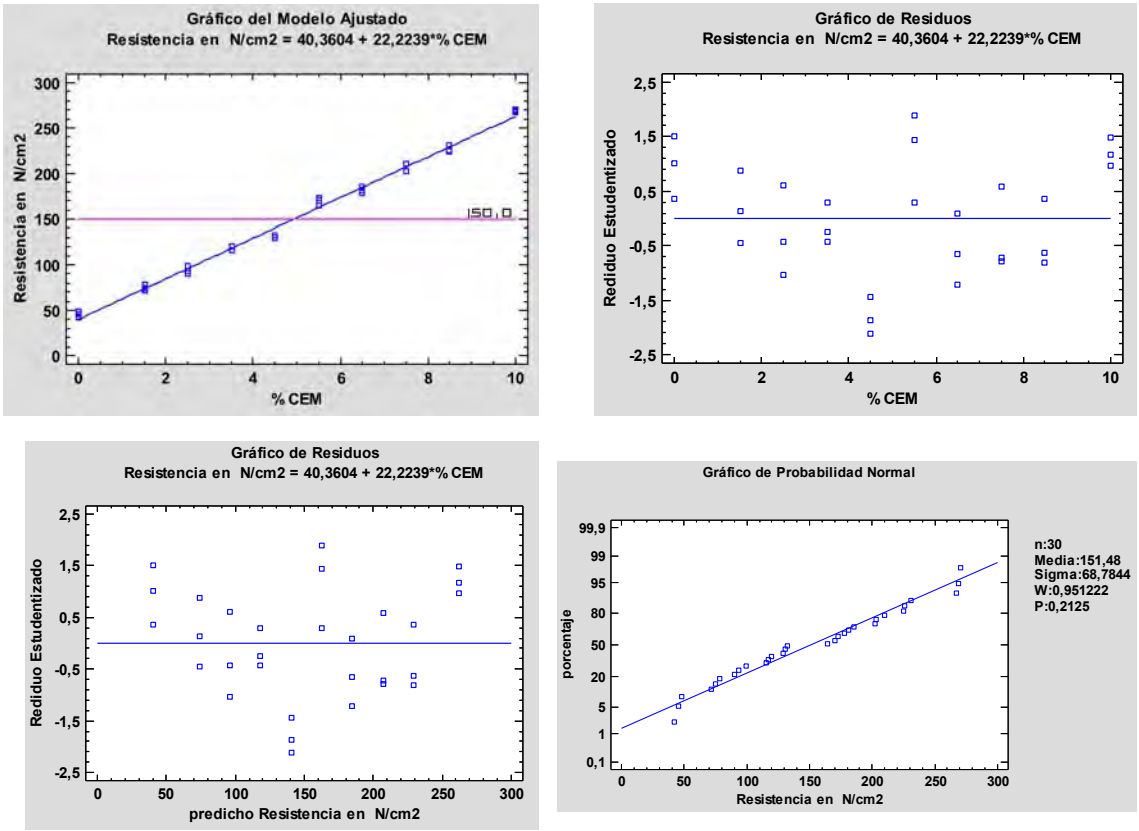


Figura 6. Gráficos estadísticos y de distribución de los datos para 2 días de rotura

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Resistencia y % CEM con un nivel de confianza del 95,0%, además de comprobarse que se cumple la homocedasticidad de los errores y que el ruido no es significativo.

Regresión Lineal para un curado de 21 días

Variable dependiente: Resistencia

Variable independiente: %CEM

El modelo propone la recta de regresión siguiente:

$$R_{N/cm2} = 39{,}8316 + 35{,}5063 \cdot CEM_{\%} \qquad \text{Ecuación (5)}$$

Y se demuestra que este modelo es acertado según el siguiente análisis estadístico:

Tabla 5. Análisis de Varianza para la recta de regresión a 21 días

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Modelo	347953,	1	347953,	6241,92	0,0000
Residuo	1560,85	28	55,7446		
Total (Corr.)	349514,	29			

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99, 5534% de la variabilidad en Resistencia (N/cm^2). El coeficiente de correlación es igual a 0,997765, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables (Figura 7).

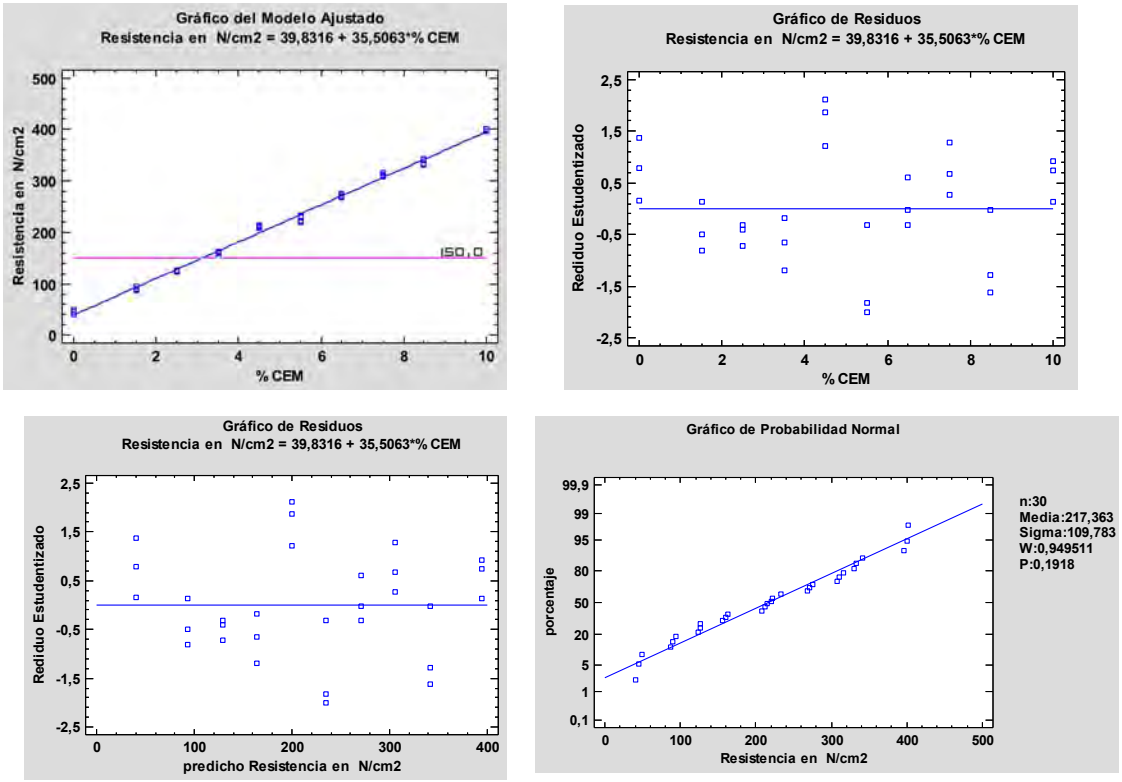


Figura 7. Gráficos estadísticos y de distribución de los datos para 2 días de rotura

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Resistencia y % CEM con un nivel de confianza del 95,0%, además de comprobarse que se cumple la homocedasticidad de los errores y que el ruido no es significativo.

4. Conclusiones

- La curva humedad-densidad para el Proctor Normal para el jabre obedece a la siguiente expresión:
  - $D_{seca} = 1{,}04783 + 0{,}203842 \cdot H - 0{,}0116878 \cdot H^2$

  Cuyo máximo se sitúa en (8,7%, 1,93 kg/dm^3).
- El análisis multifaltorial ANOVA realizado sobre los factores %CEM y días de rotura, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Resistencia a un nivel de confianza del 95,0%.

- Los análisis de regresión lineal a 2, 7 y 21 días muestran las rectas de regresión con al menos un nivel de confianza del 95% y un muy alto valor de R-cuadrado sin apariencia significativa de ruido en la distribución de datos.
- La última conclusión es más de caracter práctico, puesto que de acuerdo con el mínimo requerido de resistencia en los suelos estabilizados insitu, según el PG-3 así como su Orden FOM/2523/2014(8) que nos define que esa resistencia mínima a compresión simple ha de ser de 1,5 MPa (150 N/cm^2), y considerando el modelo estadístico con sus rectas de regresión e igualando este valor sobre las rectas de regresión, se determina que aplicando un Proctor Normal del 100% a una humedad del 8,7%, se alcanza una resistencia mínima de 1,5 MPa con una concentración mínima de cemento del 3,5% sólo a los 21 días. Para que se pueda obtener esta resistencia mínima de 1,5 MPa a los 7 días, se debería aplicar a la mezcla en la estabilización un 5% de CEM. Valores inferiores al 5% de CEM harían inviable la obra por falta de resistencia.

Bibliografía

AEdNy. 2000. UNE EN 197-1-2000. Asociación Española de Normalización y Certificación.

Montes JG. 2004. Identificación de una carretera romana a través de la procedencia de los materiales. Elementos de Ingeniería Romana Congreso Europeo Obras Públicas Romanas.

Pretel GB. 2002. PG-3 *Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes*. Artículo 280 Ediciones Liteam SL.

AENOR. 1993a. Determinación del limite plástico de un suelo. UNE 103104:1993.

AENOR. 1993b. Determinación del limite líquido de un suelo. UNE 103103:1993.

AENOR. 1994. Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor normal. UNE 103500:1994.

AENOR. 2003. Mezclas de áridos sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 41: Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de las mezclas de áridos con conglomerante hidráulico. UNE-EN 13286-41:2003.

FOM/2523/2014 BdedO. 2014. Orden por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a materiales básicos, a firmes y pavimentos, y a señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos. Artículo 5123 tipo y composición del suelo estabilizado.

Diseño y modelado gráfico 3D de un lisímetro de pesada de bajo coste

Juan Antonio Nicolás Cuevas[1], Dolores Parras Burgos[2], Leandro Ruiz Peñalver[3], José Miguel Molina Martínez[4]

[1] Departamento de Estructuras y Construcción, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Doctor Fleming, s/n, 30202 Cartagena, juan.nicolas@upct.es

[2] Departamento de Expresión Gráfica, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Doctor Fleming, s/n, 30202 Cartagena, España, dolores.parras@upct.es

[3] Departamento de Tecnología Naval, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII 52, 30203 Cartagena, España, leandro.ruiz@upct.es

[4] Departamento de Ingeniería de los Alimentos y del Equipamiento Agrícola, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII 48, 30203 Cartagena, España. josem.molina@upct.es

Resumen

Existen regiones, como el sureste español, donde el abastecimiento de agua es un problema que afecta principalmente a la agricultura. Por esta razón, la gestión de los recursos hídricos es un tema prioritario que promueve la innovación y el desarrollo de tecnologías que permitan una mayor eficiencia del uso del agua. Dentro de las tecnologías que miden los requerimientos de agua de los cultivos, el lisímetro de pesada es una tecnología precisa y fiable que mide los valores de la evapotranspiración del cultivo. Los lisímetros de pesada más extendidos en el mercado son de grandes dimensiones y requieren de una obra civil para su instalación que implica una cierta complejidad y una considerable inversión económica en su instalación. En esta comunicación se presenta el diseño de un prototipo de lisímetro de pesada de bajo coste enfocado a su empleo comercial en explotaciones agrícolas destinadas a cultivos hortícolas. En el diseño se contempla, entre otros factores, la facilidad de montaje, transportabilidad, mínima alteración del suelo y precisión de las mediciones, reduciendo lo máximo posible la superficie y profundidad del lisímetro sin alterar el crecimiento radicular del cultivo. Este sistema es capaz de medir y gestionar el riego de cultivos hortícolas con total exactitud, y en tiempo real, a partir del balance hídrico obtenido mediante las células de carga sobre las que descansa el recipiente de cultivo y el depósito de drenaje. La información de las células de carga es gestionada por un sistema de adquisición de datos con gestión en la nube, la cual es almacenada en una base de datos estructurada accesible remotamente desde cualquier dispositivo con acceso a Internet.

Palabras clave: Lisimetría, agricultura de precisión, evapotranspiración, construcción

Design and 3D graphic modelling of a low cost weighing lysimeter

Abstract

There are regions, such as Spanish southeast, where water supply is a problem that mainly affects agriculture. For this reason, the management of water resources is a priority issue that promotes innovation and the development of technologies to allow a greater efficiency of water use. Amongst the technologies that measure crop water requirements, the weighing lysimeter is an accurate and reliable technology that quantifies crop evapotranspiration. The most widely used lysimeters on the market are large and require a civil engineering work for their installation that involves a certain complexity and a considerable economic investment in its placement. This communication presents the design of a low cost weighing lysimeter prototype focused on its commercial employment on farms earmarked for horticultural crops. The design considers, among other factors, the ease of installation, transportability, minimum alteration of the soil and precision of the measurements, reducing as much as possible the surface and depth of the lysimeter without altering the root growth of the crop. This system is able to measure and manage the irrigation of horticultural crops with total accuracy, and in real time, from the water balance obtained by the load cells upon which rest the soil container and the drainage vessel. The information of the load cells is managed by a cloud-managed data acquisition system, which is stored in a structured database remotely accessible from any device with Internet connection.

Keywords: Lisimetry, precision agriculture, evapotranspiration, construction

1. Introducción

La gestión eficiente de los recursos hídricos permite mejorar la productividad, estabilidad y calidad de las cosechas, logrando un uso racional del agua y de la energía. Asimismo, la reducción en la utilización de estos recursos naturales disminuye la contaminación del medio ambiente. Según la metodología FAO de Penman-Monteith, la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos se basa en el empleo del producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) por un coeficiente de cultivo (Kc) para obtener la evapotranspiración del cultivo (ETc). Sin embargo, la estimación precisa de la evapotranspiración es una tarea compleja que requiere la medición de numerosos parámetros físicos, meteorológicos y de la cobertura vegetal. De ahí que determinar la evapotranspiración de los cultivos sea un dato fundamental para un uso eficaz del agua, adecuando la cantidad y la frecuencia del riego a las demandas de cada cultivo (López-Urrea et al., 2006).

Existen diversos métodos tanto para medir como para estimar la ETc, siendo el lisímetro de pesada el procedimiento que proporciona los valores más precisos de ETc (Aboukhaled et al., 1982; Howell et al., 1991; López-Urrea et al., 2006; Farahani et al., 2007). En los lisímetros de pesada el incremento o pérdida de agua se mide por el cambio en la masa obtenido pesando el recipiente en el que se encuentra el suelo. Actualmente existen numerosos métodos y herramientas en el ámbito agronómico para determinar el peso de los cultivos que comprenden una gran variedad de modelos, funcionamiento y precios (X. Zhang et al. 2007; Z.-S. Zhang et al. 2008; Liu et al., 2010).

Los lisímetros son artefactos que contienen una porción de suelo, independizado hidrológicamente del suelo circundante, en el cual resulta posible controlar y medir los diferentes términos que intervienen en el balance hídrico. La ecuación del balance hídrico del suelo que representa las entradas y salidas de agua de un lisímetro para un período de tiempo es la siguiente:

$$P + R = ETc + D \pm \Delta W \quad (1)$$

siendo P la precipitación, R el riego, D el agua drenada y ΔW variación del contenido de agua en el suelo.

Habitualmente los lisímetros son difíciles de manejar, costosos de construir y su utilización y mantenimiento requieren de un especial cuidado, por lo que su uso suele estar restringido a centros de investigación (Allen et al., 2006). Actualmente el desarrollo de la tecnología permite realizar lisímetros de pesada de alta precisión en la determinación de la evapotranspiración con una exactitud de centésimas de milímetro, reduciendo los costes de inversión y mantenimiento y posibilitando su uso comercial (Meissner et al., 2014; Hertel y von Unold, 2014).

El presente trabajo tiene como finalidad mostrar el diseño de un lisímetro de pesada de bajo coste para su uso en explotaciones agrícolas destinadas a cultivos hortícolas, fácil de instalar, transportable y de una alta precisión que permita cuantificar la evapotranspiración por el cambio de peso durante intervalos pequeños de tiempo.

2. Materiales y Métodos

El lisímetro de pesada propuesto se diseña como un dispositivo que comprende varios componentes y se ubica en una explotación agrícola. El recipiente de cultivo alberga un volumen de suelo reconstituido procedente de la parcela para reproducir las condiciones naturales y determinar la evapotranspiración del cultivo durante su crecimiento. Como el recipiente lisimétrico está independizado de su entorno, los flujos laterales y de ascenso capilar son nulos, de modo que los términos de la expresión de balance hídrico pueden ser determinados con precisión. Para drenar y medir el agua que se filtra a través del volumen de suelo confinado se utiliza un depósito de drenaje. Para conocer las variaciones en el contenido de agua en la masa de suelo y el depósito de drenaje se utiliza un sistema de pesaje. La precipitación y el riego se miden mediante pluviómetros contadores volumétricos. De esta forma el lisímetro proporciona una medida directa de la evapotranspiración en

el período considerado. A continuación, se describen más detalladamente los principales componentes.

2.1. Estructura para contención del terreno

Se trata de un contenedor enterrado en contacto con el terreno, con unas dimensiones interiores libres de 1030 mm de largo, 630 mm de ancho. En su interior se aloja el recipiente de cultivo, siendo la separación entre el recipiente de cultivo y el contenedor exterior de 15 mm a cada lado. La profundidad del contenedor se ha ajustado a 660 mm.

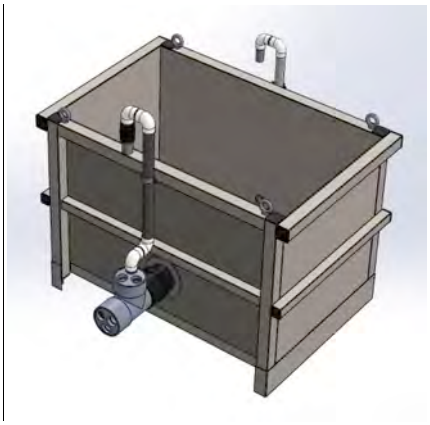


Figura 1. Estructura para contención del terreno con los tubos de PVC para cableado y ventilación.

La estructura está formada por perfiles tubulares # 40.40.2 y chapas de espesor 2 mm. Los orificios para la salida del cableado, el tubo de evacuación de la bomba de achique y las ventilaciones se han situado en la parte inferior de las chapas longitudinales. Las dos chapas longitudinales presentan en la parte inferior un orificio en el centro. El de diámetro 126 mm se utiliza para la salida del cableado de las células de carga, de las electroválvulas y del tubo flexible de evacuación procedente de la bomba de succión sumergible. Estas conexiones son envainadas mediante una pieza de PVC en T que permite la conexión en vertical de un tubo de PVC de diámetro 40 mm para la ventilación. Este tubo vertical se remata mediante una forma en U invertida, formada por dos codos y una pieza de filtro de aireación, que impide la entrada de agua y cuerpos extraños que puedan obturarlo. El de diámetro 30 mm situado en el lado opuesto se utiliza también para conseguir otra ventilación de forma similar a la descrita anteriormente, pero empleando un tubo de diámetro 30 mm.

2.2. Estructura para la transmisión de las cargas al terreno

Para mejorar la capacidad de apoyo de la estructura de contención con el terreno se dota a la estructura de una base a modo cimentación superficial y las cargas se transmitan al terreno de forma aceptable por él mismo. Además, esta base asegura una superficie de apoyo con la que poder nivelar el contenedor exterior ante los posibles asientos.

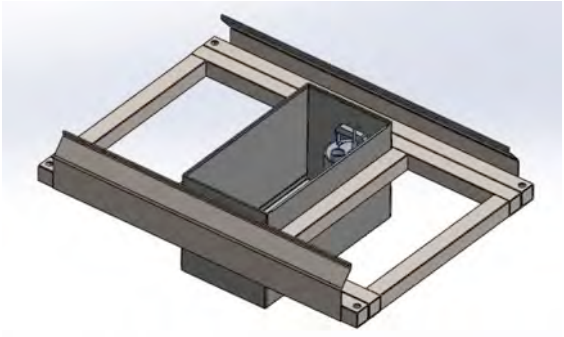


Figura 2. Estructura para la transmisión de las cargas al terreno

La cantidad de agua que pueda entrar al espacio del fondo del lisímetro, como consecuencia de los excesos provocados por precipitaciones intensas o el aumento del nivel freático, es extraída mediante una bomba de succión sumergible que se conecta a un tubo de goma flexible que conduce el agua drenada al exterior y la vierte a una distancia de al menos 4 m del lisímetro. De este modo no se interfiere con el crecimiento de las plantas situadas en las proximidades del lisímetro. Esta bomba se coloca en el interior de una caja abierta perforada en la base para facilitar el drenaje, bajo la cual se coloca una capa de grava.

2.3. El recipiente de cultivo

El recipiente de cultivo del lisímetro está formado por chapas acero inoxidable dobladas y soldadas entre sí. En el interior del mismo se disponen unas barras horizontales, a modo de anillos paralelos, para aumentar la resistencia y reducir las deformaciones de las chapas. Las medidas exteriores del recipiente de cultivo son 1000 mm x 600 mm, con una profundidad en los extremos de 300 mm y en el centro de 350 mm. Las dimensiones fueron determinadas para acomodar 6 plantas de lechuga dispuestas al tresbolillo, con una separación entre plantas de 330 mm y entre hileras de 191 mm aproximadamente. El fondo del recipiente de cultivo tiene forma troncopiramidal para facilitar el drenaje y evitar la acumulación de agua en el fondo. En el punto más bajo se dispone un orificio para la salida del agua drenada conectado a una electroválvula.

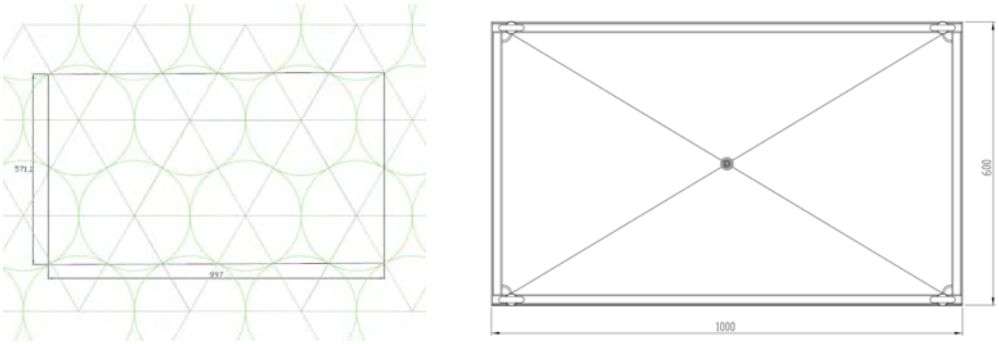


Figura 3. Dimensiones en planta del recipiente de cultivo, de 1000 mm x 600 mm, adecuadas para un marco de plantación de 6 lechugas dispuestas al tresbolillo

El lisímetro diseñado es del tipo denominado “reconstituido”, por lo que el suelo dentro del recipiente de cultivo es el mismo suelo que el original antes de la excavación del pozo, que se colocó igualando las condiciones de distribución y compactación originales. Para mejorar el rendimiento del sistema de drenaje, en la parte más profunda del recipiente de cultivo se colocó primero una lámina geotextil, después una capa de grava de 50 mm, y seguidamente un segundo geotextil. Esta capa cumple la función de filtro para evitar la obturación del sistema de drenaje y permite el movimiento libre del agua al sistema de drenaje. Los 300 cm. siguientes son ocupados por el suelo reconstituido.

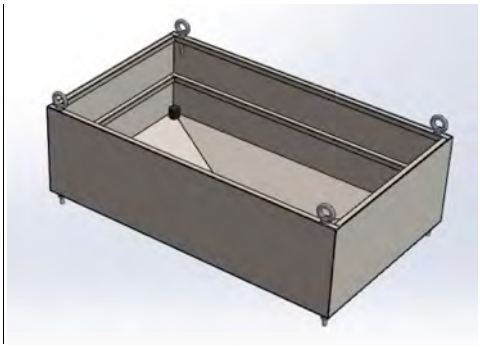


Figura 4. Dimensiones del recipiente de cultivo, de 1000 mm x 600 mm

El sistema de nivelación del recipiente de cultivo permite reducir los tiempos de montaje gracias a una nivelación sencilla y precisa. El recipiente de cultivo dispone de 4 casquillos portantes soldados en las proximidades de las esquinas del mismo, a través de los cuales también pasan unos tornillos que transmiten las cargas a las células de carga a través de los casquillos antivibratorios "silentblock". Los tornillos permiten la nivelar el recipiente de cultivo y se disponen en el mismo eje que los casquillos roscados para impedir la introducción de fuerzas asimétricas. En todos los casos se dispone de una junta tórica de goma entre la tuerca/tornillo de nivelación y la superficie de apriete que asegura la estanqueidad. La fijación de la posición extrema inferior se realiza mediante una tuerca. El tapón de plástico del sistema de nivelación consigue la protección de la rosca frente al terreno de relleno del cajón interior.

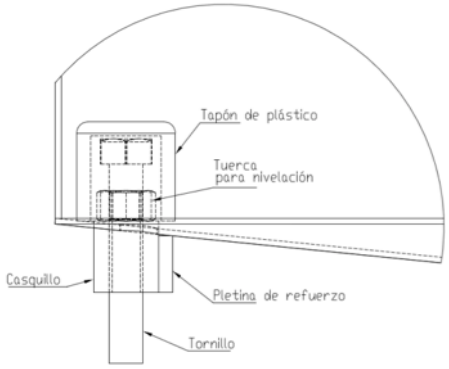


Figura 5. Sistema de nivelación del cajón interior

2.4. Estructura interior de apoyo del recipiente de cultivo

Bajo el recipiente de cultivo se sitúa una estructura de apoyo que transmite las cargas a la estructura base de cimentación. En el prototipo se adoptaron perfiles de 40mm x 40 mm y espesor 2 mm soldados entre sí. Con el objetivo de mejorar las condiciones de transportabilidad y montaje, la estructura interior se puede colocar de forma independiente, de modo que la base de los soportes de la estructura se fija a unas piezas en L soldadas a la base de cimentación. De este modo se consigue reducir el peso durante el montaje y facilitar el mantenimiento.

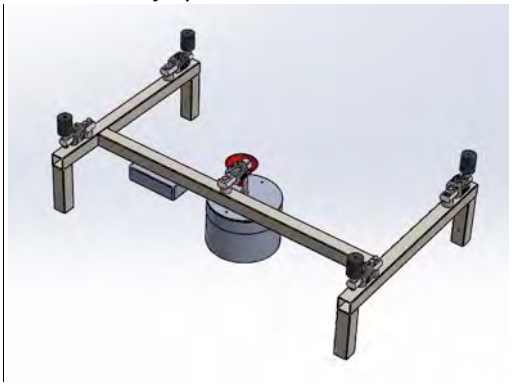


Figura 6. Estructura interior de apoyo del recipiente de cultivo

2.5. Sistema de drenaje por gravedad mediante electroválvulas. Recipiente para permitir la recogida del agua drenada por el recipiente de cultivo

Bajo el recipiente de cultivo se ubica el sistema de drenaje formado por un depósito cilíndrico de acero inoxidable con el fondo curvo para facilitar la evacuación, cuya función es recoger el agua de drenaje para su posterior medición. El depósito de drenaje se sujeta a una célula de carga mediante una varilla roscada que parte del centro de la tapa del depósito y va al extremo de la célula de carga. Este depósito está provisto de un embudo que se sitúa bajo el extremo de la electroválvula

procedente del recipiente de cultivo, que conduce el agua drenada al interior del depósito sin entrar en contacto con ningún elemento del recipiente de cultivo.

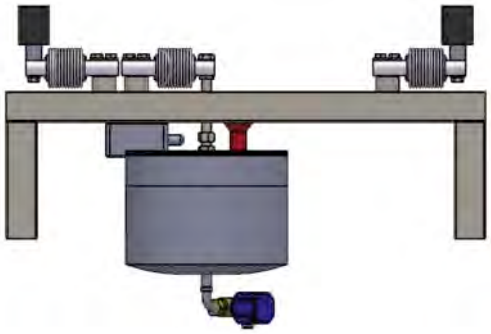


Figura 7. Estructura interior de apoyo del recipiente de cultivo y el recipiente de recogida del agua drenada.

2.6. Sistema de pesada

El sistema de pesada está constituido por 5 células de carga, marca UTILCELL modelo 300, con una sensibilidad de 2 mV/V y una capacidad nominal de 150 kg para las 4 células encargadas del pesaje del recipiente de cultivo y de 10 kg para el pesaje del depósito de drenaje. La carga máxima para cada grupo de células de carga es de 300 y 20 kg respectivamente.

Tabla 1. Características de los modelos de las células de carga UTILCELL.

Modelo	Carga nominal, CN (kg)	Carga servicio, 150% CN (kg)	Carga límite, 200% CN (kg)	Clase de precisión (n. OIML)	Precisión (g)
300 - 10 kg	10	15	20	3000	1
300 - 150 kg	150	225	300	3000	15

Las células de carga son instaladas según las especificaciones del fabricante sobre una superficie lisa de apoyo. Las células se atornillan a cilindros de acero de diámetro 30 mm que están soldados a la estructura interior de apoyo del recipiente de cultivo. Además, se contempla un tornillo roscado bajo el extremo de cada una de ellas a modo de tope que evite las sobrecargas excesivas que puedan dañarlas. Sobre las células de carga apoya una estructura de acero sobre la cual está ubicado el recipiente de cultivo de acero inoxidable.

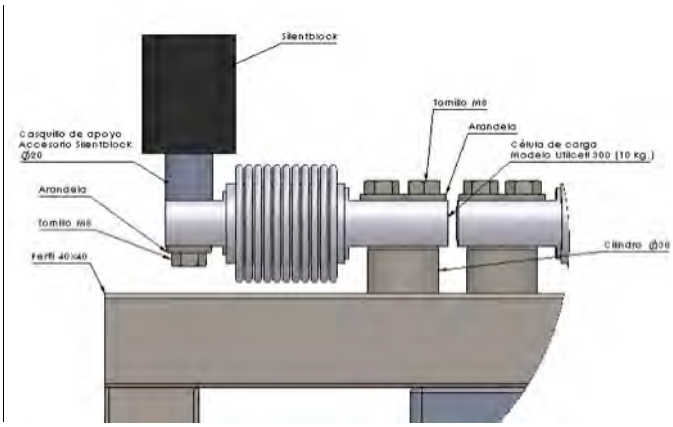


Figura 8. Detalle de las células de carga sobre las que apoya el recipiente de cultivo.

2.7 Sistema electrónico

Los datos obtenidos de las células de carga son registrados en un datalogger marca Campbell, modelo CR3000. El módulo de control es el encargado de comandar las electroválvulas, es decir, de cerrar o abrir las electroválvulas para que el agua acumulada sea drenada para su peso y su posterior evacuación. El sistema para el control de las electroválvulas está alimentado por un circuito de corriente de 24 V. El sistema de transmisión se realiza mediante un sistema de red wifi conectado a la nube.

3. Resultados

El lisímetro de pesada diseñado consiste en una estructura de acero inoxidable formada por chapas y barras que lo envuelven a modo de contenedor exterior. Esta estructura de contención del terreno descansa sobre una base rígida que transmite las cargas al terreno. En el interior de la estructura de contención del terreno, el recipiente de cultivo apoya sobre una estructura interior donde se encuentran las 5 células de carga: 4 para el recipiente de cultivo y 1 para el recipiente de recogida del agua drenada por el recipiente de cultivo. La señal de las células de carga es leída y almacenada en un datalogger. El agua de drenaje es recolectada mediante un sistema de recipientes por gravedad y pesada, controlados por electroválvulas. Las electroválvulas están alimentadas mediante corriente eléctrica de 24 voltios y todo el sistema está conectado a un cuadro de maniobra conectado también a la red eléctrica. Desde el cuadro de maniobra, la información de las células de carga es enviada mediante una señal wifi a un servidor ubicado en la nube.

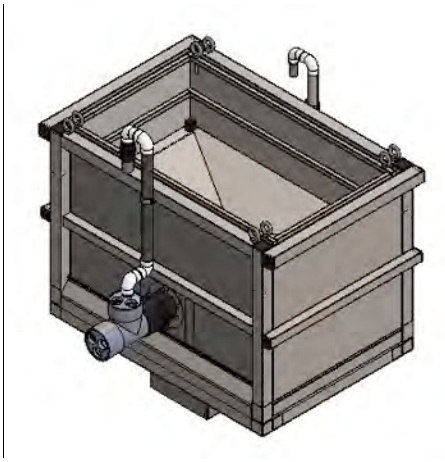


Figura 9. Vista tridimensional del prototipo

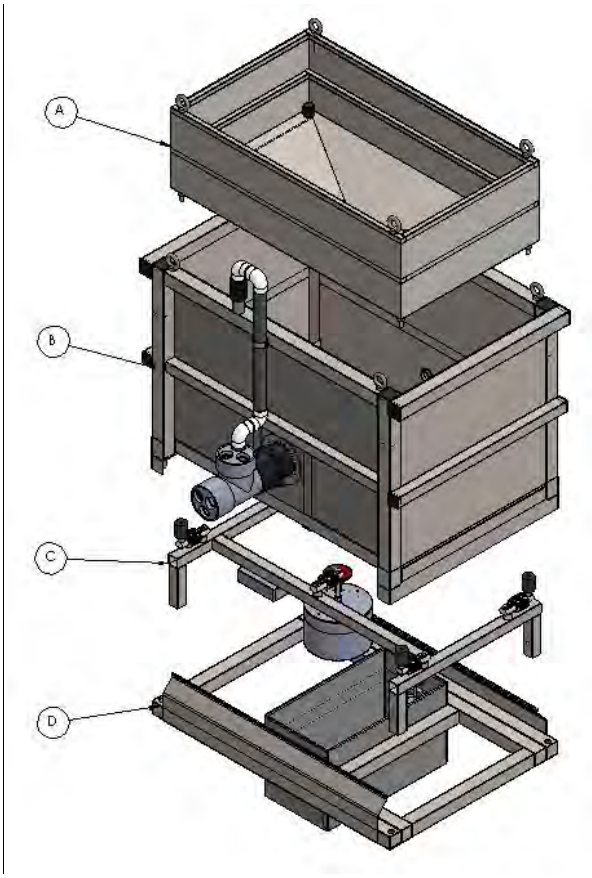


Figura 10. Vista tridimensional de los componentes del prototip. A) Recipiente de cultivo; B) Cajón exterior; C) Soporte del cajón de cultivo; D) Base

4. Conclusiones

En esta comunicación se han descrito las características más importantes del diseño de un lisímetro de pesada de bajo coste para su empleo en explotaciones agrícolas dedicadas a cultivos hortícolas. El desarrollo tecnológico actual permite realizar artefactos lisimétricos de pesada con una elevada precisión en la determinación de la evapotranspiración de los cultivos y unas reducidas dimensiones que facilitan la instalación, transportabilidad y una mínima alteración del terreno.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) para la realización de proyectos de investigación. Referencia: AGL2015-66938-C2-1-R.

Bibliografía

Aboukhaled, A, J F Alfaro, and M Smith. 1982. *Lysimeters*. Bulletin FAO D'irrigation et de Drainage. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Allen, R. G. 2006. *Evapotranspiración Del Cultivo: Guías Para La Determinación de Los Requerimientos de Agua de Los Cultivos*. Estudio FAO Riego Y Drenaje. FAO.

Farahani, H J, T A Howell, W J Shuttleworth, and W C Bausch. 2007. "Evapotranspiration: Progress in Measurement and Modeling in Agriculture." St. Joseph, Mich.: ASABE.

Hertel, Christian, and Georg von Unold. 2014. “Third-Generation Lysimeters: Scientific Engineered Monitoring Systems.” In *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia*, edited by Lothar Mueller, Abdulla Saparov, and Gunnar Lischeid, 175–84. Cham: Springer International

Howell, T. A., A. D Schneider, and M. E. Jensen. 1991. “History of Lysimeter Design and Use for Evapotranspiration Measurements.” In *American Society of Civil Engineers*, 1–9..

Liu, S, J Bai, Z Jia, L Jia, H Zhou, and L Lu. 2010. “Estimation of Evapotranspiration in the Mu Us Sandland of China.” *Hydrology and Earth System Sciences* 14 (3): 573–84.

López-Urrea, R, F Martín de Santa Olalla, C Fabeiro, and A Moratalla. 2006. “Testing Evapotranspiration Equations Using Lysimeter Observations in a Semiarid Climate.” *Agricultural Water Management* 85 (1–2): 15–26..

Meissner, Ralph, Holger Rupp, and Manfred Seyfarth. 2014. “Advanced Technologies in Lysimetry.” In *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia*, edited by Lothar Mueller, Abdulla Saparov, and Gunnar Lischeid, 159–73. Cham: Springer International

Zhang, Xinmin, Lin Hu, Xiuju Bian, Bingxiang Zhao, Fahe Chai, and Xinzhang Sun. 2007. “The Most Economical Irrigation Amount and Evapotranspiration of the Turfgrasses in Beijing City, China.” *Agricultural Water Management* 89 (1): 98–104.

Zhang, Zhi-Shan, Li-Chao Liu, Xin-Rong Li, Jing-Guang Zhang, Ming-Zhu He, and Hui-Juan Tan. 2008. “Evaporation Properties of a Revegetated Area of the Tengger Desert, North China.” *Journal of Arid Environments* 72 (6): 964–73.

Compresión axial en la madera. Comparación normativa UNE-ASTM

Luis Acuña[1], Mª Milagrosa Casado[1], Enrique Relea[1], Andrés Martínez[1] y Álvaro Pérez[1]

[1] Dpto. Ingeniería Agrícola y Forestal, Universidad de Valladolid. Campus La Yutera- 34071-Palencia

Resumen

En el campo de la caracterización de la madera existe, en algún caso, una confusa información sobre las propiedades físicas y mecánicas del material. Los motivos que han llevado a esta circunstancia se pueden resumir en dos: una evolución normativa que va contemplando aspectos mucho más prolijos en la realización de los ensayos y la utilización de diferentes normas, que utilizan metodologías distintas, para la determinación de una misma propiedad.

En este trabajo se comparan las normativas ASTM-D143–94(2000) y UNE-EN-408:2010 en la determinación de la resistencia de la madera a la compresión paralela a las fibras, utilizando muestras de 4 especies (P. pinaster, P. silvestris, P. radiata y Populus x euramericana). Los resultados obtenidos muestran diferencias estadísticamente significativas en los valores de Resistencia a la compresión entre las dos normativas utilizadas.

Palabras clave: Madera, Compresión axial, ASTM, UNE

Compression Parallel to Grain. UNE-ASTM normative comparison

Abstract

In the field of wood characterization there is, in some cases, confusing information about the physical and mechanical properties of the material. The reasons can be summarized in two: a normative evolution, that contemplates much more detailed aspects in the realization of the tests, and the use of different norms, which use different methodologies for the determination of the same property.

In this work, the ASTM-D143–94(2000) and UNE-EN-408:2010 standards are compared in the determination of the resistance of the wood to the Compression Parallel to Grain, using samples from 4 species (P. pinaster, P. silvestris, P. radiata and Populus x euramericana). The results show statistically significant differences in the values of Resistance to compression between the two normatives used.

Keywords: Wood, Axial Compression, UNE, ASTM

1. Introducción

Dentro de las diferentes propiedades resistentes de la madera como pueden ser la resistencia a la flexión, resistencia a tracción, dureza, etc., la resistencia a la compresión ha sido una sobre las que menor número de ensayos se han llevado a cabo y una sobre las que menos referencias existen actualmente. Con el objetivo de que sirva de base para las numerosas aplicaciones de este material, se trata en el presente estudio de ofrecer un pequeño avance en el conocimiento del comportamiento de esta propiedad.

La madera es un material heterogéneo y anisótropo, con propiedades muy diferentes de acuerdo a la dirección considerada. Este aspecto de la madera influirá de manera determinante en los resultados obtenidos pudiendo existir una gran variación incluso entre los resultados de una misma especie.

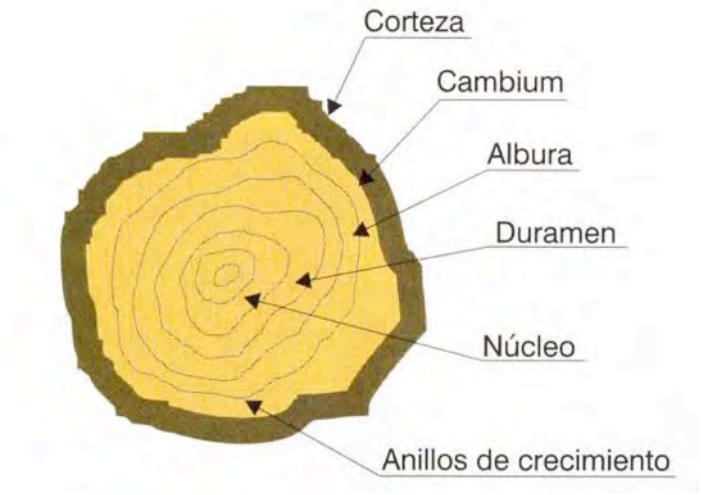


Figura 1. Sección transversal del tronco de un árbol

Por ello se hace imprescindible estudiar las propiedades de la madera con objeto de comprender de una manera más eficaz su comportamiento. Se debe tener en cuenta que las características de la madera varían según las diferentes especies, su constitución anatómica, e incluso el desarrollo y la sección del árbol de la cual se extrajo.

Además de que no es un material homogéneo, casi todas las propiedades de la madera difieren en las tres direcciones básicas de la anatomía del árbol (axial, radial, tangencial) (ver Figura 2).

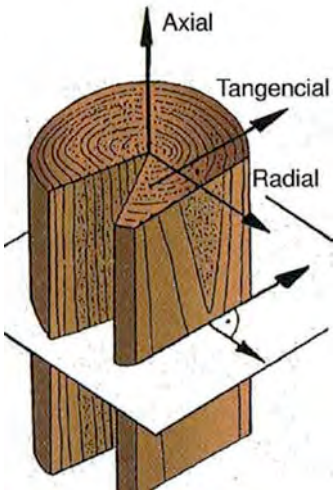


Figura 2. Principales

La dirección axial es paralela a la dirección de crecimiento del árbol (dirección de las fibras). Nuestros ensayos a compresión se realizarán en esta dirección.

La radial es perpendicular a la axial y corta al eje del árbol.

La dirección tangencial es perpendicular a la radial, cortando los anillos anuales.

Una de las propiedades más importantes es el módulo de elasticidad E. Al existir tres direcciones principales en la madera, se consideran, por tanto, tres módulos de elasticidad, E_a , E_r , E_t , según las direcciones axial, radial y tangencial. La E_a es mucho mayor que E_r y E_t según Jiménez (1999).

Frecuentemente, E se obtiene a partir de ensayos de flexión. El módulo de elasticidad se puede obtener también a partir de los ensayos de compresión o tracción. En la dirección axial no son exactamente iguales, siendo algo mayor el de tracción.

De igual forma se estudian otras características resistentes de la madera, por ejemplo la resistencia a compresión, y en una misma pieza de madera dará resultados diferentes según la dirección del esfuerzo: en la dirección axial es del orden de 20-40 veces mayor que en la tangencial según Jiménez (1999).

1.1. Resistencia a compresión

La resistencia a compresión es la propiedad que más nos interesa puesto que es con la que vamos a trabajar en este estudio.

La rotura de la madera a compresión no resulta clara ya que lo que se produce en la práctica es un aplastamiento de las fibras, pudiendo seguir aguantando solicitaciones la pieza estructural -hasta cierto punto- después de ese aplastamiento.

Elevadas solicitaciones a compresión perpendicular a la fibra son bastante frecuentes, generalmente en apoyos por mal dimensionamiento de los mismos. No obstante, estos fallos rara vez son catastróficos.

Los fallos por compresión paralela a la fibra sí pueden llegar a ser catastróficos, sobre todo en el caso de pilares, por la aparición brusca del pandeo -fenómeno de inestabilidad- que origina la rotura de las piezas. Nuestros ensayos se realizarán en esta dirección.

Los factores que influyen en la resistencia a la compresión son los siguientes:

- Inclinación de la fibra. Existe una diferencia entre las resistencias correspondientes a las direcciones longitudinales y transversales, siempre menor que en la resistencia a tracción.
- Humedad. La influencia es prácticamente nula por encima del punto de saturación de las fibras y aumenta a partir de dicho punto, al disminuir la humedad. Entre el 8 y el 18% de humedad, se considera que la variación es lineal.
- Temperatura. La resistencia decrece linealmente al aumentar la temperatura.
- Nudos. Su influencia es menor que en la tracción.
- Constitución química. Las maderas con mayor cantidad de lignina, como las tropicales, resisten mejor a la compresión. Las bolsas de resina no tienen influencia, pero como hacen aumentar el peso específico hacen que baje la cota de calidad.

En madera clasificada de coníferas (madera en tamaños comerciales), la resistencia a compresión es mayor que su resistencia a tracción, a la vez que la diferencia entre las dos direcciones (paralela y perpendicular) es menos acusada. Existen escasos estudios sobre esta propiedad. Así, según Casado et al (2000), los valores característicos de resistencia a compresión se sitúan entre 18 y 25 MPa.

Se evaluará el comportamiento de cuatro especies ante el esfuerzo a compresión paralela a la fibra mediante la norma UNE-EN-408:2010 (norma española) y la norma ASTM-D143–94(2000).

2. Materiales y Métodos

2.1. Material

En la elaboración de este estudio se ha contado con muestras de un total de 4 especies, tres coníferas y una frondosa, las cuales se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Especies utilizadas

ID	Código	Nombre científico	Nombre común	Conífera/ Frondosa
1	Pt	*Pinus pinaste*r Aiton	Pino resinero	C
2	Ps	*Pinus sylvestris* L.	Pino albar	C
3	Pr	*Pinus radiata* Don.	Pino radiata	C
4	Ch	*Populus* sp	Chopo	F

El número de probetas de ensayo de cada especie fue de 100, 50 se analizaron de acuerdo a la norma UNE-EN-408:2010 y 50 a la norma ASTM-D143–94(2000). Hubo que desechar 20 probetas pequeñas de *Pinus pinaste*r puesto que la dirección de corte no fue paralela a la fibra y por tanto no eran adecuadas a este ensayo. El resto de probetas se cortaron en dirección paralela a la fibra tal y como se muestra en la Figura 3. Asimismo no se obtuvieron resultados de 2 probetas de chopo, una pequeña y otra grande, pues hubo error al guardar los datos del ensayo. En total se analizaron 378 probetas.

Figura 3. Probeta cortada en dirección paralela a la fibra

En todas ellas se tomaron las medidas de ancho (a), alto (h) y largo (l) tal y como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Probeta tipo

Las dimensiones establecidas por cada norma son:

Norma UNE-EN-408:2010): 20x20x60 mm. Probetas de tamaño pequeño.

Norma ASTM-D143–94(2000)): 50x50x150 mm. Probetas de tamaño grande. Sin embargo, estas tuvieron que ser reducidas 5 mm en las direcciones radial y tangencial ya que al realizar el ensayo a compresión la probeta no se llegaba a romper (la máxima carga disponible es de 100kN). Así, las medidas finales en estos casos han sido 45x45x150 mm aproximadamente.

La realización de los ensayos a compresión de cada una de las probetas se llevó a cabo con la máquina electromecánica IBERTEST modelo ELIB-1000W (ver Figura 5).

Figura 4. Máquina universal de ensayos IBERTEST mod. ELIB-1000W

Permite realizar varios tipos de ensayo (dureza, flexión…) para la determinación de distintas propiedades físico-mecánicas de la madera. La configuración, toma de datos y salida de resultados se muestran en un ordenador al que se encuentra conectada.

El cabezal empleado para la realización de los ensayos a compresión es el que aparece en la Figura 6.

Figura 5. Cabezal utilizado

El ensayo se realiza por aplastamiento de la probeta entre dos superficies planas y paralelas. Este se ejecuta en dirección axial, es decir, paralela a las fibras. En función del tamaño de las probetas, alguno de los parámetros del ensayo varían tal y como se refleja en la Tabla 2. Cabe destacar la

detección de rotura pues se trata de un parámetro de seguridad ya que si la probeta sufre una rotura superior a la establecida la máquina se detiene automáticamente evitando posibles daños.

Tabla 2. Parámetros de control de la máquina y del ensayo

	Parámetros	Norma UNE	Norma ASTM
Parámetros de control de la máquina	Velocidad de movimiento	100 mm/min	100 mm/min
	Detección de rotura	10%	15%
Parámetros del ensayo	Célula	100 KN	100 KN
	Límite máximo fuerza	103 KN	103 KN
	Velocidad	1 KN/s	2 KN/s

2.2. Métodos

El ensayo comienza cuando el cabezal entra en contacto con la superficie de la probeta.

El ensayo finaliza en el momento en el que la probeta o bien se rompe, tal y como muestran las Figuras 7 y 8, o se alcanzan los 103 KN de límite máximo de fuerza establecido. Asimismo, los sensores de seguridad también pueden detener el ensayo en el momento que el cabezal rebase su posición aunque la probeta no se haya roto. Los resultados obtenidos se muestran en el ordenador y mediante su posterior análisis nos permitirán obtener las variables objeto de estudio.

Figura 6. Detalle de rotura de probeta según norma UNE

Figura 7. Detalle de rotura de probeta según norma ASTM

2.3. Determinación de la resistencia máxima

La resistencia máxima viene dada directamente en la pantalla del ordenador en Mpa, a partir de la carga y la deformación de la probeta, tal y como se muestra en la Figura 9. Estos y otros datos quedan simultáneamente almacenados en ficheros que posteriormente pueden utilizarse para su análisis estadístico.

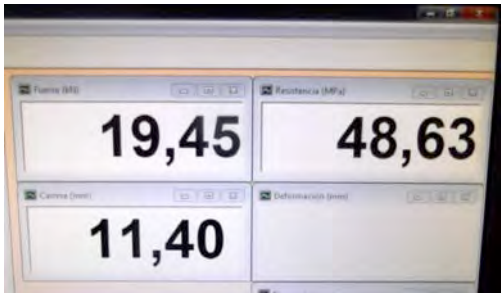


Figura 8. Parámetros obtenidos en el ensayo de una probeta pequeña. La Resistencia máxima aparece a la derecha

2.4. Tratamiento estadístico de los datos.

Una vez obtenidos los datos de la resistencia máxima se introdujeron en una tabla elaborada mediante el software "Excel 2007". Este programa nos permite manejar los datos y disponerlos de forma adecuada para su posterior análisis.

La tabla resultante se exportó al software "STATGRAPHICS CENTURIÓN XV versión 15.2.06", a través del cual se realizaron los análisis estadísticos oportunos.

En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo con objeto de ver en qué medida los datos se agrupan o dispersan en torno a un valor central. Esto último está relacionado con la existencia o no de normalidad en los datos analizados. La importancia de que los datos se asemejen a una distribución normal o curva de Gauss radica en que una gran cantidad de fenómenos reales pueden explicarse mediante este modelo de probabilidad. Se estudiará de dos maneras:

Análisis de la curtosis estandarizada y el sesgo estandarizado. Valores próximos a cero (entre -2 y +2) indican semejanza con la curva normal.

Test de normalidad Shapiro-Wilks. Un p-valor superior a 0.05 indica que los datos se ajustan a una distribución normal.

En este primer apartado también se realizó una comparación de medias con el fin de obtener un análisis exploratorio de los datos.

A continuación se procedió al análisis comparativo entre los diferentes ensayos y especies. En este apartado se tienen en cuenta las exigencias de normalidad, homocedasticidad e independencia. Inicialmente se utiliza el Test de Levene, cuyo fundamento consiste en la verificación de igualdad de varianzas. Dependiendo del resultado de esta prueba, se empleará o bien el análisis ANOVA o bien la prueba de Kruskal-Wallis. Posteriormente, acudimos a la prueba de rango múltiple LSD, y a través de los grupos homogéneos se obtendrá información sobre la comparación de la variable estudiada de cada especie y tamaño de probeta, determinando qué medias son significativamente diferentes. Con este método hay un riesgo del 5% de decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

3. Resultados y Discusión

A continuación se detallan los resultados de la resistencia máxima a compresión, tanto por tamaño de la probeta como por especie. La tabla muestra los valores obtenidos para las variables: número de muestras (n), media (x), coeficiente de variación (CV), rango y aceptación normalidad (Norm).

Tabla 3, Resistencia a compresión paralela a la fibra

	Especie	n	X(MPa)	CV (%)	Rango	Norm (*)
Norma ASTM	P. pinaster	50	37,3425	18,1210	27,167	NO
	P. sylvestris	50	44,2179	9,4282	17,224	SI
	P. radiata	50	44,6882	13,3720	20,414	NO
	Populus	49	35,9083	5.7626	10,339	SI
Norma UNE	P. pinaster	30	52,2120	14,9820	26,940	SI
	P. sylvestris	50	45,1336	8,2674	17,250	SI
	P. radiata	50	53,0246	19,9390	37,640	NO
	Populus	49	39,3108	8,2557	17,270	SI

La Tabla 3 refleja que en las probetas pequeñas (UNE) los valores medios de resistencia máxima oscilan entre los 39,3 MPa del chopo y los 53 MPa del radiata. En las probetas grandes (ASTM), nuevamente el chopo ofrece la resistencia más baja, 36 MPa, y el radiata y silvestre la más elevadas con 44 MPa. Cabe destacar el CV de la especie P. radiata y de Pinus pinaster en probetas grandes, que es muy superior al resto de especies lo que indica heterogeneidad entre probetas y se relaciona a su vez con la ausencia de normalidad en esos datos. A su vez estos valores son más elevados que los mencionados en la Introducción, que se situaban entre los 18 y 25 Mpa, si bien esos son valores característicos y los de este estudio valores medios.

3.1. Análisis comparativo

En este apartado vamos a comparar la variable Resistencia máxima a compresión paralela a la fibra entre los diferentes tamaños y especies estudiadas y determinar si existen diferencias entre ellas y si son realmente significativas, con un nivel del 95,0% de confianza. Tal y como se comentó en Materiales y Métodos, 20 muestras de *Pinus pinaster* de tamaño pequeño dieron errores durante los ensayos, por ello de esta especie solo hay 30 muestras.

Pinus pinaster

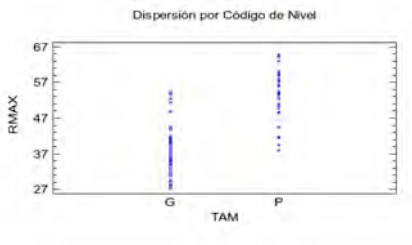


Figura 9. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores de resistencia máxima de las probetas grandes (ASTM) y pequeñas(UNE) de Pinus pinaster

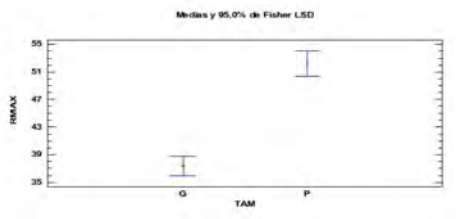


Figura 10. Gráfico de medias con 95% de confianza para la resistencia máxima de Pinus pinaster

El análisis ANOVA arroja un p-valor claramente inferior a 0,05, existiendo por tanto una diferencia estadísticamente significativa entre tamaños de probeta de P. pinaster.

Pinus sylvestris

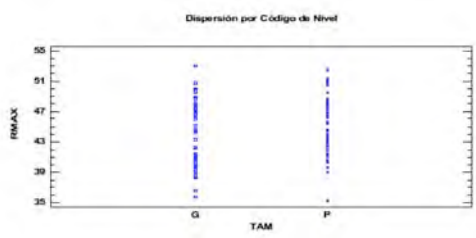


Figura 11. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores de resistencia máxima de las probetas grandes(ASTM) y pequeñas(UNE) de Pinus sylvestris

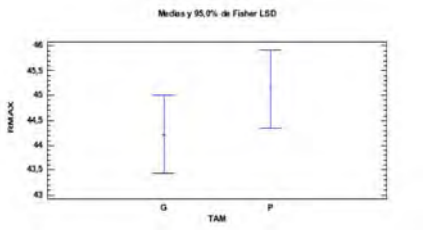


Figura 12. Gráfico de medias con 95% de confianza par la resistencia máxima de Pinus sylvestris

Tanto la prueba de Levene, como el análisis ANOVA, como el test de rango múltiple indican que no hay diferencias significativas entre los resultados de los dos tamaños de probetas de P. sylvestris.

Pinus radiata

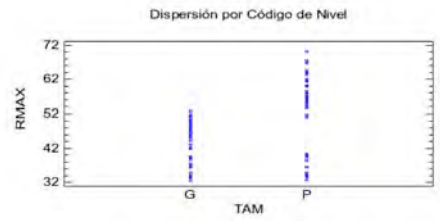


Figura 13. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores de resistencia máxima de las grandes(ASTM) y pequeñas(UNE) de Pinus radiata

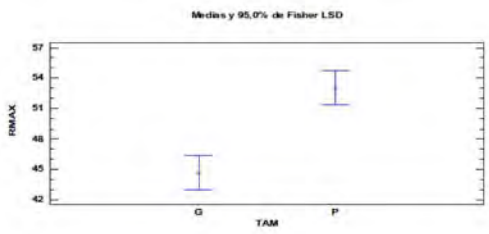


Figura 14. Gráfico de medias con 95% de confianza para la resistencia máxima de Pinus radiata

En el análisis de Kruskal-Wallis el p-valor se sitúa por debajo de 0,05 por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos tamaños de P. radiata.

Populus sp

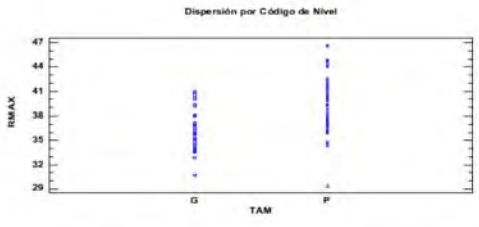


Figura 15. Gráfico que muestra la variabilidad entre losvalores de resistencia máxima de las probetas grandes(ASTM) y pequeñas(UNE) de Populus sp

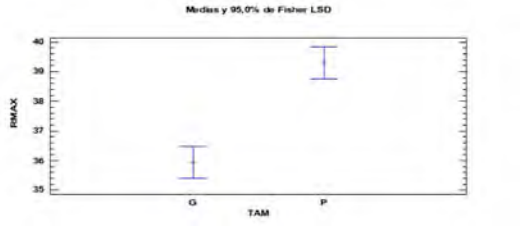


Figura 16. Gráfico de medias con 95% de confianza para la resistencia máxima de Populus sp

Tanto el test de Levene como el de Kruskal-Wallis arrojan diferencias estadísticamente significativas entre ambos tamaños de probeta de Populus sp.

Tabla 4. Resumen de medias de las Resistencias a compresión paralela a la fibra

	Probetas grandes ASTM (MPa)	**Probetas pequeñas UNE (MPa)**	**Diferencias estadísticamente significativas**
P. pinaster	37,3	52,2	Sí
P. sylvestris	44,2	45,1	No
P. radiata	44,7	53,0	Sí
Populus sp	35,9	39,3	Sí

4. Conclusiones

Analizando en conjunto los valores de resistencia máxima se obtiene que *Pinus radiata* es la especie que presenta el valor más elevado y *Populus sp* el más bajo.

En la norma ASTM, la resistencia a la compresión de *Pinus radiata* y *Pinus sylvestris* es similar diferenciándose de las otras dos especies.

En la norma UNE, *Pinus pinaster* y *Pinus radiata* tienen un comportamiento similar, mientras que las otras dos especies difieren de las anteriores y no presentan analogía entre ellas.

Para *P. pinaster*, *P. radiata* y *Populus* existen claras diferencias para la resistencia a compresión entre los resultados con la norma UNE y norma ASTM.

De forma general se debe destacar que en los ensayos llevados a cabo mediante la norma UNE-EN-408:2010, la resistencia a compresión paralela a la fibra es, en todas las especies, superior en comparación a la norma ASTM-D143–94(2000). Esto se debe sin duda al "efecto tamaño" que tiene una influencia inequívoca en casi todos los ensayos de materiales heterogéneos, como la madera, y que en ese campo hace necesario que se especifique el tipo de ensayo realizado para poder utilizarlos como valores de cálculo, en particular en la madera para uso estructural.

Bibliografía

Casado Sanz, M. y L. Acuña Rello. 2000. *La madera en la construcción*. Palencia: Universidad de Valladolid, E.T.S. Ingenierías Agrarias de Palencia, Instituto Tecnológico Agrario y Agroalimentario Itagra C.T.

García Esteban, L., A. Guindeo Casasús, C. Peraza Oramas y P. de Palacios. 2003. *La madera y su anatomía: anomalías y defectos,estructura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de especies y pared celular*. Madrid: Coedición Fundación Conde del Valle de Salazar, Ediciones Mundi-Prensa.

Jiménez Peris, F. J. 1999. *La madera: propiedades básicas*. Ed. GET Grupo Estudios Técnicos.

López González, G. A. 2007. *Guía de los árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares.* Ed Mundi-Prensa

Vignote-Peña, S. e I. Martínez Rojas, 2006. *Tecnología de la madera. 3a ed.* Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Vignote Peña, S., F. Jiménez Peris, E. Morales Méndez y C. Gómez Pérez. 2000. *Tecnología de la madera en la construcción arquitectónica.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ed. Mundi-Prensa.

Área Temática:

Energia

Energía

Sistema de aprovechamiento de hemoderivados mediante proceso a vacío de baja temperatura

José Manuel Magide[1], Hiram Varela[2]

[1] Área de Máquinas y Motores Térmicos, Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela. Calle Benigno Ledo, s/n. 27002 Lugo (España). josemanuel.magide@usc.es

[2] Investigador e Ingeniero de Industrias Agroalimentarias. Egresado de la Universidad de Santiago de Compostela. Calle Beiramar, 9. 15172 Oleiros (España). hiram.varela@outlook.com

Resumen

El presente artículo divulga un sistema tecnológico de aprovechamiento de hemoderivados procedentes de las industrias cárnicas. Los hemoderivados comprenden la sangre cruda procedente del sacrificio de animales y asimismo todos los derivados de la misma, como el suero, pasta de glóbulos rojos, etc. La tecnología aquí divulgada revaloriza los hemoderivados mediante su transformación en harina de sangre, y se encuentra bajo la protección de dos patentes propiedad de la Universidad de Santiago de Compostela.

La sangre de las industrias cárnicas constituye un residuo peligroso. Su gestión inadecuada desencadena riesgos para el medioambiente y proliferaciones microbianas causantes de problemas de salud pública. En consecuencia, las industrias cárnicas dedican un importante esfuerzo a la gestión de la sangre como residuo producido en sus instalaciones. El tratamiento más extendido se reduce a su eliminación por un gestor de residuos, lo que supone un coste.

A pesar de las desventajas, la sangre contiene grandes cantidades de componentes químicos de alto valor económico, como la lisina, un aminoácido esencial en muchos animales de granja y compañía. Una forma de transformar a la sangre en inocua y a la vez recuperar todos sus componentes de alto valor, consiste en transformarla en harina de sangre.

La tecnología divulgada transforma hemoderivados en harina, mediante técnicas de deshidratación a baja temperatura, lo que garantiza la elevada calidad del producto seco. Comprenden un sistema de evaporadores de múltiple efecto a vacío con intercambiadores de calor de tipo rascado, que evitan el fenómeno indeseable de la coagulación sanguínea.

Palabras clave: Harina de sangre, mataderos, evaporación, vacío, coagulación

Blood Products Recovery System by means of a vacuum low temperature process

Abstract

This paper reports about a technology solution for recovering blood products coming from meat industries. Blood products comprise raw blood coming from slaughtered animals as well as all kind of derived products like plasma, red blood cells, etc. The technology we claim revaluates blood products by means of their transformation into blood meal, and is protected under two USC patents.

Blood coming from meat industries constitutes a highly hazardous waste. Mismanagement could cause environmental risks and microbiological growth responsible for public health concerns. Accordingly, meat industries devote great efforts to managing blood from their facilities as a waste. The most widely used solution is narrowed to hiring a waste manager, which implies additional costs.

Despite the advantages, blood contains vast amounts of high added value chemical components, such as lysine, an essential amino acid for many farm animals and pets. One way of turning blood into an innocuous product that contains all of its high value components consists of transforming it into blood meal.

The reported technology converts blood products into meal making use of low temperature dewatering processes, which assures a high quality dried product. It comprises a vacuum multiple effect evaporation system with scraped surface heat exchangers that prevent the undesirable phenomenon of blood coagulation.

Keywords: Blood meal, slaughterhouses, evaporation, vacuum, coagulation

1. Descripción

Los hemoderivados son el conjunto de sustancias derivadas de la sangre. Incluyen tanto a la sangre cruda, recién extraída de animales sacrificados, como a las sustancias resultantes de la adición o sustracción de ciertos componentes sobre la misma. Por ejemplo, el suero o plasma sanguíneo, la pasta de glóbulos rojos, sangre con anticoagulante, sangre desfibrinada, etc. La tecnología que aquí se preconiza tiene como objetivo preferente la sangre cruda, si bien permite el mismo uso para cualquier hemoderivado en sustitución de la misma.

La sangre de mataderos constituye un residuo peligroso que puede dar lugar a problemas medioambientales y contaminaciones microbianas causantes de problemas de salud pública, pero a su vez contiene una gran cantidad de compuestos de alto valor económico y con un amplio rango de aplicaciones industriales (Madrid, 1998). La forma más versátil de convertirla en un producto estéril e inocuo y que a la vez retiene los compuestos de interés consiste en transformarla en un producto desecado, la llamada harina de sangre (Ockermann, 1994). La harina de sangre se caracteriza por poseer un aminograma con grandes proporciones de aminoácidos esenciales para la alimentación de muchos animales de granja y compañía. Destaca especialmente la lisina, con una proporción del 8,7% en peso, y cotizada a 1.560€/T. La lisina es fundamental en la elaboración de piensos para ganado, perros y gatos. Igualmente destacan la metionina (1,2%; 3.400€/T), el triptófano (1,4%; 7.150€/T) y la treonina (4,7%; 1.796€/T), (Universidad de Missouri, 2017).

La harina de sangre se cotiza actualmente en valores próximos a los 1.100$/T en los Estados Unidos (Universidad de Wisconsin, 2017). Este elevado valor se debe al amplio espectro de aplicaciones que permite. Entre sus usos destacan la suplementación de piensos de alimentación animal, elaboración de embutidos, panadería, emulsiones asfálticas, filtros anti gas, componente de vacunas, fertilización agrícola y forestal, colorantes, pegamentos, industria farmacéutica, etc. (Ockermann, 1994).

Las tecnologías empleadas en la actualidad para la producción de harina de sangre son principalmente las cuatro siguientes, ordenadas de menos a más eficiente: digestores, decantador centrífugo con secador de contacto directo, secadores de spray y secadores flash. En todas ellas, las temperaturas de tratamiento superan los 100ºC, lo cual provoca la desnaturalización de los aminoácidos y la consecuente pérdida de calidad de la harina. Los secadores de spray y flash emplean corrientes de aire caliente a temperaturas habitualmente por encima de 170ºC (Madrid, 1998), que si bien mantienen un tiempo de contacto con la sangre muy breve, producen una notable desnaturalización. Los digestores y sistemas con decantador aplican temperaturas más suaves, del orden de 105ºC, pero con tiempos de permanencia muy largos que generan deterioros superiores a los de los secadores de spray y flash (Lawrie, 1984).

Por otra parte, las cuatro tecnologías mencionadas poseen la desventaja de descartar el suero sanguíneo, cuyo destino suele ser una planta depurada de aguas residuales genéricas (Lawrie, 1984). Esto se debe a que con frecuencia incorporan un coagulador previo al equipo de secado, con el fin de separar de un modo mecánico la mayor parte de la humedad. Este procedimiento abarata sensiblemente los costes de producción pero desecha el suero y todos los sólidos que éste contiene. Y son precisamente los sólidos del suero los más valorizables para ciertas aplicaciones; destacan especialmente sus proteínas globulares como fuente de alimentación animal.

Por último, las tecnologías del estado del arte actual presentan costes energéticos elevados, a pesar de soluciones como los coaguladores previos al secado (Madrid, 1998). Esto es debido al hecho de

que la retirada de la última fracción de la humedad la efectúan mediante calor, y es sabido el elevado coste que este procedimiento tiene, en torno a 550 Kcal por litro de agua evaporado.

Para solucionar los problemas de las tecnologías preexistentes nació el Proyecto de Investigación *Recovery Blood* de la Universidad de Santiago de Compostela. Fruto de sus trabajos se desarrolló una tecnología novedosa, protegida bajo las patentes P201730019 y P201630675, tituladas "Dispositivo y procedimiento para la obtención de un producto desecado a partir de sangre o derivados" y "Sistema de desecado de sangre líquida". A continuación se describen las características de dicha tecnología, de la cual son inventores los dos autores del presente artículo.

Para solucionar el problema del deterioro por elevadas temperaturas, la tecnología aquí propuesta hace uso de un sistema a vacío, lo que permite la ebullición de la sangre a temperaturas muy bajas. La presión máxima se mantiene con una bomba de vacío en torno a los 0,15bar, lo que garantiza temperaturas no superiores a los 55ºC (Magide, 2010). De esta forma se minimiza la desnaturalización de las proteínas y se incrementa la calidad de la harina. Todas las tecnologías habituales en el estado de la técnica previo usan procesos a presión atmosférica, lo que implica temperaturas de ebullición superiores a 100ºC.

Una posible desventaja de los tratamientos a bajas temperaturas es el riesgo de proliferación microbiana. Este riesgo es inexistente si la sangre proviene de animales sanos bajo control veterinario y con un sistema de recogida de tipo aséptico, que normalmente consiste en un sistema de cuchillo de cánula hueca conectado a una bomba de vacío (Lawrie, 1984). Cuando se recoge mediante el sistema aséptico recibe el nombre de "sangre técnica", en contraposición a la "sangre zootécnica", que es la sangre sin dichas garantías de calidad. Una medida adicional que garantiza la asepsia de la harina de sangre, divulgada en la patente P201730019, consiste en la aplicación de ozono durante el proceso de secado.

Para abaratar los costes de producción, la tecnología patentada aporta dos ventajas fundamentales: un sistema de evaporación de múltiple efecto y un aprovechamiento de la energía de los efluentes residuales del matadero. Estos sistemas de evaporación poseen la peculiaridad de reducir sensiblemente los costes de cualquier proceso de deshidratación. Ello se debe a que aprovechan sucesivas veces el calor de condensación del vapor producido durante la deshidratación (McCabe et al., 1991). La tecnología *Recovery Blood* se contempla para un sistema de tres evaporadores, situados en serie. La sangre a secar los recorre secuencialmente, de forma que en el primero entra la sangre cruda, en el segundo se encuentra sangre con un bajo contenido en agua y en el tercero se finaliza el secado, obteniendo la harina de sangre. El vapor de agua que se desprende del primero, es conducido hacia el segundo, donde se licua y entrega su calor de condensación, que es la fuente energía que genera la evaporación de agua en este segundo evaporador. El vapor del segundo se conduce hacia el tercer y último evaporador, que de forma análoga condensa y entrega su calor de condensación. Este calor se emplea en hacer evaporar la sangre contenida en el tercer evaporador, hasta el nivel de secado deseado. Es decir, el vapor de agua producido en el primer evaporador es la fuente de energía del segundo, y el vapor producido en el segundo es la fuente de energía del tercero. Para hacer posible esta transferencia de energía, es necesario que las temperaturas de ebullición de los evaporadores sean decrecientes, lo que se logra sosteniendo presiones también decrecientes. En la tecnología *Recovery Blood*, la sangre hierve en el primer evaporador a 55ºC, en el segundo a 45ºC y en el tercero a 35ºC. Al lector que desee conocer en mayor detalle la tecnología de los evaporadores de múltiple efecto se le recomienda la referencia bibliográfica de McCabe (1991).

El ahorro económico de un sistema de evaporadores de múltiple efecto como el descrito en el párrafo anterior, se debe al aprovechamiento del calor de condensación del vapor generado en los diversos evaporadores en serie, y es proporcional al número de evaporadores (del Arco, 1984). Si despreciamos las pérdidas energéticas, se podría asumir en primera aproximación que con tres evaporadores el coste se reduce a la tercera parte en relación a un único evaporador, con cinco evaporadores a la quinta parte, etc. Sin embargo, entre las tecnologías previas la presencia de estos

sistemas es muy escasa, ocasionalmente presente como un mero medio de preconcentrado, pero no como finalizador del secado de la sangre (Lawrie, 1984). Esto es debido a que los evaporadores de múltiple efecto presentan problemas de funcionamiento con productos viscosos y que forman coágulos, como el caso de la sangre (McCabe, 1991). Las patentes de *Recovery Blood* hacen extensible esta tecnología de evaporación al secado de sangre, de manera que sea posible beneficiarse del notable ahorro económico que suponen.

Con el objetivo de poder manejar sangre, los evaporadores de *Recovery Blood* hacen uso de intercambiadores de calor de superficie rascada. Poseen mecanismos agitadores que ejercen un rascado sobre las superficies de intercambio térmico. Esto permite por una parte la retirada de incrustaciones o suciedad, garantizando un proceso higiénico, y por otra parte la agitación que producen reduce el fenómeno de la coagulación sanguínea (Ockermann, 1994). Si la coagulación no se controla, se producirán coágulos de un tamaño suficiente como para impedir el correcto flujo de la sangre a través de los evaporadores. La especial incidencia de *Recovery Blood* en este aspecto, permite la extensión de la tecnología de evaporación de múltiple efecto al caso de la sangre.

Por último, además del ahorro económico producido por un sistema de tres evaporadores en serie, *Recovery Blood* genera un sustancial ahorro por medio el empleo de los efluentes residuales de la industria como fuente de energía. Estos efluentes son típicamente las aguas calientes de limpieza y suponen una energía gratuita. En los mataderos la limpieza aplica agua a una temperatura normalmente superior a 62ºC, de modo que sirven como fuente de energía pues se haya por encima de los 55ºC a los que evapora la sangre en el primer evaporador de *Recovery Blood*. Si el agua de limpieza se recupera a temperaturas inferiores, sigue siendo empleable como fuente de energía si se aplica la técnica de la bomba de calor (Moran, 2004). Ésta hace uso de un fluido refrigerante que se hace circular en un circuito cerrado, donde es sometido a sucesivas compresiones y expansiones. De esta manera el refrigerante es capaz de absorber la energía de efluentes residuales a baja temperatura, por ejemplo 40ºC, y entregarla al sistema de evaporadores a una temperatura superior a los 55ºC. El fluido refrigerante empleado es el R-134a, catalogado como apto para la industria alimentaria (Magide, 2010).

2. Metodología

La instalación para valorización de hemoderivados descrita en el apartado anterior se encuentra protegida por las dos citadas patentes, consultables en las bases de datos internacionales de patentes. La Oficina Española de Patentes y Marcas permite su acceso a través de este enlace:. http://invenes.oepm.es/InvenesWeb. El principal problema que puede presentar el proceso reivindicado es la formación inesperada de coágulos en el interior de los evaporadores, especialmente si estos alcanzan un tamaño superior a 5mm. Coágulos de estas dimensiones son difíciles de secar, pues retienen en su interior una cantidad importante de agua que resulta difícil de vaporizar, por encontrarse retenida en la porosidad del coágulo. Además, estos coágulos entorpecen el flujo a través de las diversas tuberías y conducciones e implicarían la necesidad de bombas de tipo peristáltico. Estas bombas tienen sin embargo problemas con la impulsión de coágulos superiores a 5mm (Madrid, 1998).

Se sabe que la coagulación de la sangre depende de la temperatura; a mayores temperaturas mayor tasa de coagulación. A su vez, el dotar de movimiento a la sangre contrarresta el fenómeno de la coagulación (Ockermann, 1994). En esta investigación se estudió el tamaño de los coágulos resultantes, en función de la temperatura y condiciones de agitación.

2.1 Instrumentación

1) Baño termostático Selecta.

Es un equipo con un pequeño depósito que mantiene un volumen de agua a la temperatura constante deseada. En el interior de ese volumen se sumerge una cuba que contiene la sangre a

desecar. Como la temperatura del agua se mantiene constante, también será constante la temperatura de evaporación de la sangre. Se tiene en cuenta la caída de temperatura entre el agua y la sangre. En un caso práctico, y para una cuba cilíndrica de acero de 1mm de espesor, se tuvo que mantener el agua a 75ºC para que la sangre mantuviese una temperatura de evaporación constante y estable a 55ºC.

2) Termómetros.

Se introdujeron sendos termómetros en el agua y en el seno de la sangre a evaporar.

3) Cuba de acero inoxidable.

Es un recipiente cilíndrico con paredes de 1mm de espesor y 200mm de diámetro. En su interior se vierte la sangre a desecar. Y a su vez la cuba se sumerge en el seno del agua que contiene el baño termostático. Este agua transmite calor hacia la sangre.

4) Agitador PTM Mechatronics.

Dispositivo agitador para fluidos viscosos. Se fija sobre un trípode y posee un eje giratorio a una velocidad seleccionable entre 3 y 600 rpm. Al eje se conectan láminas agitadoras que se mueven solidarias al mismo.

2.2 Material biológico

El material biológico empleado consistió en una muestra de sangre de cerdos procedentes de la provincia de Lugo

2.3 Procedimiento

El experimento se repite para seis temperaturas diferentes: 50, 55, 60, 65, 70 y 80ºC. Para cada una de ellas se prepara el baño termostático de forma que la temperatura del agua provoque la temperatura deseada en la sangre. La máxima temperatura del agua, 100ºC, eleva hasta 80ºC la temperatura de la sangre. Esta diferencia de 20ºC se debe a la caída de temperatura a través de la pared de la cuba de acero inoxidable.

Una vez que el agua del baño termostático alcanza la temperatura deseada, se sumerge en su interior la cuba con la sangre. Acto seguido se introduce en el seno de la sangre el agitador. En el caso de este experimento el agitador no rasca la pared de la cuba, sino que pasa próximo a la misma, en torno a 15 mm de separación. El interior de la cuba posee un diámetro de 200mm, de modo que el diámetro del agitador es de 170mm. El agitador se hace girar a tres velocidades distintas: 30, 60 y 120 revoluciones por minuto.

La sangre se mantiene en agitación hasta que se obtiene un producto de baja humedad. El objetivo es medir el tamaño de los coágulos formados, por lo que no es necesario proceder al secado completo. La sangre cruda posee un grado de humedad del 80% en base húmeda (Madrid, 1998); una reducción hasta el 50-60% es suficiente. Mayores niveles de deshidratación no condicionan el tamaño de los coágulos, pues estos se forman con gran rapidez en las fases iniciales de la evaporación.

La medición del tamaño de los coágulos se realiza mediante criba y calibrador. El valor que se indicará se corresponde a la mayor medida registrada.

3. Resultados y Discusión

Realizados los experimentos se confirmó la dependencia de la formación de coágulos con la temperatura y la agitación del fluido. A mayores temperaturas mayor nivel de coagulación, y a mayor agitación menor coagulación. Cabe destacar que si bien los mayores problemas a nivel industrial

aparecen con coágulos superiores a 5mm, según se ha dicho, son deseables tamaños no superiores a los 3mm. Cuanto menores los coágulos más rápido y más fácilmente secarán.

En un caso sin agitación, el único movimiento que sufre la sangre es debida a la convección natural en función de la temperatura (del Arco, 1984), y no evita la formación de pequeños coágulos ya a temperaturas de 50ºC. Sin embargo, no es hasta superados los 55ºC que dichos coágulos alcanzan unas dimensiones que compliquen excesivamente el proceso industrial. Con una temperatura de 60ºC el proceso es impracticable.

Con la presencia de agitación la tasa de coagulación desciende notablemente. Ya con muy bajas revoluciones (30rpm) se anula la coagulación para temperaturas de hasta 55ºC; no fueron detectados coágulos medibles. Para una temperatura de 60ºC se hace necesaria una agitación a 60rpm, y para 65ºC se deben aplicar 120rpm. Las temperaturas a partir de 70ºC requieren grandes niveles de agitación, siendo insuficiente 120 rpm.

Para temperaturas superiores a 80ºC, resultó imposible frenar la coagulación de forma sensible mediante agitadores. Se desprende de los resultados que no es rentable la aplicación de agitadores para paliar la coagulación a partir de 80ºC. Soluciones alternativas como los anticoagulantes químicos han de considerarse en estos casos, si bien poseen la desventaja de reducir el rango de aplicaciones industriales y el valor económico de la harina de sangre (Lawrie, 1984).

Tabla1. Granulometría de los coágulos resultantes (mm).

Temperatura (ºC)		**50**	**55**	**60**	**65**	**70**	**80**
Agitación (rpm)	0	2	4	10	15	22	31
	30	0	0	6	11	16	>20
	60	0	0	2	7	9	>15
	120	0	0	2	3	5	>10

De la Tabla 1 se concluye que el problema de la coagulación es subsanable mediante agitadores hasta temperaturas de 65ºC. Una agitación superior a 120rpm podría hacer extensible la técnica hasta 70ºC, sin embargo no es conveniente emplear rascadores a velocidades angulares superiores a este valor.

Los rascadores se conectan a un muelle que provoca que estos ejerzan una determinada presión sobre las superficies de intercambio térmico de los evaporadores. Es de interés que esta presión sea elevada en ciertas situaciones, superior a 5 bares, por ejemplo cuando no se dispone de un sistema CIP de limpieza in situ. Una presión de rascado elevada favorece la rápida eliminación de los depósitos e incrustaciones. Sin embargo, las presiones elevadas poseen la desventaja de limitar la velocidad de giro de los rascadores, de lo contrario sobreviene un elevado desgaste y eventual fractura de los mismos. Por todo esto, de esta investigación se desprende la no conveniencia de subsanar la coagulación con rascadores por encima de los 70ºC.

De todo lo anterior se desprende que la tecnología de evaporación de múltiple efecto sí es apta para manejar un fluido complicado como la sangre, siempre que cuenten con intercambiadores de calor de superficie rascada mediante agitadores. Estos limitan el tamaño máximo de los coágulos que se formarán. La introducción de agitadores en los evaporadores es un procedimiento novedoso que aumenta el rango de aplicaciones de los evaporadores de uso en la actualidad.

La tecnología *Recovery Blood* trabaja con temperaturas máximas de 55ºC, lo cual significa que agitaciones muy ligeras, del orden de 30rpm, son suficientes para la prevención de la coagulación.

En las imágenes 1 y 2 se muestran fotografías de dos muestras de harina de sangre producidas por el equipo de *Recovery Blood* en laboratorio en el año 2017. La primera se corresponde con harina obtenida a 70ºC y una agitación de 120rpm, y la segunda 60ºC y sin agitación. De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 1, en el primer caso se encontraron coágulos de hasta 5mm y en el segundo caso de hasta 10mm.

Figura 1. Harina de sangre obtenida a alta temperatura.

Figura 2. Harina de sangre obtenida a baja temperatura.

En el caso de la harina a baja temperatura, se hace notable el incremento de calidad con respecto a la de alta temperatura. Entre las Imágenes 1 y 2 hay 10ºC de diferencia solamente, pero es visible a simple vista el incremento de la calidad para la harina a baja temperatura, el cual se detecta por el color. El tono rojizo de la harina en la Imagen 2 denota un nivel de desnaturalización y deterioro proteico bajo, mientras que el color oscuro de la Imagen 1 revela desnaturalización y chamuscado

(Madrid, 1998; Ockermann, 1994). Es por ello la importancia de procesos de obtención de harina de sangre a baja temperatura.

4. Conclusiones

Recovery Blood es una tecnología que revaloriza la sangre de mataderos mediante su transformación en harina de sangre, un producto inocuo y de alto valor en el mercado, con un gran rango de aplicaciones. La tecnología que emplea es innovadora en el bajo coste energético y en el tratamiento a baja temperatura.

El coste energético es reducido por la aplicación de un sistema de evaporadores de múltiple efecto, tecnología de difícil aplicación en productos viscosos como la sangre. *Recovery Blood* consigue hacerla apta mediante la aplicación de agitadores que ejercen un efecto de rascado. La utilidad de los agitadores queda manifiesta a la vista de los resultados experimentales mostrados en este artículo. Minimizan el fenómeno de la coagulación a las temperaturas de trabajo de *Recovery Blood*, el cual es incompatible con los sistemas de evaporación de múltiple efecto tradicionales. Además, se emplean como fuente de energía los efluentes residuales de la industria, lo que repercute en un mayor abaratamiento.

Las bajas temperaturas de trabajo, minimizan la desnaturalización proteica y el grado de coagulación de la sangre.

Agradecimientos

Agradecemos al Área de Valorización, Transferencia y Emprendimiento de la Universidad de Santiago de Compostela la ayuda prestada a lo largo de todo el proceso de protección legal de la tecnología *Recovery Blood*.

Bibliografía

del Arco Vicente, L. 1984. *Termotecnia. Calor industrial*. Barcelona, Spain: Mitre.

Lawrie, A.R. 1984. *Avances en la ciencia de la carne*. Madrid, Spain: Acribia,

Madrid, A. 1998. *Aprovechamiento de los subproductos cárnicos*. Madrid, Spain: MundiPrensa Libros.

Magide Ameijide, J. M., M. Méndez Lodos and X. P. González Vázquez. 2010. *Termotecnia*. Lugo, Spain: Unicopia.

McCabe, W., J. Smith and P. Harriot. 1991. *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Madrid, Spain: McGraw Hill.

Moran, M., H. Shapiro. 2004. *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona, Spain: Reverté.

Ockermann, H. W. 1994. *Industrialización de subproductos de origen animal*. Madrid, Spain: Acribia.

Rentabilidad de un sistema solar térmico con tubos de vacío para suministro de agua a 90 °C

Carlos Javier Porras-Prieto[1], Fernando R. Mazarrón[2], José Luis García[3]

[1,2,3] Dpto. Ingeniería Agroforestal, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, carlosjavier.porras@upm.es; f.ruiz@upm.es; joseluis.garciaf@upm.es

Resumen

La utilización de sistemas solares basados en captadores de tubos de vacío para suministrar agua caliente sanitaria ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años. Los captadores de tubos de vacío pueden operar a mayores temperaturas que lo captadores solares planos. Además, el vacío reduce las pérdidas por convección y conducción, presentando mejor rendimiento cuando las condiciones se vuelven desfavorables durante los días fríos, nublados y ventosos. No obstante, en el sector agroindustrial el crecimiento de estos sistemas ha sido limitado, debido a que la demanda de agua caliente presenta una gran variabilidad, tanto en la temperatura requerida como en el momento en que se demanda. Son muchos los procesos en que se demanda agua a temperaturas próximas a los 90°C, como en la limpieza de instalaciones y maquinaria de industrias cárnicas y lácteas, en bodegas, etc. Por ello, el presente trabajo caracteriza el comportamiento de un sistema solar con circulación activa para producir agua caliente a 90°C, determinando el rendimiento, capacidad productiva y rentabilidad potencial. Para ello, se diseñó un sistema solar experimental que reproduce sistemas actualmente comercializados de circulación activa, siendo instalado en el tejado de un edificio en Madrid (España). Los múltiples sensores instalados han permitido llevar a cabo una caracterización exhaustiva del rendimiento del sistema. Los resultados del estudio pueden ser de gran utilidad para incrementar la implantación de estos sistemas en agroindustrias y explotaciones agrarias, con el fin de lograr un sector más sostenible y competitivo.

Palabras clave: sistema solar térmico; captador de tubos de vacío; agua caliente

Profitability of a solar water heating system with evacuated tubes for 90 °C water supply

Abstract

The use of solar systems based on evacuated tube collectors to supply hot water has experienced rapid growth in recent years. Evacuated tube collectors can operate at higher temperatures than flat solar collectors. In addition, the vacuum reduces the losses by convection and conduction, presenting better performance during unfavorable conditions like winter, cloudy and windy days. However, in the agro-industrial sector the growth of these systems has been limited, because the demand for hot water presents a great variability, both in the required temperature as well as at the time of demand. There are many processes in which water is required at temperatures close to 90°C, like in cleaning facilities in dairy and meat industries, wineries, etc. Therefore, the present work characterizes the behavior of a solar system with active circulation to produce hot water at 90°C, determining the performance, productive capacity and potential profitability. For this, an experimental solar system was designed that reproduces systems currently commercialized of active circulation, being installed on the roof of a building in Madrid (Spain). The multiple sensors installed have made it possible to carry out an exhaustive characterization of the system performance. The results of this study can be very useful to increase the implementation of these systems in agro-industries and agricultural holdings, to achieve a more sustainable and competitive sector.

Keywords: solar water heating system; evacuated tube collector; hot water

1. Introducción

La utilización de sistemas solares basados en captadores de tubos de vacío para suministrar agua caliente sanitaria ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años. Esta expansión ha sido especialmente significativa en China, Europa y Japón como resultado del aumento de la oferta de captadores de tubos de vacío (Sabiha, Saidur et al. 2015), con la consecuente bajada de precios.

Las ventajas que presentan los captadores de tubos de vacío frente a otros captadores han contribuido a su expansión y generalización. Los captadores de tubos de vacío pueden operar a mayores temperaturas que lo captadores solares planos (Ayompe, Duffy et al. 2011; Allouhi, Jamil et al. 2015). Además, el vacío reduce las pérdidas por convección y conducción, presentando mejor rendimiento cuando las condiciones se vuelven desfavorables durante los días fríos, nublados y ventosos (Kalogirou 2004).

No obstante, en el sector agroindustrial el crecimiento de estos sistemas ha sido limitado, debido a que la demanda de agua caliente presenta una gran variabilidad, tanto en la temperatura requerida como en el momento en que se demanda. Son muchos los procesos en que se demanda agua a temperaturas superiores al agua sanitaria, como en la limpieza de instalaciones y maquinaria de industrias cárnicas, lácteas, en el lavado de botellas y barricas en bodegas, etc.

Los estudios sobre sistemas solares térmicos que analicen temperaturas requeridas superiores a las habituales para agua caliente sanitaria son escasos. Pei et al. (Pei, Li et al. 2012; Pei, Li et al. 2012) analizan el rendimiento de un sistema solar con concentrador parabólico a diferentes temperaturas (26.9°C to 55°C, 65°C, 75°C, 85°C, and 95°C) durante el invierno; Alfaro-Ayala et al. (Alfaro-Ayala, Martinez-Rodriguez et al. 2015) estudia el comportamiento térmico e hidráulico a diversas temperaturas mediante simulación CFD; Porras-Prieto et al. (Porras-Prieto, Mazarron et al. 2014) y Mazarron et al. (Mazarron, Javier Porras-Prieto et al. 2016) analizan las variaciones de rendimiento y rentabilidad del sistema en función de la temperatura del agua requerida (40°C, 50°C, 60°C, 70°C y 80°C).

El presente trabajo caracteriza el comportamiento de un sistema solar con circulación activa para producir agua caliente a 90°C, determinando el rendimiento, capacidad productiva y rentabilidad potencial del mismo.

2. Materiales y Métodos

2.1. Sistema solar térmico experimental (SST)

Se ha diseñado un sistema experimental que reproduce los actuales sistemas de circulación activa. El SST fue instalado en la cubierta del edificio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid. La Figura 1 muestra los componentes principales del sistema experimental. El periodo de monitorización abarca desde julio de 2016 a abril de 2017, con un intervalo de 2 minutos.

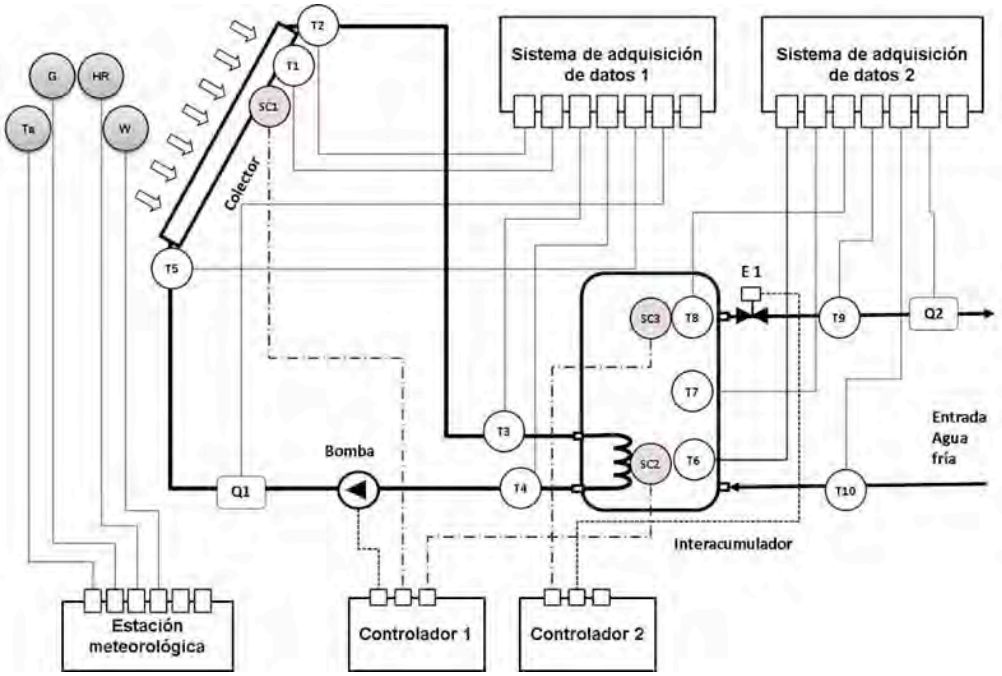


Figura 1. Diagrama del sistema experimental

2.2. Caracterización del comportamiento del SST

Para la caracterización del SST a partir de los datos experimentales se han calculado variables ampliamente utilizadas para este propósito por otros autores (Nkwetta and Smyth 2012; Ayompe and Duffy 2013; Ayompe and Duffy 2013), como son la energía útil captada por el captador y su eficiencia, la energía útil cedida al depósito y su eficiencia y las pérdidas en las tuberías de suministro.

Los valores de energía calculados han sido expresados con respecto al área efectiva del captador, es decir, dividiendo los valores entre 2 m^2. Aunque en algunos casos la variable no depende directamente de la superficie del captador, como en el caso de las pérdidas en las tuberías, estos valores facilitan la comparación con los obtenidos por otros autores con superficies distintas de captador.

A continuación se describen las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las variables mencionadas. A partir de las ecuaciones de potencia se ha calculado la energía, multiplicando dicha potencia por el intervalo de tiempo correspondiente a la medida, expresando dicha energía en unidades de facturación eléctrica (Wh y kWh).

a) Potencia útil extraída del captador

La potencia útil capturada por el captador y cedida al fluido caloportador se ha calculado como la diferencia de temperatura del fluido a la entrada y salida del captador:

$$Q_c = \dot{m} C_p (T_2 - T_5)/A_c \qquad (1)$$

b) Eficiencia del captador

La eficiencia del captador se ha calculado experimentalmente a partir de los datos monitorizados, considerando la potencia útil extraída del captador y la irradiación solar:

$$\eta_c = \dot{m} C_p (T_2 - T_5)/(A_c G) = Q_c/G \qquad (2)$$

c) Potencia útil cedida al depósito

La potencia cedida al depósito a través del intercambiador se ha calculado como la diferencia de temperatura del fluido a la entrada y salida del depósito:

$$Q_d = \dot{m} C_p (T_3 - T_4)/A_c \quad (3)$$

d) Eficiencia del sistema

La eficiencia del sistema fue calculada considerando la energía cedida al depósito como energía útil susceptible de ser utilizada; dividiendo la potencia útil cedida al depósito entre la irradiación solar:

$$\eta_s = \dot{m} C_p (T_3 - T_4)/(A_c G) = Q_d/G \quad (4)$$

e) Pérdidas de potencia en las tuberías de suministro del circuito primario

Las pérdidas en las tuberías fueron calculadas como la diferencia entre la potencia útil extraída por el CTV y la potencia cedida al depósito:

$$Q_{pt} = Q_c - Q_d \quad (5)$$

2.3. Estimación de la energía útil del SST

Para la estimación de la energía útil suministrada por el SST durante un año completo se ha asumido un modelo de rendimiento del sistema basado en el utilizado para caracterizar los captadores solares en la norma UNE-EN12975-2 (UNE-EN12975-2 2006). No obstante, en la mayoría de los casos no es posible disponer de datos de la temperatura media del captador. Por ello, se ha planteado un modelo alternativo basado en la temperatura del agua requerida (90°C), que permita estimar la energía útil en distintos escenarios con datos de temperatura ambiente e irradiación:

$$E_{SST} = \eta_{0S} G - a_{1S}(90 - T_a) - a_{2S}(90 - Ta)^2 \quad (6)$$

Las constantes de la ecuación han sido calculadas para obtener el menor error medio anual mediante la herramienta Solver de Microsoft Excel, siendo $\eta_{0S} = 0{,}452467779$, $a_{1S} = 0{,}090374904$ y $a_{2S} = 0{,}023798291$. La precisión del modelo frente a los datos experimentales ha sido satisfactoria, con un R^2 de 0.96 y un error promedio de 138 W m^{-2} d^{-1}.

2.4. Rentabilidad del SST

El estudio de rentabilidad se llevará a cabo en el supuesto de existir un sistema de suministro complementario. Se ha considerado el escenario de máximo potencial del SST, en el que se aprovechada toda la energía útil que el SST es capaz de almacenar en el depósito a lo largo del año. La rentabilidad podría disminuir sensiblemente de no poder aprovecharse todo su potencial.

Para determinar la rentabilidad de la inversión se han calculado los flujos de caja anuales. Las diferencias de pagos entre alternativas de suministro convencionales (instalación responsable de los pagos antes de la inversión) y la instalación solar (responsable de los pagos después de la inversión en la misma) permitirán cuantificar el ahorro generado por la inversión, a través del VAN, TIR y el periodo de retorno de la inversión.

Para el cálculo de los indicadores de rentabilidad se han asumido los siguientes parámetros:

- El precio de los SST se han reducido notablemente en los últimos años, siendo el precio actual de equipos equivalentes de aproximadamente 750 € m^{-2}, incluido el montaje.

- Se han considerado dos alternativas de suministro tradicional para llevar a cabo el calentamiento del agua, una caldera de gasóleo de baja temperatura, con un rendimiento del 96%, y poder calorífico del gasóleo de 10 kWh L^{-1}, y una caldera eléctrica.
- Consumo eléctrico del sistema de captación solar: 0.7 Wh por cada minuto de funcionamiento de la bomba.
- Precio de la energía: 0,1411 € kWh^{-1} (precio medio del periodo 2012-2016 en España para industrias según Eurostat) y 0,8511 € L^{-1} de gasóleo (valor promedio en España para el periodo 2011-2015 según la Corporación de reservas estratégicas de productos petrolíferos).
- Según el fabricante, la vida útil de la instalación ronda los 20 años.
- Se ha utilizado una tasa de actualización del 3,12%, promedio del periodo 2012-2016 de Obligaciones del Estado a 10 años de España.

3. Resultados y Discusión

3.1. Caracterización del comportamiento del SST

Existe una marcada relación entre la energía extraída del captador y la radiación solar (Figura 2). La energía útil extraída del captador aumenta a medida que se incrementa la irradiación solar, obteniéndose los mayores valores durante los meses de verano, coincidiendo con los días de mayor irradiación del año y mayor temperatura ambiente. No obstante, estos valores son menores que los descritos en otros estudios para temperaturas demandadas inferiores (Porras-Prieto, Mazarron et al. 2014; Mazarron, Javier Porras-Prieto et al. 2016), lo que refleja una caída de rendimiento del captador al incrementarse la temperatura. Además, La alta temperatura requerida provoca importantes pérdidas en las tuberías que comunican el captador y el depósito, siendo sensiblemente menor la energía cedida al depósito (Figura 2). Los valores máximos de energía útil disponible oscilan entre los 3000 y 3500 Wh m^{-2} d^{-1}. Este comportamiento se traduce en valores de eficiencia relativamente bajos para la elevada irradiación de Madrid, con un 48±8% en el captador y un 40±6% en el depósito durante el periodo de estudio (Figura 3).

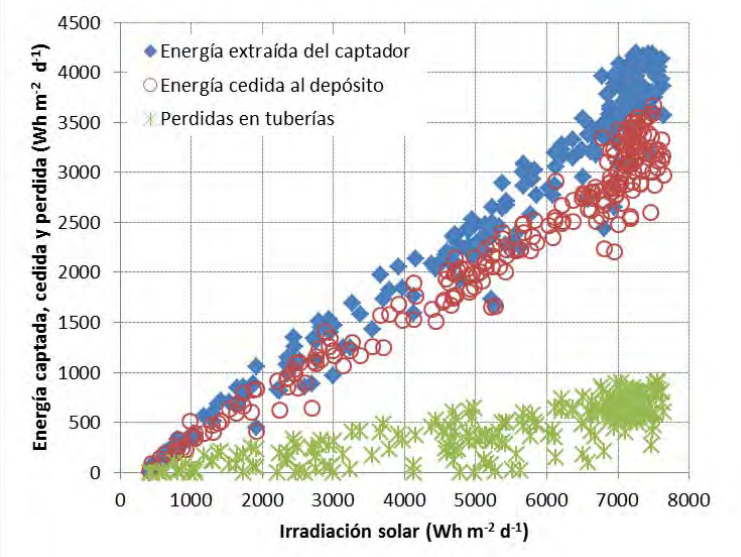


Figura 2. Energía útil extraída del captador, energía útil cedida al depósito y pérdidas en las tuberías frente a la irradiación solar

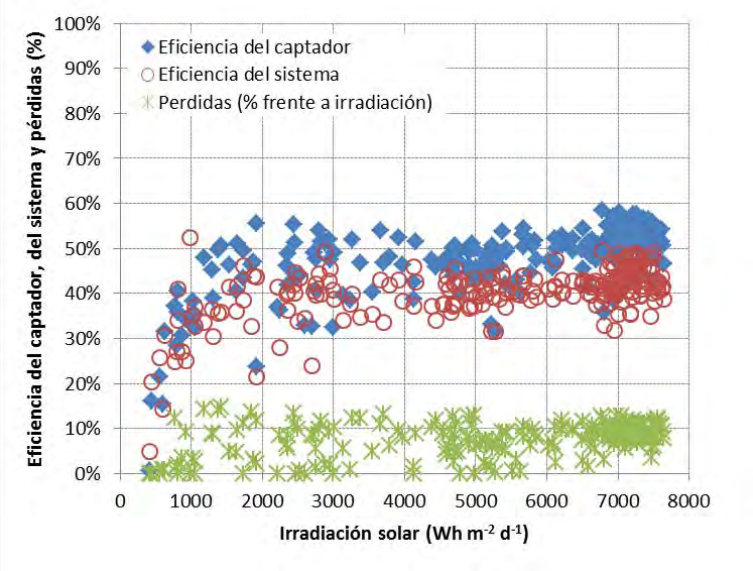


Figura 3 Eficiencia del captador, eficiencia del sistema y porcentaje de pérdidas frente a la irradiación solar

Por otra parte, son pocos los días en que se alcanza una temperatura de 90°C en el depósito, teniendo en cuenta una configuración de 80L para 2 m^2 de captador (Figura 4); estos días se corresponden con los de mayor irradiación y temperatura del año. La mayor parte de los días es necesario utilizar un sistema complementario de suministro de energía para incrementar la temperatura del agua a 90°C.

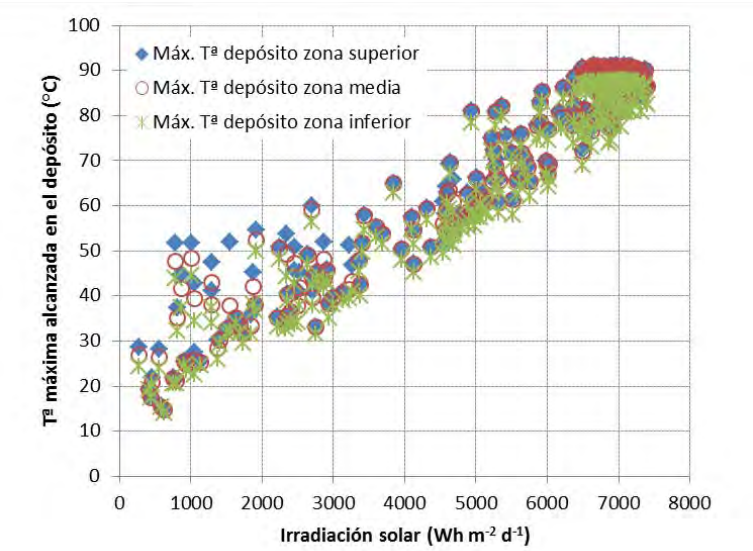


Figura 4 Máxima temperatura alcanzada en el depósito frente a la irradiación solar

3.2. Energía útil anual

A partir del modelo planteado se ha calculado la energía útil suministrada por el SST a lo largo de un año completo, utilizando datos climatológicos de un año típico en Madrid obtenidos de los archivos climatológicos del programa de simulación energética EnergyPlus (Figura 5). El SST es capaz de suministrar 745 kW m^{-2} al año para una irradiación de 1758 kW m^{-2}, lo que supone una eficiencia del sistema del 42%.

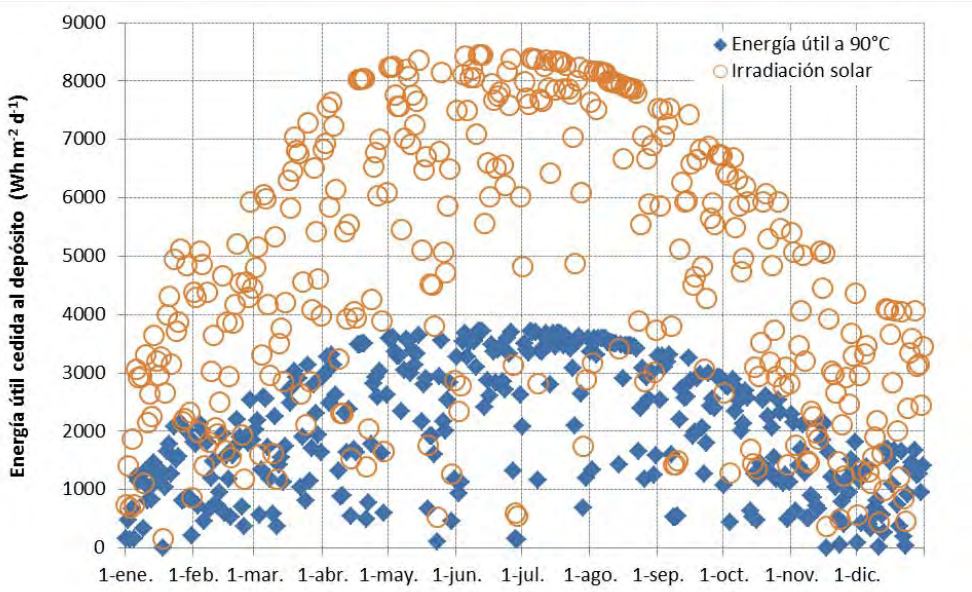


Figura 5 Energía útil del SST a 90°C para un año típico en Madrid

3.3. Rentabilidad

Los datos de energía útil disponible han sido utilizados para determinar la máxima rentabilidad del sistema en el escenario planteado (precios de los últimos años de energía, instalación, tasa de actualización, etc.). La rentabilidad presenta una gran variación en función del sistema de suministro convencional existente, dadas las diferencias en el precio actual de cada tipo de energía (Tabla 1). La rentabilidad potencial del SST es mayor en instalaciones que utilicen calderas eléctricas para el calentamiento del agua, con periodos de recuperación de la inversión de 9 años y un beneficio de 0.91€ por cada euro invertido. En cambio, la rentabilidad de estos sistemas es mucho menor suponiendo la existencia de una caldera eléctrica, dado el bajo precio del gasóleo de los últimos años, con periodos de recuperación de la inversión superiores a 16 años.

Tabla 1. Resultados del análisis de rentabilidad en Madrid (Calibri 10)

Parámetro	Unidades	Caldera gasóleo	Caldera eléctrica
VAN	€ m^{-2}	106	680
VAN/Inversión	€/€	0,14	0,91
TIR	%	4,6%	11,5%
PD	años	16,8	9,0

4. Conclusiones

Se ha demostrado que los sistemas solares térmicos con captadores de tubos de vacío son capaces de suministrar agua a 90°C. No obstante, salvo días de alta irradiación y temperatura ambiente, la temperatura del depósito no alcanza la temperatura requerida (suponiendo un configuración típica de 80L y captador de $2m^{-2}$), siendo necesario un sistema de suministro de energía complementario.

La energía útil suministrada por el SST durante un año completo puede ser estimada a partir de la ecuación (R^2 de 0.96 y un error promedio de 138 W m^{-2} d^{-1}):

$$E_{SST} = 0{,}452467779G - 0{,}090374904(90 - T_a) - 0{,}023798291(90 - Ta)^2$$

El SST es capaz de suministrar 745 kW m^{-2} al año para una irradiación de 1758 kW m^{-2}, lo que supone una eficiencia del sistema del 42%.

La rentabilidad potencial del SST está fuertemente condicionada por el sistema de suministro de energía complementario. Así por ejemplo, el periodo de recuperación de la inversión mínimo en Madrid sería de 9 años suponiendo una caldera eléctrica y superior a 16 años suponiendo una caldera de gasóleo.

Los resultados del estudio pueden ser de gran utilidad para incrementar la implantación de estos sistemas en industrias y explotaciones agrarias donde se requiera agua próxima a 90°C, con el fin de lograr un sector agroindustrial más sostenible y competitivo

Nomenclatura

A_c	Área del captador (m^2)
C_p	Calor específico del fluido de transferencia de calor (J kg^{-1} °C^{-1})
G	Irradiancia solar global (W m^{-2})
$\dot{m}$	Índice de la masa de fluido que transporta el calor (kg s^{-1})
Q_c	Potencia útil extraída del captador (W m^{-2})
Q_d	Potencia útil cedida al depósito (W m^{-2})
Q_{pt}	Pérdidas de potencia en las tuberías de suministro del circuito primario (W m^{-2})
T_a	Temperatura del aire ambiente o circundante (ºC)
TIR	Tasa Interna de Retorno
T1-T10	Temperatura de las sondas del sistema de monitorización (°C)
SC1-SC3	Temperatura de las sondas del sistema de control (°C)
SST	Sistema Solar Térmico
VAN	Valor Actual Neto (€)
η_c	Eficiencia del captador
η_s	Eficiencia del sistema

Bibliografía

Alfaro-Ayala, J. A., G. Martinez-Rodriguez, et al. 2015. Numerical study of a low temperature water-in-glass evacuated tube solar collector. *Energy Conversion and Management* 94: 472-481.

Allouhi, A., A. Jamil, et al. 2015. Solar domestic heating water systems in Morocco: An energy analysis. *Energy Conversion and Management* 92: 105-113.

Ayompe, L. M. and A. Duffy. 2013. Analysis of the thermal performance of a solar water heating system with flat plate collectors in a temperate climate. *Applied Thermal Engineering* 58(1-2): 447-454.

Ayompe, L. M. and A. Duffy. 2013). Thermal performance analysis of a solar water heating system with heat pipe evacuated tube collector using data from a field trial. *Solar Energy* 90: 17-28.

Ayompe, L. M., A. Duffy, et al. 2011. Comparative field performance study of flat plate and heat pipe evacuated tube collectors (ETCs) for domestic water heating systems in a temperate climate. *Energy* 36(5): 3370-3378.

Kalogirou, S. A. 2004. Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science* 30(3): 231-295.

Mazarron, F. R., C. J. Porras-Prieto, et al. 2016. Feasibility of active solar water heating systems with evacuated tube collector at different operational water temperatures. *Energy Conversion and Managemen*t 113: 16-26.

Nkwetta, D. N. and M. Smyth. 2012. The potential applications and advantages of powering solar air-conditioning systems using concentrator augmented solar collectors. *Applied Energy* 89(1): 380-386.

Pei, G., G. Q. Li, et al. 2012. Comparative Experimental Analysis of the Thermal Performance of Evacuated Tube Solar Water Heater Systems With and Without a Mini-Compound Parabolic Concentrating (CPC) Reflector(C < 1). *Energies* 5(4): 911-924.

Pei, G., G. Q. Li, et al. 2012. "Experimental study and exergetic analysis of a CPC-type solar water heater system using higher-temperature circulation in winter." *Solar Energy* 86(5): 1280-1286.

Porras-Prieto, C. J., F. R. Mazarron, et al. 2014. Influence of required tank water temperature on the energy performance and water withdrawal potential of a solar water heating system equipped with a heat pipe evacuated tube collector. *Solar Energy* 110: 365-377.

Sabiha, M. A., R. Saidur, et al. 2015. Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors. Renewable & Sustainable Energy Reviews 51: 1038-1054.

UNE-EN12975-2. 2006. Thermal solar systems and components - Solar collectors - Part 2: Test methods.

Evaluación de modelos para la estimación de la radiación fotosintéticamente activa a partir de medidas de irradiancia solar

Ignacio García[1], Alberto Royo[1], José Luis Torres[1], María Ángeles de Blas[1]

[1] Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadía s/n, Edificio Los Olivos, 31006, Pamplona. Email: ignacio.garcia@unavarra.es

Resumen

La radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés) juega un papel trascendente en diversas aplicaciones relacionadas con la fisiología vegetal. En concreto, la PAR es la fracción del espectro solar, comprendida entre los 400 y los 700 nm, aprovechable por las plantas en su función fotosintética.

A pesar de su importancia, no es habitual que las estaciones meteorológicas dispongan de sensores de medida de PAR, mientras que el registro de medidas de irradiancia global sobre el plano horizontal es más habitual. Esta falta de datos empíricos ha llevado a la estimación rutinaria de la PAR como una fracción constante de la irradiancia global. No obstante, este planteamiento está sujeto a errores derivados de las variaciones temporales y espaciales de los componentes de la atmósfera que atenúan la radiación solar en el rango de la PAR.

En la bibliografía existen diversos modelos que proponen la estimación de la PAR a partir de la irradiancia global, que incluyen distintos parámetros meteorológicos como variables independientes. En este trabajo, partiendo de los datos registrados en la red de estaciones SURFRAD (Estados Unidos), se ha llevado a cabo una evaluación de once modelos de estimación de PAR considerando distintos tipos de cielo.

Palabras clave: radiación fotosintéticamente activa, variabilidad espacial, modelos de estimación

Evaluation of models to estimate photosynthetically active radiation from solar irradiance measurements

Abstract

The photosynthetically active radiation (PAR) plays a transcendent role in various applications related to plant physiology. Specifically, PAR is the fraction of the solar spectrum between 400 and 700 nm that can be used by plants in their photosynthetic function.

In spite of their importance, it is not usual for weather stations to have PAR measurement sensors, whereas the recording of global horizontal irradiance measurements is more common. This lack of empirical data has led to the routine estimation of PAR as a constant fraction of global irradiance. However, this approach is subject to errors derived from the temporal and spatial variations of the components of the atmosphere that attenuate solar radiation in the range of PAR.

In the literature, there are several models that propose the estimation of RAP from the global horizontal irradiance, which include different meteorological parameters as independent variables. In this work, based on the data recorded at SURFRAD network stations (USA), an evaluation of eleven models of PAR estimation has been carried out considering different types of sky.

Keywords: photosynthetically active radiation, spatial variability, estimation models

1. Introducción

La radiación fotosintéticamente activa, PAR por sus siglas en inglés, es aquella emitida por el sol en el intervalo espectral de 400 a 700 nm. Puede expresarse en unidades de energía ($W \cdot m^{-2}$) o en moles de fotones ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$). Así, la densidad de flujo de fotones fotosintéticos es el número de fotones del

intervalo espectral de 400 a 700 nm que incide por unidad de tiempo en una unidad de superficie (Foyo-Moreno et al., 2017).

Este parámetro interviene en numerosos modelos ecofisiológicos (Aguiar et al., 2011) relacionados fundamentalmente con la productividad de la vegetación. La estimación precisa de la PAR es fundamental para cuantificar el balance de intercambio de CO_2, agua y energía en el sistema suelo-planta-atmósfera, lo que facilita a su vez la modelización de otros aspectos de gran interés como las variaciones del comportamiento climático a escala regional y global (Wang et al., 2016).

A pesar de la importancia de este parámetro son escasas a nivel mundial las estaciones meteorológicas en las que se mide la PAR. Además, los sensores de medida son caros, complicados de calibrar y el control de calidad de las observaciones no está estandarizado (Mizoguchi et al., 2013). Por ello, es habitual la obtención de valores estimados de PAR a partir de la irradiancia solar global mediante métodos empíricos, modelos de transferencia radiativa u observaciones de satélite para un determinado estado de la atmósfera (Akitsu et al., 2015; Foyo-Moreno et al., 2017). También se ha propuesto la aplicación de redes neuronales (Wang et al., 2016).

En unos modelos se considera constante el cociente entre la PAR global y la irradiancia global, observándose una dependencia entre dicho cociente y la localización y condiciones climáticas, si bien no queda claramente definida la relación entre el valor de PAR y la irradiancia global, y variables como el ángulo de cénit, la presión de vapor del agua o la nubosidad (Akitsu et al., 2015; Alados et al., 1996). Otros modelos estiman la PAR a partir de la radiación solar global o de ésta y otras variables climáticas independientes como el índice de claridad o el punto de rocío (Aguiar et al., 2011). La mayor parte de los estudios de validación de los modelos propuestos se han realizado en localidades del hemisferio norte (Foyo-Moreno, 2017) y considerando una base horaria.

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento de once modelos de estimación de la PAR empleando los datos de siete estaciones situadas en Estados Unidos, para distintos tipos de cielo.

2. Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos utilizados en este trabajo han sido proporcionados por la Surface Radiation Budget Network (SURFRAD). Como se puede apreciar en la Figura 1, esta red cuenta con un total de siete estaciones que cubren zonas climáticamente diversas dentro del territorio de los Estados Unidos.

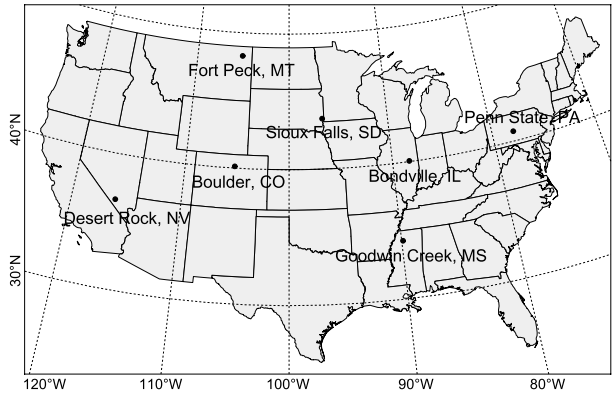


Figura 1. Localización de las estaciones de la red SURFRAD.

Los datos geográficos básicos de cada una de las estaciones se presentan en la Tabla 1.

A pesar de que las estaciones miden un gran número de variables meteorológicas, en este trabajo únicamente se han utilizado cinco: la temperatura y humedad relativa del aire, la irradiancia solar global y difusa sobre el plano horizontal y la PAR global sobre el plano horizontal.

Tabla 1. Datos geográficos de las estaciones de la red SURFRAD.

Estación	Código	Latitud (N)	Longitud (O)	Elevación (m)
Bondville, Illinois	BON	40° 3' 6"	88° 22' 24"	230
Table Mountain, Boulder, Colorado	TBL	40° 7' 32"	105° 14' 16"	1689
Desert Rock, Nevada	DRA	36° 37' 14"	116° 1' 403"	1007
Fort Peck, Montana	FPK	48° 18' 29"	105° 6' 6"	634
Goodwin Creek, Missisippi	GWN	34° 15' 17"	89° 52' 22"	98
Penn. State Univ. Pennsylvania	PSU	40° 43' 13"	77° 55' 51"	376
Sioux Falls, South Dakota	SXF	43° 44' 4"	96° 37' 24"	473

Las primeras estaciones de la red SURFRAD iniciaron sus registros en 1994 y la última en 2003, de modo que todas cuentan con una serie de más de diez años de medidas. Con el objetivo de comparar series temporales paralelas, en este trabajo se ha considerado la serie de registros comprendida entre 2004 a 2014, lo que supone un total de once años de medidas en cada una de las estaciones. Las observaciones están organizadas en ficheros diarios con una frecuencia de registro de tres minutos hasta el 31 de diciembre de 2008 o de un minuto cuando han sido registrados después de esta fecha.

La PAR global se mide mediante un sensor LI-COR Quantum que registra en el rango de longitudes de onda de 400 a 700 nm. Los registros de PAR son proporcionados por la SURFRAD en $W \cdot m^{-2}$. No obstante, el factor de calibración del equipo de medida no transforma los datos brutos de salida a esta unidad, sino a $\mu moles \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Esta última unidad es convertida a $W \cdot m^{-2}$ dividiéndola por un factor de 4.57 $\mu moles \cdot J^{-1}$, según la propuesta de McCree (1972). Por su parte, las medidas de irradiancia global sobre el plano horizontal se realizan mediante un piranómetro Spectrolab SR-75 mientras que la irradiancia difusa sobre el plano horizontal se mide con un piranómetro Eppley 8-48. Ambos piranómetros miden en el rango de 280 a 3000 nm.

La SURFRAD somete los datos de irradiancia registrados por sus estaciones al procedimiento de control de calidad propuesto por la Baseline Surface Radiation Network (BSRN) y recogido en Long y Dutton (2002). Este procedimiento contempla tres niveles de control, esto es, límites físicos, límites extremos y redundancia o coherencia entre las medidas de irradiancia global y sus componentes difusa y directa. Sin embargo, no dispone de criterios para el control de calidad de la PAR. Tampoco se han encontrado procedimientos estandarizados para este fin en la literatura. En este trabajo, se ha establecido un criterio de control de calidad de PAR relativo a sus límites físicos: la PAR global sobre el plano horizontal no debe superar el valor de PAR extraterrestre sobre el plano horizontal correspondiente a ese mismo momento. El valor de PAR extraterrestre sobre el plano horizontal (P_0) se determina aplicando un factor de corrección (f_c), que tiene en cuenta la excentricidad de la órbita terrestre, a la constante solar PAR (P_{sc}) y multiplicándolo por el coseno del ángulo de cénit (θ_z), según la Ecuación (1).

$$P_0 = f_c \cdot P_{sc} \cdot \cos(\theta_z) \quad (1)$$

El factor de corrección dependiente del día ordinal del año (n), se ha determinado según la propuesta de Duffie y Beckman (1980), como se recoge en la Ecuación (2).

$$f_c = (1 + 0.033 \cdot \cos(2\pi \cdot n/365)) \quad (2)$$

Si bien existe un valor de constante solar o irradiancia solar total de 1367 $W \cdot m^{-2}$ establecido por el Centro Mundial de Radiación (WRC), no existe un valor correspondiente al rango espectral de la PAR. Para su determinación, se ha decidido integrar la curva de irradiancia del espectro extraterrestre propuesto por Gueymard (2002) entre 400 y 700 nm de longitud de onda, obteniendo un valor de 530.8 $W \cdot m^{-2}$ (ver Figura 2). El espectro extraterrestre de Gueymard (2002) es el propuesto por la norma UNE-EN60904-3:2009 (AENOR, 2009) para la determinación del espectro de referencia AM1.5.

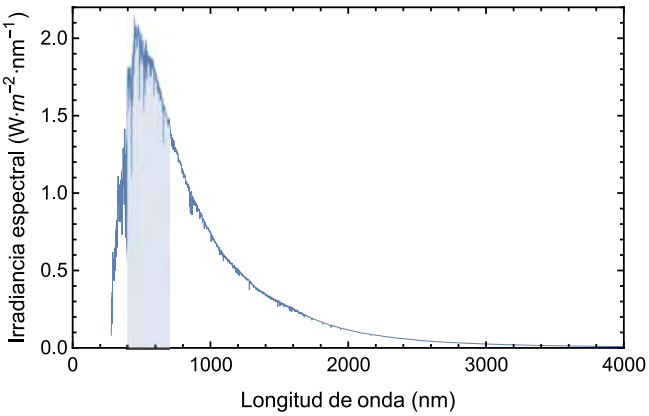


Figura 2. Distribución espectral de la irradiancia extraterrestre sobre el plano normal a los rayos del sol propuesta por Gueymard (2002). La franja sombreada en azul se corresponde con el rango espectral de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) extraterrestre (400 - 700 nm).

Con objeto de minimizar el efecto del error de coseno de los equipos de medida de irradiancia global y PAR, se han descartado todos aquellos momentos en los que la elevación solar es inferior a 5º. La Tabla 2 recoge la proporción de registros que han superado el control de calidad y la condición de elevación solar establecida, respecto al número de momentos en los que el sol se encuentra por encima del horizonte. Para la determinación de los porcentajes recogidos en la Tabla 2 las variables meteorológicas han sido analizadas de manera conjunta de modo que, si en un momento determinado falta un registro de una de las variables o éste no ha superado el control de calidad, se descarta el momento completo.

Tabla 2. Porcentajes anuales de datos que han superado el control de calidad en cada estación y la condición de elevación solar mínima.

Año	Código de la estación						
	BON	DRA	FPK	GWN	PSU	SXF	TBL
2004	80.32	87.29	75.79	64.08	52.47	80.75	78.42
2005	81.16	81.38	80.51	83.18	59.47	81.44	79.50
2006	77.08	87.58	79.40	83.26	66.00	74.18	77.93
2007	82.56	88.26	82.51	83.83	67.93	76.58	80.51
2008	78.10	88.07	81.03	79.26	77.62	81.71	79.40
2009	66.54	87.01	81.70	79.22	75.51	81.02	76.08
2010	76.93	79.03	78.51	81.64	78.88	77.32	78.80
2011	79.04	87.06	80.91	80.00	75.03	80.01	78.32
2012	83.69	86.76	81.97	84.90	76.21	82.38	80.65
2013	76.75	86.89	82.13	80.23	65.31	77.53	77.33
2014	79.42	86.20	80.24	72.63	75.73	79.83	75.84

En la Tabla 3 se muestra el número total de registros disponibles en los que el sol se encuentra por encima del horizonte del lugar (N_{total}) y el número total de registros que han superado el control de calidad y la condición de elevación solar mínima (N).

Tabla 3. Número total de registros en los que el sol se encuentra por encima del horizonte y número de registros que han superado el control de calidad y la condición de elevación solar mínima.

Datos	Código de la estación						
	BON	DRA	FPK	GWN	PSU	SXF	TBL
N_{total} (θ_z > 90º)	2,042,427	2,037,204	2,050,231	2,004,584	2,038,416	2,042,427	2,043,931
N	1,586,165	1,746,276	1,654,112	1,596,213	1,474,819	1,624,037	1,596,799

3. Metodología

En la bibliografía existen números modelos orientados a la estimación de la PAR (P) o de la ratio entre la PAR y la irradiancia global sobre el plano horizontal (P/G), que incluyen parámetros relacionados con la atenuación de la radiación solar a su paso por la atmósfera. En este sentido, el espesor de la atmósfera terrestre que atraviesan los rayos del sol, su contenido en humedad y la condición del cielo son los tres parámetros que se incluyen de manera generalizada en estos modelos. Asimismo, es habitual la incorporación de la irradiancia global como variable, G (W·m^{-2}).

En concreto, la incidencia del espesor de la atmósfera atravesado por los rayos de sol se modeliza mediante el coseno del ángulo de cénit solar (θ_z) o a través de la masa óptica de aire relativa (m). En este trabajo, la m ha sido calculada mediante la expresión propuesta por Kasten y Young (1989) recogida en Ecuación (3).

$$m = [cos\theta_z + 0.50572 \cdot (96.07995 - \theta_z)^{-1.6364}]^{-1} \quad (3)$$

Para considerar el contenido en vapor de agua de la atmósfera, algunos modelos incorporan como variable la temperatura de rocío (T_d, en ºC) o la presión de vapor (e, en hPa). La red de estaciones SURFRAD no mide estos dos parámetros, por lo que han sido estimados a partir de la temperatura del aire y la humedad relativa.

En prácticamente todos los modelos considerados en este trabajo, la condición del cielo se caracteriza mediante el índice de claridad (k_t), que resulta del cociente entre la irradiancia global medida en tierra y la irradiancia global extraterrestre, ambas sobre el plano horizontal (Ecuación 4).

$$k_t = G/G_0 \quad (4)$$

En este trabajo se han validado once modelos, tres de los cuales están concebidos para la determinación de la ratio P/G y el resto para la estimación de la PAR. En los siguientes subapartados (3.1 a 3.5) se describen los modelos considerados. Conviene aclarar que en los modelos 1, 2, 3, 10 y 11 (Ecuaciones 7, 8, 9, 16 y 17), la PAR se es considerada como una densidad de flujo fotones, por lo que el resultado de los modelos ha sido dividido entre 4.57 μmoles·J^{-1} con el fin de obtener el resultado en W·m^{-2}.

Asimismo, se ha validado cada modelo considerando el estado del cielo en cada una de las estaciones. Para ello se ha empleado la clasificación propuesta en Igawa et al. (2004), que emplea el índice de cielo (Si) para caracterizar su estado. De acuerdo con el valor de Si, el cielo se clasifica en las categorías mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de cielo de Igawa.

Tipo de cielo	Rango de Si
Cubierto	$Si \leq 0.3$
Casi cubierto	$0.3 \leq Si < 0.6$
Intermedio	$0.6 \leq Si < 1.5$
Casi claro	$1.5 \leq Si < 1.7$
Claro	$Si \geq 2.7$

Se ha elegido la clasificación de Igawa ya que, según se explica en Gracia (2011), además de su rápida y sencilla aplicación, presenta ciertas similitudes con los tipos de cielo estándar establecidos por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE).

El comportamiento de los once modelos ha sido evaluado en cada una de las siete estaciones mediante la desviación media relativa (MBDr) y la desviación cuadrática media relativa (RMSDr), según las Ecuaciones (5) y (6) respectivamente.

$$MBDr(\%) = \frac{100}{M_{med}} \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} (E_i - M_i) \quad (5)$$

$$RMSDr(\%) = \frac{100}{M_{med}} \cdot \left[\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} (E_i - M_i)^2 \right]^{0.5} \quad (6)$$

donde E_i es el valor estimado, M_i es el valor medido, M_{med} es el promedio de los valores medidos y N es el número total de datos.

3.1. Modelo de Ge et al. (2011)

En este trabajo se propone un modelo paramétrico para la determinación de la PAR (Ecuación 7). El modelo incluye la G, el θ_z y el k_t como predictores. Los autores señalan que la inclusión en el modelo de la temperatura del aire, la T_d, la e o la humedad relativa no mejora su comportamiento. Los resultados de este modelo están expresados en $moles \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, por lo que ha sido adaptado para obtener $\mu moles \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.

Modelo 1: $P = \left(\frac{10^4}{4.57 \cdot 36}\right) \cdot (-0.1248 + 0.0069 \cdot G + 0.0035 \cdot G \cdot cos\theta_z - 0.0024 \cdot G \cdot k_t)$ (7)

3.2. Modelos de Alados et al. (1996)

En el trabajo de Alados et al. (1996) se proponen dos modelos para la determinación de la ratio P/G que incluyen la condición del cielo a través del índice de claridad y el brillo del cielo (Perez et al., 1990). El principal problema de la utilización de estos dos índices es la necesidad de disponer de registros de irradiancia difusa y directa. Si bien en la actualidad existen numerosas redes de estaciones de medida de radiación solar que miden las componentes directa y difusa de la irradiancia, en la fecha de publicación del trabajo citado, no eran tan habituales. Por esta razón, los autores proponen la adaptación de ambos modelos introduciendo el k_t para caracterizar la condición del cielo ya que, para su cálculo, únicamente requiere la irradiancia global sobre el plano horizontal. El primero de ellos depende del k_t, la T_d y el θ_z (Ecuación 8). El segundo, sin embargo, no considera la dependencia entre la ratio P/G y la temperatura de rocío (Ecuación 9).

Modelo 2: $P/G = (1.791 - 0.1901 \cdot \ln(k_t) + 0.005 \cdot T_d + 0.049 \cdot cos\theta_z)/4.57$ (8)

Modelo 3: $P/G = (1.832 - 0.191 \cdot \ln(k_t) + 0.099 \cdot cos\theta_z)/4.57$ (9)

3.3. Modelos de Aguiar et al. (2011)

En Aguiar et al. (2011) se describen tres modelos de diferente complejidad para la estimación de PAR. El primero considera únicamente la G, el segundo la G y la k_t y el tercero, la G, el k_t y la e. Cada uno de estos tres modelos ha sido ajustado a las condiciones climáticas de dos zonas de la Amazonía brasileña. De tal manera que los modelos 4, 6 y 8 (Ecuaciones 10, 12 y 14) están ajustados a partir de las medidas realizadas en una zona de pasto mientras que los parámetros de los modelos 5, 7 y 9 (Ecuaciones 11, 13 y 15) se han obtenido a partir de registros de una estación ubicada en una zona de bosque tropical.

Modelo 4: $P = 0.462 \cdot G - 1.162$ (10)

Modelo 5: $P = 0.425 \cdot G - 0.482$ (11)

Modelo 6: $P = 0.469 \cdot G - 11.761 \cdot k_t + 1.612$ (12)

Modelo 7: $P = 0.434 \cdot G - 16.509 \cdot k_t + 2.939$ (13)

Modelo 8: $P = 0.464 \cdot G - 3.210 \cdot k_t + 1.105 \cdot e - 26.505$ (14)

Modelo 9: $P = 0.435 \cdot G - 18.125 \cdot k_t + 0.467 \cdot e - 7.072$ (15)

3.4. Modelo de Mizoguchi et al. (2013)

La Ecuación (16) recoge la propuesta de Mizoguchi et al. (2013), que incluye como variables independientes el k_t, la m y la e.

Modelo 10: $P/G = (-0.1255 \cdot \ln(k_t) - 0.02366 \cdot \ln(m) + 0.07268 \cdot e + 1.873)/4.57$ (16)

3.5. Modelo de Foyo-Moreno et al. (2017)

En el trabajo de Foyo-Moreno et al. (2017) se propone un modelo simple que sólo depende del k_t y del θ_z (Ecuación 17), por lo que la única variable observada necesaria es la irradiancia global horizontal.

Modelo 11: $P = (2681 \cdot k_t \cdot cos\theta_z)/4.57$ (17)

4. Resultados y discusión

En la Figura 3 se han representado los MBDrs de cada modelo en cada una de las estaciones sin discriminar por tipo de cielo. Se puede apreciar cómo, en ningún caso, el error medio supera el ±11%. Concretamente, los modelos *M3*, *M5*, *M7*, *M10* y *M11* presentan desviaciones medias menores del ±5%. Asimismo, se puede apreciar cómo el *M4* y el *M6* tienden a sobreestimar el valor de PAR en todas las estaciones, mientras que el *M5*, el *M7*, el *M9* y el *M10* lo subestiman en todos los casos. El resto de modelos sobreestiman o subestiman la PAR dependiendo de la estación.

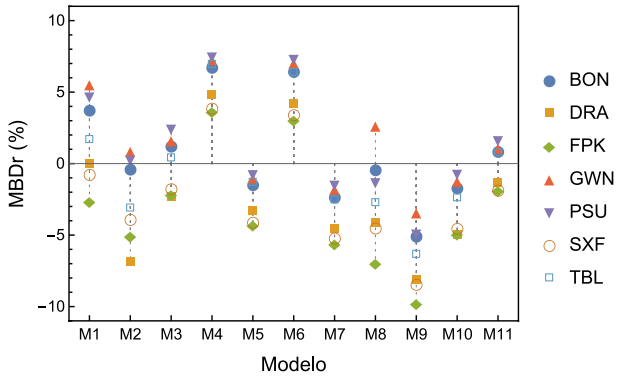


Figura 3. MBDrs calculadas tras la aplicación de cada modelo en cada una de las estaciones meteorológicas considerando todos los tipos de cielo.

En la Figura 4 se presentan las RMSDrs calculadas tras la aplicación de cada modelo en cada una de las estaciones meteorológicas. En este caso se muestran las RMSDrs considerando todos los tipos de cielo (Figura 4a) y las obtenidas para cada tipo de cielo (Figura 4b – 4f). Nótese que, en aras de una correcta visualización de los resultados, la escala del eje vertical es diferente en los distintos gráficos.

Cuando se analizan los resultados globales sin diferenciar el tipo de cielo (Figura 4a), las desviaciones cuadráticas medias relativas no superan el 18%. De hecho, en el caso del *M3* y el *M5*, el error en

todas las estaciones se sitúa en torno al 5%, con mínimos inferiores al 4% en el caso de la estación de *DRA*. En este caso, destaca la mayor desviación del *M1* en comparación con el resto de modelos.

Si se examinan las RMSDrs de las distintas combinaciones de modelos y estaciones atendiendo al tipo de cielo (Figuras 4b – 4f), se aprecia cómo, a media que se avanza desde los cielos cubiertos ($Si \leq 0.3$) hasta los cielos claros ($Si \geq 2.7$), se produce una reducción de las desviaciones. Por ejemplo, el *M8*, que alcanza desviaciones superiores al 48% cuando los cielos están cubiertos, no supera el 11% en los momentos de cielo claro. En contraposición con la tendencia general, los modelos *M4* y *M6*, ajustados a partir de las medidas realizadas en una estación situada en una zona de pastos de la Amazonía brasileña, se desvían más a la hora de estimar la PAR en los momentos de cielo claro que con el resto de tipos de cielo. Probablemente, esto se deba a la prevalencia de cielos intermedios o cubiertos en la con gran contenido en vapor de agua, para los que ha sido calibrado el modelo. En todos los tipos de cielo considerados se aprecia el buen comportamiento del modelo *M3*, que es comparable al de los modelos *M4*, *M5*, *M7* y *M10* y *M11* en ciertos casos.

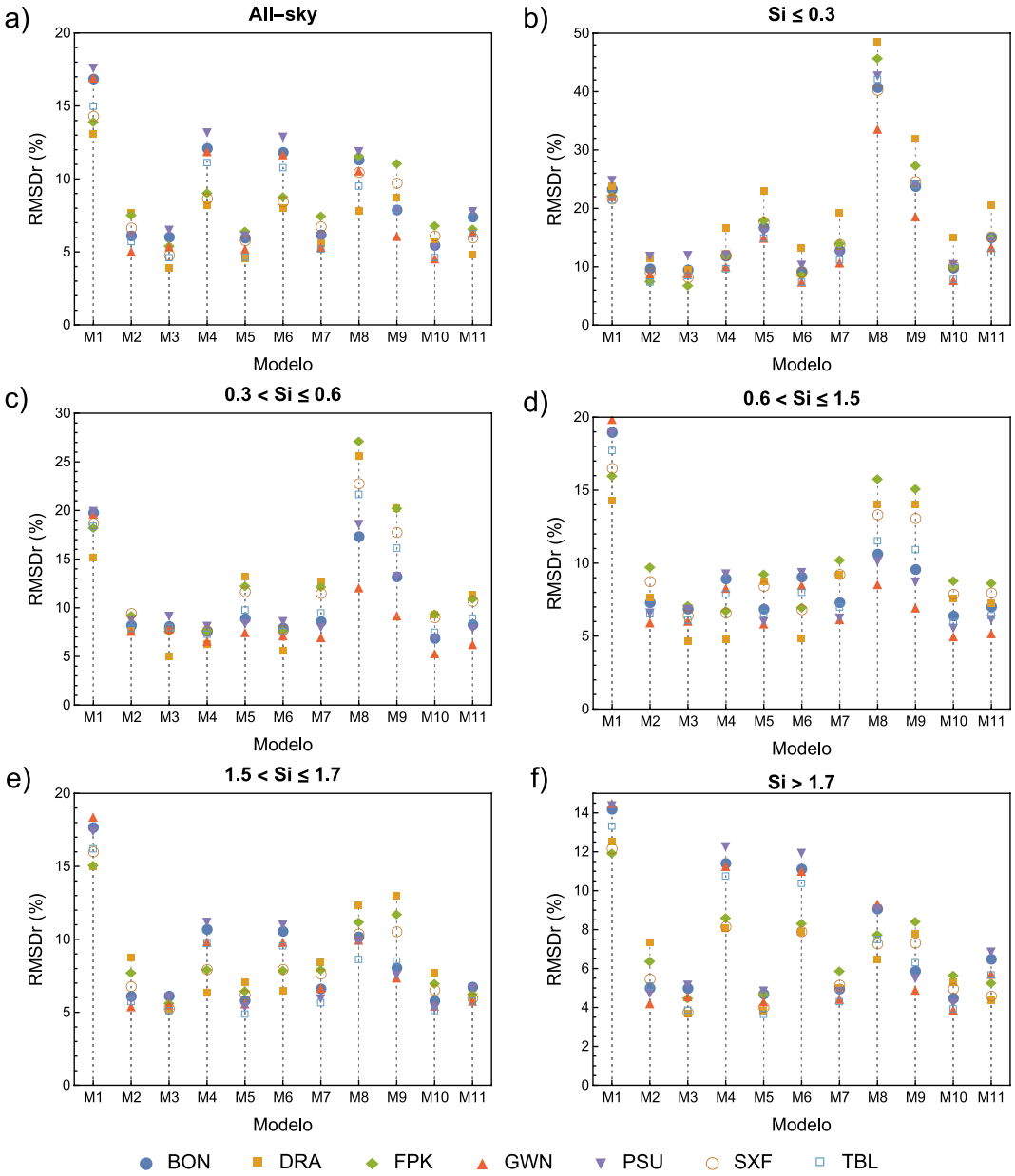


Figura 4. RMSDrs calculadas tras la aplicación de cada modelo en cada una de las estaciones meteorológicas. Se incluyen las RMSDrs considerando todos los tipos de cielo (a) y las obtenidas para cada tipo de cielo (b –f).

Cuando se analizan los resultados desde el punto de vista de las estaciones meteorológicas, los modelos presentan desviaciones menores en el caso de la estación de *GWN* en cielos cubiertos (Figura 4b), casi cubiertos (Figura 4c) e intermedios (Figura 4d). Cuando se trata de cielos casi claros (Figura 4e) *GWN* compite con *TBL* mientras que en los momentos de cielo claro (Figura 4f), las mejores estimaciones se obtienen en *SXF* y *DRA*.

La Tabla 5 recoge el RMSDr promedio obtenido por cada modelo considerando el conjunto estaciones meteorológicas, para todos los tipos de cielo en conjunto y para cada tipo de cielo. Se ha incluido, entre paréntesis, la posición que ocupa cada modelo según el tipo de cielo considerado y se ha sombreado el modelo que mejor se comporta en cada caso. Se puede apreciar cómo, al no discriminar por tipo de cielo, el *M3* presenta el mejor comportamiento, seguido por el *M10* y el *M5*. El *M3* presenta también el mejor comportamiento con cielos cubiertos, intermedios y casi claros.

En el caso de cielos casi cubiertos, este modelo ocupa la tercera posición y, en el caso de cielos claros, la segunda. El modelo *M1* presenta el peor comportamiento cuando se tienen en cuenta todos los tipos de cielo y en los casos de cielos intermedios, casi claros y claros. En los momentos de cielos cubiertos y casi cubiertos, el *M8* obtiene las mayores desviaciones.

Tabla 5. RMSDrs promedio obtenido por cada modelo para el conjunto de las estaciones. Entre paréntesis, se incluye la posición que ocupa el modelo en la clasificación realizada según el tipo de cielo. Las celdas sombreadas se corresponden con los modelos que presentan un mejor comportamiento para cada tipo de cielo.

Modelo	Tipo de cielo											
	Todo tipo		Cubierto		Casi cubierto		Intermedio		Casi claro		Claro	
M1	15.42	(11)	22.82	(9)	18.59	(10)	17.50	(11)	16.57	(11)	13.31	(11)
M2	6.43	(5)	9.44	(3)	8.43	(5)	7.53	(5)	6.67	(5)	5.49	(5)
M3	5.26	(1)	9.11	(1)	7.69	(3)	6.31	(1)	5.59	(1)	4.38	(2)
M4	10.63	(10)	12.11	(5)	7.35	(1)	7.54	(6)	9.12	(8)	10.10	(10)
M5	5.55	(3)	17.38	(8)	10.28	(8)	7.41	(4)	5.95	(2)	4.32	(1)
M6	10.37	(8)	9.39	(2)	7.50	(2)	7.69	(7)	9.06	(7)	9.82	(9)
M7	6.12	(4)	13.53	(6)	9.97	(7)	7.94	(8)	7.02	(6)	4.96	(4)
M8	10.47	(9)	42.03	(11)	20.79	(11)	12.03	(10)	10.40	(10)	8.09	(8)
M9	8.49	(7)	25.01	(10)	15.76	(9)	11.22	(9)	9.56	(9)	6.61	(7)
M10	5.54	(2)	10.23	(4)	7.79	(4)	6.77	(3)	6.15	(3)	4.66	(3)
M11	6.48	(6)	15.19	(7)	9.24	(6)	6.98	(2)	6.20	(4)	5.59	(6)

5. Conclusiones

En este trabajo se han validado once modelos para la estimación de la PAR a partir de una serie de once años de medidas registradas en las siete estaciones de la red estadounidense SURFRAD. La bondad de los distintos modelos ha sido analizada de manera global y según el tipo de cielo.

Se ha comprobado cómo, en la mayoría de los casos, a medida que se avanza desde los cielos cubiertos hacia los momentos de cielo claro, mejora significativamente el comportamiento de los modelos de estimación de PAR.

En términos generales, el Modelo 3, que depende únicamente del índice de claridad y coseno del ángulo de cénit solar y no considera el contenido de humedad de la atmósfera, produce las menores desviaciones de PAR estimada respecto a la medida. Paradójicamente, se trata de uno de los dos modelos más antiguos evaluados en este trabajo.

Finalmente, se ha demostrado que, cuando los cielos varían entre cubiertos y casi claros, la menor desviación de los modelos a la hora de estimar la PAR se produce en la estación de Goodwin Creek, mientras que, en los momentos de cielo claro, Sioux Falls y Desert Rock obtienen las mejores estimaciones.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Surface Radiation Budget Network por proporcionar los datos meteorológicos fundamentales para la realización de este trabajo. Asimismo, agradecen a la Universidad Pública de Navarra la beca predoctoral concedida a Ignacio García Ruiz.

Bibliografía

AENOR, 2009. Norma UNE-EN 60904-3: Dispositivos fotovoltaicos. Parte 3: Fundamentos de medida de dispositivos solares fotovoltaicos (FV) de uso terrestre con datos de irradancia espectral de referencia.

Aguiar, L.J.G., Fischer, G.R., Ladle, R.J., Malhado, A.C.M., Justino, F.B., Aguiar, R.G., da Costa, J.M.N., 2011. Modeling the photosynthetically active radiation in South West Amazonia under all sky conditions. *Theor. Appl. Climatol.* 108, 631–640. doi:10.1007/s00704-011-0556-z

Akitsu, T., Kume, A., Hirose, Y., Ijima, O., Nasahara, K.N., 2015. On the stability of radiometric ratios of photosynthetically active radiation to global solar radiation in Tsukuba, Japan. *Agric. For. Meteorol.* 209, 59–68. doi:10.1016/j.agrformet.2015.04.026

Alados, I., Foyo-Moreno, I., Alados-Arboledas, L., 1996. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agric. For. Meteorol.* 78, 121–131. doi:10.1016/0168-1923(95)02245-7

Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1980. *Solar Engineering of Thermal Processes*, First. ed. Wiley, New York.

Foyo-Moreno, I., Alados, I., Alados-Arboledas, L., 2017. A new conventional regression model to estimate hourly photosynthetic photon flux density under all sky conditions. *Int. J. Climatol*. doi:10.1002/joc.5063

Ge, S., Smith, R.G., Jacovides, C.P., Kramer, M.G., Carruthers, R.I., 2011. Dynamics of photosynthetic photon flux density (PPFD) and estimates in coastal northern California. *Theor. Appl. Climatol*. 105, 107–118. doi:10.1007/s00704-010-0368-6

Gracia, A.M., 2011. *Distribución angular de radiancia en la bóveda celeste. Aplicación en el cálculo de radiación solar en planos situados en entornos complejos*. Universidad Pública de Navarra.

Gueymard, C.A., Myers, D., Emery, K., 2002. Proposed reference irradiance spectra for solar energy systems testing. *Sol. Energy* 73, 443–467. doi:10.1016/S0038-092X(03)00005-7

Igawa, N., Koga, Y., Matsuzawa, T., Nakamura, H., 2004. Models of sky radiance distribution and sky luminance distribution. *Sol. Energy* 77, 137–157. doi:10.1016/j.solener.2004.04.016

Kasten, F., Young, A.T., 1989. Revised optical air mass tables and approximation formula. *Appl. Opt*. 28, 4735–4738. doi:10.1364/AO.28.004735

Long, C.N., Dutton, E.G., 2002. BSRN Global Network Recommended QC Tests, v2.0, in: Report No 1-3. Baseline Surface Radiation Network.

McCree, K.J., 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agric. Meteorol*. 10, 443–453. doi:10.1016/0002-1571(72)90045-3

Mizoguchi, Y., Yasuda, Y., Ohtani, Y., Watanabe, T., Kominami, Y., Yamanoi, K., 2013. A practical model to estimate photosynthetically active radiation using general meteorological elements in a temperate humid area and comparison among models. *Theor. Appl. Climatol*. 115, 583–589. doi:10.1007/s00704-013-0912-2

Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J.J., Stewart, R., 1990. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Sol. Energy* 44, 271–289. doi:10.1016/0038-092X(90)90055-H

Wang, L., Kisi, O., Zounemat-Kermani, M., Hu, B., Gong, W., 2016. Modeling and comparison of hourly photosynthetically active radiation in different ecosystems. Renew. *Sustain. Energy Rev*. 56, 436–453. doi:10.1016/j.rser.2015.11.068

Mejora en la huella carbono con aplicación de agricultura de conservación y ayuda al guiado en cultivos extensivos de secano y regadío

Francisco Márquez-García[1], Jesús Antonio Gil-Ribes[1], Emilio J. González-Sánchez[1&2], Gregorio Lorenzo Blanco-Roldán[1]

[1] Grupo Investigación AGR 126 "Mecanización y Tecnología Rural. Dpto. Ingeniería Rural. E.T.S.I. Agronómica y de Montes. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Ed. Leonardo de Vinci, Ctra. N-IVa, km 396. 14071, Córdoba.

[2]Asociación Española Agricultura de Conservación, Suelos Vivos. Av. Menéndez Pidal sn. 14014. Córdoba.

fmarquez@uco.es. gilribes@uco.es. egonzalez@agriculturadeconservacion.org . ir3blrog@uco.es

Resumen

La agricultura es una de las principales fuentes emisoras de gases de efecto invernadero. Uno de sus retos consiste en reducir su impacto sobre el cambio climático (CC). Este trabajo trata de evaluar cuáles cultivos y manejos de suelo y agua son más eficaces para reducirlo. Para ello, dentro del proyecto Life+Climagri, durante dos campañas agrícolas en el sur de España se estudiaron diferentes cultivos de secano y regadío, manejados bajo laboreo (L) y siembra directa (SD) & ayuda al guiado (AG). Los parámetros de las operaciones mecanizadas se evaluaron mediante el uso de un sistema remoto de adquisición de datos instalado en el tractor. Los resultados mostraron como los cultivos de regadío superaban ampliamente las cosechas de los de secano, casi el doble en el caso de los cereales y entre 7 y 10 veces para las oleaginosas y proteaginosas. No se encontraron diferencias en la cosecha de los cultivos manejados bajo SD y L excepto para el trigo. El CO_2 emitido en L siempre fue al menos un 20% superior al de SD & AG. Esta situación produjo que bajo agricultura sostenible siempre se mejorara el balance de carbono. Los cultivos de regadío, a pesar de ser los más productivos, no fueron los más eficientes en el aprovechamiento del carbono debido al elevado consumo de insumos, aunque esta situación se atenuó en aquellos tratamientos en los que su uso era más adaptado a las necesidades reales de las plantas. Aquellos cultivos en los que se redujo o no se utilizaron fertilizantes, a pesar de ser menos productivos, presentaron un mejor balance de carbono, debido a la poca energía utilizada.

Palabras clave: Agricultura sostenible, cambio climático, eficiencia uso de los recursos

Improvement of the carbon balance with No Tillage and Guide Assistance in rainfed and irrigated arable crops

Abstract

One of the most important key points for agriculture in the next years is to reduce its impact over the climate change (CC). This work try to demonstrate which crops, soil and water management systems are more profitable in order to reduce the contribution of agriculture to CC. This work developed with the Life + Climagri, shows the results of two seasons carried out in Southern Spain. Different crops were studied in rainfed and irrigated conditions. Two soil management systems were compared: Tillage (T) versus No Till (NT) & Guide Assistance (GA). The parameters on mechanized operations were logged using a remotely data acquisition system. Irrigated yields in corn doubled the production of cereals and were nearly 7 - 10 times bigger than beans and sunflower. There were no differences between T and NT & GA, except for wheat. The CO_2 emitted in T always were more than a 20 % higher than NT & GA. This situation caused that NT & GA always provided best results of the carbon balance. Irrigated crops, despite being the most productive, were not the most efficient in the carbon used, owing to the high inputs consume. Although, this situation attenuated in those treatments in which the use of inputs was more adapted to the real necessities of the plants. The crops with a low use of fertilizers, despite being less productive, showed the best carbon balance due to the lower energy used.

Keywords: Sustainable agriculture, climate change, efficiency of the use of resources

1. Introducción

Andalucía es una de las principales regiones agrícolas del país. Cuenta con alrededor del 21% de la superficie agrícola española, unas 17 M ha (Gobierno de España, 2017). Los cultivos de secano suponen el 36,7 % de la superficie agrícola y los de regadío el 7,2 %, ocupando entre ambos más de 1,5 M ha. El clima de la región es típicamente Mediterráneo, especialmente sensible a los cambios inducidos por el cambio climático (CC) (Moss et al., 2010; Iglesias et al., 2012), provocado por la acción humana (UNFCCC, 1992; IPCC, 1995). El incremento de temperaturas (IPCC, 2014) y los más intensos y frecuentes episodios de precipitación extrema como inundaciones y tormentas seguidos de largos periodos secos (Sousa et al., 2011) provocarán el incremento de los cultivos de regadío (Savé et al., 2012) y la pérdida de tierras cultivables en las zonas más afectadas por los efectos adversos del CC.

La agricultura es la tercera actividad humana en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), con alrededor del 10 % del total de emisiones. Siendo especialmente importantes las de óxido nitroso (N_2O) (79 %) y metano (CH_4) (52 %). Globalmente la agricultura es la responsable del 30 % del total de emisiones de dióxido de carbono (CO_2), N_2O y CH_4 (Denman et al., 2007; Popp et al., 2010; Srinivasarao et al., 2015).

Con el fin de mantener la producción agraria en estas regiones y adaptarse y mitigar el impacto de este cambio climático es necesario la implantación de técnicas que permitan mejorar el balance de carbono (C) de los cultivos.

La aplicación de agricultura de conservación en cultivos extensivos, siembra directa (SD), está ampliamente demostrado que reduce la emisión y el uso de carbono en muchas regiones del mundo (Kassam et al., 2012; Lal, 2014). La supresión del laboreo provoca una importante reducción del consumo de combustible y del número de operaciones de cultivo (Holland, 2004; Sánchez-Girón et al., 2004; Triplet & Dick, 2008; Gil-Ribes et al., 2014).

La ayuda al guiado (AG) permite trabajar de manera más homogénea y eficiente y optimizar la realización de las operaciones mecanizadas (Perez-Ruiz et al., 2012; Vellidis et al., 2013) lo que provoca una reducción de los solapes y por consiguiente una reducción del uso de los insumos (Aernhammer, 2001; Borch, 2007).

Finalmente, en los cultivos de regadío se utiliza una gran cantidad de energía en el manejo del agua (Rodríguez-Díaz et al., 2009; Fernández-García et al., 2016). La utilización de técnicas que optimicen el uso de agua, en función de las necesidades reales del cultivo, reducen su uso y las necesidades energéticas (Daccache et al., 2014; Tarjuelo et al., 2015) y por consiguiente las emisiones de CO_2.

Sin embargo, el cambio en el sistema de manejo de suelo no sólo puede producir diferencias en cuanto a las emisiones de GEI, sino que también puede tener influencia en las cosechas (Gil-et al., 2014; Pittelkow et al., 2015) y también incrementar el uso de algunos insumos como los herbicidas (Sánchez-Girón et al., 2007). Además, el riego aumenta el uso de C, aunque también incrementa las producciones respecto a los cultivos de secano (Nassi o Di Nasso et al., 2011).

Por lo tanto los objetivos perseguidos con este trabajo son:

1) Evaluar las posibles variaciones de cosecha de cultivos de secano y regadío manejados con SD y laboreo (L)
2) Estudiar el ahorro en las emisiones de C que la combinación de SD&AG aportan respecto al L
3) Comparar el balance de C de cultivos de secano y regadío con el fin de optimizar su uso.

2. Materiales y Métodos

2.1. Campos experimentales

Este trabajo se llevó a cabo dentro del proyecto europeo, Life + Climagri, y muestra los resultados de dos campañas de muestreo llevados a cabo en una finca representativa de la región andaluza, Finca experimental de Rabanales, propiedad de la UCO, 37º 55' 50'' N 4º 43' 07'' O, figura 1.

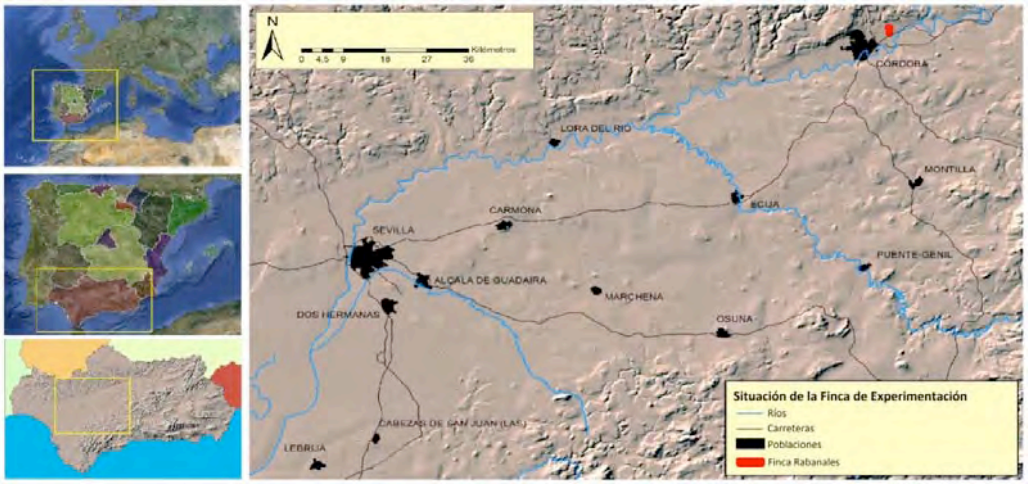


Figura 1. Localización del campo experimental

La región mediterránea, donde se enclava el ensayo, se corresponde con un régimen de humedad xérico, según los estándares establecidos por la taxonomía de suelo (USDA, 1998). El regimen de temperaturas es térmico y el clima tiene dos periodos contrapuestos: uno frío y humedo durante el otoño e invierno y otro seco y cálido durante la primavera y el verano, durante el cual se produce un importante estrés hídrico en los cultivos. Además, la distribución de precipitaciones es muy variable dentro de una misma campaña y espeialmente entre años hidrológicos.

En la finca experimental se evaluaron 40 ha de cultivos de secano y regadío manejados tanto con L y SD & AG. Los cultivos evaluados durante estas dos campañas fueron trigo, habas, cebada y maíz. El manejo realizado fue el más habitual llevado a cabo por los agricultores de la región.

Para los cultivos de regadío se utilizaron dos dosis de riego, la normal aplicada por los agricultores 750 mm ha^{-1}, y otra que optimiza el uso de agua en función de las necesidades reales del cultivo, que varían en función de su estado vegetativo y las condiciones climáticas (550 mm ha^{-1}).

2.2. Instrumentación utilizada y trabajo de campo

Las operaciones de cultivo se estudiaron de manera remota mediante la monitorización del tractor empleado: John Deere 6420 (82.5 kW). La instrumentación instalada se describe en la figura 2.

Cada sensor instalado en el tractor (A, B, C) permite el estudio de los diferentes parámetros de las operaciones mecanizadas llevadas a cabo a los cultivos. El potenciómetro (A) modelo JX-PA-30-N14-21S, Unimeasure (Corvallis, USA), se usó para detectar la posición de los brazos del tripuntal del tractor, que indicaba si el equipo suspendido estaba trabajando o no. El GPS (B), modelo GM-48 UB, Sanav (Taipei, Taiwan), se utilizó para calcular la duración de la operación, la superficie trabajada, la velocidad media, la capacidad de trabajo teórica, la capacidad de trabajo real y los solapes. Finalmente, el caudalímetro (C), modelo AIC-4008 Veritas, AIC SYSTEMS AG (Allschwil, Switzerland), se usó para medir el consumo de combustible.

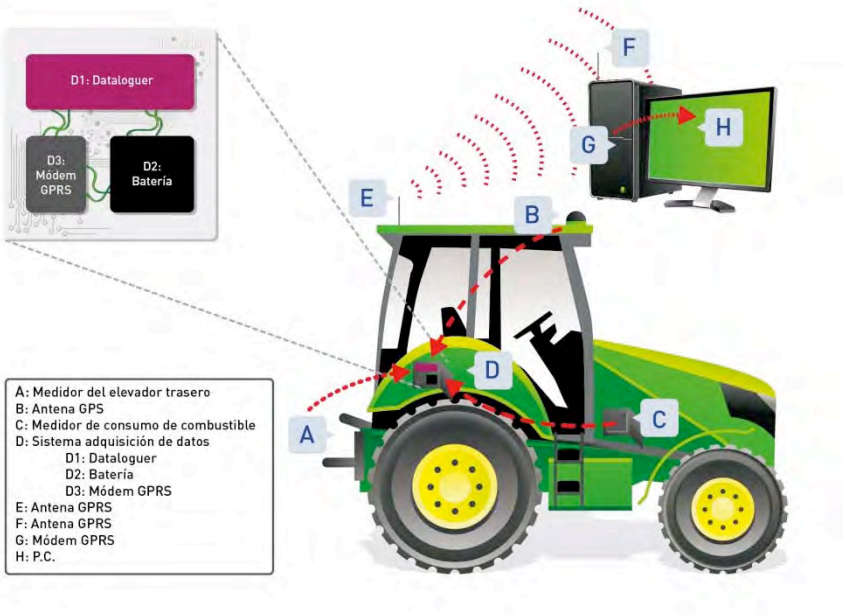


Figura 2. Esquema de la instrumentación instalada en el tractor

De manera complementaria, al tractor se le instaló un sistema de ayuda al guiado, AgGPS EZ-Guide 500, Trimble (Sunnyvale, CA, USA), para las operaciones de fertilización y tratamientos fitosanitarios, y un sistema de autoguiado, EZ-Steer, Trimble (Sunnyvale, CA, USA), para la siembra.

Como sistema de adquisición de datos se utilizó un data logger (Data Taker DT 85, (Thermo Fisher Scientific, Australia)), que permite grabar y transmitir 48 señales, tanto digitales como analógicas. Gestionando hasta 5 millones de datos. El equipo estaba programado para grabar y transmitir la siguiente información cada dos segundos:

1) Coordenadas geográficas
2) Rumbo
3) Velocidad
4) Consumo instantáneo de combustible
5) Posición del tripuntal del tractor

Diariamente un servidor instalado en la UCO, conectaba automáticamente con el data logger, transmitiendo los datos vía GPRS, a través de un modem, ETM9560-1, Mäternick (Bromma, Sweden).

La cosecha media se obtuvo al mapear la producción de los cultivos. Las parcelas se dividieron en 10 subparcelas de 0,5 ha con la ayuda de una pocket PC con el programa EZ Maps software Trimble (Sunnyvale, CA, USA). Se tomaron muestras de 1 m^2 en el centro de cada subparcela, repitiendo dos veces esta operación en cada zona de muestreo. El rendimiento medio de cada parcela se obtubo al realizar una media simple de los 10 puntos muestreados.

Como complemento, los incidentes registrados durante el trabajo y otros aspectos como la dosis de insumos (semillas y agroquímicos) fueron anotados diariamente.

2.3. Trabajo de gabinete

Cada operación de cultivo fue estudiada de manera independiente con un software específico desarrollado para este proyecto bajo idioma basic, *"Reporter Life"*. El programa mediante la configuración manual del ancho y la superficie de trabajo, de maneraq automática calculaba los siguientes parámetros:

1) Velocidad media
2) Consumo medio de combustible
3) Capacidad de trabajo teórica
4) Capacidad de trabajo real
5) Solape
6) Emisiones de CO_2

Las emisiones de CO_2 de cada operación de cultivo se calcularon con un análisis energético previo, transformando la energía utilizada a CO_2 al multiplicar por el factor (1MJ = 74 g CO_2). La metodología utilizada asocia la cantidad de energía no renovable utilizada a cada factor del proceso agrícola (1), definiendo dos tipos de energía: energía de uso directo, asociada al consumo de combustible (2). Este parámetro se calculó multiplicando el consumo de combustible por 38,6 MJ/l. El otro tipo era la energía de uso indirecto (3).

Energía Consumida (MJ/ha) = Energía de uso directo (MJ/ha) + Energía de uso indirecto (MJ/ha) (1)

Energía de uso directo (MJ/ha) = Consumo anual de combustible del cultivo (l/ha) * 38.6 MJ/l (2)

Energía de uso indirecto (MJ/ha) = Energía usada (MJ/ha) en: fabricación y mantenimiento de equipos + semillas + fertilizantes + agroquímicos (3)

Después de la transformación de energía a CO_2, se pueden definir dos indicadores: Eficiencia del Carbono (EC). Se define como el ratio entre el CO_2 contenido en la producción final (CO_2 Producido) y el necesario para el cultivo (CO_2 consumido) (4). Productividad del Carbono (PC). Definido como la cantidad de producto producido por unidad de CO_2 suministrada (5).

$$CE = \frac{CO2\ Producido\ (Kg/\text{ha}\ )}{CO2\ Consumido\ (kg/\ \text{ha}\ )} \quad (4)$$

$$CP = \frac{Cosecha\ (kg/\ ha\ )}{CO2\ Consumido\ (Kg/\ \text{ha}\ )} \quad (5)$$

2.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo con el software Statistix 8.0, Tallahassee, USA. Se utilizó el test de Tukey para comparar las medias con un valor de significación (p) ≤ 0,05.

3. Resultados y Discusión

Durante el estudio no se encontraron diferencias entre las cosechas de siembra directa y laboreo, salvo para el trigo que produjo 800 kg/ha más en los sistemas sostenibles. La cebada sólo se sembró bajo siembra directa, razón por lo que no aparecen datos en laboreo. Los cultivos de regadío (maíz) doblaron la producción de los cereales y fueron casi 10 veces más altas que las habas, especialmente para las dosis altas de riego, figura 3.

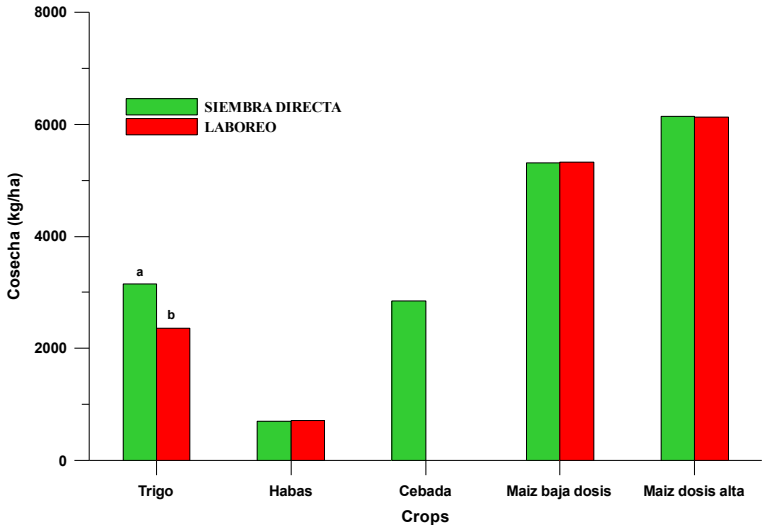


Figura 3. Producciones medias (kg/ha). Letras diferentes muestran significación estadística para el test de Tukey, p≤0,05

La siembra directa unida a la ayuda al guiado disminuyó para todos los cultivos las emisiones de CO_2 respecto al laboreo, tabla 1. La menor reducción se obtuvo para el trigo (16,5%, 237,7 kg CO_2/ha). El siguiente cultivo fue el maíz con alta dosis de riego y seguidamente el de baja (19,9%, 599,1 kg CO_2/ha; 21,5%, 599,0 kg CO_2/ha, respectivamente). Estos valores fueron mayores a los obtenidos por Moreno et al. (2011) en condiciones similares. La mayor reducción se obtuvo para las habas (29,5%, 154 kg CO_2 /ha). En las legumbres las emisiones fueron mucho menores debido al escaso uso de fertilizantes, siendo la siembra directa la responsable de la mayoría del ahorro de emisiones. En los cultivos con un elevado uso de abono (trigo y maíz) la mayoría de la disminución fue aportada por la ayuda al guiado, al igual que lo descrito por Antle y Olge (2012) y Antille et al. (2015). Finalmente el uso de agua fue menos importante que la fertilización (Daccache et al., 2014).

Tabla 1. Emisiones de CO_2 para los diferentes cultivos y manejos estudiados. SMS: sistema de manejo de suelo; SD: siembra directa; AG: ayuda al guiado; L: laboreo.

		Emisiones CO_2 (Kg/ha)						
	SMS	Gasoil	Mantenimiento	Semillas	Agroquímicos	Fertilizante	Riego	Total
Trigo	SD & AG	72,3	22,4	196,7	68,1	845,3	-	1.204,8
	L	126,8	39,3	204,6	42,4	1.029,4	-	1.442,5
Habas	SD & AG	67,1	20,8	140,4	113,4	26,2	-	368,0
	L	157,1	48,7	148,6	87,0	80,6	-	522,0
Cebada	SD & AG	72,3	22,4	141,1	92,8	453,0	-	781,5
Maíz Bajo Riego	SD & AG	69,1	21,4	31,2	37,4	1.426,8	602,4	2.188,3
	L	198,0	61,4	32,1	39,2	1.854,4	602,4	2.787,3
Maíz Alto Riego	SD & AG	69,1	21,4	31,2	37,4	1.426,8	821,4	2.407,3
	L	198,0	61,4	32,1	39,2	1.854,4	821,4	3.006,4

La eficiencia y la productividad del CO_2, figuras 3 y 4, fueron siempre estadísticamente superiores para la siembra directa y ayuda al guiado respecto al laboreo, al igual que lo medido por Hernanz et al. (1995); Sartori et al. (2005) y Moreno et al. (2011). Las legumbres mostraron los menores valores de estos dos indicadores, a pesar de ser el cultivo con los mayores porcentajes de reducción, debido a su escasa cosecha. Los mayores valores se obtuvieron en cebada bajo técnicas sostenibles. Sin embargo, no se tienen datos para el laboreo. Los cultivos de regadío mostraron resultados similares en ambos indicadores. La eficiencia fue mayor que en el trigo; sin embargo, este cultivo tuvo mayor productividad en los sistemas de siembra directa y ayuda al guiado.

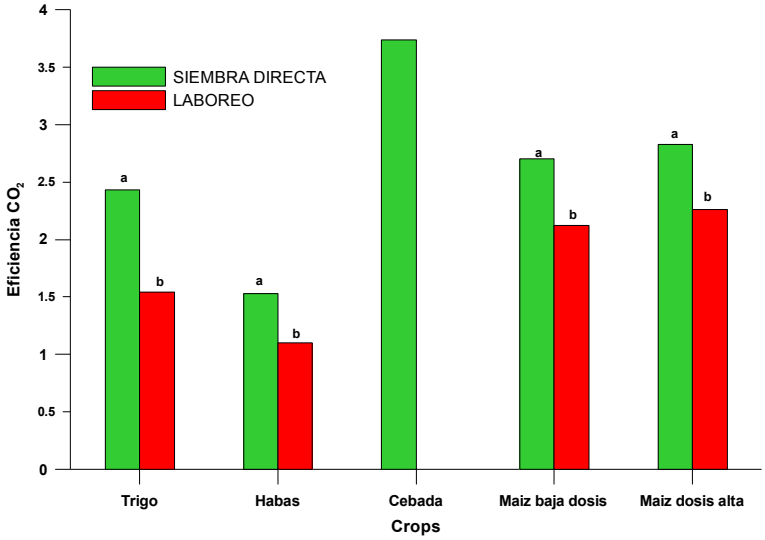


Figura 4. Eficiencia del CO_2 para los diferentes cultivos y manejos estudiados. SMS: sistema de manejo de suelo; SD: siembra directa; AG: ayuda al guiado; L: laboreo

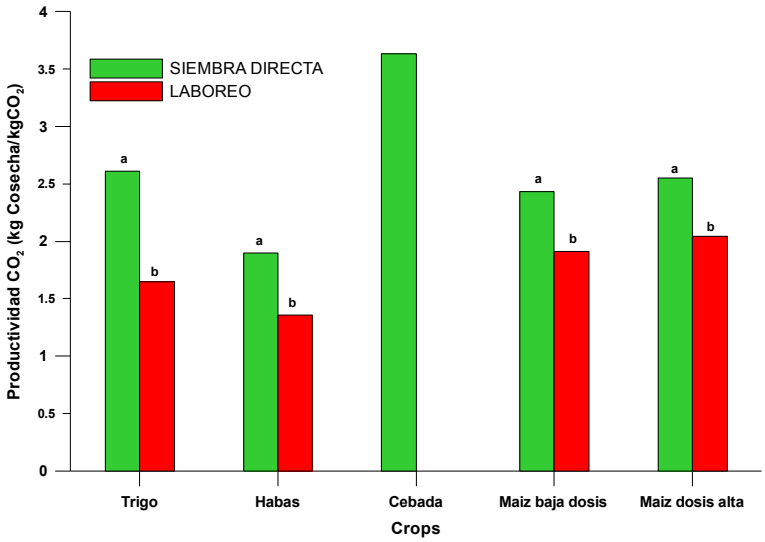


Figura 5. Productividad del CO_2 para los diferentes cultivos y manejos estudiados. SMS: sistema de manejo de suelo; SD: siembra directa; AG: ayuda al guiado; L: laboreo

4. Conclusiones

La aplicación de sistemas sostenibles como la siembra directa y la ayuda al guiado has mostrado la capacidad de reducir estadísticamente las emisiones de CO_2 a la atmósfera y mejorar la eficiencia y productividad con todos los cultivos estudiados en condiciones de secano y regadío. Sin embargo, existieron importantes diferencias entre los diversos cultivos y manejos. En aquellos cultivos con escaso uso de fertilización, la aplicación de siembra directa fue la responsable de la mayor parte del ahorro. Sin embargo, cuando se usaba mucho abono, la ayuda al guiado era la que aportaba más disminución. La mayor parte de las emisiones provinieron de la fertilización (más del 60%), siendo el riego el segundo en importancia. A pesar de estos buenos resultados, es necesario ampliar el tiempo de estudio y el número de cultivos, con el fin de mejorar la representatividad de los cultivos, situación especialmente importante en las condiciones climáticas mediterráneas, extremadamente variables.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la comisión europea dentro de su programa LIFE (Instrumento financiero para el medio ambiente) por cofinanciar el proyecto Life + Climagri, Best Agricultural practices for Climate Change, LIFE13ENV/ES/000541.

Bibliografía

Antle, J.M., S.M. Ogle, 2012. Influence of soil C, N2O and fuel use on GHG mitigation with no-till adoption. *Climatic Change*. 111, 609-625.

Antille, D.L., W.C.T. Chamen, J.N. Tullberg, R. Lal, 2015. The potential of controlled traffic farming to mitigate greenhose gas emissions and enhance carbon sequestration in arable land: A critical review. *Transactions of the ASABE*. 58, 707-731.

Auernhammer, H., 2001. Precision farming-the environmental challenge. Computers & Electronics in *Agriculture*. 30, 31-43.

Borch, K., 2007. Emerging technologies in favour of sustainable agriculture. *Futures*. 39, 1045-1066.

Daccache, A., J.S. Ciurana, J.A. Rodríguez Díaz, J.W. Knox, 2014. Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region. *Environmental Research Letters*. 9, 1-12.

Denman, K.L., G., Brasseur, A. Chidthaisong, P. Ciais, P.M. Cox, R.E. Dickinson, D. Hauglustaine, C. Heinze, E. Holland, D. Jacob, U. Lohmann, S. Ramachandran, P.L. Da Silva Dias, S.C. Wofsy, and X. Zhang, 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller, eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.

Fernández-Díaz, I., P. Montesinos, E. Camacho, J.A. Rodríguez-Díaz, 2016. Energy cost optimization in pressurized irrigation networks. *Irrigation Science*. 34, 1-13.

Gil-Ribes, J.A., F. Márquez-García, G.L. Blanco-Roldán, and J. Agüera-Vega, 2014. Reduction of the operational times and crop costs by applying No Till and Guide Assistance in rainfed arable crops in Southern Spain. In *Proceedings of International Conference of Agricultural Engineering*. Zurich, Switzerland. 06-10.07.2014 – www.eurageng.eu

Hernanz, J.L., V.S. Girón, C. Ceriesola, 1995. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. *Soil & Tillage Research*. 35, 183-198.

Hernanz, J.L., 2005. Conservation Agriculture. A review in the energetic profilabity. In *International Congress on Conservation Agriculture*. Madrid, Spain. Asoc. Esp. Agric. Con. Eds. 173-182.

Holland, J.A., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: review the evidence. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 103, 1-25.

Iglesias, A., L. Garrote, A. Diz, J. Schlickenrieder, and M. Moneo, 2012. Water and people: assessing policy priorities for climate change adaptation in the Mediterranean. In: *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean* [Navarra, A. and Tubiana, L. eds.]. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 201- 233.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. Contribution of Working Groups I, II and III to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. In: *Core writing team* eds. Cambridge, UK and New York, USA. 73 pp.

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: *Core Writing Team*. R.K. Pachauri, and L.A. Meyer, eds. Geneva, Switzerland. 151 pp.

Kassam, A., T. Friedrich, R. Derpsch, R. Lahmar, R. Mrabet, G. Basch, E.J. González-Sánchez, R. Serraj, 2012. Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate. *Field Crops Research*. 132, 7-17.

Lal, R., 2004. Soil Carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*. 304, 1623-1627.

Lal, R., 2014. Societal value of soil carbon. *Journal of Soil and Water Conservation*. 69, 186-192.

Moreno, M.M., C. Lacasta, R. Meco, C. Moreno, 2011. Rainfed crop Energy balance of different farming systems and crop rotations in a semi-arid environment: Results of a long-term trial. *Soil & Tillage Research*. 114, 18-27.

Moss, R., J.A. Edmonds, K.A. Hibbard, M.R. Manning, S.K. Rose, D.P. van Vuuren, T.R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G.A. Meehl, J.F.B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S.J. Smith, R.J. Stouffer, A.M. Thomson, J.P. Weyant, T.J. Wilbanks, 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 463, 747–756.

Nassi o Di Nasso, N., S. Bosco, C. Di Bene, A. Coli, M. Mazzoncina, and E. Bonari, 2011. Energy efficiency in long-term Mediterranean cropping systems with differen management intensities. *Energy*. 36, 1924-1930.

Pérez-Ruiz, M., D.C. Slaughter, C. Gliever, S.K. Upadhyaya, 2012. Tractor-based Real-time Kinetic-Global Positioning System (RTK-GPS) guidance system for geospatial mapping of row crop transplant. *Biosystems Engineering*. 111, 64-71.

Pittelkow, C.M., X. Liang, B.A. Linquist, K.J. van Groenigen, J. Lee, M.A. Lundy, N.van Gestel, J. Six, R.T. Venterea, C. van Kessel, 2014. Productivity limits and potentials of principels of conservation Agriculture. *Nature*. 517, 365-368.

Popp, A., H. Lotze-Campen, B. Bodirsky, 2010. Food consumption, diet shifts and associated non-CO2 greenhouse gases from agricultural production. *Global Environmental Change*. 20, 451-462.

Rodríguez-Díaz, J.A., R. López-Luque, M-T. Carrillo-Cobo, P. Montesinos, E. Camacho-Poyato, 2009. Exploring Energy saving scenerios for on-demand pressurised irrigation networks. *Biosystems Engineering*. 104, 552-561.

Sánchez-Girón, V., A. Serrano, J.L. Hernánz, L. Navarrete, 2004. Economic assessment of three long-term tillage systems for rainfed cereal and legume production in semiarid central Spain. *Soil & Tillage Research*. 78, 35-44.

Sánchez-Girón, V., A. Serrano, M. Suárez, J.L. Hernánz, L. Navarrete, 2007. Economics of reduce tillage for cereal and legume production on rainfed farm enterprises of different sizes in semiarid conditions. *Soil & Tillage Research*. 95, 149-160.

Sartori, L., B. Basso, M. Bertocco, G. Oliviero, 2005. Energy use and economic evaluation of a three year crop rotation for conservation and organic farming in NE Italy. *Biosystems Engineering*. 91, 245-256.

Savé, R., F. De Herralde, X. Aranda, E. Pla, D. Pascual, I. Funes, C. Biel, 2012. Potential changes in irrigation requirements and phenology of maize, apple trees and alfalfa under global change conditions in Fluvià watershed during XXIst century: results from a modeling approximation to watershed-level water balance. *Agricultural Water Management*. 114, 78-87.

Spanish Government, 2016. Survey areas and crop yields. Available in: http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/ [20 of April 2016].

Sousa, P.M., R.M. Trigo, P. Aizpurua, R. Nieto, L. Gimeno, R. Garcia-Herrera, 2011. Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean. Natural Hazards and Earth System. *Science*. 11, 33-51.

Srinivasarao, Ch., R. Lal, S. Kundu, M.B.B. Prasad Babu, B. Venkateswarlu, A. Singh, 2014. Soil carbon sequestration in rainfed production systems in the semiarid tropics of India. *Science of the Total Environment*. 487, 587-603.

Tarjuelo, J.M., J.A. Rodríguez-Díaz, R. Abadía, E. Camacho, 2015. Efficient water and Energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies. *Agricultural Water Management*. 162, 67-77.

Triplet, G.B., A. Warren, 2008. No-Tillage crop production: A revolution in *Agriculture! Agronomy Journal*. 100, 153-165.

United State Department of Agriculture (USDA), 1998. Keys to soil taxonomy. Soil Survey Staff (Eds.). *Agriculture Handbook*. Washington DC. USA.

United Nations Framework Convention on Climatic Change (UNFCCC), 1992. United Nations. GE.05-62301. New York, USA. 50 pp.

Vellidis, G., B. Ortiz, J. Beasley, R. Hill, H. Henry, and H. Brannen, 2013. Using RTK-based GPS guidance for planting and inverting peanuts. In Stafford (Eds.), *Proceedings of the 9th European Conference on Precision Agriculture* (pp. 357-364). Lleida, Spain.

Valorização energética de resíduos de kiwi por digestão anaeróbia

Bárbara Gonçalves[1], Larissa Paulista[2], Rui Boaventura[3], Ramiro Martins[4]

[1] ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal. bacamachog@gmail.com

[2] ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal. larissa-paulista@hotmail.com

[3] LSRE-LCM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr Roberto Frias, 4200-456 Porto. bventura@fe.up.pt

[4] DTQB da ESTiG Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal e LSRE-LCM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr Roberto Frias, 4200-456 Porto. rmartins@ipb.pt

Resumo

A produção mundial e o comércio de frutas geram perdas nas etapas de colheita, pós-colheita, manipulação, distribuição e consumo, correspondendo a 6,8% da produção total. Esses resíduos apresentam elevado potencial como substrato para um processo de digestão anaeróbia e geração de biogás. Dessa forma, avaliou-se a valorização energética dos resíduos agroindustriais da produção de kiwi por digestão anaeróbia, tendo como meta otimizar a produção de biogás e a sua qualidade. Foram desenvolvidos 10 ensaios em reator batch (500 mL) em condições mesófilas e variaram-se vários fatores operacionais: diferentes proporções para a razão substrato/inóculo; quatro valores distintos para a razão C:N; inóculo proveniente de diferentes digestores; e inóculo recolhido em épocas distintas do ano. Para controle e monitorização do processo foram usados os seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, ácidos gordos voláteis (AGV), sólidos voláteis (SV) e carência química de oxigénio (CQO). Entre os ensaios realizados, o melhor resultado obtido para a produção de biogás correspondeu à utilização de 2 g de substrato e 98 mL de inóculo do digestor anaeróbio da Estação de Tratamento de Água Residual (ETAR) de Bragança, com adição de 150 mg de bicarbonato de sódio, registando-se uma produção de 1628 L biogás.kg^{-1} SV (57% de metano). Já em relação à qualidade do biogás, o melhor resultado foi obtido com 20 g de substrato e 380 mL de inóculo da lama do digestor anaeróbio da ETAR do Ave (mais 600 mg de bicarbonato de sódio), apresentando um valor de 85% de CH_4, com uma produção de 464 L biogás.kg^{-1} SV.

Palavras-chave: Biogás, Kiwi, Metano, Reator Batch, Resíduos Agroindustriais.

Energy valorization of kiwi residues by anaerobic digestion

Abstract

World production and trade of fruits generate losses in the harvest, post-harvest, handling, distribution and consumption phases, corresponding to 6.8% of total production. These residues present high potential as a substrate for the anaerobic digestion process and biogas generation. Thus, the energy valuation of the agro-industrial residues of kiwifruit production was evaluated by anaerobic digestion, aiming at optimizing the biogas production and its quality. Ten assays were carried out in a batch reactor (500 mL) under mesophilic conditions and varying a number of operational factors: different substrate/inoculum ratios; four distinct values for C: N ratio; inoculum from different digesters; and inoculum collected at different times of the year. The following parameters were used to control and monitor the process: pH, alkalinity, volatile fatty acids (VFA), volatile solids (VS) and chemical oxygen demand (COD). Among the tests performed, the best result obtained for the biogas production corresponded to the use of 2 g of substrate and 98 mL of inoculum of the anaerobic digester of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of Bragança, with addition of 150 mg of bicarbonate leading to a production of 1628 L biogas.kg^{-1} VS (57% methane). In relation to the biogas quality, the best result was obtained with 20 g of substrate and 380 mL of inoculum from the anaerobic digester sludge of Ave WWTP (plus 600 mg of sodium bicarbonate), presenting a value of 85% of CH_4, with a production of 464 L biogas.kg^{-1} VS.

Keywords: Biogas, Kiwi, Methane, Batch Reactor, Agro-industrial Waste.

1. Introdução

A produção mundial e o comércio de frutas têm crescido de forma constante nas últimas décadas, porém acredita-se que 6,8% de toda a produção é perdida durante os processos de colheita, pós-colheita, manipulação, distribuição e consumo (Sanjaya *et al.*, 2016). A maioria desses resíduos são depositados em aterros ou incinerados (Nanda *et al.*, 2016). Contudo, essas práticas podem representar uma ameaça à saúde da população e ao ambiente de modo geral (Kumar *et al.*, 2016), já que emitem gases com efeito de estufa, além de atrair vetores como insetos e roedores (Sanjaka *et al.*, 2016).

Os resíduos de fruta são caracterizados por um elevado teor de humidade e concentrações elevadas de matéria orgânica facilmente biodegradável (Fonoll *et al.*, 2015). Face a isto, esse tipo de resíduo tem sido considerado um substrato adequado para a produção de metano através do processo de digestão anaeróbia (DA) (Wu *et al.*, 2016). Este processo de degradação é realizado por microrganismos anaeróbios e inclui várias etapas reacionais que podem ser divididas em: hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese (Piatek *et al.,* 2016). O processo tem como produto final o material estabilizado e também biogás com elevada concentração de metano (50-65%), que pode ser utilizado como fonte de energia térmica ou elétrica (Fonoll *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2016).

Estudos anteriores apontam que o rendimento em metano quando se utilizam resíduos de frutas e vegetais pode variar, mantendo-se, contudo, em valores razoavelmente elevados: 430 L $CH_4.kg^{-1}$ SV para Scano *et al.* (2014), 479, 5 L $CH_4.kg^{-1}$ SV para Zhang *et al.* (2011). Gunaseelan (2004) obteve 473,5 5 L $CH_4.kg^{-1}$ SV para resíduos de limão, 448,5 5 L $CH_4.kg^{-1}$ SV para resíduos de manga, entre outros. Zhao *et al.* (2016) referem, contudo, que a literatura científica apresenta poucos estudos sobre a digestão anaeróbia de resíduos de frutas de forma isolada, já que na maioria dos casos os mesmos vêm associados a resíduos alimentares e outros resíduos vegetais. Dessa forma, diversos tipos de resíduos de frutas, como o kiwi, que têm uma produção anual considerável, ainda não foram devidamente considerados para a digestão anaeróbia.

Tendo isso em conta, este estudo teve como objetivo a valorização energética de resíduos de kiwi por digestão anaeróbia, mediante a realização de diversos ensaios experimentais em reator batch à escala laboratorial. A produção de biogás foi monitorizada e analisada por recurso a um sistema de medição em contínuo e foram analisados outros parâmetros, nomeadamente, pH, alcalinidade, carência química de oxigénio (CQO), sólidos voláteis (SV) e ácidos gordos voláteis (AGV).

2. Materiais e Métodos

O reator selecionado para a realização das experiências foi do tipo batch, designadamente o sistema BCS-CH_4biogas *BlueSens*, composto por: frasco de vidro (B) onde ocorre o processo de digestão; fluxímetro (C), que mede o volume de biogás gerado; sensor (D), que mede a qualidade do biogás (% CH_4); e acessórios para interligação destes componentes (A, E e F) (Figura 1). Os dados de geração de biogás (mL) e a percentagem de metano (%) são processados a cada 20 segundos e registados em forma de gráfico num computador. Os reatores foram colocados sobre placas de agitação magnética para manter a mesma concentração em todos os pontos em resultado da agitação provocada pela rotação de uma barra magnética. Além disso, utilizou-se uma fita de aquecimento para manter a temperatura no interior dos reatores na gama mesofílica (35ºC).

A	Fluido para o Fluxímetro	D	Sensor
B	Frasco com Duas Entradas (500 mL)	E	Ferramentas de Vedação
C	Fluxímetro	F	Tubo de Silicone

Figura 1. Materiais utilizados para a montagem do sistema BCS-CH_4biogas BlueSens.

O substrato utilizado foi resíduo de kiwi, recolhido numa unidade de distribuição alimentar da cidade de Bragança. O resíduo de kiwi foi cortado e triturado transformando-se numa substância pastosa. Esse material foi armazenado no frigorífico a 3-4°C até à sua utilização. Todas as experiências realizadas neste estudo utilizaram o mesmo resíduo preparado inicialmente e seu volume variou de acordo com o pretendido. Os parâmetros analisados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros analisados nas experiências.

Parâmetros	Métodos
pH	4500 H^+ B (APHA, 2012)
Alcalinidade	2330 B (APHA, 2012)
AGV	(Buchauer, 1998)
SV	2540 E (APHA, 2012)
CQO	5220 C (APHA, 2012)

O inóculo que é introduzido no reator desencadeia o processo, já que fornece microrganismos que facilitam a transformação da matéria orgânica (substrato). O inóculo escolhido para alimentar o sistema foi lama anaeróbia proveniente dos digestores anaeróbios da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Bragança e da ETAR do Ave e, ainda, de uma fossa séptica. O volume de inóculo introduzido variou de acordo com as condições previamente definidas para cada ensaio (Tabela 2).

Tabela 2. Ensaios realizados e respetiva composição.

#	Experimento	Substrato (g)	Inóculo (mL)	$NaHCO_3$ (mg)	KNO_3 (mg)	Lama
1	1.1	1	99	150	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	1.2	2	98	150	-	
	1.3	3	97	150	-	
	1.4	4	96	150	-	
2	2.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	2.2	4	196	300	-	
	2.3	6	194	300	-	
	2.4	8	192	300	-	

Tabela 3. Ensaios realizados e respetiva composição (continuação).

#	Experimento	Substrato (g)	Inóculo (mL)	$NaHCO_3$ (mg)	KNO_3 (mg)	Lama
3	3.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	3.2	4	196	300	-	
	3.3	6	194	300	-	
	3.4	8	192	300	-	
4	4.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	4.2	4	196	300	-	
	4.3	6	194	300	-	
	4.4	8	192	300	-	
5	5.1	4	96	150	166,51	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 07/03/2016
	5.2	4	96	150	66,57	
	5.3	4	96	150	33,36	
	5.4	4	96	150	16,61	
6	6.1	4	96	150	166,51	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 02/04/2016
	6.2	4	96	150	66,57	
	6.2	4	96	150	33,36	
	6.4	4	96	150	16,61	
7	7.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 07/04/2016
	7.2	4	196	300	-	
	7.3	6	194	300	-	
	7.4	8	192	300	-	
8	8.1	2	198	300	-	Lama Proveniente de Fossa Séptica, recolhida em 12/04/2016
	8.2	4	196	300	-	
	8.3	6	194	300	-	
	8.4	8	192	300	-	
9	9.1	12	388	600	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR do Ave, recolhida em 09/05/2016
	9.2	16	384	600	-	
	9.3	20	380	600	-	
	9.4	24	376	600	-	
	9.5	16	384	400	666,04	
10	10.1	12	388	600	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR do Ave, recolhida em 09/05/2016
	10.2	16	384	600	-	
	10.3	20	380	600	-	
	10.4	24	376	600	-	
	10.5	12	384	600	666,04	

3. Resultados e Discussão

No início da experiência o pH da mistura no reator foi acertado a 7, adicionando-se também bicarbonato de sódio, 150 $mg.L^{-1}$, de forma a providenciar uma alcalinidade adequada ao processo de digestão anaeróbia conforme descrito na literatura (Fiore *et al.*, 2016). Quando o processo foi interrompido, aproximadamente ao fim de 360 horas, o pH situava-se entre 7 e 7,6 para todos os ensaios, se enquadrando nos valores considerados satisfatórios para o processo de DA, evidenciando que a alcalinidade adicionada foi suficiente para tamponar o meio.

A alcalinidade do meio foi ajustada para 1500 mg $CaCO_3.L^{-1}$, o que se revelou adequado, pois manteve a concentração de AGV no final entre 400-600 $mg.L^{-1}$, gama que não inibe o processo. Verificou-se que a adição de nitrogénio, mediante adição de nitrato de potássio para avaliar o efeito da relação C:N, provocou inibição da atividade microbiana. O inóculo recolhido no inverno apresentou menor atividade microbiana, devido à baixa temperatura do ar e consequentemente do digestor anaeróbio.

Relacionando as produções de biogás (L biogás.kg^{-1} CQO) e de metano (L $CH_4.kg^{-1}$ CQO) foi possível obter as melhores condições em relação às quantidades adicionadas de substrato, inóculo, KNO_3 e $NaHCO_3$. Valores de substrato inferiores a 5 g e entre 5 e 10 g conduziram a maiores produções, quer de biogás, quer de metano (Figura 2). O mesmo aconteceu com a utilização de 200 a 250 mL de

inóculo. Valores de KNO_3 superiores a 100 mg inibem o processo e os melhores resultados foram obtidos para uma alcalinidade correspondente à adição de $NaHCO_3$ entre 300 a 400 mg (Figura 2).

Além disso, o estado do inóculo tem grande influência no processo de digestão anaeróbia. Para inóculo recolhido de digestores não aquecidos, na época fria do ano, os resultados não foram satisfatórios. Tal vem comprovar que temperaturas próximas de 0°C correspondem a uma população microbiana com reduzida atividade, tornando a sua utilização inapropriada para o processo de digestão anaeróbia, havendo a necessidade de aumentar o tempo de retenção hidráulica (TRH) (Brancoli, 2014).

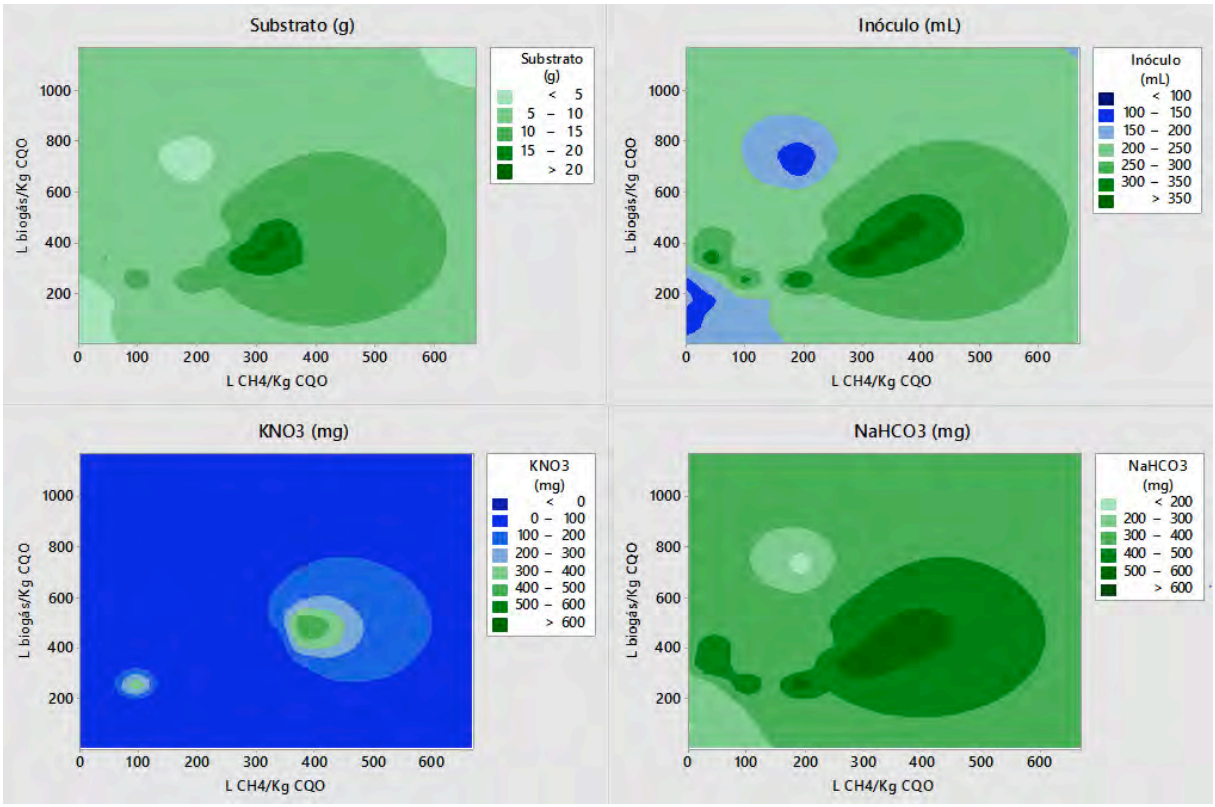


Figura 2: Relação das condições iniciais.

Em relação ao volume de biogás produzido, o melhor resultado obtido (1628 L biogás.kg^{-1} SV) foi correspondente ao ensaio (2.1) (1% de substrato em massa), com 57% de CH_4 (Figura 3). Já em relação à qualidade do biogás, expressa em percentagem de metano, o melhor resultado foi o obtido no ensaio (10.3) (5% de substrato em massa), em que se registou um valor de 85% (Figura 4), com uma produção de 464 L biogás.kg^{-1} SV. Pellera e Gidarakos (2016) relatam uma produção de metano de 259 L CH_4.kg^{-1} SV para resíduos de azeitona; Fabbri et al. (2015) indicam uma média de 169 L CH_4.kg^{-1} SV para bagaço de uva e Dinuccio et al. (2010) apresentam valores de 218, 229 e 195 L CH_4.kg^{-1} SV para resíduos de tomate, cevada e arroz, respetivamente. Neste estudo atingiram-se valores superiores aos obtidos em estudos similares utilizando outros resíduos agroindustriais, comprovando que o resíduo de kiwi possui características adequadas para o processo de digestão anaeróbia, sendo a sua valorização energética de extremo interesse.

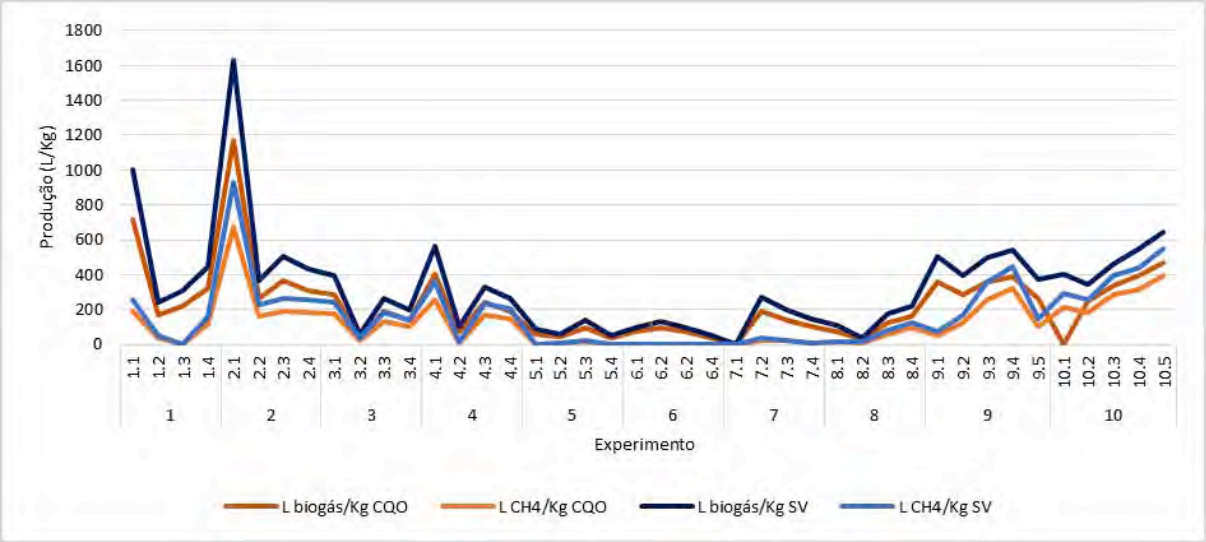


Figura 3: Produção de biogás e metano.

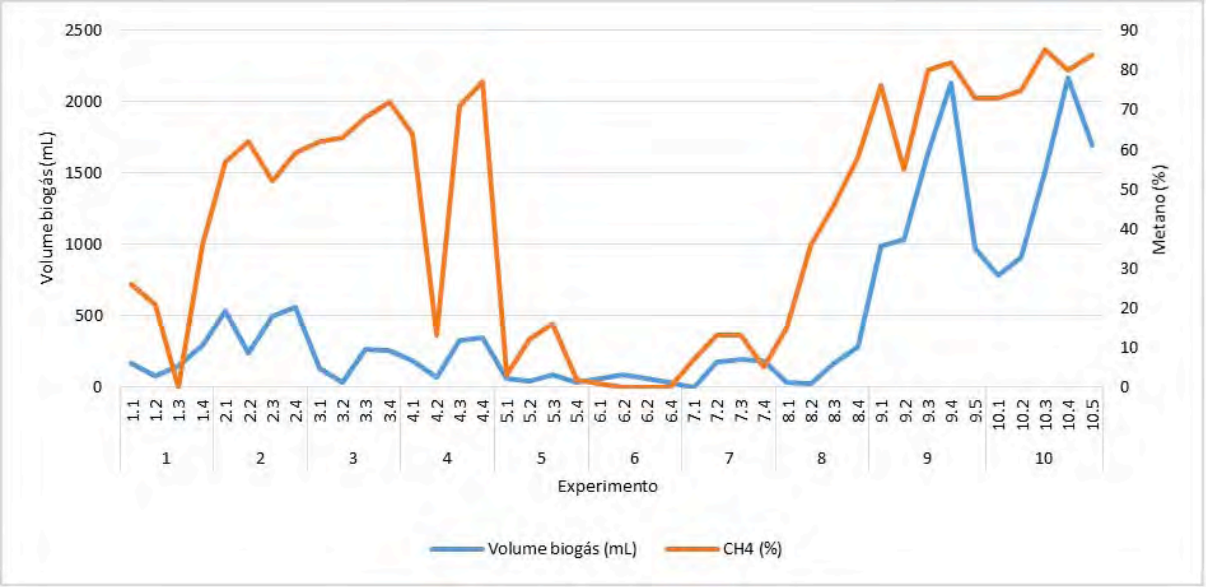


Figura 4: Volume do biogás e percentagem de metano.

Baseado em dados de Eriksson (2010), o volume de biogás gerado no processo foi convertido no correspondente volume de gás natural, atendendo ao poder calorífico do metano (5,7 kWh.Nm^{-3}). Foi considerado para o efeito o ensaio a que corresponde o maior volume de biogás gerado (2.1), em que se registou uma produção de metano de 928 L.kg^{-1} SV (1628 L biogás.kg^{-1} SV; 57% CH_4). Para o gás natural o conteúdo energético é de 11 kWh.Nm^{-3} (Eriksson, 2010); considerando o valor 0,0688 € do kWh no mercado doméstico, isto corresponde a um valor de 0,76 € por Nm^3 de gás natural. Tendo em consideração o conteúdo energético do biogás com 57% de CH_4 (1 Nm^3 biogás com 97% CH_4 = 9,67 kWh, Eriksson, 2010), por comparação com o gás natural obtém-se um valor de 0,39 € Nm^{-3} de biogás. Atendendo ao teor de sólidos voláteis do kiwi (16% em massa), por tonelada de resíduo é obtido um valor monetário bruto de 102 €.

Diversos autores têm direcionado a sua investigação no sentido da valorização de resíduos sob o ponto de vista energético, ou mesmo resolver o problema com resíduos de diferentes tipos e origens. Na Tabela 3 são apresentados valores de produção de metano e qualidade de biogás para diferentes tipos de resíduo, incluindo os resultados mais favoráveis obtidos neste estudo.

Como se observa é ampla a gama do volume de metano gerado no processo de digestão anaeróbia, sendo que o valor obtido neste estudo é bastante satisfatório (931 L $CH_4.kg^{-1}$ SV). Alguns autores registaram percentagens de metano superiores a 50%, valor considerado ponto de partida para tornar economicamente interessante a valorização energética. Neste estudo, um dos ensaios (10.3) proporcionou um valor bastante significativo, em torno de 85%.

Tabela 4. Valores de produção e qualidade de CH_4 para diferentes resíduos (continua).

Tipo de substrato	L $CH_4.kg^{-1}$ SV	% de CH4 no biogás	Referência
Bagaço de Uva	169	51	Fabbri *et al.* (2015)
Cevada	229	60	Dinuccio *et al.* (2010)
Citrinos	176	57	Su *et al.* (2016)
Cortes de gramas	226	61	Poulsen e Adelard (2016)
Esterco de vaca	68	44	Poulsen e Adelard (2016)
Frutas e vegetais	430	61	Scano *et al.* (2014)
Laranja	658	62	Sanjaya *et al.* (2016)
Milho	317	68	Dinuccio *et al.* (2010)
Oliva	259	81	Pellera e Gidarakos (2016)
Resíduos sólidos urbanos	350	64	Martin-Gonzalez *et al.* (2010)
Talos de algodão	242	55	Adl *et al.* (2012)
Tomate	218	70	Dinuccio *et al. (*2010)
Kiwi	928	57	Este estudo
Kiwi	464	85	Este estudo

4. Conclusões

Das 10 experiências realizadas, em duas foram obtidos resultados muito interessantes em relação à literatura; o ensaio com 1% de substrato (experiência 2) proporcionou uma produção de biogás de 1628 $L.kg^{-1}$ SV com uma $\%CH_4$ de 57% e o biogás de maior qualidade, com 85% de metano, foi obtido no ensaio com 5% de resíduo de kiwi (experiência 10.3). As experiências em que se avaliou o efeito da razão C:N foram as menos produtivas, possivelmente devido à inibição da atividade da população microbiana pelo KNO_3. A qualidade do inóculo revelou-se determinante num conjunto de ensaios, nomeadamente quando a sua colheita foi realizada no inverno, com o digestor a apresentar temperaturas bastante baixas. De acordo com os valores mais favoráveis para a produção de biogás, por tonelada de resíduo de kiwi poderá ser obtido um valor monetário bruto de 102 €, resolvendo-se um problema de eliminação deste resíduo, com valorização energética simultaneamente.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Projeto POCI-01-0145-FEDER-006984 - Laboratório Associado LSRE/LCM - financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.

Bibliografia

Adl, M., Sheng, K., Gharibi, A. 2012. Technical assessment of bioenergy recovery from cotton stalks through anaerobic digestion process and the effects of inexpensive pre-treatments. *Applied Energy*, 93, 251-260.

APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2012. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th Edition, Washington.

Brancoli, P. L. 2014. *Avaliação experimental da co-digestão anaeróbia de resíduos orgânicos e lodo de esgoto em digestores têxteis*. 85f. Monografia - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Buchauer, K. 1998. A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to wastewater and sludge treatment processes. *Water* S. A, 24, 1, 49-56.

Dinuccio, E., Balsari, P., Gioelli, F., Menardo, S. 2010. Evaluation of the biogas productivity potential of some Italian agro-industrial biomasses. *Bioresource Technology*, 101, 3780-3873.

Eriksson, O. 2010. *Environmental techonology assessment of natural gas compared to biogas*. Disponível em: <http://www.intechopen.com/> Acesso em 2 jun 2016.

Fabbri, A., Bonifazi, G., Serranti, S. 2015. Micro-scale energy valorization of grape marcs in winery production plants, *Waste Management*, 36, 156–165.

Fiore, S., Ruffino, B., Campo, G., Roati, C., Zanetti, M. C. 2016. Scale-up evaluation of the anaerobic digestion of food-processing industrial wastes. *Renewable Energy*. 96, 949-959.

Fonoll, X., Astals, S., Dosta, J., Mata-Alvarez, J. 2015. Anaerobic co-digestion of sewage sludge and fruit wastes: Evaluation of the transitory states when the co-substrate is changed. *Chemical Engineering Journal*, 262, 1268-1274.

Gunaseelan, V. N. 2004. Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks. *Biomass and Bioenergy*, 26, 389-399.

Kumar, S., Nimchuk, N., Kumar, R., Zietsman, J., Ramani, T., Spiegelman, C., Kenney, M. 2016. Specific Model for the Estimation of Methane Emission from Municipal Solid Waste Landfills in India. *Bioresource Technology*, 216, 981–987.

Martin-Gonzalez, L., Colturato, L. F., Font, X., Vicent, T. 2010. Anaerobic codigestion of the organic fraction of municipal solid waste with FOG waste from a sewage treatment plant: Recovering a wasted methane potential and enhancing the biogas yield. *Waste Management*, 30, 1854-1859.

Nanda, S., Isen, J., Dalai, A. K., & L Kozinski, J. A. 2016. Gasification of fruit wastes and agro-food residues in supercritical water. *Energy Conversion and Management*, 110, 296–30.

Pellera F., Gidarakos, E. 2016. Effect of substrate to inoculum ratio and inoculum type on the biochemical methane potential of solid agroindustrial waste. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(3), 3217–3229.

Piatek, M., Lisowski, A., Kasprycka, A., Lisowska, B. 2016. The dynamics of an anaerobic digestion of crop substrates with an unfavourable carbon to nitrogen ratio. *Bioresource Technology*, 216, 607–612.

Poulsen, T. G., Adelard, L. 2016. Improving biogas quality and methane yield via co-digestion of agricultural and urban biomass wastes. Waste Management, 54, 118-125.

Sanjaya, A. P., Cahyanto, M. N., Millati, R. 2016. Mesophilic batch anaerobic digestion from fruit fragments. *Renewable Energy*, 98, 135–141.

Scano, E. A., Asquer, C., Pistis, A., Ortu, L., Demontis, V., Cocco, D. 2014) Biogas from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Experimental results on pilot-scale and preliminary performance evaluation of a full-scale power plant. *Energy Conversion and Management*, 77, 22-30.

Su, H., Tan, F., Xu, Y. 2016. Enhancement of biogas and methanization of citrus waste via biodegradation pretreatment and subsequent optimized fermentation. *Fuel*, 181, 843-851.

Wu, Y., Wang, C., Liu, X., Ma, H., Wu, J., Zuo, J., Wang, K. 2016. A new method of two-phase anaerobic digestion for fruit and vegetable waste treatment. *Bioresource Technology*, 211, 16-23.

Zhang, L., Lee, Y., jahng, D. 2011. Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: Focusing on the role of trace elements. *Bioresource Technology*, 102, 5048-5059.

Zhao, C., Yan, H., Liu, H., Zhang, R., Chen, C., Liu, G. 2016. Bio-energy conversion performance, biodegradability, and kinetic analysis of different fruit residues during discontinuous anaerobic digestion. *Waste Management*, 52, 295-301.

Tratamento de efluente agroindustrial em reator UASB com valorização energética

Tatiane Mansano[1], Larissa Paulista[2], Rui Boaventura[3], Ramiro Martins[4]

1 ESTiG, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal. tatiane.cmansano@gmail.com

2 ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal. larissa-paulista@hotmail.com

3 LSRE-LCM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr Roberto Frias, 4200-456 Porto. bventura@fe.up.pt

4 DTQB da ESTiG Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal e LSRE-LCM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr Roberto Frias, 4200-456 Porto. rmartins@ipb.pt

Resumo

O acelerado crescimento da população traz consigo um aumento na geração de efluentes agroindustriais. A descarga inadequada desses efluentes afeta significativamente a qualidade dos recursos hídricos. Dessa forma, torna-se imperioso investir em processos de tratamento dos efluentes agroindustriais, em particular processos de baixo custo. Nesse contexto, o presente estudo compreende a concepção e construção de um reator UASB e otimização do tratamento por digestão anaeróbia do efluente bruto da produção de castanha pela empresa agroindustrial Sortegel. A eficiência do sistema foi avaliada mediante a determinação/monitorização dos parâmetros Carência Química de Oxigênio (CQO), Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO_5), Sólidos Suspensos Totais (SST), taxa de produção e qualidade (% de metano) do biogás. O reator foi alimentado durante 25 semanas e operado em condições mesofílicas (temperatura 30-40ºC). Foram testados diferentes valores para o tempo de retenção hidráulica (HRT) e caudal volumétrico (QV): 0,66 d (QV=1509 $L.m^{-3}.d^{-1}$); 1,33 d (QV=755 $L.m^{-3}.d^{-1}$); 2,41 d (QV=415 $L.m^{-3}.d^{-1}$). A eficiência média de remoção de CQO alcançou valores de 69%, 82% e 75%, respetivamente e, simultaneamente, a eficiência de remoção de CBO_5 associada foi de 84%, 91% e 70%. Relativamente ao teor de SST, os valores de remoção foram 78%, 94% e 63%. A taxa de produção de metano situou-se entre 2500 e 4800 $L.CH_4.kg^{-1}$ CQO removido d^{-1}. Para o conjunto dos tempos de retenção hidráulico testados, foram registadas elevadas concentrações de metano no biogás gerado: 66 - 75%, 70% e 75% para HRT de 0,66, 1,33 e 2,41 dias, respetivamente.

Palavras-chave: Biogás, Digestão Anaeróbia, Efluente Agroindustrial, Metano, Reator UASB.

Treatment of an agro-industrial effluent in UASB reactor with energy recovery

Abstract

The accelerated growth of the population brings with it an increase in the generation of agro-industrial effluents. The inadequate discharge of these effluents significantly affects the quality of water resources. In this way, it becomes important to invest in treatment processes for agro-industrial effluents, particularly low-cost ones. In this context, the present study includes the design and construction of a UASB reactor and optimization of the anaerobic digestion treatment of the raw effluent from chestnut production in the agro-industrial company Sortegel. The efficiency of the system was evaluated through the determination / monitoring of Oxygen Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD_5), Total Suspended Solids (TSS), biogas production rate and quality (% methane). The reactor was fed for 25 weeks and operated under mesophilic conditions (temperature 30-40 °C). Different values were tested for the hydraulic retention time (HRT) and volumetric flow rate –(QV): 0.66 days (QV=1509 $L.m^{-3}.d^{-1}$); 1.33 days (QV=755 $L.m^{-3}.d^{-1}$); 2.41 d days (QV=415 $L.m^{-3}.d^{-1}$). The average COD removal efficiency reached values of 69%, 82% and 75%, respectively, and simultaneously the associated CBO_5 removal efficiency was 84%, 91% and 70%. As regards

TSS, removal values were 78%, 94% and 63%. In addition, high methane production rates were obtained, between 2500 and 4800 L $CH_4.kg^{-1}$ COD removed.d^{-1}. For all the hydraulic retention times tested, high concentrations of methane in the biogas were recorded: 66-75%, 70% and 75% for HRT of 0.66, 1.33 and 2.41 days, respectively.

Keywords: Biogas, Anaerobic Digestion, Agro-industrial Effluent, Methane, UASB reactor.

1. Introdução

Por muitos anos a castanha foi utilizada como um recurso para a sobrevivência na Ásia, Europa do Sul e Norte da África. Atualmente a produção de castanhas na Europa e Ocidente não é mais uma fonte de subsistência, mas continua a desempenhar um papel importante na alimentação, obtenção de madeira e valorização da paisagem. Portugal foi o terceiro maior produtor de castanha na Europa (UE 28) e o sétimo a nível mundial em 2013, com uma produção anual de 24700 t, sendo o norte do País responsável por 84% da produção (Rosa *et al*., 2015).

A produção industrial de castanha origina efluentes líquidos e seu descarte inadequado tem como uma das consequências a diminuição da qualidade de água potável para áreas urbanas (Sun *et al.*, 2016). Dessa forma, torna-se necessário haver intervenções das entidades governamentais, através de normas, políticas nacionais do ambiente e coimas aplicadas pelo não cumprimento das leis (Fernandes e Oliveira, 2006). Neste âmbito, torna-se imprescindível para a sobrevivência no mercado, a implementação de meios de tratamento convencionais dos efluentes, com custos mínimos que, garantindo a qualidade e comercialização do produto, combinem a depuração dos efluentes com a produção de energia renovável (Lasing *et al.*, 2008).

A digestão anaeróbia vem sendo implantada como uma alternativa adequada, muito eficiente e de baixo custo (Vieira e Alexandre, 2014). Esta tecnologia é muito utilizada no processo de tratamento de águas residuais, onde, em condições anaeróbias e mesofílicas, os microrganismos anaeróbios convertem a matéria orgânica em um material mais estabilizado gerando como coproduto o biogás que pode ser utilizado para a geração de energia elétrica e energia térmica (Szarblewski *et al.*, 2012; Chen *et al.,* 2015). Este tratamento pode ser realizado utilizando um reator de leito de lama de fluxo ascendente (UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), que mantém um leito de lama com maior concentração de biomassa no fundo, melhorando a eficiência do processo (Batstone e Jansen, 2015).

Neste projeto, foi avaliada, por meio de um reator UASB à escala laboratorial, a eficiência de tratamento do efluente da empresa agroindustrial Sortegel, através da monitorização da Carência Química de Oxigênio (CQO), Carência Bioquímica de Oxigênio ao fim de cinco dias a 20ºC (CBO_5) e Sólidos Suspensos Totais (SST), e ainda da determinação da qualidade (% de metano) e taxa de produção de biogás.

2. Materiais e Métodos

O reator utilizado foi do tipo UASB em "Y", construído a partir de tubos de PVC com diâmetro de 10 cm e um volume útil de 16 litros. Como inóculo (fonte de biomassa) foi utilizada lama proveniente do digestor anaeróbio da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de Bragança – Portugal, que ocupou 6,2 L (39% do volume útil).

Conforme se pode ver na Figura 1, a entrada do substrato acontece no ponto 1 através de uma bomba peristáltica (WATSON 120S), sendo a alimentação feita em regime semi-contínuo, com o tempo de funcionamento da bomba controlado por um temporizador. Após o escoamento ascendente, a corrente líquida, já estabilizada, passa pelo separador trifásico e sai pela tubagem inclinada (ponto 5). O biogás gerado é coletado no ponto 4, quantificado através de um dispositivo de polietileno, em forma de "H", que mede através de impulsos elétricos o volume produzido, sendo a concentração de CH_4 medida por um sensor de metano (*BlueSens,* $BCS_{CH4,biogás}$). O reator está revestido por uma mangueira em forma de serpentina, por onde circula água quente de modo a

manter a temperatura dentro do reator entre 30 e 40ºC. A temperatura interna é monitorada através de dois termopares (marca Multi) localizados no ponto 3 e entre os pontos 1 e 2.

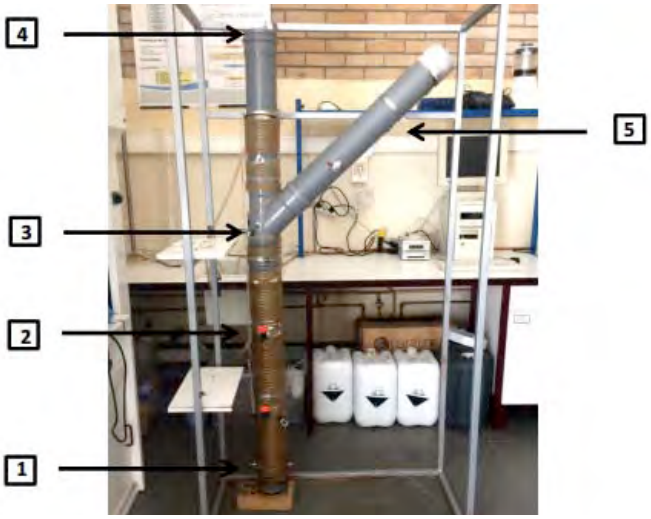


Figura 1: Reator UASB tipo "Y".

O reator foi alimentado com efluente agroindustrial durante 25 semanas e operado em condições mesofílicas (temperatura 30-40ºC). Foram testados diferentes valores para o tempo de retenção hidráulica (TRH) (ou caudal volumétrico - QV): 2,41 d (QV=415 $L.m^{-3}_{reator}.d^{-1}$) – semanas 1 a 16; 1,33 d (QV=755 $L.m^{-3}_{reator}.d^{-1}$) – semanas 17 a 23; 0,66 d (QV=1509 $L.m^{-3}_{reator}.d^{-1}$) – semanas 24 a 25. A frequência das análises para o controlo dos parâmetros físico-químicos e os métodos analíticos utilizados para a determinação desses parâmetros são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros monitorados e frequência de amostragem.

Parâmetro	Frequência de Amostragem			Método analítico
	Entrada do Reator	Reator	Saída do Reator	
pH	Diário	Diário	Diário	4500 H^{+}B (APHA, 2012)
Temperatura	Diário	Diário	Diário	-
Sólidos Totais (ST)	Semanal	Mensal	-	2540 B (APHA, 2012)
Sólidos Fixos (SF)	Semanal	Mensal	-	2540 E (APHA, 2012)
Sólidos Voláteis (SV)	Semanal	Mensal	-	2540 E (APHA, 2012)
Sólidos Suspensos Totais (SST)	Semanal	-	Semanal	2540 D (APHA, 2012)
Alcalinidade	Semanal	Semanal	Semanal	2330 B (APHA, 2012)
Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO_5)	Semanal	-	Semanal	5210 B (APHA, 2012)
Carência Química de Oxigênio (CQO)	Semanal	-	Semanal	5220 C (APHA, 2012)
Ácidos Gordos Voláteis (AGV)	Semanal	Semanal	Semanal	Buchauer, 1998

3. Resultados e Discussão

O pH ótimo para o crescimento microbiano deve estar na faixa de 6,5 a 8,2 (Maria, 2015), fato observado dentro do reator UASB na maior parte do tempo de operação, em que o pH variou de 5,6 a 8,0. Na alimentação o pH variou entre 4,9 a 8,1, valor usual para a generalidade dos efluentes industriais (Bustillo-Lecompte e Mahrab Mehrvar, 2015). A alcalinidade interfere diretamente no pH pois proporciona o efeito tampão quando há produção de ácidos na digestão anaeróbia, pelo que é

necessário mantê-la entre 2000 a 5000 mg.L^{-1} de $CaCO_3$ (Linville *et al.*, 2016). Para compensar a baixa alcalinidade e pH ácido do substrato foi adicionado bicarbonato de sódio na alimentação.

Outro parâmetro monitorado foi a concentração de ácidos gordos voláteis (AGV) que podem inibir o potencial de degradação da biomassa quando o seu valor excede 1500 mg.L^{-1} (García-Sandoval *et al.*, 2016). Valores entre 1200-9900 mg.L^{-1} podem inibir parcialmente a fase metanogênica e valores acima de 5800 mg.L^{-1} provocam inibição total (Shi *et al.*, 2016). Tanto os valores analisados na entrada como à saída e dentro do reator não excederam os 300 mg.L^{-1}. Além disso, o acompanhamento diário de temperatura dentro do reator mostrou que o sistema de aquecimento permitiu manter a temperatura entre 15 e 45ºC, na maior parte do tempo dentro da gama mesofílica.

Para os diferentes tempos de retenção hidráulica (HRT), 0,66 d (QV=1509 L.m^{-3}.d^{-1}), 1,33 d (QV=755 L.m^{-3}.d^{-1}) e 2,41 d (QV=415 L.m^{-3}.d^{-1}), foram obtidas remoções médias de CQO de 69% (gama 50% - 70%), 82% (gama 65% - 97%) e 75% (gama 60% - 88%), respetivamente (Figura 2). Verifica-se que se trata de um resultado satisfatório ao comparar com o trabalho realizado por Khan *et al.* (2011) em que num estudo em diversos países utilizando o reator UASB foram obtidas remoções de CQO entre 50 a 90%. Além disso, foram registados valores da CQO inferiores a 150 mg.L^{-1} entre a 5ª e 13ª semana (com QV de 416 L.m^{-3}.d^{-1}), cumprindo-se o estipulado no Decreto-lei nº 236/98 para a descarga de águas residuais industriais.

Além disso, foram obtidas percentagens médias de remoção de CBO_5, para os valores de HRT de 0,66 d, 1,33 d e 2,41 d, de 84% (75 a 93%), 91% (76 a 96%) e 70% (55 a 97%), respetivamente (Figura 2). Na alimentação, a CBO_5 variou de 60 a 1850 mg O_2.L^{-1} e na saída entre 6 a 832 mg O_2.L^{-1}. Entre a 5ª e 13ª semana (QV = 415 L.m^{-3}.d^{-1}) registaram-se valores entre 100-150 mg O_2.L^{-1}. Nesse período, quer a CBO_5, quer a concentração de SST no efluente clarificado, mostraram a necessidade de um pós-tratamento para cumprir os limites de descarga no meio hídrico.

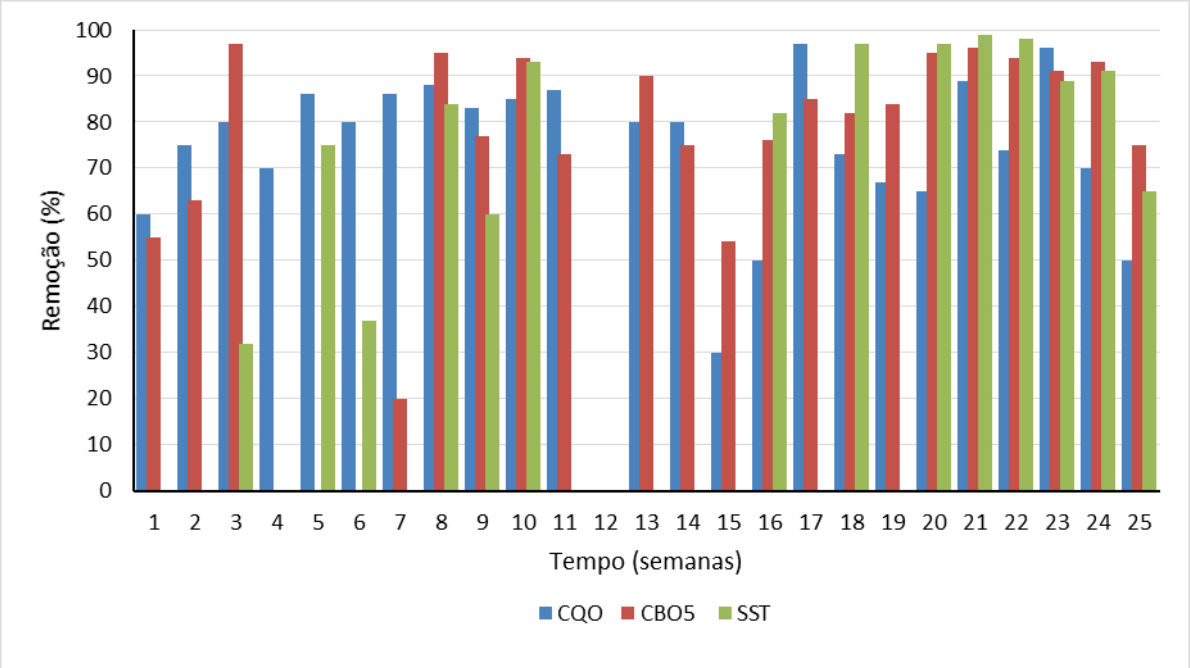


Figura 2: Percentagens de remoção de CQO, CBO e SST para cada semana analisada.

Segundo a Tabela 2 percebe-se que as remoções de CQO e CBO_5 foram similares a valores encontrados na literatura. Relativamente ao teor de SST, foi superior a valores encontrados na literatura para outros tipos de efluentes. Além disso, as remoções de SST, CQO e CBO_5 foram maiores

para uma carga orgânica volumétrica (COV) de 1,64 Kg CQO.m^{-3}.d^{-1} e notou-se um melhor desempenho do reator para TRH = 1,33 d (QV=755 L.m^{-3}.d^{-1}).

Tabela 2: Resultados da literatura e obtidos neste estudo para a remoção de CQO, CBO_5 e SST.

Efluente	COV (kg CQO. m^{-3}.d^{-1})	CQO (% rem.)	CBO_5 (% rem.)	SST (% rem.)	Referências
Efluente doméstico	0,9	-	53	46	Halalsheh *et al.* (2005)
Efluente doméstico	2,3	57	64	64	Moawad *et al.* (2009)
Águas residuais domésticas e laticínios	3,4	69	79	72	Tawfik *et al.* (2008)
Águas residuais sintéticas	4,0	90-92	94-96	-	Singh *et al.* (1996)
Efluente doméstico	7,8	70	-	74	Moharram *et al.* (2016)
Efluente doméstico	10,4	39	-	34	Moharram *et al.* (2016)
Efluente agroindústrial (valores médios)	0,59	75	73	66	Neste estudo
	1,64	80	90	96	
	7,85	60	84	78	

Em relação ao teor de ST foram observados valores mínimos de 316 mg.L^{-1} e 719 mg.L^{-1} e valores máximos foram 3107 mg.L^{-1} e 1738 mg.L^{-1} na alimentação e dentro do reator, respetivamente. Em estudos realizados por Al-Jamal e Mahmound (2009), ao tratarem águas resíduais domésticas num reator UASB, as amostras apresentaram valores de ST superiores, na gama de 53,9 a 66,9 g.L^{-1}.

A relação SV/ST indica indiretamente a concentração de biomassa no reator, sendo um valor mínimo de 0,67 considerado adequado para um bom desempenho do sistema (Al-Jamal e Mahmound, 2009). Ao estudar o tratamento de efluente doméstico combinado com o efluente de uma indústria de laticínios, utilizando um reator UASB, Tawfik *et al.* (2008) obtiveram para SV/ST valores da ordem de 0,66. Pela Figura 3 pode-se observar que entre o 3º e o 4º mês a relação situa-se perto do valor 0,67, o que significa um bom desempenho do reator. Esse bom desempenho é, aliás, confirmado pelos valores médios de remoção de CQO e a CBO_5, 82% e 91%, respetivamente, obtidos nesse período (Figura 2).

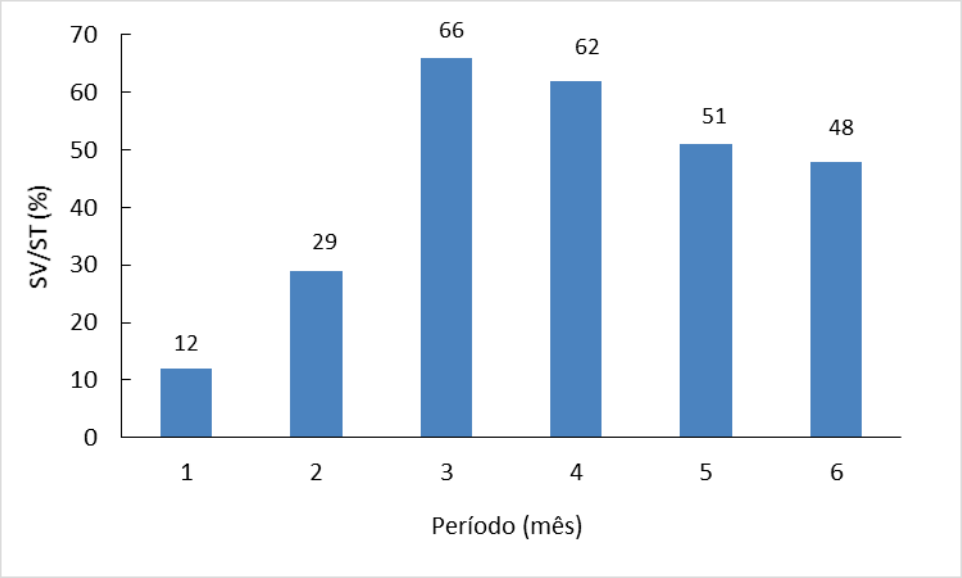


Figura 3: Relação SV/ST no interior do reator UASB.

Na Figura 4 pode observar-se que a produção de biogás chegou a atingir cerca de 4700 $L.kg^{-1}.CQO_{alimentação}.d^{-1}$, enquanto a produção máxima de metano foi de cerca de 2400 $L.kg^{-1}:CQO_{alimentação}.d^{-1}$ (valores obtidos na semana 19). A Figura 5 mostra a produção acumulada de biogás e metano. As concentrações médias de metano no biogás gerado foram ao longo do estudo as seguintes: 33%, 58% e 65% para TRH de 0,66, 1,33 e 2,41 d, respetivamente. Durante determinados períodos, porém, a percentagem de CH_4 no biogás chegou a atingir valores entre 70 e 80%. Para sistemas de cogeração o teor de metano no biogás não pode ser inferior a 40-45%, pois teores baixos impedem a operação dos motores (Probiogás, 2010). Devido ao fato das características do substrato não serem constantes ao longo do tempo, percebe-se que há algumas quedas na percentagem de metano, o que poderia comprometer o sistema.

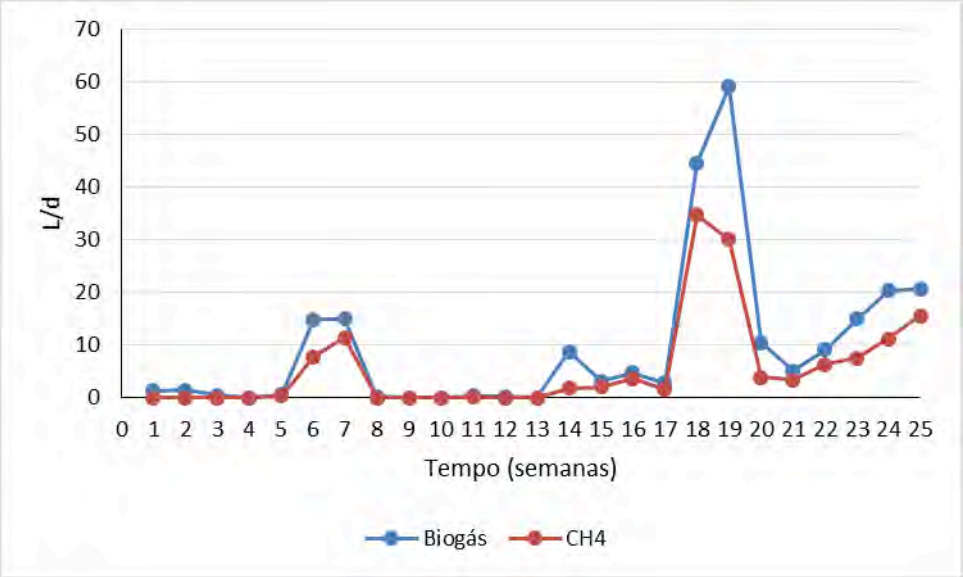


Figura 4: Produção de biogás e metano.

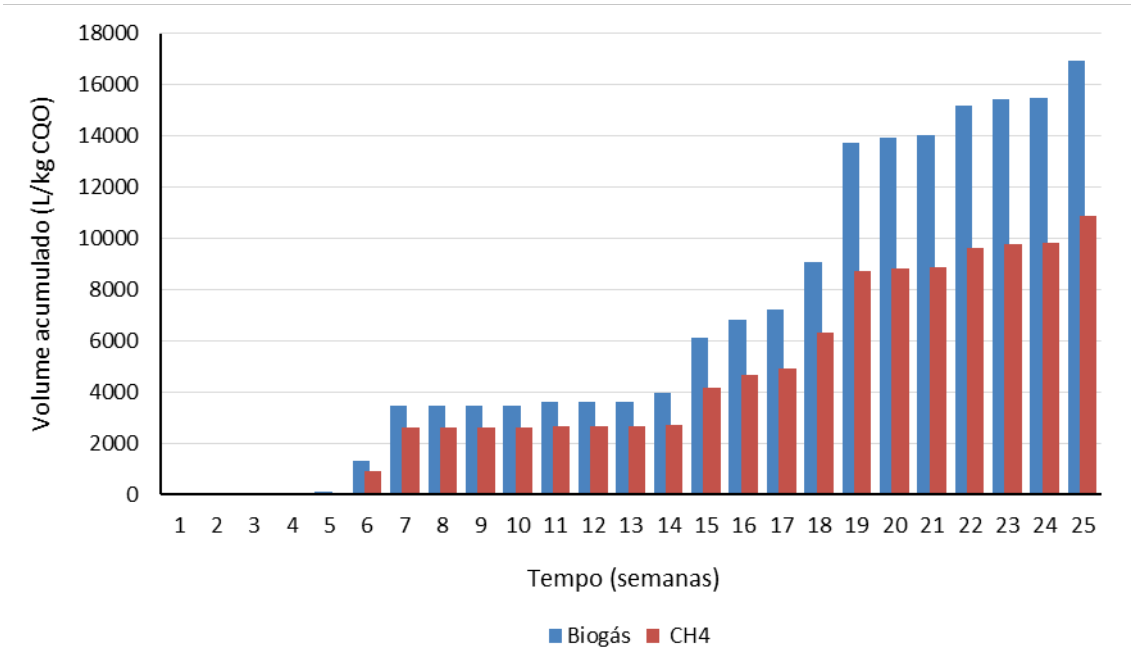


Figura 5: Produção acumulada de biogás e metano.

Na Figura 6 pode observar-se a relação entre biogás e metano produzido e a CQO removida no reator. Durante todo o estudo as produções médias diárias foram de 0,47 e 0,33 $L.kg^{-1}$ de CQO removida para biogás e metano, respetivamente. Os valores são relativamente baixos mas admite-se que tal possa ser devido à elevada variabilidade da composição do efluente industrial (a CQO variou entre 80 e 10000 $mgO_2.L^{-1}$)

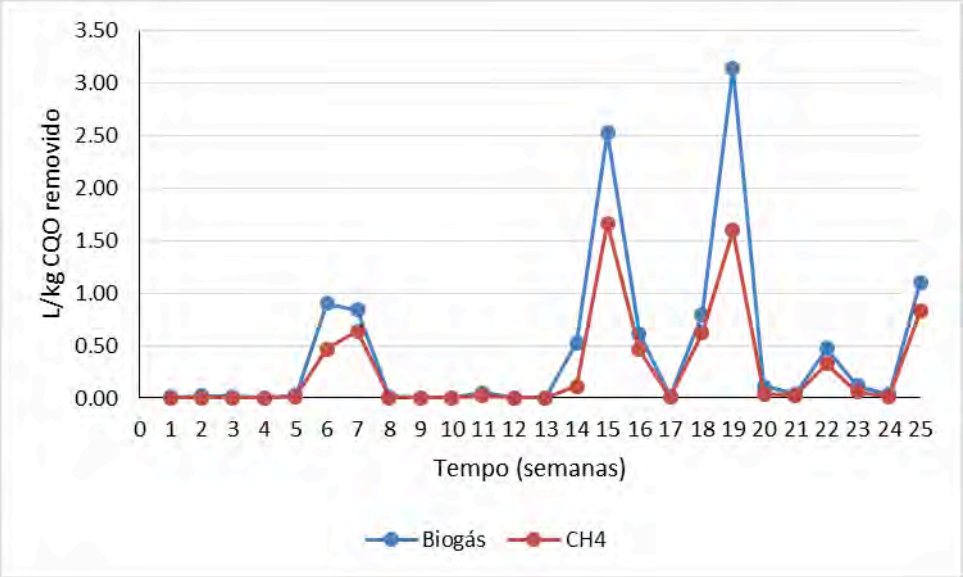


Figura 6: Produção diária de biogás e metano relativamente à CQO removida.

A produção máxima de biogás e metano foi, respetivamente, de 59 e 30-35 $L.d^{-1}$ (para QV = 755 $L.m^{-3}_{reator}.d^{-1}$), a que correspondem 3,1 e 1,7 $L.kg^{-1}$ CQO removida.

.

4. Conclusões

O reator UASB pode ser usado no tratamento primário de um efluente agroindustrial de produção de castanha, obtendo-se valores muito satisfatórios de remoção de CQO, CBO5 e SST para caudais volumétricos de 415 a 1509 $L.m^{-3}.d^{-1}$. Conseguiu-se ainda uma valorização energética do efluente, associada à produção de metano registada durante largos períodos de operação, chegando a atingir cerca 35 $L.d^{-1}$.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Projeto POCI-01-0145-FEDER-006984 - Laboratório Associado LSRE/LCM - financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.

Bibliografia

Al-Jamal, W., & Mahmoud, N. 2009. Community onsite treatment of cold strong sewage in a UASB-septic tank. *Bioresource Technology*, 100, 1061-1068.

Bustillo-Lecompte e Mahrab Mehrvar. 2015. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances, *Journal of Environmental Management* 161, 287-302.

APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater 2012. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th Edition, Washington.

Batstone, D., & Jensen, P. 2015. Anaerobic Processes. *Water-quality Engineering*, 4, 615-639.

Buchauer, K. 1998. A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to wastewater and sludge treatment processes. *Water* S. A, 24(1), 49-56.

Chen, Y., He, J., Mu, Y., Huo, Y.-C., Zhang, Z., Kotsopoulos, T. A., et al. 2015. Mathematical modeling of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors: Simultaneous accounting for hydrodynamics and bio-dynamics. *Chemical Engineering Science*, 137, 677-684.

Decreto-Lei n° 236/98. 1998. *Diário da República*, 3676-3722

Fernandes, G. F., & Oliveira, R. A. 2006. Desempenho e processo anaeróbio em dois estágios (Reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinicultura. *Engenharia Agrícola*, 26, 243-256.

García-Sandoval, J. P., Méndez-Acosta, H. O., González-Alvarez, V., Schaum, A., & Alvarez, J. 2016. *VFA robust control of an anaerobic digestion pilot plant: experimental implementation*. IFAC-Papers online, 49 (7), 973-977.

Halalsheh, M., Sawajneh, Z., Zu'bi, M., Zeeman, G., Lier, J., Fayyad, M., et al. 2005. Treatment of strong domestic sewage in a 96 m3 UASB reactor operated at ambient temperatures: two-stage versus single-stage reactor. *Bioresource Technology*, 96, 577-585.

Khan, A. A., Gaur, R. Z., Tyagi, V., Khursheed, A., & Lew, B. 2011. Sustainable options of post treatment of UASB effluent treating sewage: A review. *Resources, Conservation and Recycling, 55*, 1232-1251.

Lansing, S., Botero, R. B., & Martin, J. F. 2008. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology*, 99, 5881-5890.

Linville, J. L., Shen, Y., Schoene, R. P., Nguyen, M., & Urgun-Demirtas, M. 2016. Impact of trace element additives on anaerobic digestion of sewage sludge with in-situ carbon dioxide sequestration. *Process Biochemistry*, 51, 1283-1289.

Maria, J. S. 2015. Tratamento Anaeróbio do Efluente da Indústria de Lacticínios usando um Reactor UASB. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade Agostinho Neto, Luanda, Angola.

Moawad, A., Mahmoud, U., El-Khateeb, M., & El-Molla, E. 2009. Coupling of sequencing batch reactor and UASB reactor for domestic wastewater treatment. *Desalination*, 242, 325-335.

Moharram, M., Abdelhalim, H., & Rozaik, E. 2015. Anaerobic up flow fluidized bed reactor performance as a primary treatment unit in domestic wastewater treatment. *HBRC Journal*, 12(1), 99–105.

Probiogás. 2010. *Guia prático do Biogás: Geração e Utilização*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).

Rosa, D., Figueiredo, F., Castanheira, É., Feliciano, M., Maia, F., Santos, J., Silva, A.P., Trindade, H. & Freire, F. 2015. Life-Cycle greenhouse gas assessment of Portuguese chestnut. Conference on Energy for Sustainability 2015-Sustainable Cities: Designing for People and the Planet, May 14-15, Coimbra, Portugal.

Shi, X., Lin, J., Zuo, J., P. L., Li, X. & Guo, X. 2016. Effects of free ammonia on volatile fatty acid accumulation and process performance in the anaerobic digestion of two typical bio-wastes. *Journal of Environmental Sciences* (online 31 julho 2016).

Singh, K. S., Harada, H. & Viraraghavan, T. 1996. Low-strength wastewater treatment by a UASB reactor. *Bioresource Technology*, 55, 187-194.

Sun, Y., Chen, Z., Wu, G., Wu, Q., Zhang, F., & Niu, Z. 2016. Characteristics of water quality of municipal wastewater treatment plants in China: Implications for resources utilization and management. *Journal of Cleaner Production*, 131, 1–9.

Szarblewski, M. d., Schneider, R. d., & Machado, E. L. 2012. Métodos para a remoção de sulfeto de hidrogênio de efluentes. *Revista Jovens pesquisadores*, 62-74.

Tawfik, A., Sobhey, M., & Badawy, M. 2008. Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system). *Desalination*, 227, 167-177.

Vieira, G. E., & Alexandre, G. P. 2014. Tratamento, caracterização e obtenção de bio-óleo combustível a partir da pirólise termocatalítica de lodo de esgoto doméstico. *Revista Liberato*, 14, 01-104.

Efecto del riego deficitario con agua regenerada en el uso de energía y emisión de gases de efecto invernadero de un huerto de pomelo

José Francisco Maestre Valero[1], Bernardo Martin Gorriz[2], Emilio Nicolás Nicolás[3], Victoriano Martínez Alvarez[4]

[1]Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena, España. josef.maestre@upct.es

[2]Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena, España. b.martin@upct.es

[3]Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), Campus Universitario de Espinardo, 30100, Murcia, España. emilio@cebas.csic.es

[4]Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena, España. victoriano.martinez@upct.es

Resumen

La actividad agrícola aporta beneficios socio-económicos importantes, sin embargo requiere consumos energéticos elevados que generan problemas medioambientales por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para mantener la actividad agrícola frente a la escasez de agua, los agricultores utilizan, cada vez más, recursos hídricos no convencionales como las aguas regeneradas (AR) y técnicas como el riego deficitario controlado (RDC). En este contexto, este estudio cuantifica el consumo y producción de energía y las emisiones de GEI de un huerto de pomelo bajo la implementación de dos regímenes de riego y el uso alternativo del AR. Además, incluye la novedad de realizar los análisis considerando cuatro etapas del desarrollo del cultivo. La evaluación energética y de emisiones de GEI se realizó en base a un inventario de inputs de la parcela y sus correspondientes factores de conversión energéticos y de GEI. Los resultados indican que, para incrementar la eficiencia energética del huerto y reducir las emisiones de GEI será necesario reducir los consumos de energía asociados al transporte del agua hasta la parcela y a la fabricación y transporte de fertilizantes. Además, muestran que el uso de AR y/o estrategias de RDC no tienen efecto en la productividad energética y en las emisiones específicas de GEI, independientemente de la etapa de la plantación analizada.

Palabras clave: Recursos hídricos no convencionales; ahorro de agua; cambio climático; energía y GEI específicos

Effect of deficit irrigation with reclaimed water on energy use and greenhouse gas emissions of a grapefruit orchard

Abstract

Agricultural activity brings important socio-economic benefits, however it requires high-energy consumption, which in turn generates environmental problems by emissions of greenhouse gases (GHG). To maintain agricultural activity in the face of extant water shortages, farmers are increasingly using non-conventional water resources such as reclaimed water (RW) and implement water conservation techniques such as regulated deficit irrigation (RDI). In this context, this study quantifies the consumption and energy production and GHG emissions of a grapefruit orchard under the implementation of two irrigation regimes and the alternative use of RW. In addition, it includes the novelty of performing the analyses considering four different stages of crop development. The energy and GHG emissions assessment was performed for each treatment based on an inventory of inputs of the selected plot and their corresponding energy conversion and GHG factors. The results indicate that, in order to increase the energy efficiency of the orchard and reduce GHG emissions, it will be necessary to reduce the energy consumption associated with the transportation of water to the plot and the manufacture and transport of fertilizers. In addition, results show that for this grapefruit orchard and for the trial period, the use of RW and/or RDI strategies do not have any significant effect on energy productivity and specific GHG emissions, regardless the stage of crop lifecycle analyzed.

Keywords: Non-conventional water resources; water saving; climate change; specific energy a GHG.

1. Introducción

La Cuenca del Segura es una región eminentemente agrícola que se enfrenta a una escasez crónica de recursos hídricos. Aún sometida a esta limitada disponibilidad hídrica, los agricultores desarrollan una de las agriculturas más productivas del país. Para ello, cada vez es más frecuente el uso de recursos hídricos no convencionales, como las aguas regeneradas (AR) procedentes de estaciones de depuración, y la implementación de estrategias de riego deficitario controlado (RDC), que permiten alcanzar ahorros significativos de agua sin afectar de forma notable los rendimientos de los cultivos (Maestre-Valero et al. 2016). Las prácticas agrícolas de la región suponen beneficios socio-económicos importantes, sin embargo requieren consumos energéticos elevados, que a su vez generan problemas medioambientales por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Rathke and Diepenbrock, 2006; Zaheli et al. 2015). En este sentido, los análisis energéticos y de emisiones representan una valiosa herramienta que permite comparar diferentes sistemas de producción evaluando la eficiencia del uso de la energía, los efectos ambientales y sus relaciones con la sostenibilidad (Khoshnevisan et al. 2014).

La mayoría de estudios energéticos analizan el balance energético y las emisiones de GEI de un sistema productivo basados en un escenario general, sin tener en cuenta el efecto de otras variables que pueden afectar el análisis como la implementación de técnicas de conservación de agua o la utilización de agua no convencional para el riego y sin realizar estos análisis en las diferentes etapas del ciclo de vida del cultivo. En este sentido este estudio cuantifica para un huerto de pomelo el balance de energía y las emisiones de GEI de la implementación de varios regímenes de riego, riego para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo y RDC y el uso del AR como recurso hídrico alternativo. Este estudio incluye además la novedad de analizar los consumos de energía y las emisiones de GEI considerando cuatro etapas diferentes del desarrollo del cultivo.

2. Materiales y métodos

Etapas del cultivo y casos de estudio

La evaluación se realizó entre 2004 y 2014 considerando las siguientes etapas del cultivo: (i) establecimiento de la plantación en 2004, (ii) etapa improductiva de árboles juveniles entre 2005 y 2007, (iii) etapa productiva de árboles jóvenes entre 2008 y 2010 y (iv) etapa de árboles adultos entre 2011 y 2014.

Para el análisis se consideraron 4 casos de estudio que consistieron en combinar 2 tipos diferentes de agua; i.e. agua procedente del transvase Tajo-Segura (AT) con una conductividad eléctrica (CE) de 1dS/m y agua regenerada procedente de una estación de depuración, mezclada al 37% con AT para obtener una CE ≈ 3 dS/m, y 2 estrategias de riego; i.e. riego para satisfacer el 100% de los requerimientos hídricos del cultivo y RDC que aportó el 100% de los requerimientos del cultivo excepto durante un periodo de 55-65 días entre finales de junio y mediados de septiembre donde sólo se aportó el 50%. El riego con AR y las estrategias de RDC comenzaron a aplicarse desde 2008.

Descripción de la parcela e inventario de datos

Para el análisis de inputs y outputs se seleccionó un huerto comercial de 0.5 ha de pomelo Var. ´Star Ruby´ localizado en Campotéjar – Murcia. Los árboles se plantaron en 2004 sobre patrón Macrophylla con un marco de plantación de 6m x 4m. El diseño experimental consistió en cuatro bloques y cuatro parcelas experimentales por bloque. Cada parcela estaba formada por doce árboles, organizados en tres filas adyacentes con cuatro árboles por fila. Nótese que tanto el inventario de datos de entrada como los resultados del estudio se presentan para las unidades funcionales 1 ha y 1 kg de pomelo.

Tabla 1. Inventario de inputs y outputs involucrados en el balance energético y análisis de emisiones de gases de efecto invernadero para 1 ha de producción de pomelo.

	Unid/ha	2004	2005 2007	2008-2010 AT	AT RDC	AR	AR RDC	2011-2014 AT	AT RDC	AR	AR RDC
A. Entradas											
A.1. Entradas dir.											
A.1.1. Labor hum.	h	120	194		305*				454		
A.1.2. Diesel	l	542	29		59				98		
A.1.3. Elect. riego	kW·h	-	255	543	472	525	457	1006	871	974	843
A.1.4. Elect. trans	kW·h	-	1276	2716	2360	2628	2284	5032	4356	4870	4216
Total electricidad		-	1532	3259	2832	3154	2741	6038	5228	5844	5059
A.2. Entradas ind.											
A.2. 1. Fertilizant.	kg										
N		-	99		153				253		
P_2O_5		-	50		76				115		
K_2O		-	71		110				171		
A.2. 2. Pesticidas	kg										
Fungicidas		-	2		3				4		
Insecticidas		-	1		2				3		
A.2. 3. Plantones	units	417									
A.2. 4. Maquinaria	h										
Total maquinaria		69	7		14				23		
A.2. 5. Agua riego	m^3	-	1502	3195	2777	3195	2777	5920	5125	5920	5125
A.2. 6. Sist. riego											
Cabezal	kg	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tubería PE	m	1700	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tubería PVC	m	145	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emisores	m	1251	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lámina balsa	m^2	3300	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Movim. Tier balsa	m^3	11600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Movim. Tier zanjas	m	145	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. Salidas				-	-	-	-	-	-	-	-
B.1. Rendimiento	kg	-	3475	28615	26592	25544	23331	76860	71399	74825	65569
C. Otros											
C.1. Produc. agua	Kg/m^3	-	3,0	9,2	10,4	8,6	8,7	13,0	13,9	12,8	12,8

* Un valor mostrado solo en una línea dentro de una etapa del ciclo de vida del cultivo significa que es igual para todos los tratamientos.

El sistema de riego consistió en un cabezal compuesto de una estación de bombeo con equipo de filtrado y fertirrigación. El agua se transportó hasta la parcela mediante una tubería terciaria de PVC de 145 m y se distribuyó en parcela mediante 17 laterales de polietileno de 100 m. Se instalaron 3 emisores de riego autocompensantes de 4L/h en cada árbol. Se consideró además la construcción de una balsa de riego impermeabilizada de 10.000 m3 de capacidad.

Los volúmenes de agua de riego (ETc) se determinaron a partir de la evapotranspiración de referencia (ET0) calculada mediante la metodología propuesta por Penman-Monteith (Allen et al. 1998) y coeficientes de cultivo (Kc) mensuales propuestos en Castel et al. (1987). En las etapas de árboles juveniles y jóvenes, se utilizaron coeficientes reductores (Kr) de ETc de 0.50 y 0.75, respectivamente.

Todos los tratamientos recibieron la misma cantidad de fertilizantes que se aplicaron mediante fertirrigación en el riego localizado. En 2005, las cantidades de fertilizantes fueron 89-45-64 kg/ha/año (N–P2O5–K2O). Estos valores se incrementaron cada año un 15% hasta alcanzar la etapa de árbol adulto. El control de plagas y la poda se realizaron de acuerdo a las prácticas realizadas por los productores de la zona.

Para los 4 tratamientos de riego (AT, AT-RDC, AR, AR-RDC), la electricidad se determinó considerando la energía consumida en el transporte del agua desde el origen hasta la parcela más la energía utilizada para riego en la finca. En el caso del AT, la energía especifica fue 1,02 kW·h/m3, mientras que en el caso del AR la energía especifica fue 0,98 kW·h/m3.

La maquinaria se consideró teniendo en cuenta el peso y el tiempo de uso de los tractores y aperos utilizados en la labores de la parcela. El consumo de diésel se determinó considerando los consumos de la maquinaria utilizada en la parcela y su tiempo de aplicación.

El tiempo de dedicación para labores humanas se determinó teniendo en cuenta la duración de cada una de las actividades manuales en el huerto.

Finalmente, el rendimiento del huerto se calculó mediante los registros de producción de los 2 árboles centrales "árboles interiores" de la fila central en cada repetición; i.e. 8 árboles por tratamiento. Los restantes diez árboles en cada parcela fueron árboles guarda a fin de eliminar los posibles efectos de borde.

Análisis de energía y GEI

El balance de energía y las emisiones de GEI se calcularon anualmente entre 2004 a 2014 a partir de los insumos agrícolas detallados en la tabla 1 y aplicando las equivalencias energéticas y de GEI compiladas en las tablas 2 y 3, respectivamente.

Con el objeto de facilitar la comparación de resultados entre los tratamientos se determinaron los siguientes indicadores: (i) eficiencia energética (adimensional), también denominada relación de energía (RE), como la relación entre la producción de energía (MJ/ha) y la entrada de energía (MJ/ha), (ii) productividad energética (PE, kg/MJ) como el rendimiento (kg/ha) dividido por la energía total utilizada (MJ/ha) y (iii) emisiones específicas de GEI calculadas como el ratio entre emisiones de gases de efecto invernadero (kgCO2eq/ha) y el rendimiento (kg/ha).

Tabla 2. Equivalencias energéticas de entradas y salidas del sistema.

	Unidad	**Energía equivalente (MJ unit^{-1})**	**Referencia**
A. Entrada energía directa			
Labor humana	h	2,2	Fluck (1992)
Diesel	l	38,68	Bowers (1992)
Electricidad	kW·h	12,1	Guzmán and Alonso (2008)
B. Entrada energía indirecta			
Maquinaria	kg	95,57	Bowers (1992)
Fertilizantes			
N	kg	76,5	
P_2O_5	kg	15,9	Helsel (1992)
K_2O	kg	12,7	
Pesticidas			
Fungicidas	kg	199	Helsel (1992)
Insecticidas	kg	92	
Plantones	unit	9	Heichel (1980)
Sistema de riego			
Cabezal	kg	44,4	
Tuberías PE	kg	336	
Tuberías PVC	kg	98	Batty and Keller (1980)
Lámina balsa	kg	8,5	
Movim. tierra zanjas	m	0,375	
Movim. tierra balsa	m^3	25,4	ELCD (2009)
C. Salida			
Pomelo	kg	1,5	BEDCA (2017)

Tabla 3. Factores de emisión de GEI

	Gas	Unidad	Factor de emisión	Referencia
A. Emisiones de gases de efecto invernadero debidas al uso de combustible y electricidad				
Electricidad		kg CO_{2eq} kW·h^{-1}	0,21	Iberdrola (2017)
Diesel	CO_2	kg CO_{2eq} MJ^{-1}	74,1 x 10^{-3}	
	CH_4	kg CO_{2eq} MJ^{-1}	21 x 10^{-5}	IPCC (2006)
	NO_2	kg CO_{2eq} MJ^{-1}	19 x 10^{-5}	
B. Emisiones de GEI debido a la producción, transporte, almacenamiento y transferencia de productos químicos agrícolas				
Fertilizantes				
N	CO_2	kg CO_{2eq} kg^{-1} N	1,3	
P_2O_5	CO_2	kg CO_{2eq} kg^{-1} P_2O_5	0,2	Lal (2004)
K_2O	CO_2	kg CO_{2eq} kg^{-1} K_2O	0,15	
Pesticidas				
Fungicidas	CO_2	kg CO_{2eq} kg^{-1}	3,9	Lal (2004)
Insecticidas	CO_2	kg CO_{2eq} kg^{-1}	5,1	
C. Emisiones de GEI de NO2 de los suelos debido a la aplicación de fertilizantes nitrogenados				
N_2O directo de insumos de N(fertilizantes)	NO_2	kg CO_{2eq} kg^{-1} N input	4,87	
N_2O directo de lixiviación o escorrentía de N	NO_2	kg CO_{2eq} kg^{-1} N input	1,096	IPCC (2006)
N_2O indirecto de la descomposición atmosférica de N volatilizado como NH_3 y NO_x				
Abonos sintéticos	NO_2	kg CO_{2eq} kg^{-1} N input	0,487	

3. Resultados y discusión

Balance de energía

La tabla 4 muestra las entradas y salidas de energía en el huerto de pomelo.

En la etapa de establecimiento de la plantación, el total de insumos energéticos directos e indirectos fue de 151.891,4 MJ/ha, con valores máximos atribuidos a la energía indirecta de los materiales del sistema de riego (79,8% de los insumos energéticos totales). En cuanto a los insumos de energía directa, los valores más altos se atribuyeron al consumo de diésel (20.968,4 MJ/ha), principalmente destinado a la preparación del suelo y a la plantación del cultivo.

En general, para el resto de etapas, los mayores consumos de energía se debieron a la electricidad utilizada para transportar el agua hasta la parcela y a los fertilizantes nitrogenados; valores medios de 48,7% y 18,4% con respecto a la energía total, respectivamente. Por lo tanto, las acciones dirigidas a reducir de forma significativa el consumo de energía deberían abordar el uso de tecnologías alternativas para la generación de electricidad renovable con el fin de reducir el consumo directo de energía. A este respecto, se han promovido varios estudios sobre el uso de la electricidad fotovoltaica solar como una alternativa para reducir el impacto medioambiental del riego (Kaldellis, 2009; Marrou, 2012; Rothwell, 2016).

En la etapa árboles juveniles, el huerto presentó una reducida productividad hídrica (2,03 kg/m3), como consecuencia del bajo rendimiento obtenido (3475 kg/ha) con el agua de riego aplicada (1501,6 m3/ha) (Tabla 1). Estos resultados también se manifestaron en los bajos valores observados de RE (0,14) y PE (0,09 kg/MJ) (Tabla 4).

Con respecto a la comparación entre tratamientos, en las etapas de árboles jóvenes y adultos sólo se encontraron diferencias energéticas asociadas a la cantidad y tipo de recurso hídrico utilizado para el riego. Como era de esperar, RE y PE se incrementaron en cada etapa de ciclo de cultivo al estar el huerto más desarrollado y por lo tanto ser más eficiente.

En relación al uso de estrategias de RDC, el ahorro de agua en el riego (alrededor del 13%) implicó reducciones del consumo de energía directa del 11,8% en la etapa joven y del 12,3% en la etapa adulta, independientemente del tipo de agua utilizada para el riego; AT o AR (Tabla 4). También se observaron reducciones en la producción de energía del sistema como consecuencia de las reducciones en producción de los tratamientos RDC y AR.

En la etapa de árboles jóvenes, los porcentajes de reducción para la producción y entrada de energía y el rendimiento fueron muy similares. Por lo tanto, RE and PE fueron también similares entre los tratamientos AT y AT-RDC (0.65 and 0.44 kg/MJ) y entre los tratamientos AR y AR-RDC (0.58 and 0.39 kg/MJ).

En la etapa adulta, la reducción de AT también presento reducciones similares para la producción y entrada de energía y el rendimiento, por lo tanto obteniendo valores similares de RE y PE; 1.04 and 0.69 kg/MJ, respectivamente. Sin embargo, la reducción de AR provocó mayores reducciones en el rendimiento y la producción de energía que en la entrada de energía y por lo tanto, se observó una ligera reducción en los valores de RE y PE asociados al tratamiento AR-RDC (Tabla 4). En esta etapa adulta, el riego con AR no presentó ningún efecto sobre estos indicadores.

Tabla 4. *Balance energético considerando los insumos agrícolas y el rendimiento productivo de los cuatro tratamientos (AT, AT-RDC, AR, AR-RDC) y las cuatro etapas del ciclo de cultivo (establecimiento de cultivos, juveniles improductivos, jóvenes y adultos). Unidades en (MJ/ha).*

	2004	**2005 2007**	**2008-2010**				**2011-2014**			
			AT	**AT RDC**	**AR**	**AR RDC**	**AT**	**AT RDC**	**AR**	**AR RDC**
A. Entradas										
A.1. Entradas dir.										
A.1.1. Labor hum.	265	442		686				1014		
A.1.2. Diesel	20969	2476		3710				5419		
A.1.3. Elect. riego	-	3089	6578	5711	6361	5527	12177	10542	11785	10203
A.1.4. Elect. Trans.	-	15444	32863	28557	31805	27638	60887	52711	58927	51015
Total electricidad	-	18533	39436	34268	38167	33165	73065	63254	70713	61218
A.2. Entradas ind.										
A.2. 1. Fertilizantes										
N	-	7588		11679				19335		
P_2O_5	-	788		1214				1823		
K_2O	-	909		1401				2170		
A.2. 2. Pesticidas										
Fungicides	-	398		597				796		
Insecticides	-	92		184				276		
A.2. 3. Plantones	3753	188		188				188		
A.2. 4. Maquinaria	5718	1191		1987				3085		
A.2. 5. Sist. riego	121187	5729		5729				5729		
Total ent. energía	**151891**	**38333**	**66810**	**61643**	**65541**	**60540**	**112900**	**103090**	**110549**	**101053**
B. Salidas										
B.1. Rendimiento	**0**	**5212**	**42922**	**39888**	**38317**	**34997**	**115290**	**107099**	**112238**	**98355**
C. Otros										
C.1. Ratio energía (output/input)	**-**	**0.14**	**0.64**	**0.65**	**0.58**	**0.58**	**1.02**	**1.04**	**1.02**	**0.97**
C.2. Productividad energética (kg/MJ)	**-**	**0.09**	**0.43**	**0.44**	**0.39**	**0.39**	**0.68**	**0.69**	**0.68**	**0.65**

* Un valor mostrado solo en una línea dentro de una etapa del ciclo de vida del cultivo significa que es igual para todos los tratamientos.

Análisis de emisiones de GEI

La Tabla 5 muestra las emisiones de GEI para los cuatro tratamientos y las cuatro etapas del ciclo de vida del cultivo.

En la fase de establecimiento, las emisiones totales de GEI se atribuyeron únicamente al combustible utilizado por la maquinaria para la preparación del suelo y la plantación de cultivos (1562,1 kg de CO_2/ha). En el resto de fases, las máximas emisiones de GEI se atribuyeron a la fertilización nitrogenada (valor medio de 55,3% del total de emisiones) y a la electricidad para riego (valor medio de 30,1% del total de emisiones).

En las etapas de árboles jóvenes y adultos, sólo se observaron pequeñas diferencias asociadas a la cantidad y tipo de agua utilizadas para el riego (Tabla 5).

En la etapa juvenil, las emisiones asociadas a la electricidad prácticamente doblaron las emisiones por el uso de diésel. Con respecto al uso de químicos, las emisiones derivadas del uso de fertilizantes nitrogenados (769,0 kgCO_2/ha) supusieron el 58,8% del total de las emisiones.

Table 5. Emisiones de GEI (kg CO_{2eq}/ha) para los cuatro tratamientos y las cuatro etapas del ciclo de vida del cultivo.

	2004	2005 2007	2008-2010 AT	2008-2010 AT RDC	2008-2010 AR	2008-2010 AR RDC	2011-2014 AT	2011-2014 AT RDC	2011-2014 AR	2011-2014 AR RDC
A. *Emisiones de gases de efecto invernadero debidas al uso de combustible y electricidad*										
A.1. Electricity										
Elect. riego	-	54	114	99	110	96	211	183	204	177
Elect. transp.	-	268	570	496	552	480	1057	915	1023	885
A.2. Diesel	1562	184	276				404			
B. *Emisiones de GEI debido a la producción, transporte, almacenamiento y transferencia de productos químicos agrícolas*										
B.1. Fertilizantes										
N	-	129	198				329			
P_2O_5	-	10	15				23			
K_2O	-	11	17				26			
B.2. Pesticidas										
Fungicidas	-	8	12				16			
Insecticidas	-	5	10				15			
C. *Emisiones de GEI de NO_2 de los suelos debido a la aplicación de fertilizantes nitrogenados*										
C.1. N_2O directo de insumos de N	-	483	743				1231			
C.2. N_2O directo de lixiviación o escorrentía de N	-	109	167				277			
C3. N_2O indirecto de la descomposición atmosférica de N volatilizado como NH_3 y NO_x										
Abonos sintéticos	-	48	74				123			
Emisiones GEI (kg CO_{2eq}/ha)	**1562**	**1309**	**2198**	**2108**	**2176**	**2089**	**3711**	**3541**	**3670**	**3505**
Emisiones específicas GEI (kg CO_{2eq}/kg)	**-**	**0.377**	**0.077**	**0.079**	**0.085**	**0.090**	**0.048**	**0.050**	**0.049**	**0.053**

* Un valor mostrado solo en una línea dentro de una etapa del ciclo de vida del cultivo significa que es igual para todos los tratamientos.

Las emisiones específicas de GEI en los tratamientos RDC fueron ligeramente superiores a las observadas en los tratamientos control (Table 5). Esto se puede explicar por las mayores reducciones observadas en el rendimiento de los árboles regados deficitariamente (7,1% y 8,7% en los tratamientos AT-RDC y AR-RDC en la etapa árbol joven respectivamente y 7,1% y 12,4% en los

tratamientos AT-RDC y AR-RDC en la etapa árbol adulto, respectivamente con respecto a las reducciones observadas en las emisiones de GEI (4,0 y 4,5% para las etapas joven y adulta, respectivamente).

Como se observó para el consumo de energía, el riego con AR no tuvo ningún efecto sobre las emisiones de GEI, ya que sólo se observaron ligeras variaciones en el cálculo de la electricidad para riego (reducciones de aproximadamente 1% independientemente del ciclo de vida del cultivo). Sin embargo, en la etapa árbol joven, como los rendimientos de producción se redujeron un 10,7% las emisiones específicas de GEI se incrementaron hasta 0,085 $KgCO_2$/kg; es decir, un 10,9% superiores que el huerto regado con AT. Estos efectos no se observaron en la etapa de árbol adulto pues el rendimiento de AT y AR fue similar.

4. Conclusiones

El análisis del balance de energía en el huerto de pomelo ha permitido concluir que en la fase de establecimiento de la plantación, la eficiencia del sistema se podría incrementar principalmente mediante acciones que reduzcan los consumos energéticos involucrados en el sistema de riego. En este sentido, se podrían utilizar materiales reciclados o materiales con una vida útil más larga que pueden reducir el impacto ambiental del sistema de riego. Sin embargo, en el resto de etapas del cultivo, es la energía destinada al transporte de agua quien juega el papel principal y por lo tanto los esfuerzos deberían enfocarse a fomentar el uso de tecnologías alternativas para la generación de energía renovable que permitan reducir de forma notable el consumo energía directa. En segundo lugar se debería fomentar el uso de técnicas más eficientes en la producción de fertilizantes, especialmente aquellos fertilizantes nitrogenados.

Con respecto a la emisión de GEI, en la fase de establecimiento de la plantación los resultados indican que las posibles reducciones de emisiones deben centrarse en el incremento de la eficiencia en el consumo de combustible de la maquinaria agrícola y en la optimización de los tiempos de trabajo de las diferentes máquinas. En el resto de fases, las reducciones de emisiones deben atribuirse principalmente al incremento de eficiencia en la fabricación de fertilizantes nitrogenados y a la reducción de la energía utilizada para el transporte de agua y el riego.

Finalmente, los resultados indican que uso de AR y/o estrategias de RDC no tuvo un efecto significativo en la productividad energética y en las emisiones específicas de GEI, independientemente de la etapa de la plantación analizada.

Agradecimientos

Este estudio recibió el apoyo de los siguientes proyectos: IRRIQUAL (EU-FP6-FOOD-CT-2006-023120), SIRRIMED (FP7-KBBE-2009-3-245159), SENECA (05665 / PI / 07 y 11872 / PI / 09), SENECA-Excelencia Científica (19903 / GERM / 15), CONSOLIDER INGENIO 2010 (MEC CSD2006-0067) y CICYT (AGL2010-17553 y AGL2013-49047-C2-2-R).

Bibliografía

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy, pp 15–27.

Batty, J.C., Keller, J. 1980. Energy requirements for irrigation. In: Pimentel D, editor. *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton, FL: CRC Press. p. 35–44.

BEDCA. Spanish Food Composition database, Ministry of Science and Innovation. Available at: http://www.bedca.net. Accessed February 2017.

Bowersm, W., 1992. Agricultural field equipment. In: Fluck RC, editor. *Energy in world agriculture*, vol. 6. Amsterdam: Elsevier. p. 117–29

Castel, J.R., Bautista, I., Ramos, C., Cruz, G. 1987. Evapotranspiration and irrigation efficiency of mature orange orchards in Valencia (Spain). *Irrig. Drain. Syst*. 3, 205–217.

ELCD, European Life Cycle Database. European Commission. 2017. Available from: http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/index.xhtml?stock=default (accessed 14.03.17).

Fluck, R.C. 1992. Energy in human labor. In: Fluck RC, editor. *Energy in world agriculture*, vol. 6. Amsterdam: Elsevier. p. 31–7.

Guzmán, G.I., Alonso, A.M. 2008. A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. *Agric Syst*, 98, 167–76.

Heichel, G.H. 1980. Assessing the fossil energy costs of propagating agricultural crops. In: Pimentel D, editor. *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton, FL: CRC Press. p. 27–34.

Helsel, Z.R. 1992. Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use. In: Fluck RC, editor. *Energy in world agriculture*, vol. 6. Amsterdam: Elsevier. p. 177–201.

Iberdrola. Disponible: http://www.iberdrola.es. February 2017.

IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2006. In: Eggleston HAS, Biennia L, Miwa K, Negara T, Tanabe K, editors. Prepared by national greenhouse gas inventories programme. Japan: Eggleston Published, IGES.

Kaldellis, J.K., Spyropoulos, G.C., Kavadias, K.A., Koronaki, I.P. 2009. Experimental validation of autonomous PV-based water pumping system optimum sizing. *Renew Energ*. 34:1106–13.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H., Clark, S. 2014. Environmental impact assessment of tomato and cucumber cultivation in greenhouses using life cycle assessment and adaptive neuro-fuzzy inference system. *J. Clean. Prod*. 73, 183–192.

Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environ Int.* 30, 981 – 990.

Maestre-Valero, J.F., Martin-Gorriz, B., Alarcón, J.J., Nicolás, E., Martínez-Alvarez, V. 2016. Economic feasibility of implementing regulated deficit irrigation with reclaimed water in a grapefruit orchard. *Agricultural Water Management* 178, 119–125.

Marrou, H., Wery, J., Dufour, L., Dupraz, C. 2013. Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *Europ J Agronomy*. 44: 54–66.

Rathke, G.W., Diepenbrock, W. 2006. Energy balance of winter oilseed rape (Brassica napus L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *Europ. J. Agron*. 24, 35–44.

Rothwell, A., Ridoutt, B., Page, G., Bellotti, W. 2016. Environmental performance of local food: trade-offs and implications for climate resilience in a developed city. *J Clean Prod*. 114:420–30.

Zahedi, M., Mondani, F., Eshghizadeh, H.R. 2015. Analyzing the energy balances of double-cropped cereals in an arid Región. *Energy Reports* 1, 43–49.

Utilización de residuos urbanos para la producción de cultivos agroenergéticos

Antonio Plaza, Pedro V. Mauri, Inés Bautista, M. Cruz Amorós, M. Carmen Lobo

IMIDRA. Finca "El Encin" A-2, Km 38,2. 28800 Alcalá de Henares (Madrid).antonio.plaza@madrid.org

Resumen

En la actualidad se fomenta la producción de biomasa no alimentaria con el fin de contribuir al cambio de las políticas energéticas a nivel mundial. Para ello se requieren especies de crecimiento rápido para la producción de energía o como materia prima para la producción de otros materiales combustibles. Para favorecer la producción de estas especies, la aplicación de residuos urbanos como enmienda es una alternativa viable y de bajo costo que al mismo tiempo recupera la fertilidad de los suelos.

El objetivo del estudio es evaluar el efecto de dos tipos de lodos de depuradora tratados, lodo compostado con restos de poda (CP) y lodo secado térmicamente (ST) sobre la producción de 14 especies con fines agroenergéticos. El ensayo se ha realizado en parcelas experimentales (4,5 x 10 m2) en Alcalá de Henares (Madrid, Spain), en las que se aplicó una dosis de 50 t/ha de los lodos ensayados en comparación con un tratamiento control sin aplicación. Tres meses después de la aplicación de las enmiendas se llevó a cabo la plantación de especies perennes herbáceas, Panicum (pasto varilla) y Miscanthus (eulalia) y forestales, Paulownia (paulonia), Populus (chopos), Ulmus (olmos), Prunus (adafuel), Tamarix (taraje), Salix (sauce), Platanus (plátano).

Un año después de la plantación se ha evaluado el efecto sobre las especies, analizando los niveles de clorofila y parámetros de crecimiento (diámetro, altura y envergadura) de las plantas, así como el efecto en las propiedades del suelo. En general, las plantas desarrolladas en los suelos tratados con lodo ST presentan mayores valores de clorofila y de crecimiento, que puede ser debido al mayor aporte de nitrógeno de este material. Este efecto no se observa en las plantas desarrolladas con el tratamiento CP. En estos suelos se produce el desarrollo de un mayor número de especies adventicias debido a los mayores aportes de materia orgánica, lo que provoca competencia en la adquisición de nutrientes del suelo por parte de las plantas y puede repercutir en su menor desarrollo.

Palabras clave: cultivos agroenergéticos, lodos de depuradora, biomasa, clorofila.

Utilization of urban waste for the production of agroenergy crops

Abstract

The production of non-food biomass is now being encouraged in order to contribute to the change of energy policies worldwide. This requires fast growing species for the production of energy or as raw material for the production of other combustible materials. To promote the production of these species, the application of urban waste as an amendment is a viable and low-cost alternative that at the same time recovers the fertility of soils.

The objective of the study was to evaluate the effect of two types of treated sewage sludge, composted mud with pruning residues (CP) and thermally dried (ST) sludge on the production of 14 species for agroenergy purposes. The experiment was carried out in experimental plots (4.5 x 10 m2) in Alcalá de Henares (Madrid, Spain), where a dose of 50 t / ha of the sludge tested was applied in comparison to a control treatment without application . Three months after the implementation of the amendments, the planting of perennial herbaceous species, Panicum and Miscanthus (eulalia) and forest, Paulownia (paulonia), Populus (poplars), Ulmus (elm trees), Prunus Adafuel, Tamarix (taraje), Salix (willow), Platanus.

One year after planting, the effect on the species has been evaluated, analyzing the chlorophyll levels and growth parameters (diameter, height and wingspan) of the plants, as well as the effect on soil properties. In general, the plants developed in soils treated with ST sludge present higher values of chlorophyll and growth,

which may be due to the higher nitrogen content of this material. This effect is not observed in plants developed with CP treatment. In these soils the development of a greater number of adventitious species is produced due to the greater contributions of organic matter, which causes competition in the acquisition of nutrients of the soil by the plants and can have repercussions in their lesser development.

Keywords: agroenergy crops, sewage sludge, biomass, chlorophyll

1. Introducción

Los cultivos energéticos son plantas cultivadas con el objetivo de ser aprovechadas como biomasa transformable en combustible. Es una faceta agrícola todavía en experimentación y por ello existen a día de hoy numerosos interrogantes sobre su viabilidad económica y los impactos de carácter medioambiental y social que puede producir. En España, la superficie de cultivos energéticos ha aumentado considerablemente; de 6400 ha en 2004, a 211.500 ha en 2006 (Miralles, 2007; Martín, 2008). Los cultivos energéticos agrícolas más viables en España son: colza y girasol para obtención de biodiesel; y trigo y cebada para la producción de bioetanol. Entre los forestales, se utilizan chopos y eucaliptos; además se experimenta con cardo, olmo de Siberia, sorgo dulce, pataca y colza etíope (Camps y Marcos, 2008; Cereijo et al., 2008; Facciotto, 2008).

A diferencia de lo que sucede con los cultivos que se utilizan como alimentos o como materia prima en la industria, para este tipo de plantas no se necesita ningún requisito especial en cuanto a las condiciones del suelo o condiciones climáticas. En general, se seleccionan los cultivos que mejor se adapten a las características del suelo y a las condiciones de la zona, intentando obtener la mayor rentabilidad económica y energética, para lo que se requiere una elevada producción anual y plantas de rápido crecimiento (Lag-Brotons et al.,2014).

Una de las estrategias utilizadas para aumentar la producción de este tipo de cultivos es la utilización de enmiendas que mejoren la fertilidad de los suelos y favorezcan el rendimiento del cultivo. En este sentido, la utilización de lodos residuales tratados como enmienda supone una interesante alternativa que contribuye a la gestión racional de estos materiales y al mismo tiempo puede aumentar la producción de biomasa procedente de los cultivos para usos agroenergéticos.

Los lodos de depuradora se han venido reutilizando tradicionalmente en suelos agrícolas como enmendantes orgánicos y fertilizantes desde hace más de 20 años (Costa et al. 1997), habiéndose probado su eficacia para la producción de diferentes cultivos como maíz, trigo, girasol, cebada, etc. Estos estudios se han enfocado a la evaluación de los efectos de la aplicación de lodos residuales sobre la fertilidad de suelos agrícolas, su efecto en el crecimiento de los cultivos, así como se han evaluado las interacciones en el sistema suelo planta (Coker y Mathews, 1983; Sastre, et al., 1996; Chaney, 1994; Oberle y Keeney, 1994; Delgado et al., 2002, Diacono y Montemurro, 2010)

En los últimos años los estudios se han encaminado a la realización de ensayos de recuperación y remediación de áreas degradadas y/o contaminadas (Kannavou, et al., 2000; Gil, et al., 2001; Brown, 2003). De esta forma han surgido nuevos usos para los lodos residuales muy relacionados con la mejora y acondicionamiento de suelos forestales, el paisajismo y la remediación de terrenos marginales.En el IMIDRA desde el año 89 se vienen realizando proyectos de investigación y demostración sobre la caracterización de los diferentes lodos de depuradora tratados (Lobo, 2000), así como de la respuesta de suelo y planta a la aplicación al suelode estos materiales (Sastre et al.,2003, Cabezas et al., 2003, Lobo et al., 2004, Gascó et al., 2004, Lobo et al., 2012). Los estudios realizados demuestran una importante mejora de las propiedades físicas del suelo, así como incrementos en la materia orgánica y nutrientes derivados de su uso. Estudios realizados con *Helianthus annus*(Plaza et al., 2014) y con *Arundo donax (*Plaza et al.,2015, Cano-Ruiz et al., 2016) también han mostrado incrementos en la producción de la biomasa, al mismo tiempo que se favorece la fertilidad de los suelos. El objetivo del estudio es evaluar el efecto de dos tipos de lodos de depuradora tratados, lodo compostado con restos de poda (CP) y lodo secado térmicamente (ST)

sobre la producción de 14 especies con fines agroenergéticos, así como el efecto de estos materiales sobre la fertilidad del suelo.

2.Materiales y Métodos

El ensayo se ha realizado en parcelas experimentales (4,5 x 10 m^2) en Alcalá de Henares (Madrid, 40°29'00''N 03°22'00''W) sobre un suelo franco arcilloso en un diseño en bloques al azar, realizando plantaciones en tres filas por parcela y midiendo las plantas centrales de la fila central para evitar el efecto borde. La densidad de plantación varía en función de los requerimientos de cada especie, desde un distanciamiento de 25 cm en las herbáceas hasta los 2,5 m del caso de las paulonias. Se utilizaron dos tratamientos de lodos residuales tratados, CP (lodo compostado con restos de poda) y ST (lodo tratado por secado térmico)(Figura 1) aplicados a la dosis de 50 t/ha en comparación con un tratamiento control sin aplicación. Las características analíticas del suelo y los residuos se presentan en la tabla 1.

Figura 1.- Lodo compostado con restos de poda (izda) Lodo tratado por secado térmico (drcha).

La aplicación de los residuos se llevó a cabo con maquinaria agrícola adaptada a las características de los materiales. El lodo de secado térmico se aplicó con una abonadora centrífuga y el lodo compostado con restos de poda con un remolque distribuidor de estiércol. Tras la aplicación se llevó a cabo la incorporación de los materiales utilizando un rotavator a fin de mezclar el producto con los 20 primeros centímetros del perfil del suelo.

Tabla 1.- Características del suelo y lodos tratados a utilizar en el ensayo

	Características químicas				Macroelementos (mg.kg-1)					Metales pesados (mg.kg-1)					
	pH	C.E. dS m^{-1}	M.O %	N %	P	Ca	Mg	Na	K	Ni	Pb	Cd	Cu	Cr	Zn
Suelo	8,2	0,3	1,17	0,08	13	3954	370	61	141	9	10	0,1	12	20	241
CP	7,5	2.9	30	3,36	1676	7685	1463	729	1768	18	49	1	192	38	691
ST	6,7	4.6	28,1	4,22	2780	5735	1536	377	1219	11	179	3	388	73	1032

Tres meses después de la aplicación de las enmiendas se llevó a cabo la plantación de especies perennes herbáceas, *Panicum* (pasto varilla) y *Miscanthus* (eulalia) y leñosas, *Paulownia* (paulonia), 3 variedades de *Populus* (chopos), 4 variedades de *Ulmus* (olmos), *Prunus* (adafuel), *Tamarix* (taraje), *Salix* (sauce), *Platanus* (plátano). Las plantas se regaron con un sistema de riego por goteo utilizando una línea de goteo por hilera (en torno a 6000 m3/ ha/ año) distribuidos de Mayo a Octubre de acuerdo con las necesidades de agua para el clima meso-mediterráneo suave.

Tres años después de la plantación se realiza el análisis de las propiedades físico-químicas del suelo y se analizan los parámetros fisiológicos y agronómicos de cada especie.

Análisis de suelo: Las muestras de suelo se recogieron de los 30 primeros centímetros del perfil, se secaron al aire y se tamizaron a 2 mm; moliéndose una fracción para algunas determinaciones analíticas. Las características físico-químicas se analizaron de acuerdo a los Métodos Oficiales de Análisis de suelos (MAPA, 1994). La conductividad eléctrica y el pH se midieron en un extracto 1:2,5 (suelo:agua), la materia orgánica y el nitrógeno total se determinaron utilizando los métodos Walkley–Black y Kjeldahl respectivamente. El porcentaje de carbonatos se midió utilizando el calcímetro Bernard. El fósforo disponible se extrajo con bicarbonato sódico a pH 8, valorándose en un espectrofotometro UV-VIS (Thermo spectronic HEλIOS α.). Los macronutrientes (Ca,Mg,Na,K) se extrajeron con acetato amónico 0,1N determinándose su concentración con un espectrofotómetro de Absorción atómica (AAS) (AA240FS, Varian, Victoria, Australia). La textura del suelo se determinó con el densímetro de Boyoucos. Los metales pesados en suelo se determinaron por Espectrofotometría de Absorción atómica AAS (AA240FS, Varian)y Espectrometría de emisión con plasma inductivamente acoplado (Varian LibertyAX, Victoria, Australia), después de una digestión ácida con una mezcla de 6 mL of ácido nítrico y 2 mL of ácido clorhídrico en un sistema de digestión por microondas.

Análisis de planta: La evaluación del contenido de clorofila se realizó en hojas intactas usando un dispositivo portátil (SPAD-502, Minolta, Ltd., Osaka, Japan)(Netto et al. 2005). Se tomaron medidas en tres hojas distintas a diferentes alturas de la planta y se utilizó el valor medio. Se determinaron parámetros agronómicos como altura de la planta y grosor del tallo (diámetro a 20 cm de la base). En el caso de las especies herbáceas se utilizó la medida de envergadura (valor de la anchura máxima de la planta).

Todas las determinaciones analíticas se llevaron a cabo por triplicado. Los valores medios y la desviación estándar de las medidas se calcularon usando Microsoft Excel 2007. Para el análisis de significación se realizó la prueba “F” de Fisher.

3.Resultados y Discusión

3.1. Efecto de las enmiendas en el suelo

Tres años después de la plantación se observa un diferente comportamiento de las enmiendas utilizadas (Tabla 2). En el caso del tratamiento CP se observa un significativo incremento del contenido en materia orgánica del suelo así como de los valores de nitrógeno total y fósforo y potasio asimilable. Respecto a los valores de pH, se observa una ligera acidificación en los suelos tratados con el lodo compostado con restos de poda. La conductividad eléctrica de los suelos se incrementa en este último tratamiento aunque las diferencias no son significativas. En general, se puede observar una sustancial mejora de la fertilidad de los suelos tratados con el lodo compostado con restos de poda.

El tratamiento con lodo de secado térmico presenta una tendencia positiva con respecto al control, pero las diferencias no son significativas. Este material se comporta como un fertilizante que libera nutrientes de rápida asimilación por parte de la planta, mientras que el lodo compostado actúa como una enmienda orgánica que se va degradando y suministrando nutrientes a medio y largo plazo al suelo, así como un significativo aporte de materia orgánica que repercutirá positivamente en la fertilidad del suelo.

En ambos tratamientos, el aporte de los lodos tratados aumentó los porcentajes de metales pesados respecto al control (datos no mostrados), manteniéndose los valores por debajo de los límites legislativos (MAGRAMA, 2013).

Tabla 2.- Propiedades agrobiológicas de los suelos dos años después de la aplicación.

	pH		C.E. (dS/m)		M.O. (%)		N (%)		P (mg.kg^{-1})		K (mg.kg^{-1})		Ca (mg.kg^{-1})		Mg (mg.kg^{-1})		Na (mg.kg^{-1})	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Control	8,32	0,09	0,23	0,058	1,28	0,17	0,08	0,011	20	3,5	264	44	3082	195	442	57	65	21,7
CP	8,16*	0,07	0,32	0,064	1,93*	0,24	0,13**	0,027	51**	11,7	344	55	3149	234	435*	46	63*	21,3
ST	8,29	0,09	0,26	0,058	1,27	0,20	0,09	0,014	33	4,6	264	18	3011	263	478*	47	73	25,5

*Valores significativos

3.2. Efecto de las enmiendas en la planta

Los análisis de clorofila se observan en la Figura 2. En general se observan incrementos en los valores de este parámetro en los suelos tratados con lodo secado térmicamente, aunque las diferencias sólo son significativas en una especie de *Populus* (Luisa Avanza) y en dos de las especies de *Ulmus* (olmo blanco y olmo clon 2). El tratamiento CP presenta resultados favorables en *Ulmus minur* y *Prunus*. Las plantas de *Paulownia* y las especies herbáceas *Panicum* y *Miscanthus* presentan mayores valores de clorofila en ambos tratamientos (ST y CP). Este parámetro se considera un indicador de la actividad fotosintética de la planta y está directamente relacionado con su desarrollo.

En cuanto a los parámetros de crecimiento determinados, el diámetro de los tallos (Figura 3) se ve incrementado significativamente en las plantas de *Prunus, Salix* y en tres variedades de *Ulmus* (*laevis*, clon 1 y clon 2 de Ribatajada) con la aplicación de ST. En el caso de los tratamientos con CP, sólo se observa un incremento significativo de este parámetro con respecto al control en *Miscanthus.*

El efecto de las enmiendas en la altura de las plantas (Figura 4) sólo presenta diferencias significativas con respecto al control en las especies de *Salix* y *Prunus*, así como en dos variedades de *Ulmus* (clon 1 y clon2 de Ribatajada) con el tratamiento ST. El tratamiento CP sólo induce una mayor altura en las plantas de *Miscanthus*, que se corresponde con una mayor envergadura como se ha comentado anteriormente.

Como se ha observado en las propiedades del suelo, los tratamientos CP presentan una mayor fertilidad, sin embargo, es el tratamiento ST el que induce un mayor desarrollo de las plantas. Este hecho es debido a la mayor liberación de nitrógeno mineral de este tratamiento que es directamente asimilado por las plantas, lo que corrobora los mayores valores de clorofila en las plantas desarrolladas en el tratamiento ST. El lodo compostado con restos de poda se transforma lentamente en el suelo, por lo que su efecto se suele observar a más largo plazo. Por otra parte, en las parcelas con este tratamiento se favorece la aparición de especies adventicias debido al mayor contenido en materia orgánica, observándose porcentajes de cobertura entre el 80-90% en las parcelas de especies forestales. Este efecto favorece la competencia de las especies por los nutrientes y puede repercutir en un menor desarrollo de las plantas. En el caso de las plantas herbáceas los porcentajes de cobertura de estas especies adventicias oscila entre el 10-15% en ambos tratamientos, por lo que en estas parcelas ambos tipos de lodos favorecen el crecimiento de las plantas tal y como se ha comentado anteriormente. A fin de favorecer el desarrollo de las especies con fines agroenergéticos, sería necesario realizar una labor de eliminación de las malas hierbas, para favorecer el efecto de las enmiendas y evitar la competencia nutricional.

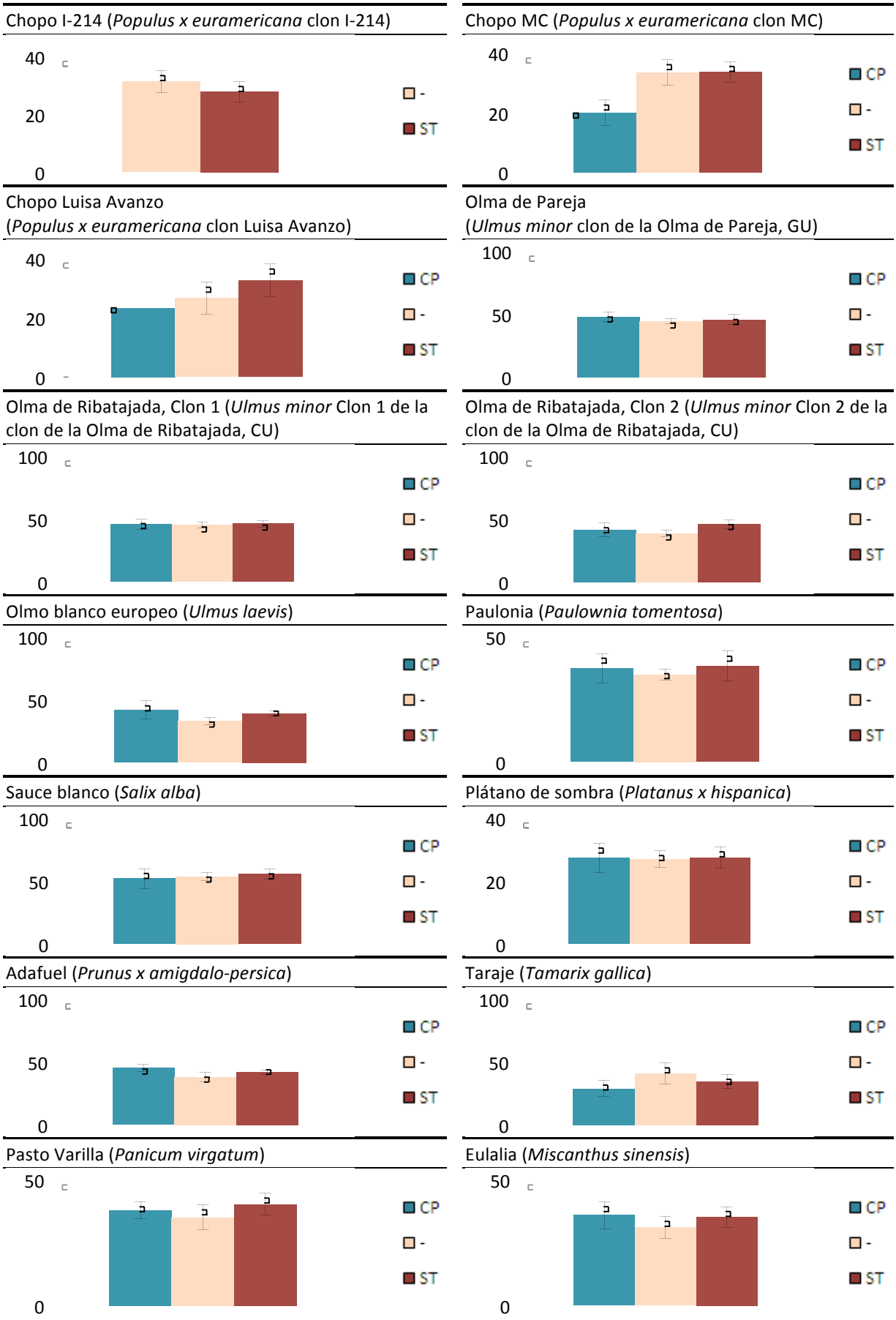


Figura 2. Datos de clorofila (ud SPAD) para las distintas especies y tratamientos

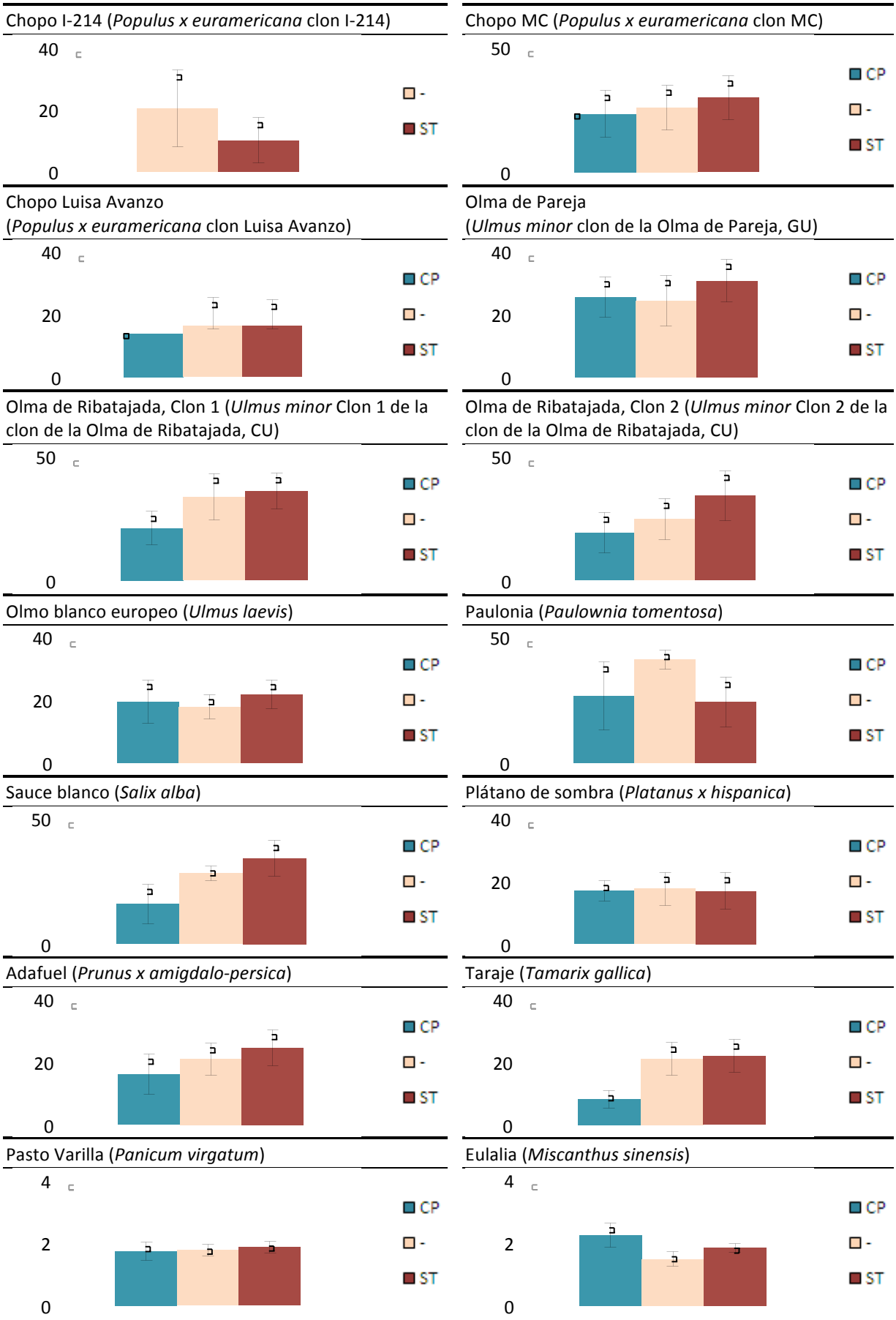


Figura 3. Datos de diámetro (mm) para leñosas y de envergadura (m) para herbáceas por especie y tratamiento

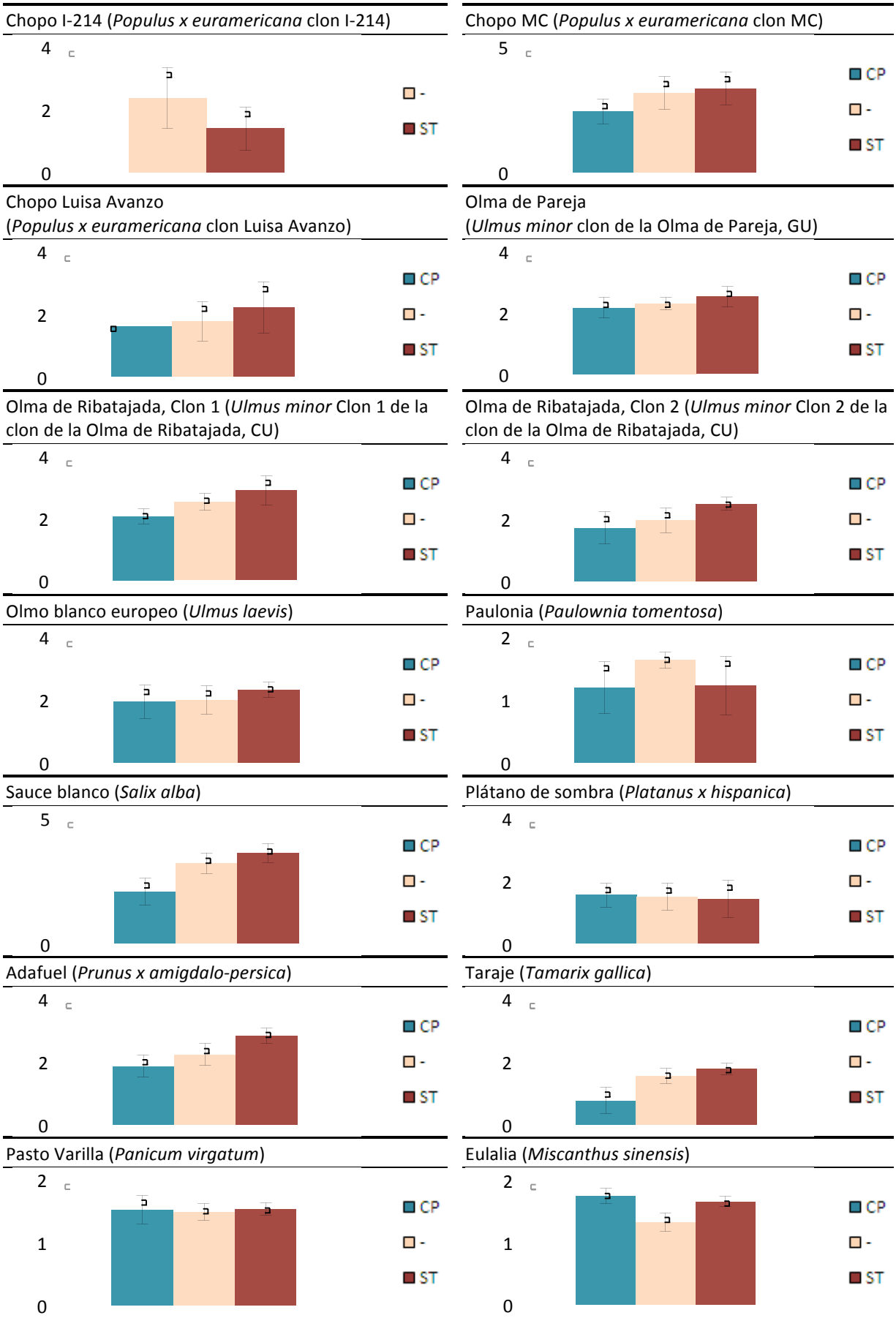


Figura 4. Datos de altura (m) para las distintas especies y tratamientos

4.Conclusiones

A la vista de los resultados preliminares, se observa un diferente comportamiento de las distintas especies frente a las enmiendas utilizadas tres años después de la plantación.

El tratamiento ST proporciona mayor contenido en nitrógeno mineral lo que favorece el incremento de la clorofila en los diferentes cultivos, así como mejora en el desarrollo de las plantas.

El tratamiento CP favorece el desarrollo de las especies herbáceas y contribuye al incremento de la fertilidad de los suelos. En ese sentido en el caso de las especies leñosas induce un efecto de competencia por el desarrollo de especies adventicias que compiten con la planta.

En general, la aplicación de lodos residuales tratados supone una adecuada alternativa para incrementar la biomasa de las plantas con fines agroenergéticos favoreciendo la fertilidad del suelo. En función del tipo de planta, sería necesario evaluar el tipo de tratamiento a aplicar con el fin de conseguir los mayores beneficios tanto desde el punto de vista de la producción como de la mejora de las propiedades del suelo.

Agradecimientos

Este trabajo se ha financiado mediante los Proyectos FP16-ENERG y FP16-RESIDUA (IMIDRA)

Bibliografía

Brown, S.L., Henry, C., Chaney, H., Compton, H. and DeVolder, P. 2003. Using municipal biosolids in combination with other residuals to restore metal-contaminated mining areas. *Plant and Soil* 249: 203–215.

Brown, C., Griggs, T., Keene, T., Marra, M., &Skousen, J. 2016. Switchgrass Biofuel Production on Reclaimed Surface Mines: I. Soil Quality and Dry Matter Yield. *BioEnergyRese*arch, 9(1), 31-39.

Cabezas, J.G, Alonso, J, Yebenes, L, Vicente, M.A. y Lobo, M.C. 2003.- Aplicación de lodos residuales para la restauración de la cubierta vegetal en suelos degradados. *Control de la Erosión y Degradación del suelo.* Bienes R y Marques, M.M eds. 666 pp. ISBN: 84-688-2336-6

Camps, M., y F. Marcos. 2008*. Los biocombustibles*. Madrid, España: Mundi-Prensa. 382 p.

Cano-Ruiz J, Plaza A, Guerrero A.M, Amorós M.C, Pinilla P, Mauri P.V, Lobo M. C.2016. Production and heating value of *Arundodonax* L. under different soil management, 24th European Biomass Conference and Exhibition, 6-9 June,Amsterdam, The Netherlands

Cereijo, D., J. Domínguez, A. Prada, M. Soliño, y M. Vázquez. 2008. *Análisis del potencial de producción de biocarburantes en Galicia*. Galicia, España: Fundación Caixa Galicia. 76 p.

Coker, E.G., Matthews, P.J. 1983. Metals in sewage sludge and their potential effects in agriculture. *Water Science Technology* 15: 209-225.

Costa, F., Hernández, M.T., Moreno, J.L. 1987. *Utilización agrícola de lodos de depuradora*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología aplicada del Segura. 121 p.

Delgado, M., Miralles de Imperial, R., Porcel, M.A., Beltrán, E. M., Beringola, L., Martín, J.V., Bigeriego, M. 2002. Ensayo sobre el efecto como fertilizantes del compost de lodo y del RSU, para su empleo en la forestación de tierras agrarias. *Montes*, 67: 54-57.

Diacono, M., Montemurro, F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. Agron. Sustain, 30, 401–422

Chaney, R. D. 1994. Trace metal movements. Soil-Plant system and bioavality of biosolids-applied metas. In: *Sewage sludge: Land utilization and the environment*, SSSA. Miscellaneous Publication. Clapp, C.E., Larson, W.E., Dowdy R.H. (Eds.)

Facciotto, G. 2008. Cultivos leñosos de corta rotación. Congreso Internacional de Biocarburantes de Segunda Generación, enero. Pamplona, España: Instituto Técnico y de Gestión Agrícola de Navarra. www.biofuel2g.com/Ponencias/Gianni_Faccioto.pdf (Consultada: octubre, 2008).

Gascó,G., Martínez Iñigo, M.J., Lobo,M.C. 2004. Soil Organic matter transformation after a sewage sludge application. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 3(4).

Gil,F.J., De Andrés, E.F, Tenorio, J.L., Martìnez,F., Walter, I. 2001. Sewage sludge effects on production of wild legume shrubs. *Bioprocessing of Solid Waste and Sludge*. http://www.orbit-online.net/journal, Vol. 1, Nº4.

Lag-Brotons A, Gómez I, Navarro-Pedreño J, Mayoral AM, Curt MD, 2014. Sewage sludge compost use in bioenergy production, a case study on the effects on *Cynaracardunculus* L energy crop. *J Clean Prod* 79: 32-40. http:// dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.021

Lobo, M.C. 2000. Resultados proyecto CAO97-017-C5-3 y SC97-084. INIA

Lobo, M.C., Martínez-Iñigo,M.J., Pérez-Sanz, A., Cabezas, J.G., Plaza, A., Vicente,M.A., Sastre-Conde, I. 2012. Evaluation of the Biological Activity in a Gypsiferous Soil Co-Amended with Residues. In: Trasar C., Hernández T., García C., Rad C., González-Carcedo S. (Eds.). *Soil Enzymology in the Recycling of Organic Wastes and Environmental Restoration.* Springer-Verlang, Berlin, Heidelberg, pp: 195-210.

MAGRAMA. 2013, Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario

MAPA, 1994. Métodos Oficiales de Análisis, vol. III,

Martín, R. 2008. *La Verde energía de la biomasa*. Navarra, España: Thomson Civitas. 223 p.

Miralles, R. 2007. *Cultivosenergéticos*.*Energía y Empresa* 18: 41-43.

Netto, A. T., Campostrini, E., de Oliveira, J. G., &Bressan-Smith, R. E. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. ScientiaHorticulturae, 104(2), 199-209.

Oberle, S.L., Keeney, D.R. 1994. Interaction of sewage sludge with soil-crop-water systems. In: *Sewage sludge land utilization and the environment*, SSSA. Miscellaneous Publication. Clapp. C.E., Larson, W.E., Dowdy, R.H. (Eds.).

Plaza A., Martín. J. V., Miralles De Imperial R., Alonso J., Delgado M. M., Lobo M.C., 2014. Application of treated sewage sludge for the fertilization of sunflower. 18th international congress on project management and engineering.Alcañiz, Teruel

Plaza, A., Cano-Ruiz, J., Pinilla, P., Ruiz-Fernández, J., Alonso, J., Mauri, P. V. and Lobo M. C. 2015. Effect of treatedsewage sludge on the mineral nutrition and production of Arundodonax L. 23rd Eur. Biomass Conference and Exhibition Proc. book 179 – 183

Sastre, I, Vicente, M.A. y Lobo, M.C. 1996.- Effect of the sewage sludge application on the soil microbial activity. *Bioresource Technology*. Vol 57, 19-23.

Sastre-Conde, I, Alonso, J, Guerrero, A.M. Pinilla, P; Cabezas, G y Lobo, M.C. 2003.- Dinámica de nutrientes y metales pesados en cultivo de olivar con dos tipos de lodos. En:*Control de la Erosión y Degradación del suelo.* Bienes R y Marques, M.M eds. 666 pp. ISBN: 84-688-2336-6

Clasificación de parcelas de abastecimiento de biomasa y evaluación del coste de suministro para una planta de generación eléctrica renovable

Unai Gómez[1], Ignacio García[1], Eduardo Prieto[1], Almudena García[1], Andrés Seco[1]

[1] Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadía s/n, Edificio Los Olivos, 31006, Pamplona. gomez.67752@e.unavarra.es

Resumen

Tras la regulación sobre retribución a las tecnologías renovables aprobada en España en el año 2014, resulta de vital importancia, optimizar la eficiencia de los procesos empleados en la obtención de energía a partir de fuentes renovables, a fin de reducir su coste. En concreto, para las plantas de producción de electricidad a partir de la combustión de biomasa, resulta más rentable reducir las horas de funcionamiento que, como era su interés anterior, maximizar la producción. La reducción de horas de funcionamiento implica una disminución de las necesidades de suministro. Diversos trabajos han utilizado la combinación de herramientas SIG y técnicas de evaluación multicriterio para el estudio de zonas de implantación de plantas de biomasa. Sin embargo, el presente estudio, centrado en una planta situada en Navarra con ubicación y abastecimiento de materia prima preexistente, se ha focalizado en el análisis pormenorizado de las explotaciones suministradoras con el fin de ayudar a determinar cuáles son las más adecuadas para seguir abasteciendo la planta. El análisis se centra en el cálculo de los principales factores físicos que influyen directamente en los costes logísticos de 19223 parcelas suministradoras. Los factores tenidos en cuenta han sido la pendiente, la superficie, la distancia a planta y la geometría de la parcela. Para estos factores, se ha comprobado que existen diferencias significativas entre las parcelas que permiten evaluarlas y poder escoger las más adecuadas.

Palabras clave: Costes de suministro, SIG, biomasa, biomasa residual herbácea.

Classification of biomass supply plots and evaluation of supply cost for a renewable electricity generation plant

Abstract

The new regulation about the incentives for renewable energies in Spain approved in 2014 makes even more necessary than before optimize the efficiency of the energy generation processes in order to reduce the cost of energy. In particular, for plants producing electricity from the combustion of biomass, it is more cost-effective to reduce the hours of operation rather than to maximize production as it was the case before. The reduction of hours of operation implies a reduction of the needs of supply of raw material. Several works have used the combination of GIS tools and multicriteria evaluation techniques for the preliminary study of areas of implantation for biomass plants. However, in the case of the present study, focusing on a plant located in Navarra with pre-existing location and supply of raw material, has focused on the detailed analysis of the supplying farms in order to help determine which are the most appropriate ones for the plant The analysis includes the calculation of the main physical factors that directly influence the logistic costs of 19223 supply plots. The factors taken into account were the slope, the surface, the distance to plant and the geometry of the plot. For these factors, it has been verified that there are significant differences between the plots that allow to evaluate them and to be able to choose the most suitable ones.

Keywords: Supply costs, GIS, biomass, herbaceous waste biomass.

1. Introducción

El suministro de materia prima es el principal componente de los gastos de operación y mantenimiento de cualquier planta de biomasa para generación eléctrica. La recogida, empacado, transporte y almacenamiento de biomasa a planta viene a suponer entre el 40% y el 50% del coste de la energía producida, debido fundamentalmente a la mayor dispersión y menor densidad

energética unidad de superficie de la biomasa con respecto a los combustibles fósiles equivalentes (Domínguez y Marcos, 2000). De hecho, se estima que en torno al 80-85% del coste total de operación y mantenimiento corresponde al coste del residuo herbáceo puesto en planta. (IRENA, 2012).

La optimización de los costes operativos en España, entre los que los logísticos son los más relevantes, resulta particularmente importante tras la entrada en vigor del Real Decreto 413/2014, principal norma de la reforma regulatoria en materia de energías renovables (España, 2014a). En síntesis, esta normativa establece un nuevo sistema de retribución de la electricidad de origen renovable, diferente en función de la de la potencia, tipo de tecnología, antigüedad y sistema eléctrico de la instalación. Para el caso concreto de la planta de biomasa de Navarra (PBN), la nueva regulación ha supuesto reducir a un máximo de 6.500 horas por encima de las cuales no se percibe la retribución a la operación (España, 2014b) y, en consecuencia, no resulta rentable mantener operativa la instalación las 8.000 horas de diseño de proyecto. En relación al uso de materia prima, supone pasar de alrededor de 160.000 t/año a 125.000 t/año. (Acciona Energía, 2016).

Esta situación no es exclusiva de la PBN, como lo demuestra el hecho de que en 2014 la generación térmica a partir de biomasa y residuos en España descendió –por primera vez- un 6,4 %, frente al crecimiento del 55,7% registrado en el período 2010-2013. En el año 2015 se invirtió ligeramente la tendencia con un aumento del 4,3%, aunque sin cambios en la potencia instalada (REE, 2016)

Lo anterior justifica el objetivo central de este trabajo, que consiste en caracterizar y calificar en función de sus costes logísticos todas las parcelas agrícolas situadas en Navarra que actualmente suministran residuo herbáceo, mayoritariamente paja de cereal, para la producción de energía eléctrica en la PBN.

Los criterios de clasificación empleados para valorar las parcelas han sido los siguientes: distancia a planta, pendiente, y geometría de las parcelas (fundamentalmente su superficie), todos ellos de incidencia directa en estos costes (García-Martín et al., 2011).

La **distancia a planta**, aunque no es el único factor determinante, condiciona directamente el coste del transporte de la materia prima hasta la planta. Sobre este tema, Tena (2012) expone que diversos análisis de cadenas de suministro de biomasa demuestran que el transporte por carretera de biomasa abultada y sin tratar no es competitiva para distancias superiores a 50 km. Por su parte, los gestores de la PBN, para establecer las parcelas suministradoras preexistentes, consideraron una distancia máxima de alrededor de los 80 km.

La **pendiente** limita la capacidad productiva del suelo y la maquinaria empleada, la eficiencia de la misma y la posibilidad de vuelco. Circunstancias todas ellas que afectan a los costes logísticos. En relación a lo anterior, Garañeda y Bengoa (2005) establecen unos intervalos de eficiencia de extracción de la materia prima, que se sitúan en 80% de eficacia con pendientes de entre 0% y 10%, 70% de eficacia en el intervalo 10%-30%, un 20% de eficacia en el intervalo 30%-50 % y una eficacia de recogida nula en superficies con pendientes superiores al 50%. Además, el riesgo de deslizamiento y/o vuelco aumenta con la pendiente. Así, se estima que la maquinaria de recolección comienza a sufrir deslizamientos significativos cuando trabaja por curvas de nivel en pendientes superiores al 20% (Navarra, 2009). En la misma línea, el estudio de Arana et al. (2010), donde se analizan factores de riesgo en accidentes mortales por el vuelco de maquinaria agrícola en España, determinó que el 10% de los vuelcos fue producido a causa de fuertes pendientes.

La **superficie de la parcela** presenta una relación directa con la cantidad de biomasa residual potencial. A igualdad de condiciones del resto de los factores, a mayor superficie mayor cantidad de biomasa por parcela y menor coste de extracción (García-Martín et al., 2011). En relación a lo anterior, Vega y Ruiz (2013) expresan que, para minimizar tiempos muertos en el uso de la maquinaria, es prioritario que las unidades de cultivo sean lo más extensas posibles.

Este trabajo se basa fundamentalmente en la combinación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio (EMC). Diversos trabajos han utilizado esta combinación para el estudio previo de zonas de implantación idóneas de plantas de biomasa. El propósito del uso combinado de estas técnicas es valorar la capacidad del territorio en relación con ciertas funciones o actividades (Barredo, 1996). En este sentido, la mayor parte de los trabajos que emplean SIG y EMC, se centran en el estudio de la biomasa potencial a nivel comarcal, provincial o regional, al objeto de poder estimar la ubicación óptima (Bravo et al., 2003; Viana et al., 2010; García-Martín et al., 2011; Perpiñá, 2012). En el caso del presente estudio, la planta ya existe, centrándose el trabajo en la caracterización de las 19.223 subparcelas previamente suministradoras para obtener una clasificación que permita descartar las menos adecuadas.

2. Metodología

La metodología empleada para la caracterización y clasificación orientativa del conjunto de las 19.223 subparcelas se ha dividido en dos etapas, la cual se resume en la Figura 1.

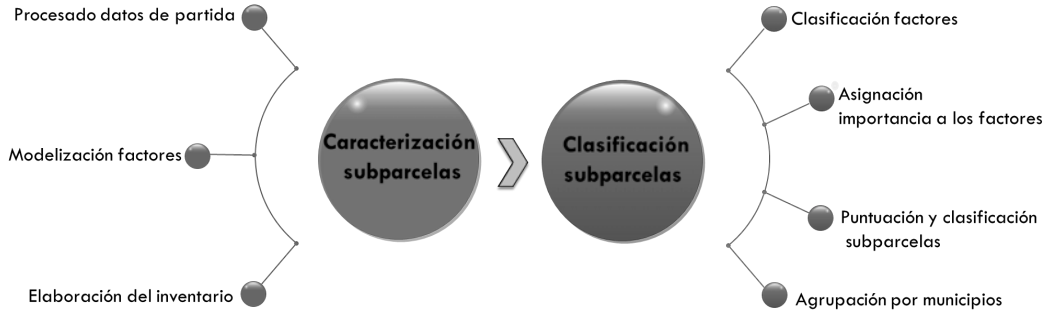


Figura 1. Esquema metodología.

2.1. Caracterización de las subparcelas

Se analizan los tres factores que, por su incidencia directa en el coste logístico de suministro de biomasa para cada subparcela, se estudian en este trabajo:

Distancia a planta, pendiente y geometría (superficie) de la parcela.

2.1.1. Procesado de los datos de partida

Se tratan y modifican los datos de partida con el objetivo de lograr una capa vectorial con la que poder trabajar con los programas SIG.

Para ello, se ha utilizado la información cartográfica del Sistema de Información Geográfico de la Política Agraria Común (SIGPAC) y del Sistema de Información Territorial de Navarra (SITNA) de las 19.223 subparcelas para las que la empresa propietaria de la PBN, asume los costes logísticos.

2.1.2. Modelización de los factores

Se calculan individualmente los tres parámetros mediante los programas SIG con el objetivo de obtener su valor asociado a cada subparcela. Los factores de pendiente y superficie se han calculado con el software QGIS 2.4.06. Para el cálculo de la distancia se ha empleado el complemento Red integrado en el programa gvSIG 1.11.

Todos los datos han sido obtenidos utilizando como sistema de referencia de coordenadas el ETRS89/UTM Zona 30N.

2.1.2.1. Cálculo de la distancia a planta

Se determina la distancia más corta entre las parcelas estudiadas y la PBN a través de los diferentes viales recogidos en las capas vectoriales *Red de carreteras* y *Pistas forestales* (carreteras principales, secundarias y pistas forestales). Ello se ha llevado a cabo con la *Matriz Origen-Destino* del complemento *Red* del programa gvSIG 1.11. A continuación se describen los pasos realizados:

Generar topología de red. A partir de la combinación de las capas SITNA de *Red de carreteras* y *Pistas forestales*. Para corregir errores topológicos se ha aplicado una toleracia fuzzy de 5 metros.

Calcular las distancias de las parcelas a la PBN. Se tomado como origen el punto de la PBN y como destino el centroide de cada parcela.

Corregir distancias no calculadas. Para los casos en los que la red viaria no llega a la parcela se ha asumido el valor de distancia de la parcela más próxima en la que sí se ha podido calcular dicho parámetro. Esto se ha realizado para 4.400 parcelas, lo que supone el 31,5% del total.

2.1.2.2. Cálculo de la pendiente

El cálculo de la pendiente se ha realizado ejecutando la herramienta *Pendientes* del programa QGIS, a una capa raster de modelo digital terrestre (MDT 5 metros). El método empleado para generar el mapa de pendientes en porcentaje ha sido el de *Ajuste a Polinomio de Grado 2*.

2.1.2.3. Cálculo de la superficie

El cálculo de la superficie se ha realizado tanto a nivel de subparcela (19.223) como de parcela (13.926) mediante el programa QGIS 2.4.0. Las superficies de las subparcelas se han utilizado únicamente para completar el inventario. Sin embargo, a la hora de valorar la superficies se ha tenido en cuenta el área de las parcelas completas (en el caso de estar divididas en subparcelas) por ser más representativo. Previo al cálculo de la superficie de las parcelas, se han agrupado las subparcelas en parcelas.

2.1.3. Elaboración del inventario

Se realiza un inventario con la información para cada subparcela de:

Municipio, *Código de municipio*, *Subparcela o recinto*, *Uso*, *Tipo de explotación*, *Polígono*, *Parcela*, *Comarca*, *Distancia a planta*, *Pendiente media*, *Superficie parcela*, *Superficie subparcela*, *Forma perimetral* y *Puntuación*.

De esta manera, además de caracterizar cada una de las subparcelas, se consiguen los datos necesarios para la posterior clasificación.

2.2. Clasificación de las subparcelas

Se clasifican las subparcelas a través de la puntuación resultante de la suma lineal ponderada de las puntuaciones de los tres factores estudiados.

2.2.1. Clasificación de los factores y asignación de sus pesos

Consiste en elaborar escalas de valoración que clasifiquen y puntúen los resultados de los factores estudiados en diferentes intervalos.

Para determinar los intervalos en los que dividir cada factor y asignar una puntuación a cada intervalo, se ha encuestado a una representación del personal que participa en el proceso de recogida y transporte de la materia prima a la PBN (técnicos, empacadores y transportistas). El resultado ha sido la Tabla.1 de escalas de de valoración y pesos de los factores estudiados.

Tabla 1. Escalas de valoración factores estudiados.

Parámetros (peso)	Escalas de Valoración	Puntuación
Distancia a la PBN (25%)	Muy cerca (0-20 km]	10
	Cerca (20-40 km]	9
	Medianamente cerca (40-60 km]	7,5
	Media (60-80 km]	6,5
	Lejos (>80 km)	2,5
Pendiente (30%)	Llano (0-1%]	10
	Suave (1-3%]	9
	Moderada (3-6%]	7
	Fuerte (6-12%]	3
	Muy Fuerte (12-18%]	1
	Escarpadas (>18%)	0
Superficie (45%)	Muy Grande (>15ha)	10
	Grande (4-15 ha]	9
	Mediana (1,5-4 ha]	6,5
	Medianamente pequeña (1-1,5ha]	4
	Pequeña (0,5-1ha]	1
	Muy Pequeña (< = 0,5 ha)	0

2.2.3. Puntuación de las subparcelas

Se realiza el sumatorio de las puntuaciones de los factores considerando su peso. Así, cada subparcela ha obtenido una puntuación de 0 a 10, siendo 0 la mínima posible y 10 la máxima.

2.2.4. Clasificación de las subparcelas:

Se clasifican las subparcelas, , a efectos de simplificar los resultados según la puntuación resultante del punto anterior, en las cuatro categorías, incluidas en la Tabla 2.

Tabla 2. Escala valoración puntuación subparcelas

CLASIFICACIÓN	PUNTUACIÓN
Mala	*(0-3.5]*
Regular	*(3.5-5]*
Buena	*(5-7.5]*
Muy Buena	*(7.5-10)*

2.2.5. Agrupación por municipios

Se agrupan las subparcelas por municipios y calculan los valores medios obtenidos para cada uno de los diferentes parámetros.

3. Resultados y Discusión

3.1. Distancia a planta

En la Figura 2 se presenta el resultado del análisis del parámetro distancia.

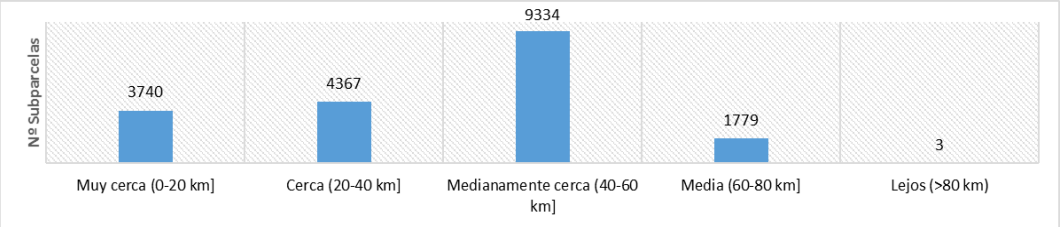


Figura 2. Número de subparcelas por categorías de distancia a planta.

El 48,5% de parcelas se encuentran clasificadas dentro del intervalo *Medianamente cerca*. Le siguen las *Cercanas* (22,7%), *Muy cercanas* (19,5%), y las situadas a una *Distancia media* (9,3%). Sólo 3 parcelas están a más de 80 km de la planta (*Lejos)*.

La gran mayoría de las parcelas están situadas a menos de 60 km (90,7%), lo que revela la existencia de una cantidad significativa de materia prima a una distancia relativamente corta de la PBN.

3.2. Pendiente

En la Figura 3 se presenta el resultado del análisis del parámetro pendiente.

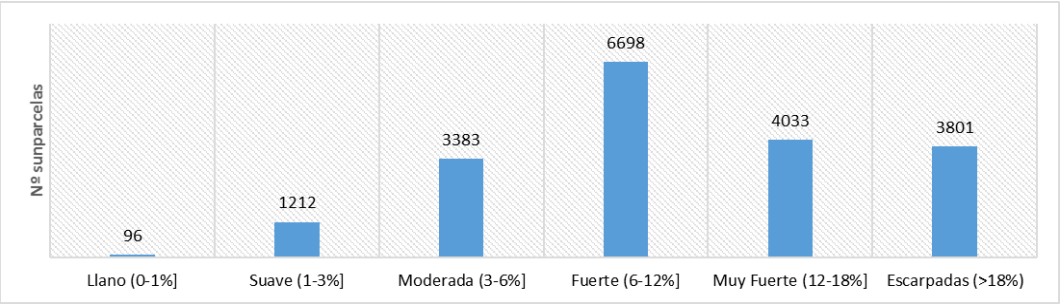


Figura 3. Número de subparcelas por categorías de pendiente.

Como se observa, un 34,8% de subparcelas se encuentran clasificadas dentro del intervalo *Fuerte*, seguidas, con un 21%, un 19,8% y un 17,6% respectivamente, por las subparcelas con pendiente *Muy Fuerte*, *Escarpadas* y *Moderadas*. Por último y con unos porcentajes menores al resto se encuentran las subparcelas con la clasificación *Suave* (6,3%) y *Llano* (0,5%). Las parcelas que no superan el 6% de pendiente media suponen el 24,4% del total. En ellas, prácticamente no existe pérdida de eficiencia en la labor de recogida. En el extremo opuesto se sitúa un 19,8% de las parcelas, con una pendiente superior al 18%, porcentaje a partir del cual aumenta el riesgo de vuelco.

El escaso peso relativo de las parcelas con pendiente llana y suave (6,8% en total) puede deberse a que se atribuye un valor medio a cada parcela y es muy reducido el número de parcelas en las que la topología del terreno sea totalmente plana. La pendiente media del conjunto de parcelas analizadas es del 12,3%, muy próxima a la pendiente media de la Zona Media de Navarra –del 15%- donde se ubican la totalidad de las parcelas (Navarra, 2014).

3.3. Superficie

En la Figura 4 se presenta el resultado del análisis del parámetro superficie.

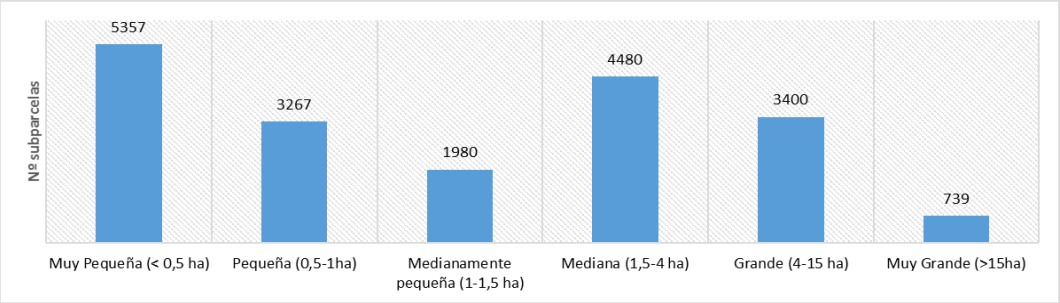


Figura 4. Número de subparcelas por categorías de superficie.

La mayoría de parcelas, el 27,9%, se encuentran clasificadas dentro del intervalo *Muy pequeña.* Les siguen, las parcelas *Medianas* (23,3%), *Grandes* (17,7%), *Pequeñas* (17,0%) y *Medianamente pequeñas* (10,3%). Las menos abundantes son las *Muy grandes*, con un 3,8% del total.

La mayoría de las parcelas no superan la hectárea de superficie (44,9%). Esto puede ser debido a que en esta zona de Navarra todavía existen municipios en los que no se ha llevado a cabo un proceso de concentración parcelaria. Por encima de esa superficie, no se considera que una mayor o menor extensión afecte significativamente a la dificultad del proceso de recogida, empacado y carga de la paja, aunque sí, lógicamente, es relevante para obtener una mayor o menor producción. Asimismo, una mayor superficie hace más eficiente el proceso de carga en camión y transporte de la materia prima. La superficie media del conjunto de las parcelas estudiadas es 2,0 ha, si bien la variabilidad de las mismas oscila entre 181,42 ha la parcela más extensa y 0,005 ha la más pequeña. La superficie media de una subparcela es de 1,45 ha, oscilando los valores extremos entre 167, 63 ha y 0,005 ha.

3.5. Puntuación final de las subparcelas

En la Figura 5 se presenta el resultado del análisis de la puntuación.

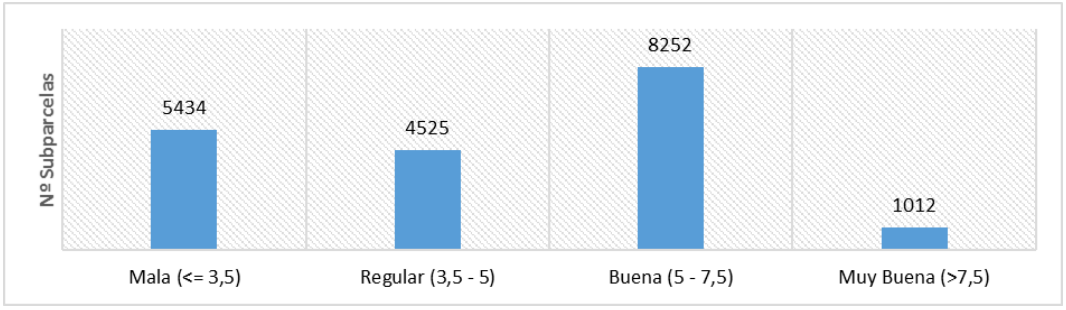


Figura 5. Número de subparcelas por categorías de puntuación.

La mayoría de parcelas (42,9%) se encuentran clasificadas dentro del intervalo *Buena*, seguidas de *Malas* (28,3%), *Regulares* (23,5%) y *Muy buenas* (5,3%).

La existencia de más de un 28% de parcelas consideradas como *Malas* se debe principalmente al factor que más pondera en la calificación final: la superficie. Cabe recordar que el 44,9% de las parcelas no superan la hectárea de superficie, lo que penaliza su calificación final. A ello cabe agregar que el 75,6% de las parcelas superan el 6% de pendiente media, lo que también penaliza el resultado final de las mismas. En todo caso, pese a ello, resulta significativo que casi la mitad de las parcelas (48,2%) obtienen una calificación *Buena* o *Muy buena*.

3.6. Puntuación final por municipio

En la Tabla 3 puede apreciarse el resultado del análisis de la puntuación final por municipios.

Tabla 3. Escala valoración puntuación subparcelas

PUNTUACION	Municipios
Mala (<= 3,5)	5
Regular (3,5 - 5)	*44*
Buena (5 - 7,5)	41
Muy Buena (>7,5)	*0*

La mayoría de municipios se encuentran clasificados dentro de los intervalos *Regular (48,9%) y Buena (45,6%)*, seguidos de *Malos* (5,6%). No existen municipios que obtengan una puntuación *Muy Buena.*

Para finalizar este apartado, en la Figura 6, se muestran los municipios estudiados, con sus respectivas puntuaciones y su clasificación en código de colores.

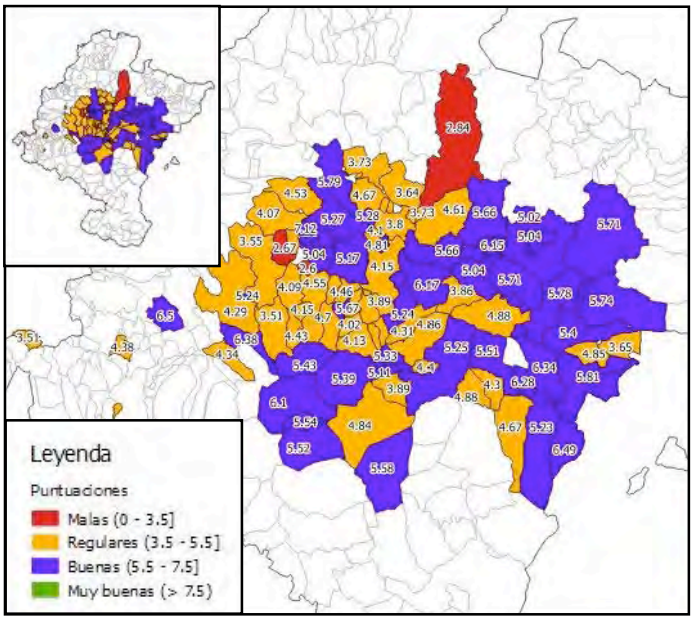


Figura 6. Puntuación media por municipios

4. Conclusiones

Las herramientas SIG han demostrado ser indicadas para el análisis de grandes volúmenes de datos, combinando de forma eficiente los datos cartográficos con los valores numéricos asociados a cada unidad territorial considerada (subparcelas, parcelas y municipios). En concreto, este estudio es una herramienta útil para la eventual toma de decisiones referidas a la elección de las parcelas concretas de las que se abastece.

El análisis de las características físicas (distancia a planta, pendiente y superficie) de las subparcelas revela diferencias significativas entre ellas, y estas diferencias permiten discriminar entre la mayor idoneidad de las mismas para abastecer de materia prima a la planta de producción.

Si bien el estudio individualizado de cada subparcela resulta coherente desde un punto de vista metodológico, éste debe combinarse con fórmulas que permitan agrupar las parcelas por proximidad entre ellas (aquí se ha hecho a nivel municipal). De esta forma se obtendrán resultados más útiles

desde un punto de vista práctico, que permitan considerar actuaciones sobre zonas más amplias que las correspondientes al nivel de subparcela o parcela.

5. Bibliografía

Acciona Energía. 2016. Áreas de actividad. Biomasa. (Acceso el 2 de mayo de 2017) http://www.acciona-energia.com/es/areas-de-actividad/otras-tecnologias/biomasa/

Arana, I., J. Mangado, P. Arnal, S. Arazuri, R. Alfaro y C. Jarén. 2010. Evaluación de los riesgos de accidente mortal en agricultura. *Spanish Journal of Agricultural Research, 8*(3), 592-598.

Barredo, J. I. 1996. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. *Madrid: RA-MA Editorial.*

Garañeda, R. y J. L. Bengoa. 2005. Estudio de disponibilidad de biomasa en seis zonas de Castilla y León. IV Congreso Forestal Español. Zaragoza

Bravo, J. D., L. S.Esteban, D. Sánchez, P. Ciria, y P. Lasry. 2003. Evaluación de la biomasa potencial como recurso energético en la región de Navarra (España). *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (3), 14.

Domínguez, J. y M. J. Marcos. 2000. Análisis de la producción potencial de energía con biomasa en la región de Andalucía (España) utilizando sistemas de información geográfica. *Cybergeo: European Journal of Geography.*

España. 2014a. Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

España. 2014b. Orden IET/1045/2014, de 16 de junio, por la que se aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

García-Martín, A., Galindo, D. G., Pascual, J., De la Riva, J., Pérez-Cabello, F., & Montorio, R. 2011. Determinación de zonas adecuadas para la extracción de biomasa residual forestal en la provincia de Teruel mediante SIG y teledetección. *Revista Internacional De Ciencia y Tecnología De La Información Geográfica,* (11), 19-50.

IRENA (International Renewable Energy Agency). 2012. Renewable energy technologies: cost analysis series, biomass for power generation. Volume I: Power sector. Issue 1/5.

Navarra. 2009. Riesgos en la cosechadora de cereales ficha nº 27. (Acceso el 2 de mayo de 2017) *http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/14A8C868-B9FA-491D-A39E-BFC776DC6877/0/27.PDF*.

Navarra. 2014. Informe de estado del medio ambiente. (Acceso el 2 de mayo de 2017) *http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/271FCCC8-3FD8-4317-8E77-3D0E3CFD679B/0/situacion_fisica.pdf.*

Perpiñá, C. 2012. Metodologías para la ubicación de plantas de biomasa mediante modelos de localización basados en programación lineal y evaluación multicriterio en el entorno de los sistemas de información geográfica. Tesis. U*niversidad Politécnica de Valencia. Valencia*

REE (Red Eléctrica Española). 2016. El sistema eléctrico español. Avance 2015*.*

Tena, E. C. 2012. Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos Económicos de ICE,* (83), 117-140.

Vega, J. A. y M. P. Ruiz. 2013. Agricultura de precisión: Hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria. *Ambienta: La Revista del Ministerio de Medio Ambiente,* (105), 16-27.

Viana, H., W. B. Cohen, D. Lopes, y J. Aranha. 2010. Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal. *Applied Energy, 87*(8), 2551-2560.

Área Temática:

Inovação Educativa em Agroengenharia

Innovación Educativa en Agroingeniería

Desarrollo de un simulador de conducción de tractores con realidad virtual inmersiva para la formación en prevención de riesgos laborales

Dolores Ojados Gonzalez[1], Bernardo Martin-Gorriz[2], Isidro. Ibarra Berrocal[1], Alvaro Macian Morales[1], Gustavo Adolfo Salcedo[1], Beatriz Miguel Hernandez[3]

[1] Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica. Universidad Politécnica de Cartagena, Plaza del Hospital s/n, 30202, Cartagena, España. E-mail: lola.ojados@sait.upct.es; isidro.ibarra@sait.upct.es; alvmacian@gmail.com; gustavosalcedo12@gmail.com

[2] Dpto. de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola. Paseo Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, España. E-mail: b.martin@upct.es

[3] Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental. Paseo Alfonso XIII, 52, 30203, Cartagena, España. E-mail: beatriz.miguel@upct.es

Resumen

Los accidentes por vuelco del tractor son una de las principales causas de muerte en la agricultura. Este equipo de investigadores ha desarrollado una solución tecnológica para este problema para tractores con arco de seguridad abatible. Se trata de un dispositivo de seguridad que permite el accionamiento automático del arco de seguridad cuando el tractor sobrepasa un determinado ángulo de inclinación; y además, permite accionar el arco a voluntad por el tractorista, cuando este percibe que se encuentra en una situación de riesgo de vuelco. Como continuación en esta línea de investigación, se presenta un simulador de conducción con realidad virtual inmersiva, al que se incorpora el dispositivo de seguridad para formar en prevención de riesgos laborales a los tractoristas. El simulador de conducción incorpora una plataforma con movimiento en 3 grados de libertad, que permite transmitir al conductor la sensación de aceleración, inclinación y vuelco. Para crear escenas virtuales de terrenos agrícolas se ha utilizado UNITY5; y Solidworks2014 para el modelado 3D del tractor incluyendo el modelado del arco de seguridad abatible con el dispositivo de seguridad automático. Finalmente usando UNITY 5 se ha programado el comportamiento físico del tractor, se han configurado las escenas virtuales y los periféricos que forman parte del simulador (gafas de realidad virtual inmersiva y retroproyector). Este simulador está permitiendo formar a los conductores de tractores agrícolas sobre la conducción segura y el uso adecuado de los dispositivos de seguridad, además concienciándolos sobre el riesgo de accidente por vuelco y reforzando las conductas seguras.

Palabras clave: ROPS, dispositivos de seguridad, prevención de accidentes.

Development of a tractor driving simulator with immersive virtual reality for training in the prevention of occupational hazards

Abstract

Tractor rollover remains one of the leading causes of fatalities and serious injuries in agriculture. This researcher has developed a technological solution for this problem in tractors with deployable ROPS. The safety device allows the automatic deployment of the ROPS when the tractor exceeds a specific tilt angle; and additionally, the driver can deploy the ROPS when there is a risk of turning over. Following this research topic, a driving simulator has been developed with immersive virtual reality and deployable ROPS for training tractor drivers in occupational risk prevention. The driving simulator has a motion platform with three degrees of freedom, which allows to transmit to the driver the sensations of acceleration, inclination and overturn. UNITY5 has been used to create virtual scenes of agricultural land; with Solidworks2014 being used for 3D modeling of the tractor, including modeling the ROPS joint with the automatic safety device. Finally, the tractor's physical behavior, the virtual scenes and the peripheral devices (immersive virtual reality glasses and overhead projector) have been programmed using UNITY 5. This driving simulator is for training agricultural tractors drivers in safe-driving techniques and in the proper use of the safety devices (belt and ROPS), to raise awareness about the risk of injury and to reinforce safe behavior.

Keywords: ROPS, safety devices, accident prevention.

1. Introducción

Los accidentes por vuelco del tractor son una de las principales causas de muerte en la agricultura. El atrapamiento por vuelco de tractor sin cabina es sin duda el riesgo laboral más importante en el sector agrario por la gravedad de las lesiones que ocasiona; en su mayoría se trata de accidentes mortales (Martin et al., 2012). La legislación establece la obligatoriedad de que todos los equipos de trabajo sean seguros para el trabajador (RD 1215/1997). En los tractores fruteros y viñeros, el fabricante sí incorpora el arco de seguridad, pero queda a criterio del tractorista que el arco de seguridad esté en posición vertical o bien en posición de reposo.

Según estudios realizados por técnicos del Instituto de Seguridad y Salud (Murcia) el accionamiento a mano del arco de seguridad requiere en algunos casos una fuerza mayor de 25 kg para ponerlo en posición vertical, valor que se recomienda no superar según la *Guía Técnica de Manipulación Manual de Cargas* cuando se trata de poner en movimiento o parar una carga. Así mismo, como resultado de la valoración del riesgo de trastornos músculo-esqueléticos en extremidad superior y zona dorsal de la espalda, obtuvieron que 14,28 kg es el valor recomendable de fuerza que no debe superarse para esta tarea. Además, los tractoristas reconocen que cuando esta operación la deben realizar con cierta frecuencia a lo largo del día, se tiende a descuidar su ejecución. Esto genera multitud de situaciones en las que no se utiliza convenientemente, quedando el tractorista en estas ocasiones desprotegido frente al vuelco. Desde el Grupo de Trabajo "Sector Agrario", de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo se han propuesto modificaciones legislativas a nivel nacional y comunitario, referentes a la necesidad de que las protecciones antivuelco tipo arco de los tractores agrícolas dispongan de sistemas de elevación y bajada que permitan accionarlos desde al puesto de conducción, así como sistemas que accionen de forma automática dicho arco en función del grado de inclinación del mismo.

Este equipo de investigadores ha desarrollado una solución tecnológica para este problema. Se trata de un dispositivo de seguridad que permite el accionamiento automático del arco de seguridad cuando el tractor sobrepasa un determinado ángulo de inclinación; y además, permite accionar el arco a voluntad por el tractorista, cuando este percibe que se encuentra en una situación de riesgo de vuelco (Ibarra et al., 2015; Ojados et al., 2016). Como complemento para reducir este tipo de accidentes es necesario formar a los tractoristas para que puedan identificar las distintas situaciones de riesgo durante la conducción, así como aprender las medidas preventivas y las técnicas de conducción seguras, necesarias para realizar su actividad sin riesgo. Para poder abordar esta faceta de la seguridad laboral se ha desarrollado en la Universidad Politécnica de Cartagena un simulador de conducción con realidad virtual inmersiva (RVI), al que se ha incorporado el dispositivo de seguridad patentado previamente.

La RVI es aquella que se da en un ambiente tridimensional creado por un ordenador, siendo una interfaz humano-máquina avanzada que permite experimentar de manera multisensorial, una simulación computarizada de manera interactiva y en tiempo real en la cual los usuarios pueden interactuar a través de cascos, guantes y otros accesorios para el cuerpo. Consta de equipamientos, instalaciones, software, hardware y aplicaciones diseñadas para tal fin. Si bien la tecnología de realidad virtual existe hace más de cincuenta años, no ha sido hasta hace unos años, que como consecuencia de su bajo costo, se ha hecho más accesible (Smith, 2017). Esto ha permitido su uso masivo sobre todo en videojuegos (Lang et al., 2008). La RVI se está convirtiendo en una herramienta prometedora para utilizar en diversos sectores de seguridad y salud laboral, como en lucha contra incendios (Cha et al., 2012), seguridad de tráfico (Backlund et al., 2007) y seguridad aérea (Chittaro y Buttussi, 2015). También se está comenzando a utilizar como herramienta para la formación de los trabajadores en tareas con riesgo, como mantenimiento de líneas eléctricas (Rosendo et al., 2011) o trabajo en ambientes confinados (Grabowski y Jankowski, 2015). Queda así abierta la posibilidad de entrar en escenarios virtuales con la máxima sensación de realidad utilizando guantes y gafas para generar una sensación de realismo total (Bruno y Muzzupappa, 2010). La inclusión de plataformas con movimiento permite que el usuario pueda desplazarse libremente por un escenario virtual

ofreciendo más realismo. Este tipo de aprendizaje, según algunos estudios realizados, tiene un porcentaje de retención de conocimiento en mensajes clave del 90%, frente a los métodos de formación tradicionales que proporcionan un retorno de entre el 10 y el 20% (Ruiz, 2015). La sensación de realidad, hace que esta tecnología sea extremadamente útil para la formación en seguridad y salud laboral, dado que permite practicar situaciones de riesgo e incluso accidentes de manera controlada, tanta veces como sea necesario, hasta conseguir la plena formación de los operarios en trabajos en andamios, trabajos agrícolas, carretillas elevadoras, etc. Este tipo de tecnología permite que se pueda: (1) informar y formar a los operarios; (2) entrenar en zonas con riesgo de accidente laboral; (3) corregir de errores tempranos en la fase de aprendizaje; (4) investigar accidentes e (5) incrementar la seguridad del operario en trabajos con riesgo de accidente laboral.

El objetivo principal de este trabajo es mostrar la aplicación de la tecnología de RVI para el desarrollo de un simulador de conducción de tractor agrícola con arco de seguridad abatible y su valoración para la formación en prevención de riesgos laborales. La plataforma con RVI desarrollada permite simular situaciones reales y así evaluar las respuestas y las reacciones de los tractoristas de una manera más efectiva. Además, esta herramienta permitirá entrenar y desarrollar las competencias que previamente se hayan evaluado, así como crear un perfil de progresión de cada usuario.

2. Materiales y Métodos

2.1. Diseño del tractor

El modelo de tractor elegido para la simulación fue el modelo CASE IH-2140; puesto que fue el primer tractor comercial al que se le instaló el dispositivo de seguridad automático. Se trata de un tractor de pequeñas dimensiones diseñado específicamente para cubrir los requerimientos de los trabajos en viñedos y frutales (Fig. 1). El diseño tridimensional completo del tractor se ha realizó con el software Solidworks2014, que integra un gran número de funciones avanzadas para facilitar el modelado de piezas, crear grandes ensamblajes, generar planos y otras funcionalidades que le permiten validar y gestionar proyectos de forma rápida, precisa y fiable. Haciendo uso de esta herramienta se obtuvo un modelo 3D del tractor con un aspecto visual y comportamiento físico realista (Fig. 1). Además se modeló el arco de seguridad abatible con el dispositivo de seguridad automático.

Figura 1. (Izq.) tractor agrícola real CASE IH-2140; (Dcha.) modelo 3D del tractor CASE IH.

Para el modelado de cada una de las piezas del tractor y su ensamblaje se utilizó el software integral de CAD/CAM/CAE CATIA V5(r21). El modelado 3D, tanto del tractor como del sistema antivuelco se desarrolló siguiendo la secuencia de trabajo descrita a continuación. Los módulos del software

utilizados fueron: s*ketcher, part design* y *assembly design*; cada uno de ellos posee sus propias herramientas, el módulo *part design* contiene las herramientas que conforman la geometría tridimensional del diseño, *sketcher* permite una vez configurado en su geometría y dimensiones, dar forma plana 2D; y el módulo *assembly design* dispone de herramientas para ensamblar todas las piezas creadas e imponer restricciones de posición y contacto entre ellas. Por lo tanto, el primer paso fue el modelado de todos y cada uno de los componentes del tractor y posteriormente se llevó a cabo su ensamblaje. Se modelaron un total de 17 componentes del tractor, entre los que cabe destacar: neumáticos, llantas, ejes del tractor, asiento, volante y arco de seguridad con accionamiento manual y automático. De esta manera, siguiendo la secuencia: creación de croquis 2D (*sketch* en ese caso), creación de sólido (*part design*) a partir del *sketch*, modificación del *part design* mediante operaciones basadas en nuevos perfiles 2D, se obtuvo el modelado final de cada una de las 17 piezas que conformaron el ensamblaje del tractor.

Para completar el modelo 3D se realizó el ensamblaje de cada una de las piezas que se habían creado; para ello, se empleó el módulo de CATIA *assembly design*. El ensamblaje consta de sub-ensamblajes (p.e. ruedas y eje delantero) y de un ensamblaje general. A modo de ejemplo se muestra en la Fig. 2 el ensamblaje de una rueda (neumático-llanta).

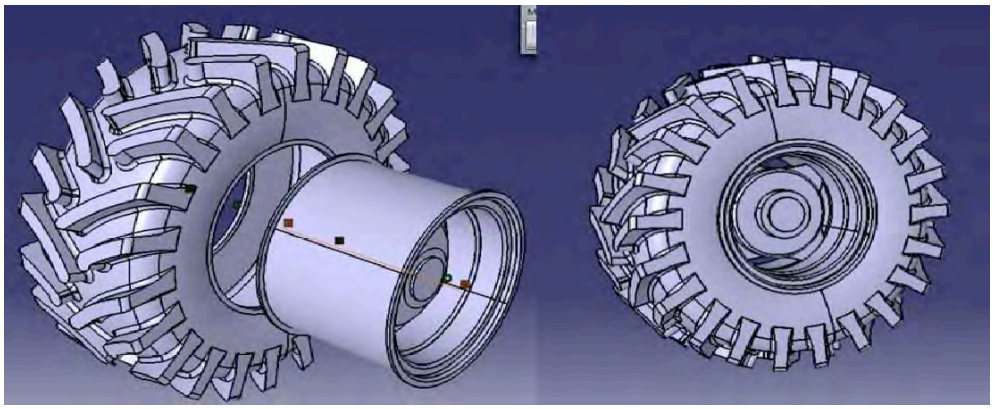


Figura 2. Ensamblaje de una rueda (neumático-llanta).

Terminada la fase de modelado se procedió al texturizado y renderizado. Para el texturizado existen limitaciones, ya que sólo se puede incluir una textura por componente. Por lo tanto, para poder aplicar un mayor número de texturas se había de haber dividido previamente el sólido en partes diferencias. En nuestro caso se dividió el tractor en cuatro partes diferenciadas: chasis, parte superior, guardabarros trasero y volante. Por último, se procedió a aplicar las propiedades físicas de masa y posición del centro de gravedad del tractor real al modelo 3D.

2.2. Diseño de la escena virtual

Para la creación del escenario virtual se empleó el software UNITY 5 que se utiliza para el desarrollo de videojuegos y experiencias interactivas 2D/3D. A tal efecto se construyó un circuito donde el tractorista se encontraba en situaciones de riesgo de vuelco. Todo comenzaba en una nave de aperos desde la que se accedía, por un camino, a la explotación agraria donde había cultivos en espaldera, frutales, invernaderos y parcelas a las que se accedía subiendo y bajando pendientes. A lo largo del recorrido el tractorista se encontraba en situaciones donde era necesario que el arco de seguridad estuviera en posición vertical (como p.e. terrenos con pendiente, caminos, etc.) y otros donde no existía riesgo de vuelco, y el arco podía estar abatido para no dañar los arboles a su paso (Fig. 3).

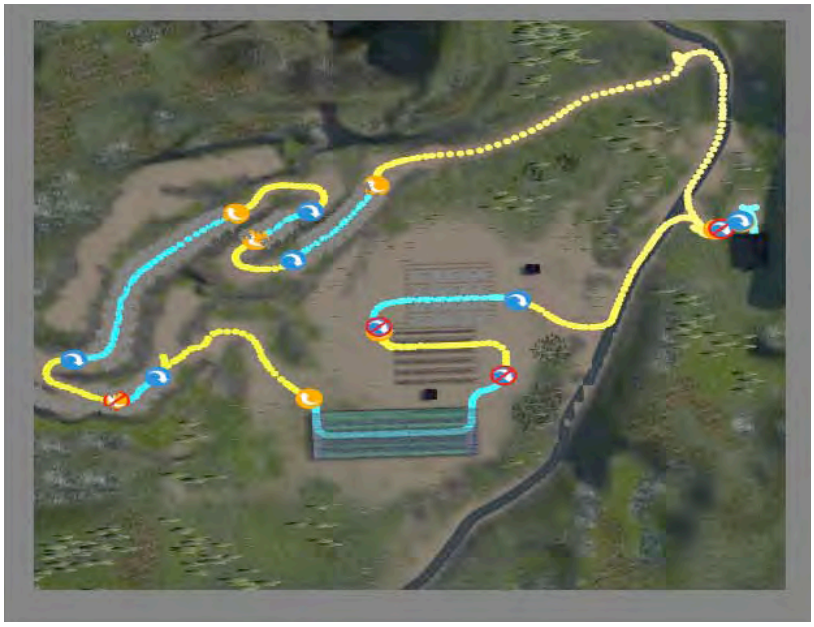


Figura 3. Circuito agrícola virtual.

Durante el recorrido por el circuito, el software desarrollado medía el tiempo que tardaba en hacer el recorrido completo, el número de veces que el tractorista activaba el arco voluntariamente porque consideraba que se encontraba en una situación de riesgo y la ubicación donde lo hacía; así como en número de veces que el tractorista no activaba el arco a pesar de encontrarse en lugares con riesgo de vuelco. Finalizado el recorrido se mostraba en la pantalla el numero de fallos cometidos, y la posición del recorrido donde se habían producido. Así mismo se ofrecía una puntuación entre 0 y 10, según los fallos que se hayan cometido.

Para un nivel de formación avanzado se creó una escena donde el conductor experimentaba una situación de vuelco controlada del tractor.

2.3. Plataforma de simulación de conducción

El simulador incorpora una plataforma de movimiento de 3 grados de libertad que transmite la sensación de aceleración, inclinación y vuelco. Es capaz de alcanzar ± 12 grados de inclinación, suficiente para transmitir la sensación de vuelco de manera segura. Dicha plataforma está compuesta por una base sobre la cual se encuentran 3 motores y una plataforma superior sobre la que acopla el sistema de conducción (asiento, volante, pedales y mandos) (Fig. 4). Destacar que se incorporó un cinturón de seguridad en la plataforma para su uso obligatorio. Con esto se consigue prevenir el riesgo de caída de la plataforma y además se fomenta el uso del cinturón de seguridad en los tractores, ya que actualmente no es obligatorio pero sin el cual los dispositivos de seguridad antivuelco pierden eficacia.

2.4. Periféricos del simulador

La plataforma de simulación tiene la posibilidad de conectarse a unas gafas de realidad virtual aptas para un solo usuario o bien a un retroproyector situado frente a la plataforma, y que ofrece la posibilidad de visualizar la escena tanto por el conductor como por otros espectadores. En el caso de optar por las gafas de realidad virtual, se utilizan las *Oculus Rift* que permiten al conductor experimentar la simulación de manera completamente inmersiva ya que utilizan una tecnología de seguimiento de baja latencia de la cabeza a 360°, lo que permite realizar un seguimiento en tiempo real del movimiento de la cabeza creando una experiencia natural e intuitiva. El campo de visión es de más de 90 grados horizontales (110 grados en diagonal). En ambos casos la sala dispone de un

equipo de audio con sonido envolvente los 360º para conseguir una experiencia virtual con una percepción lo más real posible.

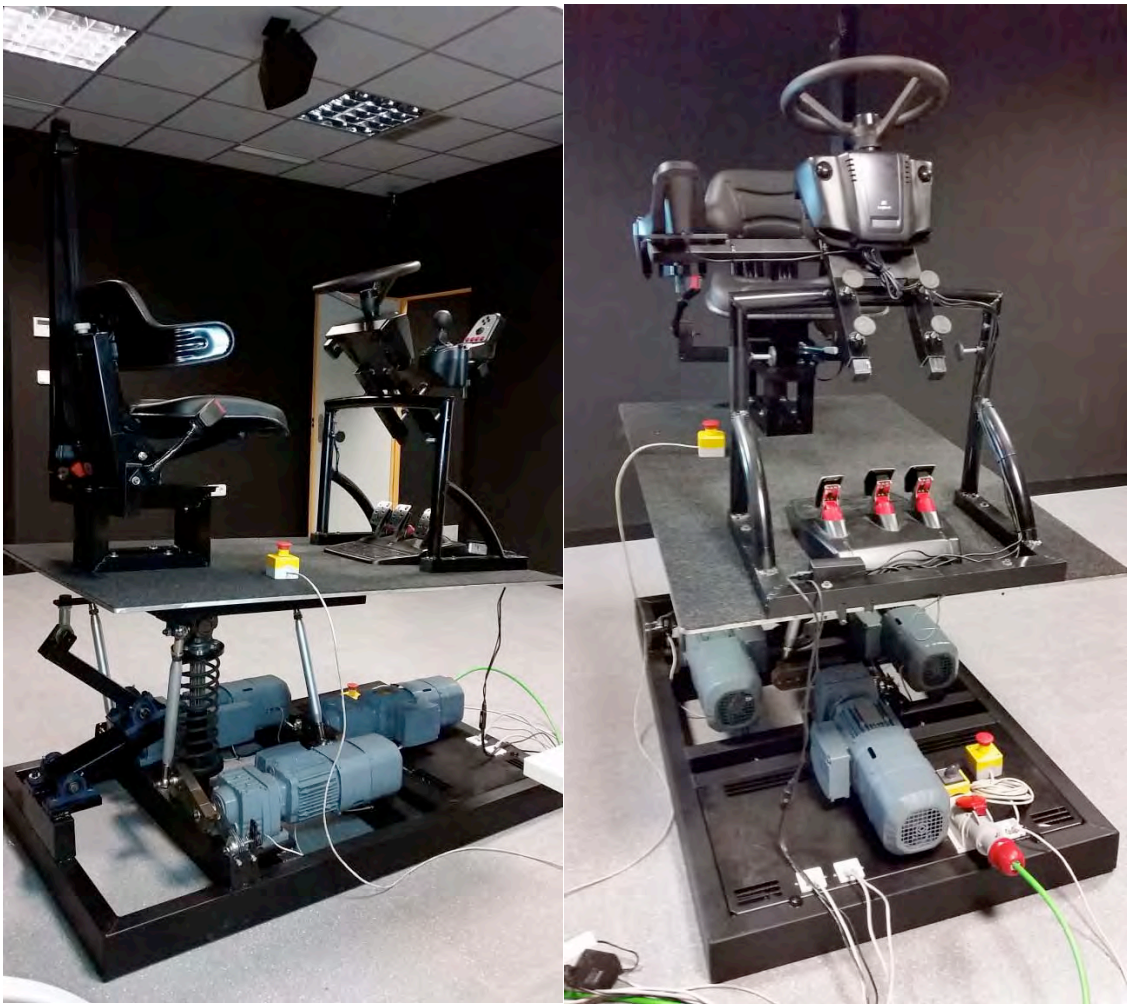


Figura 4. Plataforma de simulación de conducción.

2.5. Integración de los componentes

Utilizando el software UNITY 5 se integró el comportamiento físico del tractor (apartado 2.1) con la escena virtual (apartado 2.2), la plataforma de simulación de conducción (apartado 2.3) y los periféricos del simulador (apartado 2.4).

3. Resultados y Discusión

Como resultado de la integración de la plataforma de conducción, hardware y software se ha desarrollado y construido un simulador de conducción de tractores con realidad virtual inmersiva para la formación en prevención de riesgos laborales.

Durante la simulación el conductor puede experimentar la conducción libre del tractor por un terreno agrícola (Fig. 5). Decidir en cualquier momento como interactuar con el dispositivo de seguridad, pudiendo subir manualmente el arco de seguridad pulsando un botón si cree que hay riesgo de vuelco; o bajarlo para evitar dañar los arboles frutícolas y salvar obstáculos. De esta

manera se obtiene información sobre la percepción de peligro del conductor y su nivel de comportamiento seguro. Si durante su recorrido alcanza el ángulo de inclinación crítico, el arco de seguridad se desplegará automáticamente simulando el funcionamiento real del dispositivo de seguridad automático. En la Fig. 6 se muestra la inclinación de la plataforma de conducción como consecuencia de una simulación de un vuelco controlado en la que está inmerso el conductor.

Figura 5. Conducción en el simulador.

Figura 6. Vuelco en el simulador.

Una vez finalizado el recorrido, se muestra en la pantalla el tiempo total que ha necesitado para hacer el recorrido completo, así como tiempo que el tractor ha estado parado. Así mismo, el número de veces que el tractorista ha activado el arco voluntariamente porque consideraba que se encontraba en una situación de riesgo; así como en número de veces que el tractorista no ha activado el arco a pesar de encontrarse en lugares con riesgo de vuelco; y también se muestra un plano del recorrido donde se señalan los lugares de las infracciones (Fig. 7).

Figura 7. Escena virtual.

Una vez finalizado el recorrido, a cada individuo se le pasa una encuesta para recoger la información básica sobre el perfil del conductor, sus conocimientos prácticos sobre el manejo de tractores y sobre la seguridad de las máquinas. Por último, se pregunta por la percepción del riesgo antes y después de la prueba. Toda esta información es recogida en un cuestionario estructurado en una base de datos, para posteriormente poder realizar el tratamiento estadístico de la información recogida y obtener resultados que permitan mejorar el estado del conocimiento de la materia.

4. Conclusiones

En este trabajo muestra la aplicación de la realidad virtual inmersiva como herramienta para la formación y concienciación en prevención de riesgos laborales, así como para la simulación del funcionamiento de nuevos dispositivos de seguridad.

Muchas de las situaciones en las que el trabajador se encontrará no pueden ser practicadas en un entorno real porque conllevan un riesgo elevado para el mismo. El uso de simuladores permite al trabajador entrenarse repetidamente en condiciones que podrían ser peligrosas, adquiriendo un entrenamiento adecuado mediante la repetición, de forma que cuando el trabajador se encuentre con esa situación en la vida real sepa reaccionar adecuadamente ya que la ha practicado multitud de veces en el simulador.

Concretamente este simulador permite formar a los conductores de tractores agrícolas sobre la conducción segura y el uso adecuado de los dispositivos de seguridad (cinturón y arco de seguridad), concienciándolos sobre el riesgo de accidente por vuelco y reforzando las conductas seguras.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido posible gracias a la financiación y el apoyo de la Dirección General de Trabajo y el Instituto de Seguridad y Salud de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Bibliografía

Backlund, P., H. Engström, M. Johannesson and M. Lebram. 2007. Games and Traffic Safety - an Experimental Study in a Game-Based Simulation Environment. *11th International Conference Information Visualization - IV '07*, pp. 908–916.

Bruno, F. and M. Muzzupappa. 2010. Product interface design: A participatory approach based on virtual reality. *Int. J. Human-Computer Studies* 68: 254–269.

Cha, M., S. Han, J. Lee and B. Choi. 2012. A virtual reality based fire training simulator integrated with fire dynamics data. *Fire Safety Journal* 50: 12–24.

Chittaro, L. and F. Buttussi. 2015. Assessing knowledge retention of an immersive serious game vs. a traditional education method in aviation safety. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions* 21(4): 529–538.

Grabowski, A. and J. Jankowski. 2015. Virtual Reality-based pilot training for underground coal miners. *Safety Science* 72: 310-314.

Ibarra Berrocal, I., B. Martin Gorriz, D. Ojados Gonzalez, B. Miguel Hernandez, F. Caro Garcia, P. Morales Sanchez and A. Morente Sánchez. 2015. *Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas*. ES2452489.

Lang, T., B. MacIntyre and I. Jamardo. 2008. Massively multiplayer online worlds as a platform for augmented reality experiences. *Virtual Reality Conference VR '08. IEEE.* 8-12 March 2008.

Martín Gorriz, B., I. Ibarra Berrocal, A. Mínguez Samper and A. Morente Sánchez. 2012. Accidentes por vuelco de tractor de la Región de Murcia: propuestas para su reducción. *Formación de Seguridad Laboral* 123: 70-71.

Ojados Gonzalez, D., B. Martin-Gorriz, I. Ibarra Berrocal, B. Miguel Hernandez, F. Caro Garcia and P. Morales Sanchez. 2016. Development of an automatically deployable roll over protective structure for agricultural tractors: Prototype and first tests. *Computer Electronics in Agriculture* 124: 46-54.

Rosendo, M., T. Buriol, K. de Geus, S. Scheer and C. Felsky. 2011. Towards the development of a 3d serious game for training in power network maintenance. In *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), Third International Conference*, 16–23.

Ruiz, J. 2015. Oculus Rift: realidad virtual para el aprendizaje inmersivo en seguridad laboral. (acceso el 16 de diciembre de 2016). http://prevenblog.com/oculus-rift-realidad-virtual-para-el-aprendizaje-inmersivo-en-seguridad-laboral/

Smith, D.A. 2017. A perspective from the long view: 35 Years in *VR. IEEE Virtual Reality*.

Desarrollo de un proyecto de ingeniería agrícola como Trabajo Fin de Grado: implicaciones y valoración por los estudiantes

Alberto Tascón[1] , Elena González[1]

[1] Dpto. Agricultura y Alimentación, Universidad de La Rioja, Av. Madre de Dios 53, 26006 Logroño, España. alberto.tascon@unirioja.es; elena.gonzalez@unirioja.es

Resumen

En muchas universidades ha sido habitual que los estudios de ingeniería finalizaran con el desarrollo por parte del estudiante de un proyecto de ingeniería, que servía como resumen integrador y al mismo tiempo aplicación práctica de los diversos conocimientos adquiridos en los estudios. Sin embargo, la implantación del "plan Bolonia" (Espacio Europeo de Educación Superior, EEES) y de diversos sistemas de acreditación y de calidad en las Universidades ha supuesto reajustes en las enseñanzas que también han podido afectar al desarrollo de estos proyectos, ahora denominados Trabajo Fin de Grado (TFG). El objetivo de este estudio ha sido obtener información sobre el desarrollo de los proyectos que los estudiantes elaboran para el TFG en el Grado en Ingeniería Agrícola de la Universidad de La Rioja. La metodología aplicada ha consistido en la elaboración de encuestas para su cumplimentación por los estudiantes una vez terminado el proyecto, con el fin de detectar las mayores dificultades que se han encontrado, su percepción general sobre el desarrollo y utilidad del proyecto y sobre algunas de las competencias adquiridas. También se ha realizado el seguimiento de varios TFG, con especial atención a las horas de trabajo empleadas por los estudiantes. Además, se han analizado los datos existentes sobre el tipo de proyectos elaborados y la convocatoria (junio, septiembre o febrero) en la que los estudiantes los terminaron. La información obtenida en el presente estudio puede permitir la mejora de aspectos relacionados con el TFG (tutorización, definición de temas, etc.) y, ante todo, plantea una reflexión sobre el importante papel que juega el proyecto fin de carrera en la formación de los futuros ingenieros.

Palabras clave: Tutorización, encuestas, plan de estudios, EEES, competencias

Development of an agricultural engineering project for the senior capstone course: implications and students' perceptions

Abstract

In many universities, the engineering programs have included a culminating experience for students involving a substantive capstone project (or final-year project) that demonstrates a synthesis of learning accumulated during the studies. At the same time, this project intends to be a realistic simulation of future design problems. However, the implementation of the Bologna process (European Higher Education Area, EHEA) and the requirements by quality assessment and accreditation systems have produced some modifications in the engineering degrees that could have affected to the development of these courses. The objective of the present study was to obtain information about the engineering projects carried out by 4th year students of the Agricultural Engineering Degree at the University of La Rioja (Spain). A simple questionnaire aimed at students was developed to identify the most difficult items or stages of the project, to asses their perceptions of the development and usefulness of these capstone projects and their perceptions about some of the competencies developed. In addition, some students were selected to monitor the time they had to dedicate to their projects during the academic year. Also, information on the types of projects that have been evaluated since the new degrees were implemented and their corresponding dates of submission has been collected and analysed. The results of this study could permit improvements in diverse aspects of these capstone courses' management, such as the supervisor tasks or the definition of project aims and closing. This study also draws attention to the important role that the final-year project plays on the education of engineers.

Keywords: Supervision, surveys, engineering program, EHEA, competencies

1. Introducción

Los estudios de ingeniería han finalizado tradicionalmente en muchas universidades con el desarrollo por parte del estudiante de un proyecto fin de carrera, que servía como resumen integrador de los diversos conocimientos adquiridos en los estudios y al mismo tiempo como aplicación práctica de los mismos a un caso real.

Sin embargo, la implantación de las nuevas titulaciones del "plan Bolonia" (Espacio Europeo de Educación Superior, EEES) y de diversos sistemas de acreditación y de calidad en las Universidades ha supuesto un reajuste completo de las enseñanzas de ingeniería, lo cual también ha podido llegar a afectar al desarrollo de estos proyectos, ahora denominados Trabajo Fin de Grado (TFG).

En España los títulos universitarios que habilitan para el ejercicio de la ingeniería agrícola, que está establecida como una profesión regulada (Jefatura del Estado, 1986), deben cumplir lo establecido por la Orden CIN 323/2009 (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2009). Dicha Orden establece que los Trabajos Fin de Grado tendrán al menos 12 ECTS y consistirán en un *ejercicio original a realizar individualmente y presentar y defender ante un tribunal universitario, consistente en un proyecto en el ámbito de las tecnologías específicas de la Ingeniería Agrícola de naturaleza profesional en el que se sinteticen e integren las competencias adquiridas en las enseñanzas*. Las tecnologías específicas establecidas son cuatro: Industrias Agrarias y Alimentarias, Explotaciones Agropecuarias, Hortofruticultura y Jardinería, y Mecanización y Construcciones Rurales.

En la Universidad de La Rioja se recoge la definición de TFG que da la Orden CIN 323/2009 como una competencia específica asociada a la asignatura TFG y aparece en la correspondiente guía docente (Universidad de La Rioja, 2016). Por tanto, todos los TFG realizados por los alumnos consisten en proyectos de ingeniería agrícola y no se admiten otro tipo de trabajos, ya sean de tipo profesional o de investigación. El TFG se configura en la Universidad de La Rioja como una asignatura de 2º semestre en 4º curso con 12 ECTS, y termina con el depósito del trabajo realizado, previa autorización del tutor, y la posterior defensa oral ante un tribunal de 3 miembros. Para el depósito del TFG es requisito tener todas las demás asignaturas de la titulación previamente aprobadas. La defensa del TFG permite al alumno finalizar sus estudios y graduarse.

Es evidente que pueden existir ciertas dificultades y desafíos en el desarrollo de estos TFG por parte de los estudiantes, en la correspondiente tutorización por el profesorado, y en la gestión de todo el proceso desde los correspondientes órganos de dirección (Marin et al., 1999).

En primer lugar, estos proyectos representan un reto para los estudiantes, ya que habitualmente es la primera vez que se enfrentan a una tarea tan extensa y compleja. Además, el estudiante tiene que integrar conocimientos adquiridos a lo largo de sus cuatro años de estudios y tiene que diseñar diversos elementos (plantaciones, instalaciones, edificios o infraestructuras). En algunos casos, además, el estudiante se tiene que enfrentar a problemas o situaciones nuevas o poco conocidas, tiene que tomar muchas decisiones de forma autónoma, etc.

En segundo lugar, estos TFG suponen un importante esfuerzo para los tutores, que tienen que asumir distintos papeles en su tarea de supervisión (Dutson et al., 1997). Existen diversas formas de tutorización: por ejemplo, supervisiones más o menos proactivas, o supervisiones más o menos centradas en los aspectos técnicos, en los aspectos formales o en la consecución de objetivos y tiempos (Domínguez Pérez et al., 2012). Sin embargo, con frecuencia los tutores no han sido formados específicamente para desarrollar estas tareas de la forma más eficiente posible. Además, en ocasiones los tutores tienen que suplir carencias previas en la formación de los estudiantes.

Por último, el correcto desarrollo de los TFG es clave para los procesos de acreditación y renovación de los títulos, ya que son una prueba del nivel de competencias que adquieren los estudiantes al terminar sus estudios. Por otro lado, si el tiempo empleado por el alumno para terminarlo es excesivo puede suponer un deterioro de la tasa de graduación (estudiantes que finalizan sus estudios en 4 o 5 años con respecto al total de estudiantes de la cohorte) (ANECA, 2016), una menor

matriculación en las titulaciones de máster, o incluso una percepción negativa por parte de los estudiantes con respecto a la titulación cursada.

Por todo ello, este estudio tiene el objetivo fundamental de obtener información sobre el desarrollo de los TFG consistentes en proyectos de ingeniería agrícola, de manera que se puedan detectar aspectos concretos susceptibles de ser mejorados, tanto en su planteamiento, desarrollo, evaluación o gestión.

2. Metodología

En primer lugar se estudiaron los datos disponibles sobre los TFG de ingeniería agrícola ya terminados en la Universidad de La Rioja desde el curso 2013/2014, el primero curso en que se graduaron estudiantes en las nuevas titulaciones del plan Bolonia. En segundo lugar, se diseñaron encuestas para obtener información de los alumnos. En tercer lugar, se diseñó una plantilla de trabajo para monitorizar la dedicación de los estudiantes, con el objeto de registrar el número de horas que dedican a su TFG. El estudio se ha aplicado únicamente a los estudiantes del Grado en Ingeniería Agrícola de la Universidad de La Rioja.

Las encuestas se utilizaron al final del desarrollo del TFG, una vez terminado y defendido. Aunque hubiera sido posible plantear diversas encuestas a lo largo del curso, existe el riesgo de obtener una tasa de respuesta muy baja por cansancio de los encuestados, por lo que esa opción fue desechada y se elaboró una encuesta sencilla de sólo 5 preguntas para conseguir una tasa de respuesta alta. La encuesta fue diseñada para detectar los aspectos que presentan más dificultad para los estudiantes, su percepción general sobre las horas de trabajo dedicadas y las horas de tutorías utilizadas, y sobre la utilidad del TFG y las competencias adquiridas. La encuesta se ha utilizado ya durante dos cursos académicos y se han obtenido 31 respuestas.

Por otro lado el seguimiento del desarrollo del TFG se llevó a cabo mediante el diseño de unas plantillas en Excel y su distribución entre varios estudiantes y sus correspondientes tutores, utilizando un email de presentación y con refuerzo mediante conversación directa o telefónica para lograr su implicación en este estudio. Los estudiantes fueron elegidos para que hubiera un reparto equitativo entre las dos tecnologías específicas ofertadas en la Universidad de La Rioja: Industrias Agrarias y Alimentarias, y Hortofruticultura y Jardinería.

La plantilla de Excel para los estudiantes fue diseñada para diferenciar las horas dedicadas a los distintos aspectos que implica la redacción de un proyecto como TFG:

- Definición inicial del proyecto y toma de decisiones.
- Búsqueda de información.
- Tutorías con profesores.
- Cálculos y redacción de anejos.
- Elaboración de planos.
- Redacción del Pliego de Condiciones.
- Elaboración de mediciones y presupuestos.
- Redacción de la Memoria.

El registro de horas de trabajo por el estudiante se probó por primera vez durante el curso 2015/2016 con un número muy reducido de estudiantes, y se ha extendido para el curso actual 2016/2017 a un mayor número de participantes, por lo que todavía es un trabajo que está en progreso y hay pocos datos finales recopilados. El propósito es prolongar este estudio en el tiempo, por lo que se dispondrá en el futuro de una muestra cada vez más amplia y representativa.

3. Resultados y Discusión

La percepción del estudiante en cuanto a su dedicación en horas de trabajo al TFG se muestra en la Figura 1, a partir de los valores obtenidos en las encuestas. Los 12 ECTS de la asignatura TFG suponen 300 horas de trabajo del alumno, repartidos en 270 horas de trabajo autónomo y 30 horas de tutoría, según la guía docente de la asignatura (Universidad de La Rioja, 2016), por lo que los resultados indican que el 83,8% de los encuestados tienen la percepción de haber dedicado más horas, e incluso para el 41,9% un número muy elevado de horas (>500 horas). Sin embargo, estos datos únicamente indican la percepción del estudiante, y no necesariamente tienen que ajustarse al tiempo realmente dedicado. Por ese motivo, la monitorización de las horas trabajadas por el estudiante y su comparación con estos resultados, es clave para poder obtener conclusiones más fiables.

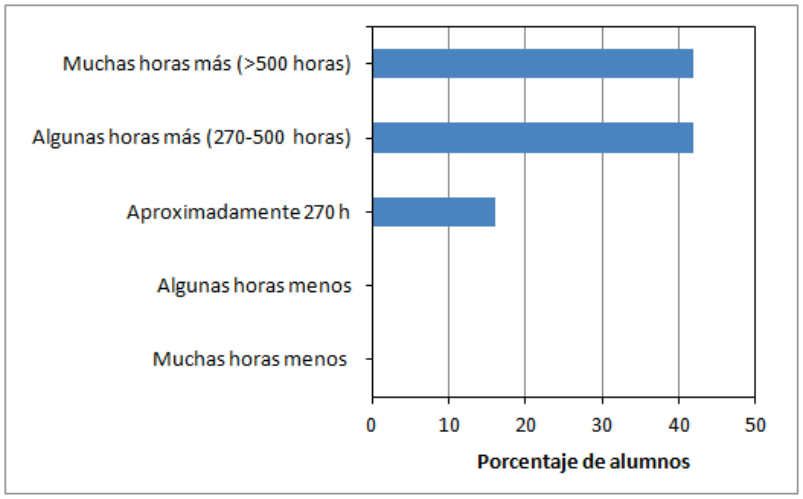


Figura 1. Percepción del estudiante sobre las horas de trabajo dedicadas al TFG.

El valor medio del tiempo realmente dedicado al TFG, según los datos registrados por 3 estudiantes a lo largo del curso académico, fue de 396 horas de trabajo autónomo (sin considerar las tutorías). Este valor medio debe ser tomado con cautela a la espera de contar con los datos correspondientes al presente curso 2016/2017 y siguientes. En cuanto a las distintas fases de trabajo y documentos del proyecto, en todos los casos la mayor parte del tiempo se dedicó a los cálculos y redacción de anejos y el segundo lugar, dependiendo del proyecto, correspondió a la búsqueda de información, la elaboración de planos, o la elaboración del presupuesto. Por otro lado, el tiempo medio de tutorías con profesores fue de 15 horas; hay que resaltar que la dedicación de los tutores puede ser muy superior a este valor, ya que hay que añadir el tiempo empleado en revisar documentos sin estar el alumno presente, contestar emails, realizar el informe de seguimiento/evaluación del alumno, etc.

Los resultados obtenidos hasta el momento parecen sugerir que la dedicación del alumno es superior al valor previsto de 270 horas, pero que la percepción de gran parte de los estudiantes (41,9%) de haber dedicado mucho más tiempo del previsto (>500 horas) puede no ajustarse a la realidad; esta percepción puede deberse a la gran intensidad con la que los alumnos trabajan durante las últimas semanas previas al depósito de su TFG. Otros factores a considerar en futuros estudios podría ser la influencia de la calificación obtenida en el TFG, de la calificación media del estudiante a largo de toda la titulación, o del tipo de proyecto desarrollado.

La intensa dedicación que exige a los alumnos la realización de un proyecto como TFG plantea una preocupación para los gestores de las titulaciones: ¿Este tipo de TFG obliga al alumno a alargar sus estudios? El prolongar los estudios en exceso puede tener repercusiones negativas en las tasas de graduación del título y en el acceso a los másteres. La Tabla 1 presenta los datos medios correspondientes al Grado en Ingeniería Agrícola de la Universidad de La Rioja. Como puede

observarse, el 24,6% de los alumnos matriculados por primera vez en TFG lo terminan en la convocatoria ordinaria de junio y el 27,9% en la convocatoria extraordinaria de septiembre. Por tanto, el 52,5% de los alumnos terminan su TFG en el tiempo previsto. Sin embargo, el 26,2% de los estudiantes no son capaces de terminar su TFG en el año en que se matricularon por primera vez, a pesar de tener todas las demás asignaturas aprobadas tras la convocatoria extraordinaria y estar autorizados en consecuencia a depositar y defender su TFG. Por el contrario, el 21,3% de los alumnos tenían suspensa alguna otra asignatura, lo cual impidió que pudieran depositar su TFG y graduarse, por lo que el TFG no fue la causa de que sus estudios se prolongaran un curso académico más.

A la vista de los resultados puede deducirse que sólo el 26,2% de los estudiantes, en el supuesto más desfavorable, ha visto retrasada su graduación debido al TFG. Hay que tener en cuenta que en la realidad este porcentaje puede ser inferior, ya que intervienen otros factores, tales como: realización de prácticas en empresa, estancias Erasmus, gran número de otras asignaturas suspensas y aprobadas en la convocatoria extraordinaria, estudiantes que simultanean estudios y trabajo, etc. Por tanto, no parece que la realización de un proyecto de ingeniería como TFG esté retrasando de manera significativa la graduación de los alumnos.

Tabla 1. Número medio de alumnos que terminan su TFG en las distintas convocatorias

Parámetro	Convocatoria ordinaria (junio)	Convocatoria extraordinaria (septiembre)	No consiguen terminar el TFG en el curso	Tienen otras asignaturas pendientes
% alumnos	24,6	27,9	26,2	21,3

En contraste con la percepción del estudiante en cuanto a su dedicación personal al TFG, las horas utilizadas de tutorías presenciales son escasas (ver Figura 2): el 45,2% emplea menos horas de las previstas (entre 10 y 25 horas o <10 horas), el 19,4% utiliza aproximadamente las 30 horas previstas en la guía docente, y el 35,5% usó más de 30 horas (entre 35 y 50 horas).

Los resultados de la encuesta permitieron identificar los aspectos que presentaron mayor dificultad para los alumnos durante el desarrollo de su TFG. El 61,3% de los estudiantes indicaron el manejo de herramientas informáticas (para realizar planos, presupuestos, etc.). El 48,4% encontró dificultades con algún documento en particular del proyecto, con una mayoría de casos relacionados con instalaciones (fontanería, saneamiento, electricidad o incendios) o con el cálculo de estructuras; un cierto déficit en la formación relativa a instalaciones ya ha sido detectado en estudios previos (Tascón et al., 2014). También el 25,8% de los estudiantes encontraron dificultades en encontrar información sobre el proceso, maquinaria y equipos necesarios para su proyecto.

En cuanto a la utilidad del TFG, la mayoría de los alumnos encuestados reconocieron que desarrollar un proyecto como TFG les sirvió para aprender a enfrentarse a un proyecto de ingeniería y también para relacionar entre sí conocimientos de varias asignaturas de la carrera. Los alumnos puntuaron con 3.77 su capacidad para resolver problemas y con 3.27 su capacidad para diseñar (sobre un máximo de 5).

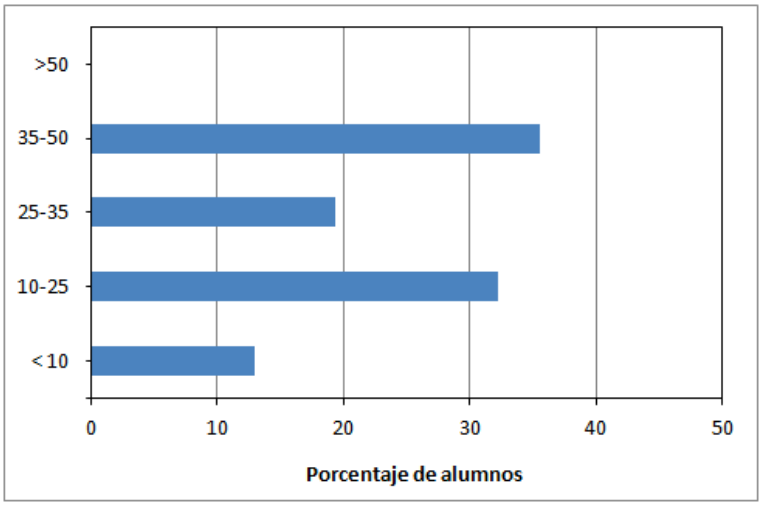


Figura 2. Percepción del alumno sobre las horas de tutorías utilizadas para el TFG.

4. Conclusiones

Se ha realizado un estudio sobre el desarrollo de proyectos de ingeniería agrícola como Trabajo Fin de Grado en la Universidad de La Rioja. De los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Los alumnos tienen la percepción de que estos proyectos demandan muchas horas de trabajo autónomo, muy por encima del tiempo medio previsto en la guía docente de la asignatura.
- Hay indicios de que el tiempo realmente dedicado por los estudiantes no coincide con la percepción que tienen al acabar su TFG, aunque sí sea superior al previsto. Éste es un aspecto que parece requerir un estudio con mayor profundidad.
- A pesar del número de horas de trabajo que precisan, estos TFG no están retrasando la graduación de los estudiantes de manera significativa. En el supuesto más pesimista, el TFG ha podido retrasar la graduación sólo en el 26,2% de los casos.
- El 21,3% de los alumnos no pueden depositar su TFG y graduarse porque tienen otras asignaturas suspensas.
- Hay disparidad en el uso de las tutorías presenciales con profesores por parte de los estudiantes: el 45,2% usó menos horas de las previstas en la guía docente, pero el 35,5% empleó más.
- El manejo de herramientas informáticas y el cálculo de instalaciones o estructuras son los elementos que presentan mayor dificultad para los estudiantes en su TFG.
- Los estudiantes reconocen el valor de desarrollar un proyecto como TFG para aprender a enfrentarse a un proyecto de ingeniería y para relacionar entre sí conocimientos de las asignaturas de la titulación.
- El interés de los resultados indica la necesidad de prolongar este estudio en el tiempo. Futuras líneas de estudio pueden ser la influencia de la nota media del alumno, de la nota obtenida en el TFG, o del tipo de proyecto desarrollado.

Agradecimientos

Este trabajo ha contado con financiación del Vicerrectorado de Profesorado de la Universidad de La Rioja a través de su convocatoria de Proyectos de Innovación Docente del curso 2016/2017.

Bibliografía

ANECA. 2016. Guía de Autoevaluación: renovación de la acreditación de títulos oficiales de Grado, Máster y Doctorado. Programa ACREDITA. Agencia Nacional de Evaluacón de la Calidad y Acreditación (Acceso el el 3 de Abril de 2017). http://www.aneca.es/Programas-de-evaluacion/ACREDITA/Documentacion-y-herramientas-informaticas

Domínguez Pérez, C., A. Jaime Elizondo, F. J. García-Izquierdo, and J. J. Olarte Larrea. 2012. Supervision typology in computer science engineering capstone projects. *Journal of Engineering Education* 101: 679-697.

Dutson, A. J., R. H. Todd, S. P. Magleby, and C. D. Sorensen. 1997. A review of literature on teaching engineering design through project-oriented capstone courses. *Journal of Engineering Education* 86: 17-28.

Jefatura del Estado. 1986. Ley 12/1986, de 1 de abril, sobre regulación de las atribuciones profesionales de los Arquitectos e Ingenieros técnicos. *Boletín Oficial del Estado* 2.04.1986: 11573-11574.

Ministerio de Ciencia e Innovación. 2009. Orden CIN/323/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Agrícola. *Boletín Oficial del Estado* 19.02.2009: 17719-17723.

Marin, J. A., J. E. Armstrong, and J. L. Kays. 1999. Elements of an optimal capstone design experience. *Journal of Engineering Education* 88: 19-22.

Tascón, A., R. Álvarez, and P. J. Aguado. 2014. Analysis of competencies required by agricultural engineering graduates. *International Journal of Engineering Education* 30: 1008-1022.

Universidad de La Rioja. 2016. Guía docente del Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Agrícola (Acceso el 3 de Abril de 2017). https://aps.unirioja.es/GuiasDocentes/servlet/agetguiahtml?2016-17,802G,470

Aprendizaje-servicio en huertos urbanos como recurso didáctico

Carlos Javier Porras-Prieto[1], Fernando R. Mazarrón[2], Alberto Sanz-Cobena[3], José Luis García[4]

[1] Dpto. Ingeniería Agroforestal, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, carlosjavier.porras@upm.es

[2] Dpto. Ingeniería Agroforestal, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, f.ruiz@upm.es

[3] Dpto. Química y Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, a.sanz@upm.es

[4] Dpto. Ingeniería Agroforestal, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, joseluis.garciaf@upm.es

Resumen

Los huertos urbanos son instalaciones que están cobrando importancia y popularidad en nuestra sociedad. Con los huertos urbanos como eje, se está realizando una acción formativa en tres grados y dos másteres de la ETSIAA Biosistemas (antigua ETSI Agrónomos/EUIT Agrícola) de la Universidad Politécnica de Madrid.

Los objetivos fundamentales de la acción formativa son promover la mejora de la motivación de los estudiantes promoviendo el aprendizaje experiencial y sus aplicaciones al desempeño profesional; y poner los cimientos de un equipo de formación en huertos urbanos, para dar servicio técnico en el futuro a la comunidad de Madrid. Los huertos urbanos constituyen un buen recurso didáctico por tratarse de instalaciones pequeñas, sin excesiva complicación en cada materia, pero con conexiones con muchas materias y competencias, de ingeniería agrícola.

Las fases y acciones de la acción formativa son las siguientes:

- Fase uno: reuniones de coordinación de los profesores implicados en el proyecto (en 21 asignaturas). Se diseña un calendario de seminarios y la preparación de un ebook y material divulgativo complementario.

- Fase dos: en la primera y segunda semana de curso del segundo semestre, se informa a los alumnos de las asignaturas implicadas sobre los seminarios y actividades del proyecto.

- Fase tres: se llevan a cabo los seminarios de formación transversal sobre huertos urbanos: especies vegetales, agricultura ecológica, obra civil, instalaciones (riego, equipamiento, energía), paisajismo, recuperación de espacios degradados.

- Fase cuatro: se selecciona un conjunto de alumnos voluntarios para que realicen trabajos (de asignaturas implicadas), en la temática de huertos urbanos, preferiblemente realizando un diseño total o parcial de un huerto urbano, o de alguna de sus instalaciones, o sobre producción de especies vegetales.

- Fase cinco: Se concluye la preparación del ebook y material divulgativo complementario.

El proyecto, por tanto, propone crear un itinerario formativo transversal que conecte la formación en varias vertientes de la producción e ingeniería agrícola, en un marco común, en un tema con posibilidades de proyección profesional y empleo en el futuro.

Palabras clave: Innovación educativa, aprendizaje experiencial, motivación

Service-learning in urban agriculture

Abstract

Urban agriculture involves facilities that are gaining importance and popularity in our society. With urban agriculture, a training action is carried out in three bachelor´s degrees and two masters of the ETSIAA Biosistemas (former ETSI Agronomos / EUIT Agrícola) of the Polytechnic University of Madrid.

The main objectives of the training action are to promote the improvement of student motivation by promoting service-learning and its applications to professional performance; and establish the foundations of a training team in urban agriculture, to provide future technical assistance to the community of Madrid. Urban agriculture is a good educational resource because it involves small installations, without excessive complication in each subject, but with connections with many subjects and skills, in agricultural engineering.

The phases and actions of the training action will be the following:

- Phase one: coordination meetings of the teachers involved in the project (in 21 subjects). The calendar of seminars and the preparation of an ebook and complementary informative material will be designed.

- Phase two: in the first and second week of the second semester, students are informed of the subjects involved and seminars and project activities.

- Phase three: Cross-training seminars on urban agriculture: plant species, ecological agriculture, civil engineering, facilities (irrigation, equipment, energy), landscaping, recovery of degraded areas.

- Phase four: a group of volunteer students is selected to carry out academical studies (of subjects involved), in the subject of urban agriculture, preferably realizing a total or partial design of an urban orchard, some of its installations, or on production of plant species.

- Phase five: The preparation of the ebook and complementary informative material is concluded.

The project, therefore, proposes to create a transversal training itinerary that connects training in various aspects of agricultural production and engineering, within a common framework, in a subject (urban agriculture) with possibilities of professional projection and future employment.

Keywords: Educational innovation, experiential learning, motivation

1. Introducción

El "aprendizaje-servicio" es una propuesta educativa que combina procesos de aprendizaje y de servicio a la comunidad en un único proyecto bien articulado en el que los participantes aprenden a la vez que trabajan en necesidades reales del entorno con la finalidad de mejorarlo (Puig et al., 2007; Martín y García, 2014).

2. Metodología

Los objetivos fundamentales de este trabajo son los siguientes:

- Promover la mejora de la motivación de los estudiantes promoviendo el aprendizaje experiencial in situ y sus aplicaciones al desempeño profesional, en la temática específica de huertos urbanos.

- Promover un enfoque didáctico multidisciplinar, de manera que se abarquen dos o más asignaturas, de las titulaciones de la ETSIAA Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

- Facilitar el desarrollo de competencias transversales: resolución de problemas, creatividad, organización y planificación, protección medioambiental (Perdigones et al., 2014).

- Cimentar un equipo de formación UPM en huertos urbanos, que lidere la actividad de aprendizaje-servicio en estos temas para el Ayuntamiento y la Comunidad de Madrid.

En las titulaciones de ingeniería agraria de la ETSIAA Biosistemas se imparten una serie de asignaturas de producción vegetal (fitotecnia, cultivos herbáceos, cultivos leñosos, agricultura ecológica), y otro conjunto de asignaturas de ingeniería (infraestructuras agrarias, instalaciones de riego, maquinaria agrícola). En algunos casos se echan en falta en su contenido aprendizaje experiencial y relaciones con otras materias. Los huertos urbanos pueden constituir una estructura didáctica transversal que relacione estas asignaturas con un proyecto profesional como marco, en el que la aplicación del aprendizaje se haga evidente; constituyen un buen recurso didáctico por

tratarse de instalaciones pequeñas, sin excesiva complicación en cada materia, pero con conexiones con muchas materias y competencias, de ingeniería agrícola.

El trabajo promueve un enfoque didáctico interdisciplinar, conectando las siguientes asignaturas:

- Grado en ingeniería agroambiental. Asignaturas implicadas: “Principios de agricultura ecológica”, “Tecnicas de revegetación y naturación en el medio rural y urbano”, “Mecanización para la agricultura sostenible”, “Proyectos de ingeniería agroambiental”.
- Grado en ingeniería agrícola. Asignaturas implicadas: “Técnicas de la producción hortícola”, “Sistemas de riego y drenaje”, “Dirección de obra civil en espacios verdes”, “Mecanización de áreas verdes y explotaciones hortofrutícolas”, “Recuperación de espacios degradados”.
- Grado en ingeniería y ciencia agronómica. Asignaturas implicadas: “Cultivos herbáceos”, “Arboricultura general”, “Ingeniería del riego y del drenaje”, “Ingeniería de la maquinaria agrícola”.
- Máster universitario en jardinería y paisajismo. Asignaturas implicadas: “Elementos vegetales”, “Paisajismo I”, “Instalaciones de riego I y II”, “Instalaciones eléctricas y de iluminación”.
- Máster universitario en agroingeniería. Asignaturas implicadas: "Construcción sostenible en el entorno rural", "Suministro de energía, ahorro energético y energías renovables", "Sistemas de distribución de agua de riego", "Hidrología del riego y del avenamiento".

Los coordinadores de estas asignaturas participan en la propuesta; la conexión se realizará mediante seminarios específicamente aplicados a huertos urbanos.

Estos seminarios promoverán la mejora de la motivación de los estudiantes promoviendo el aprendizaje experiencial (en huertos urbanos reales) y sus aplicaciones al desempeño profesional: un grupo de profesores implicados tienen experiencia en el diseño del proyecto de ingeniería de huertos urbanos. Se promocionará y apoyará que los alumnos realicen el trabajo fin de grado o de máster en una temática relacionada con los huertos urbanos, dirigidos por los profesores de la propuesta. La propuesta engloba 13 asignaturas de tres grados y 9 asignaturas en dos másteres universitarios, con el siguiente número de alumnos en las asignaturas implicadas:

- Grado en ingeniería agroambiental. 30 alumnos de tercer y cuarto curso.
- Grado en ingeniería agrícola. 40 alumnos de tercer y cuarto curso.
- Grado en ingeniería y ciencia agronómica. 50 alumnos de tercer y cuarto curso.
- Máster universitario en jardinería y paisajismo: 20 alumnos de segundo curso.
- Máster universitario en agroingeniería. 10 alumnos de primer curso (único).

Además, la propuesta pretende ser el germen de un proyecto plurianual más amplio, para ofrecer al Ayuntamiento y a la Comunidad de Madrid un equipo docente y profesional en huertos urbanos, capaz de formar en los próximos años un conjunto de técnicos que puedan dar servicio a la comunidad en el diseño y gestión de este tipo de instalaciones, dado que se trata de un proyecto de aprendizaje/servicio.

Las fases y acciones del proyecto serán las siguientes:

- Fase uno: reuniones de coordinación de los profesores implicados en el proyecto. Se diseña el calendario de seminarios y la preparación de un ebook y material divulgativo complementario.

- Fase dos: en la primera y segunda semana de curso del segundo semestre, se informa a los alumnos de las asignaturas implicadas sobre los seminarios y actividades del proyecto.

- Fase tres: Se llevan a cabo los seminarios de formación transversal sobre huertos urbanos:

- La agricultura ecológica y los huertos urbanos.
- Especies vegetales para huertos urbanos.

- Técnicas de cultivo hortícola (I y II). Prácticas en los huertos urbanos del proyecto.
- Infraestructuras de los huertos urbanos: riego, equipamiento, energía (I y II). Prácticas en los huertos urbanos del proyecto.
- Recuperación de espacios degradados.
- Diseño de un huerto urbano. Fundamentos de paisajismo.
- El proyecto técnico de un huerto urbano.
- Cambio climático y agricultura urbana: potencial de mitigación.

Los seminarios, diseñados como un conjunto coordinado, se ofrecen a los alumnos de todas las asignaturas anteriores. Las prácticas se realizan en el huerto periurbano de agricultura ecológica de la ETSIAA Biosistemas, y en un huerto urbano convencional del Ayuntamiento de Madrid de la calle Alfonso XIII de Madrid, con el que se ha llegado a un acuerdo de colaboración dentro de la dinámica de aprendizaje-servicio.

- Fase cuatro: se selecciona un conjunto de alumnos voluntarios para que realicen trabajos (de asignaturas implicadas), en la temática de huertos urbanos, preferiblemente realizando un diseño total o parcial de un huerto urbano, o de alguna de sus instalaciones, o sobre producción de especies vegetales en estas instalaciones.

- Fase cinco: Se concluye la preparación del ebook y material divulgativo complementario.

El proyecto permitirá disponer en el futuro de un conjunto formativo estructurado, con un mínimo de ocho seminarios, sobre huertos urbanos, con un equipo de profesores (y alumnos) preparado para impartirlo en el futuro, tanto dentro de la UPM (en sus grados y másteres) como en otros ámbitos extrauniversitarios de la Comunidad de Madrid. Estos seminarios estarán disponibles en forma de ebook y material divulgativo complementario, impreso y en formato digital.

3. Resultados y Discusión

Los principales resultados del proyecto se pueden encontrar en la página WEB asociada al trabajo:

http://blogs.upm.es/huertosurbanos/

página WEB que está abierta a todo el mundo, con información técnica y de divulgación generada en el proyecto. Como muestra de la información, se pueden descargar documentos de un proyecto real de ingeniería de huertos urbanos, como planos (Figura 1) o presupuestos (resumen en la Tabla 1).

La experiencia práctica nos ha indicado que estas actividades de aprendizaje-servicio se pueden integrar en la actividad docente en dos formatos: como actividad formativa (con o sin créditos ECTS dentro de alguno de los planes de estudio) y/o como líneas para realizar trabajos fin de grado o fin de máster. En general es difícil dedicar una asignatura completa (o una parte considerable de una asignatura) a actividades de aprendizaje-servicio. En este trabajo se ha optado por realizar seminarios los miércoles, en horario de 15.00 h. a 16:00 h. (horario que no compite con las asignaturas convencionales) que se ofrecen de forma voluntaria a los alumnos de las 22 asignaturas implicadas. Con este formato se ha conseguido una asistencia aceptable, con una media de 25 alumnos por seminario.

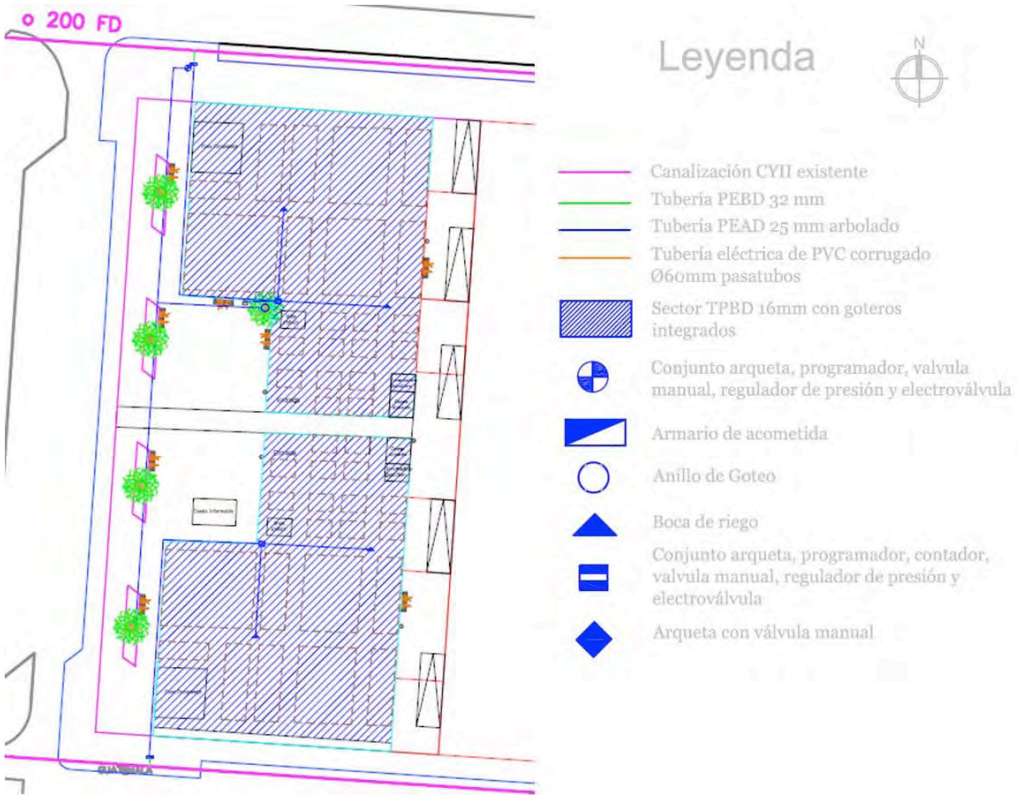


Figura 1. Plano de una fase del diseño de la instalación de riego, del huerto urbano del Ayuntamiento de Madrid de la calle Alfonso XIII, en el que se realizan prácticas y actividades de aprendizaje-servicio, con un acuerdo de colaboración entre el departamento universitario y la asociación de vecinos del huerto urbano

Tabla 1. Resumen del presupuesto de una fase del diseño del huerto urbano del Ayuntamiento de Madrid de la calle Alfonso XIII. Presupuesto de ejecución material: 24 euros m^{-2}

Concepto	Presupuesto de ejecución material
Pavimentos	
- Relleno, extendido y apisonado de zahorras	7045 euros
- Soleras de hormigón	1949 euros
- Bordillos de hormigón prefabricado	2265 euros
Parcelas de cultivo	
- Tierra vegetal, mantillo y rastrillado	6457 euros
- Borduras de chapa galvanizada	9101 euros
Drenaje y saneamiento	
- Tubería de drenaje enterrada de PVC	4441 euros
- Relleno de grava de 40-80 mm en zanjas de drenaje y materiales complementarios, incluida la acometida a la red general de saneamiento	7201 euros
Instalaciones	
- Instalación de riego por goteo	3614 euros
- Instalación de iluminación	11165 euros
- Vallado con tela metálica	14831 euros
- Fuente y papeleras	1077 euros
TOTAL	**69146 euros**

Una vertiente de las actividades de aprendizaje-servicio es que es necesario un contacto con un colectivo social, al que se realiza un servicio. En este proyecto esa vertiente se va a realizar en el huerto urbano de la calle Alfonso XIII, gestionado por una asociación de vecinos, en el que el departamento universitario y la asociación van a colaborar para realizar un calendario de actividades y talleres, diseñadas por el profesorado y realizadas por los alumnos colaboradores.

Otro aspecto de las actividades de aprendizaje-servicio, en el lado académico, es que pueden ligarse a la formación en competencias éticas, o algún otro tipo de competencias generales (Martín y García, 2014), que actualmente se solicitan en las auditorías de determinados organismos acreditadores de titulaciones (por ejemplo, para la acreditación ABET). Las existencia de actividades de aprendizaje-servicio puede resultar muy útil para cubrir determinadas competencias demandadas en la auditoría.

4. Conclusiones

- Los principales resultados del proyecto se pueden encontrar en la página WEB asociada al trabajo:

http://blogs.upm.es/huertosurbanos/

- Nuestra experiencia indica que suele ser muy complicado dedicar una asignatura completa a temas de aprendizaje-servicio. Se pueden integrar en la actividad docente en dos formatos: como actividad formativa complementaria y/o como líneas para realizar trabajos fin de grado o fin de máster. Resulta práctico utilizar horarios que no compitan con las asignaturas convencionales (como el horario de 14:00 h. a 16:00 h.) para realizar las actividades. Con este formato se ha conseguido en nuestra experiencia una asistencia aceptable a los seminarios diseñados, con una media de 25 alumnos por seminario.

- Es necesario un contacto con un colectivo social, al que se realiza un servicio. Nuestra experiencia es que resulta muy práctico colaborar con una institución que esté físicamente próxima a la universidad.

- Otro aspecto de las actividades de aprendizaje-servicio, en el lado académico, es que pueden ligarse a la formación en competencias éticas, que actualmente se solicitan en las auditorías de determinados organismos acreditadores de titulaciones (por ejemplo, para la acreditación ABET).

Agradecimientos

El presente estudio se ha realizado gracias a la financiación, concedida por la Universidad Politécnica de Madrid, del proyecto de innovación educativa "Aprendizaje/servicio en huertos urbanos".

Bibliografía

Martín, D. A. y A. García. 2014. Experiences in social innovation: A platform for ethics through a school of engineering studies. *Journal of Cases on Information Technology* 16(3): 4-17.

Perdigones, A., D. L. Valera, G. P. Moreda y J. L. García. 2014. Competences in demand within the Spanish agricultural engineering sector. *European Journal of Engineering Education* 39(5): 527-538.

Puig, J. M., Batlle, R., Bosch, C. y Palos, J. 2007. *Aprendizaje servicio. Educar para la ciudadanía*. Barcelona: Editorial Octaedro.

Expectativas dos estudantes dos Cursos Técnicos Superiores Profissionais da Escola Superior Agrária de Bragança: Resultados preliminares

Maria Isabel Ribeiro[1,2]; António Fernandes[1,2]; Luís Santos[3]

[1]Departamento de Ciências Sociais e Exatas da Escola Superior Agrária; Instituto Politécnico de Bragança; Campus de Santa Apolónia, 5300-253, Bragança, Portugal

[2]Centro de Estudos Transdisciplinares para o Desenvolvimento; Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro; Edifício ECHS – Pólo II, Quinta de Prados, 5001-801, Vila Real, Portugal.

[3]Departamento de Produção e Tecnologia Vegetal da Escola Superior Agrária; Instituto Politécnico de Bragança; Campus de Santa Apolónia, 5300-253, Bragança, Portugal

Resumo

As formas de ensino destinadas aos adultos apresentam duas características em comum, nomeadamente, a participação voluntária e a frequência de um curso que serve um objetivo específico. Embora alguns possam fazer a escolha e optem por frequentar um curso por razões sociais e outros possam não saber claramente o que pretendem, todos eles têm em mente um propósito e, se não o conseguirem alcançar, mais cedo ou mais tarde abandonarão o curso.

Esta investigação teve como objetivos conhecer as expectativas dos estudantes do Curso Técnico Superior Profissional que frequentam; perceber que atributos consideram ser mais importantes para a sua escolha; e, identificar os fatores que mais contribuíram para o nível de satisfação com o curso até ao momento. Foi desenvolvido um estudo quantitativo e transversal baseado num questionário desenvolvido com base na literatura. O questionário foi administrado por e-mail, durante o mês de janeiro de 2017, após obtida a autorização por parte dos responsáveis da instituição. Os dados foram tratados com recurso ao software SPSS 23.0. Foram validados, até ao momento, 27 questionários de três localidades, designadamente, Amarante (7,4%), Bragança (55,6%) e Marco de Canaveses (37%).

Os estudantes, com idades compreendidas entre os 18 e os 39 anos, são na sua maioria do género masculino (77,8%), fazem parte de agregados familiares constituídos por 3 elementos (51,9%), com um rendimento mensal até 1000 euros (65,6%). A maioria dos estudantes está deslocada (66,6%), a uma distância, igual ou superior, a 50 km da sua residência.

Relativamente aos fatores que motivaram a escolha e a frequência do curso, os mais valorizados foram, por ordem decrescente de importância, o gosto pela área (88,9%), a possibilidade de poder continuar os estudos (37,0%), a influência dos pais (33,3%) e o potencial do curso em termos de saídas profissionais (18,5%).

Melhorar as condições de funcionamento dos cursos deslocalizados e intensificar a relação aluno/escola pode contribuir para a fidelização e aumento do nível de satisfação.

Palavras-chave: Formação, Alunos, Satisfação.

Professional Higher Technical Courses of the Bragança Higher Agriculture School: Preliminary results about Students Expectations

Abstract

Forms of education for adults have two characteristics in common, namely, voluntary participation and the frequency of a course serving a specific purpose. Although some may make the choice and choose to attend a course for social reasons and others may not know clearly what they want, they all have a purpose in mind and, if they cannot achieve it, sooner or later, they will drop out.

This research had as objectives: to know students expectations of the Professional Higher Technical Course that they attend; to perceive which attributes they consider being most important for their choice; and, to identify the factors that contributed the most to the satisfaction level with the course. A quantitative and cross-sectional study was conducted based on a questionnaire developed based on the literature. The questionnaire was applied by e-mail, during January 2017, after obtaining the authorization from the responsible of the school. The data were processed using SPSS 23.0 software. To date, 27 questionnaires from three localities have been validated, namely Amarante (7.4%), Bragança (55.6%) and Marco de Canaveses (37%).

The students, aged between 18 and 39 years, are mostly males (77.8%), are part of a household with 3 individuals (51.9%), with a monthly income up to 1000 euros (65.6%). The majority of the students are displaced (66,6%), at a distance, equal or superior to 50 km from their residence.

Regarding the factors that motivated the choice and the frequency of the course, the most valued were, in descending order of importance, the love at the area (88.9%), the possibility to continue the studies (37.0%), the parents influence (33,3%) and the course potential in the labor market (18.5%).
Improving the working conditions of the delocalized courses and intensifying the student/school relationship can contribute to the loyalty and to increase the satisfaction level.

Keywords: Formation; Students; Satisfaction

1. Introdução

As instituições de ensino superior não existem isoladamente. O ambiente em que estas instituições operam parece ser instável e turbulento. O ensino superior politécnico em Portugal está a passar por um período de grandes mudanças. A criação dos Cursos Técnicos Superiores Profissionais (CTeSP) é exemplo disso. Oficializados em 2014, pelo Decreto-Lei nº 43/2014 de 18 de março, estes cursos, com a duração de 2 anos, constituem uma nova tipologia de formação de Ensino Superior, tendo sido criados com o objetivo de melhor adequar a oferta educativa tanto à diversidade da procura como às necessidades do país. De acordo com este diploma, os CTeSP serão da responsabilidade do ensino superior politécnico e terão na sua estrutura, uma componente de formação geral e científica, uma componente de formação técnica e uma componente de formação em contexto de trabalho, que se concretiza através de um estágio.

De um mercado de trabalho desafiador e altamente competitivo e com uma população e força de trabalho cada vez mais diversificada, a integração no mercado de trabalho merece especial atenção uma vez que os estudantes investem grande parte de seu tempo, energia e recursos na obtenção de um curso e, como tal, criam grandes expectativas em relação às suas futuras carreiras (Wood, 2004; Hurst e Good, 2009).

A satisfação académica é um tema atual que tem sido, intensamente, analisado com o objetivo de se tentar perceber aquilo que o estudante apreende, a sua noção do que o rodeia, a importância que dá a determinados fatores, as expectativas por ele criadas, no sentido de, caso necessário, intervir no processo educativo, para a melhoria contínua das condições de aprendizagem e de tudo o que se relaciona direta ou indiretamente com o processo educativo (Adubeiro, 2010).

As formas de ensino destinadas aos adultos apresentam duas características em comum, nomeadamente, a participação voluntária e a frequência de um curso que serve um objetivo específico. Embora alguns possam fazer a escolha e optem por frequentar um curso por razões sociais e outros possam não saber, claramente, o que pretendem, todos eles têm em mente um propósito e, se não o conseguirem alcançar, mais cedo ou mais tarde abandonarão o curso (Bacellar e Ikeda, 2005). São vários os motivos que podem levar ao abandono escolar, nomeadamente, a facilidade em obter um emprego não qualificado, as dificuldades económicas e o baixo poder de compra das famílias, a desmotivação pela escola em geral, o sacrifício que é necessário fazer para vencer distâncias, entre outros (Caetano, 2005). Por outro lado, quando se termina um curso profissional há que decidir entre arranjar um emprego na área de formação ou tentar dar continuidade aos estudos, funcionando o curso como uma alavanca de acesso ao ensino superior (Schwab e Lazarotto, 2013).

De acordo com Sudharani e Kalpana (2012), cada vez mais, os estudantes procuram instituições que lhes proporcionem experiências educacionais únicas, memoráveis e pessoais, através da frequência de cursos que os preparem para o mercado de trabalho e lhes permitam exercer uma profissão remunerada com sucesso. A satisfação do estudante relativamente à instituição, curso e seu funcionamento, nomeadamente, instalações físicas (recursos e infraestruturas disponíveis), disponibilidade, cortesia, atenção e empatia dos professores, funcionários e colegas, as competências do corpo docente para o desempenho das suas funções, bem como a possibilidade de adquirirem competências e conhecimentos numa área para a qual se sentem vocacionados são fatores essenciais que afetam a perceção de qualidade e, como tal, influenciam o nível de satisfação com o curso e a instituição que os estudantes escolhem frequentar. Letcher e Neves (2010) defendem que a satisfação do estudante ajuda a construir autoconfiança e que a autoconfiança

ajuda os alunos a desenvolver habilidades úteis e a adquirir conhecimento espontaneamente. Nesta perspetiva, o conhecimento sobre os fatores de satisfação é, particularmente, importante uma vez que várias investigações dão conta de que cerca de 20 a 30% dos estudantes abandonam o curso e a instituição se não estiverem satisfeitos (Bogdan Sojkin *et al*, 2012). Por outro lado, a satisfação afeta o desempenho dos alunos (Pike, 1991), sendo um preditor da sua continuidade no curso e na instituição (Bogdan Sojkin *et al*, 2012). Na opinião de Sia e Ismail (2016), o apoio e o encorajamento dos pais exercem, igualmente, um papel importante na escolha do curso e da instituição, bem como nas expectativas criadas à volta destas escolhas.

Esta investigação teve como objetivos conhecer as expectativas dos estudantes que frequentavam os CTeSP da Escola Superior Agrária de Bragança (ESAB); perceber que atributos consideravam ser mais importantes para a escolha do curso; e, identificar os fatores que mais contribuíram para o nível de satisfação com o curso, até ao momento. Para o efeito, desenvolveu-se o presente trabalho que se estruturou em quatro secções, nomeadamente, a introdução, material e métodos, resultados e discussão e, finalmente, a conclusão. Na presente secção, apresentam-se os objetivos, justifica-se o estudo, estrutura-se o trabalho e faz-se a revisão da literatura de forma a enquadrar, teoricamente, o tema em estudo. A segunda secção descreve os materiais e métodos utilizados para realizar esta investigação, ou seja, os participantes, os materiais e os procedimentos. Na terceira secção apresentam-se e discutem-se os resultados da análise estatística. Finalmente, na quarta e última secção tecem-se as considerações finais.

2. Material e Métodos

Para atingir os objetivos referidos anteriormente foi realizado um estudo transversal, observacional, quantitativo e analítico. De acordo com Jung (2004), este estudo assume uma natureza transversal, porque a informação foi recolhida apenas uma vez, proporcionando uma "fotografia" das variáveis relevantes para o estudo num determinado momento. Uma vez que o estudo se enquadra na área das ciências sociais e tem como objetivos conhecer as expectativas dos estudantes do CTeSP que frequentam, perceber que atributos consideram ser mais importantes para a sua escolha, e, identificar os fatores que mais contribuíram para o nível de satisfação com o curso, de acordo com os mesmos investigadores, pode ser classificado como observacional. Por outro lado, o estudo pode ser classificado como quantitativo porque permite a representação do conhecimento adquirido na forma de gráficos, diagramas e cálculos. Finalmente, este estudo é analítico pois, para além de envolver o cálculo das estatísticas descritivas, permite estudar relações entre variáveis.

Para a recolha dos dados, foi utilizado um questionário baseado na literatura que foi administrado, diretamente por e-mail, aos estudantes dos CTeSP da ESAB. Antes da aplicação do questionário, foi solicitada autorização ao diretor da escola. O questionário não levava mais de dez minutos a ser preenchido. Para além disso, não requeria a identificação pessoal do aluno de forma a garantir o seu anonimato. A recolha de dados decorreu durante o mês de janeiro de 2017.

Na fase inicial deste estudo, foi recolhida uma amostra constituída por 27 alunos com a seguinte distribuição geográfica: Amarante (7,4%), Bragança (55,6%) e Marco de Canaveses (37%). Os estudantes dos CTeSP tinham idades compreendidas entre os 18 e 39 anos. A média foi de 22, 9 anos (± 5,621), a mediana de 21 e a moda de 20.

Posteriormente, os dados recolhidos foram tratados recorrendo ao software IBM SPSS Statistics versão 23.0. Numa primeira fase, realizou-se um estudo descritivo que envolveu o cálculo de estatísticas descritivas, designadamente, o cálculo de frequências absolutas e relativas para as variáveis de natureza qualitativa e medidas de tendência central e de dispersão para as variáveis de natureza quantitativa (Maroco, 2007; Pestana e Gageiro, 2014). Numa segunda fase, foi realizado o estudo analítico que visava estudar a correlação entre os fatores que constam do Quadro 1 (avaliados numa escala de 1 a 5, em que 1 - péssimo, 2 - mau, 3 - razoável, 4 - bom e 5 - ótimo) e o grau de satisfação com o curso (avaliado numa escala de 1 a 5, em que 1 - muito insatisfeito, 2 - insatisfeito, 3 - nem muito nem pouco satisfeito, 4 - satisfeito e 5 - muito satisfeito). Por isso,

segundo Maroco (2007) e Pestana e Gageiro (2014), deve utilizar-se o teste da correlação ordinal de Spearman.

Quadro 1 – Fatores para avaliar as expetativas dos alunos

A Escola Superior Agrária de Bragança (responsável pela lecionação do curso que frequenta)
Os recursos e as infraestruturas disponíveis para o funcionamento do curso (salas, laboratórios, climatização,…)
Os conhecimentos teóricos adquiridos no curso
Os conhecimentos práticos adquiridos no curso
O funcionamento do curso que frequenta (até ao momento)
Os meios pedagógicos de apoio ao desenvolvimento das aulas (computadores, projetor, material didático de apoio às aulas,…)
O desempenho dos professores
O entusiamo na lecionação das aulas por parte dos professores
A metodologia usada na lecionação
A disponibilidade e o apoio dos professores
A disponibilidade e o apoio do responsável do curso
A comunicação dos professores
Os conhecimentos e competências dos professores
A relação com os professores
Clareza e sequência lógica na apresentação das matérias lecionadas
Esta fase da sua vida
A sua relação com os restantes colegas
O reforço na confiança nas suas capacidades de aprendizagem (incentivos que recebe dos professores)
A progressão dos seus conhecimentos na área do curso
O seu desempenho escolar (até ao momento)
As oportunidades de aprender com outros colegas do curso
O desenvolvimento de competências e conhecimentos que o preparam para o mercado de trabalho
O desenvolvimento de competências para a resolução de conflitos
O desenvolvimento de competências de comunicação
O desenvolvimento de espírito crítico
A oportunidade de adquirir experiência prática na área

Para a execução do estudo analítico foram utilizados os graus de confiança (1- α) de 99% e de 95% a que corresponde um nível de significância (α) de 1% e de 5%. Segundo Maroco (2007), a regra de decisão estatística é rejeitar a hipótese nula (H_0) quando o *p-value* for inferior ou igual ao nível de significância, ou seja, quando *p-value* ≤ α. A probabilidade de significância ou *p-value* é o nível mais baixo de α para o qual é possível rejeitar H_0 (Maroco, 2007). O coeficiente de correlação ou Ró de *Spearman* pode variar entre -1 (correlação inversa perfeita) e 1 (correlação direta perfeita). O teste da correlação ordinal de *Spearman* permite testar as seguintes hipóteses:

H_0: Não existe correlação entre o fator e o grau de satisfação com o curso

versus

H_1: Existe correlação entre o fator e o grau de satisfação com o curso

3. Resultados e discussão

Como pode ver-se no Quadro 2, a maioria dos respondentes era do género masculino (77,8%), fazia parte de um agregado familiar constituído por 3 pessoas (51,9%), com um rendimento mensal até

1000 euros (65,6%). A maioria dos estudantes (66,6%) estava deslocada, a uma distância, igual ou superior, a 50 km da sua residência. A proximidade da residência dos pais é considerada pelo estudante como um fator que condiciona a escolha da instituição e do curso (Temple, 2009). Apesar de a maioria estar em situação de deslocado uma parte expressiva está a uma distância igual ou inferior a 100 km (77,7%).

Quadro 2 – Caracterização da amostra (N = 27)

Variável	**Categorias**	**Frequências**	
		n	**%**
Género	Masculino	21	77,8
	Feminino	6	22,8
Habilitações literárias do pai	Sabe ler e escrever	1	3,7
	1º ciclo	6	22,2
	3º ciclo	7	25,9
	3º ciclo	8	29,6
	Secundário	2	7,4
	Superior	2	7,4
	Não resposta	1	3,7
Habilitações literárias da mãe	1º ciclo	6	22,2
	3º ciclo	5	18,5
	3º ciclo	7	25,9
	Secundário	3	11,1
	Superior	6	22,2
Rendimento mensal do agregado familiar	< 450 euros	2	7,4
	451 a 600 euros	7	21,9
	601 a 800 euros	4	14,8
	801 a 1000	5	18,5
	1001 a 1400 euros	5	18,5
	> 1400 euros	4	14,8
Agregado familiar	1 pessoa	3	11,1
	2 pessoas	2	7,4
	3 pessoas	14	51,9
	4 pessoas	5	18,5
	5 ou mais pessoas	3	11,1
Curso	Produção Agrícola	15	55,6
	Gestão Ambiental	2	7,4
	Viticultura e Enologia	2	7,4
	Tecnologia Alimentar	8	29,6
Distância	< 50 km	9	33,3
	50 a 100 km	12	44,4
	> 100 km	6	22,2

Relativamente aos fatores que motivaram a escolha e a frequência do curso (Figura 1), os três mais valorizados foram, por ordem decrescente de importância, o gosto pela área (88,9%), a possibilidade de poder continuar os estudos (37,0%), a influência dos pais (33,3%) e o potencial do curso em

termos de saídas profissionais (18,5%). Dos 18,5% que mencionaram outras razões para a escolha do curso fizeram referência à aquisição de novas competências, o facto do curso a que se candidatou não ter aberto e, finalmente, porque trabalha na área. De acordo com Kandiko e Mawer (2013), os alunos esperavam receber das instituições aconselhamento e orientação que os ajudem na sua futura vida profissional dentro e para além do curso. Daí a necessidade de ir muito para além das competências e experiência necessárias para uma boa integração no mercado de trabalho, sendo fundamental as atividades extracurriculares e os estágios.

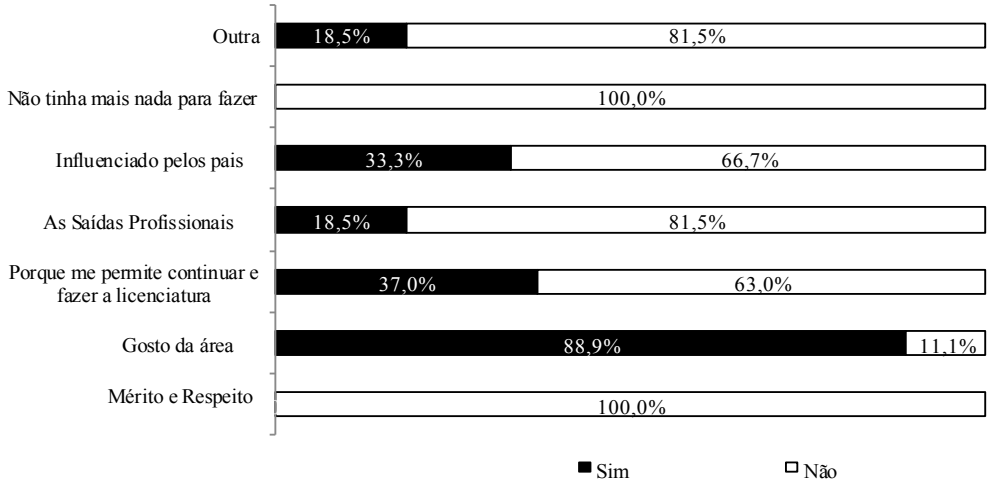


Figura 1. Motivos que justificam a escolha do curso

A maioria dos alunos considerou que o grau de exigência do CTeSP não é elevado. Efetivamente, 48,7% dos respondentes considerou que o curso é fácil devido ao esforço por eles despendido e 14,8% devido ao programa do curso. No entanto, 25,9% dos alunos consideraram o curso difícil e trabalhoso (Figura 2). Finalmente, 11,2% dos respondentes referiram outros motivos relativamente ao grau de dificuldade do curso. De facto, alguns respondentes consideraram que o nível de exigência varia de acordo com a unidade curricular e que, apesar do nível de exigência ser moderado, a carga de trabalho é elevada.

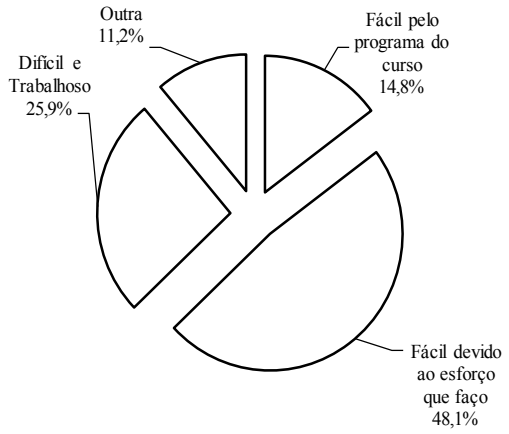


Figura 2. Grau de exigência do curso que frequenta

Como pode ver-se na Figura 3, a maioria dos alunos (51,9%) quer continuar a estudar e fazer uma licenciatura no Instituto Politécnico de Bragança (IPB). Isto significa que, para a maioria, o CTeSP é um meio para aceder a um curso superior, tal como defendem Schwab e Lazarotto (2013). Outros

(14,8%) pretendem trabalhar a tempo inteiro na área do CTeSP; igual percentagem de respondentes pretende trabalhar a tempo parcial e, simultaneamente, fazer uma licenciatura no IPB; 7,4% dos respondentes pretendem fazer outro CTeSP ou continuar a estudar e tirar a licenciatura noutra instituição; e, finalmente, 3,7% pretendem arranjar trabalho mesmo que não seja na área do CTeSP.

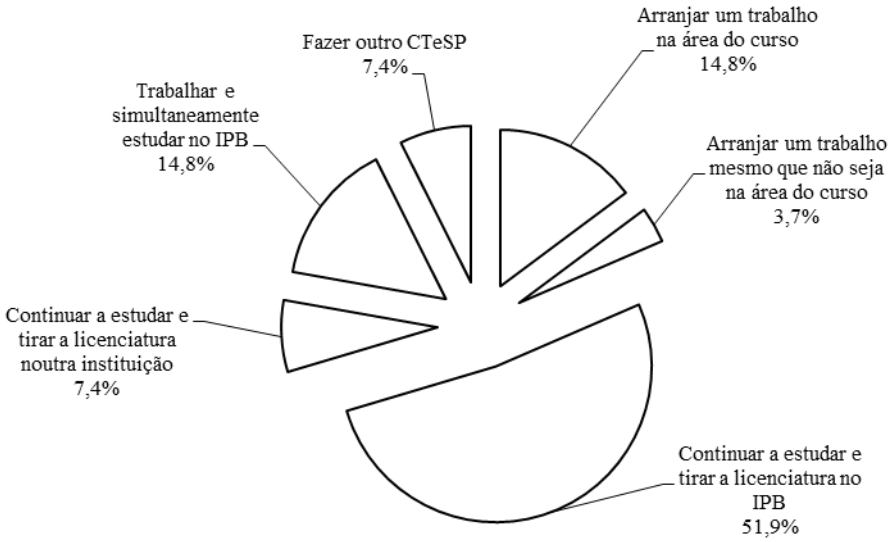


Figura 3. Que pretende fazer quando terminar o CTeSP?

A Figura 4 mostra o grau de satisfação com o CTeSP. Como pode ver-se, a maioria está satisfeito (59,3%) ou muito satisfeito (37,0%) com o curso. Várias pesquisas mostram que, em geral, os alunos confirmam estar bastante satisfeitos com sua experiência no ensino superior. Um curso bem organizado e a funcionar sem problemas são as principais razões para a instituição atender às expectativas globais dos estudantes (Universities UK, 2016).

Neste trabalho de investigação, o relacionamento com os colegas bem como as oportunidades de aprender com outros colegas do curso mostraram não estar correlacionadas (*p-value* > 0,05) com o nível de satisfação com o curso. Contudo, na opinião de Kandiko e Mawer (2013), fazer parte de uma comunidade e desenvolver um sentimento de pertença são os aspetos ambientais mais importantes para o nível de satisfação (Quadro 3).

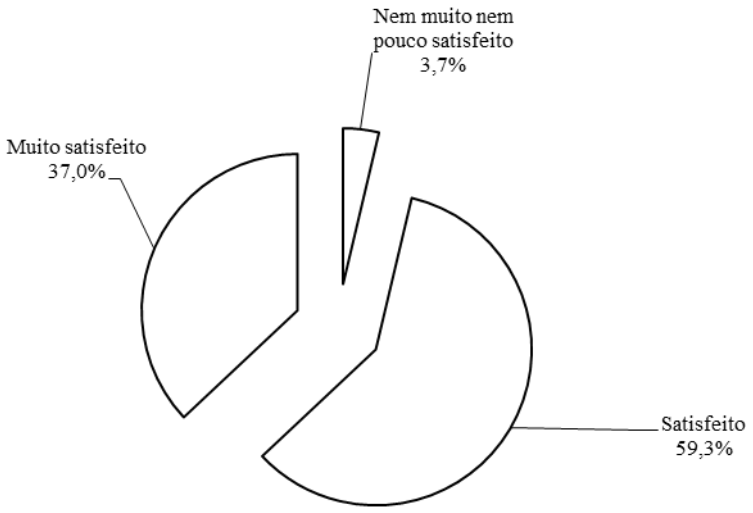


Figura 4. Nível de satisfação com o curso

Globalmente, com exceção do desempenho escolar até ao momento, das oportunidades de aprendizagem com colegas, da clareza e sequência lógica da apresentação das matérias lecionadas, da fase da vida do aluno e da relação deste com os colegas (*p-value* > 0,05), os fatores estudados estão diretamente correlacionados com o nível de satisfação com o curso (Quadro 3).

Tendo em conta a localidade onde o curso funciona, os resultados apresentados no Quadro 3 mostram que, em Bragança, o nível de satisfação com o curso está positiva e fortemente correlacionada com fatores que dão enfoque à aquisição de conhecimentos teóricos (*p-value* = 0,002; Ró = 0,726) e práticos (*p-value* = 0,014; Ró = 0,618), à metodologia usada na lecionação (*p-value* = 0,008; Ró = 0,653), à disponibilidade e ao apoio dos professores (*p-value* = 0,030; Ró = 0,559) e do responsável do CTeSP (*p-value* = 0,031; Ró = 0,557), ao reforço na confiança nas capacidades de aprendizagem do aluno (*p-value* = 0,033; Ró = 0,583), ao desenvolvimento de competências que preparam os alunos para o mercado de trabalho (*p-value* = 0,000; Ró = 0,790), ao desenvolvimento de competências para a resolução de conflitos (*p-value* = 0,031; Ró = 0,558), ao desenvolvimento de competências de comunicação (*p-value* = 0,004; Ró = 0,698) e, finalmente, à oportunidade de ganhar experiência numa área (*p-value* = 0,001; Ró = 0,755).

Para os CTeSP a funcionar em Amarante e Marco de Canaveses, o nível de satisfação correlaciona-se com a ESAB (*p-value* = 0,019; Ró = 0,661), os conhecimentos práticos adquiridos no curso (*p-value* = 0,045; Ró = 0,586), o funcionamento do curso (*p-value* = 0,005; Ró = 0,746), os meios pedagógicos de apoio às aulas (*p-value* = 0,041; Ró = 0,595), o desempenho e entusiasmo dos professores (*p-value* = 0,007; Ró = 0,729), a metodologia usada na lecionação (*p-value* = 0,005; Ró = 0,746), os conhecimentos e competências dos professores (*p-value* = 0,027; Ró = 0,632), a relação com os professores (*p-value* = 0,005; Ró = 0,769), os incentivos que os alunos recebem dos professores (*p-value* = 0,012; Ró = 0,648) e, por fim, o desenvolvimento de competências para a resolução de conflitos (*p-value* = 0,026; Ró = 0,636), tal como pode ver-se no Quadro 3. Trata-se de fatores que se centram na relação aluno/professor e nas condições, infraestruturas e materiais pedagógicos disponíveis para o funcionamento do curso. Os alunos esperavam ter um ambiente de aprendizagem com determinados padrões, nomeadamente, a nível instrumental (computadores e espaços físicos); organizacional (horário e estrutura do curso); interpessoal (apoio e comprometimento do pessoal) e académico (conhecimento e atitude dos professores para com os alunos). As instalações e os recursos são fundamentais para garantir um ambiente ativo e colaborativo que permita ao estudante aprender e ter sucesso. Por outro lado, os estudantes consideram que, para se sentirem motivados, é fundamental terem professores "apaixonados" e conhecedores dos temas que lecionam (Kandiko e Mawer, 2013). De acordo com estudo desenvolvido pela Universities UK (2016), as competências dos professores, bem como a interação do grupo de estudantes com os professores são fatores com um peso importante nas expectativas criadas pelos estudantes.

Quadro 3 – Fatores de satisfação com o curso (correlação de Spearman)

	Global (N = 27)		**Fora (n = 12)**		**Bragança (n = 15)**	
	p-value	**Ró**	***p-value***	**Ró**	***p-value***	**Ró**
A Escola Superior Agrária de Bragança (responsável pela lecionação do curso que frequenta)	0,002*	0,578	0,019**	0,661	0,058	0,500
Os recursos e as infra-estruturas disponíveis para o funcionamento do curso (salas, laboratórios,…)	0,017**	0,454	0,079	0,525	0,180	0,366
Os conhecimentos teóricos adquiridos no curso	0,000*	0,629	0,054	0,568	0,002*	0,726
Os conhecimentos práticos adquiridos no curso	0,001*	0,619	0,045**	0,586	0,014**	0,618
O funcionamento do curso que frequenta	0,001*	0,615	0,005**	0,746	0,074	0,474
Os meios pedagógicos de apoio ao desenvolvimento das aulas (computadores, projetor, …)	0,002*	0,561	0,041**	0,595	0,067	0,484
O desempenho dos professores	0,003*	0,548	0,007*	0,729	0,180	0,364

O entusiamo dos professores na lecionação das aulas	0,027**	0,426	0,007**	0,729	0,665	0,122
A metodologia usada na lecionação	0,000*	0,700	0,005*	0,746	0,008*	0,653
A disponibilidade e o apoio dos professores	0,012**	0,475	0,549	0,193	0,030**	0,559
A disponibilidade e o apoio do responsável do curso	0,001*	0,587	0,054	0,568	0,031**	0,557
A comunicação dos professores	0,017**	0,457	0,285	0,337	0,031**	0,512
Os conhecimentos e competências dos professores	0,009**	0,496	0,027**	0,632	0,165	0,378
A relação com os professores	0,001*	0,612	0,005**	0,769	0,081	0,464
Clareza e sequência lógica na lecionação	0,092	0,337	0,264	0,395	0,369	0,250
Esta fase da sua vida	0,268	0,221	0,758	0,099	0,448	0,212
A sua relação com os restantes colegas	0,516	0,131	0,928	-0,029	0,224	0,334
O reforço na confiança nas suas capacidades de aprendizagem	0,001*	0,614	0,012**	0,648	0,022**	0,583
A progressão dos seus conhecimentos na área do curso	0,015**	0,464	0,064	0,551	0,149	0,392
O seu desempenho escolar (até ao momento)	0,547	0,121	0,843	-0,064	0,111	0,429
As oportunidades de aprender com outros colegas do curso	0,302	0,206	0,115	0,479	0,566	0,161
O desenvolvimento de competências e conhecimentos que o preparam para o mercado de trabalho	0,000*	0,637	0,106	0,490	0,000*	0,790
O desenvolvimento de competências para a resolução de conflitos	0,007*	0,510	0,026**	0,636	0,031**	0,558
O desenvolvimento de competências de comunicação	0,006*	0,518	0,189	0,407	0,004*	0,698
O desenvolvimento de espírito crítico	0,037**	0,404	0,058	0,560	0,198	0,352
A oportunidade de adquirir experiência prática na área	0,000*	0,636	0,129	0,468	0,001*	0,755

* Existe correlação significativa ao nível de significância de 1%.
** Existe correlação significativa ao nível de significância de 5%.

4. Conclusões

Esta investigação teve como objetivos conhecer as expectativas dos estudantes do CTeSP que frequentam; perceber que atributos consideram ser mais importantes para a sua escolha; e, identificar os fatores que mais contribuíram para o nível de satisfação com o curso até ao momento.

Os estudantes, com idades compreendidas entre os 18 e os 39 anos, eram na sua maioria do género masculino, faziam parte de agregados familiares constituídos por 3 elementos com um rendimento mensal até 1000 euros. A maioria dos estudantes está deslocada, a uma distância, igual ou superior, a 50 km da sua residência.

Relativamente aos fatores que motivaram a escolha e a frequência do curso, os mais valorizados foram, por ordem decrescente de importância, o gosto pela área, a possibilidade de poder continuar os estudos, a influência dos pais e o potencial do curso em termos de saídas profissionais.

Tendo em conta a localidade onde o curso funciona, os resultados mostram que, em Bragança, o nível de satisfação com o curso está positiva e fortemente correlacionada com fatores que dão enfoque aos conhecimentos teóricos e práticos adquiridos, bem como à oportunidade de ganhar experiência numa área e desenvolver competências que os preparam para o mercado de trabalho. Para os restantes, o nível de satisfação correlaciona-se com fatores que se centram na relação aluno/professor; e, nas condições, infraestruturas e materiais pedagógicos disponíveis para o funcionamento do curso.

Melhorar as condições de funcionamento dos cursos deslocalizados e intensificar a relação aluno/ESAB pode contribuir para a fidelização e aumento do nível de satisfação.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Fundos Europeus Estruturais e de Investimento, na sua componente FEDER, através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020) [Projeto nº 006971 (UID/SOC/04011); Referência do Financiamento: POCI-01-0145-FEDER-006971]; e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projeto UID/SOC/04011/2013.

Bibliografia

Adubeiro, N. 2010. *Avaliação da Satisfação dos Estudantes do Curso de Radiologia da Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto*. Tese de mestrado em Gestão e Economia da Saúde, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Bacellar, F. & Ikeda, A. 2005. Objetivos e Expectativas de Alunos de MBA Executivos. *Revista de Administração da UNIMEP*, 3 (3):70-90. Jung, C. (2004) -*Metodologia para pesquisa e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Editora Axcel Books do Brasil.

Bogdan Sojkin, B.; Bartkowiak, P. & Skuza, A. 2012. Determinants of higher education choices and student satisfaction: the case of Poland. *High Educ*, 63:565–581.

Caetano, L. 2005. Abandono escolar: repercussões sócio-económicas na região Centro. Algumas reflexões*. Finisterra*, XL, 79: 163-176.

Decreto-Lei nº 43/2014 de 18 de março. *Criação dos cursos Técnicos Superiores Profissionais*. Diário da República, 1.ª série — N.º 54 — 18 de março de 2014. Ministério da Educação.

Hurst, J. & Good, L. 2009. Generation Y and career choice: The impact of retail career perceptions, expectations and entitlement perceptions. *Career Development International*, 14 (6): 570-593

Jung, C. 2004. *Metodologia para pesquisa e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Editora Axcel Books do Brasil.

Kandiko, C. & Mawer, M. 2013. *Student Expectations and Perceptions of Higher Education.* London: King's Learning Institute.

Letcher, D. & Neves J. 2010. Determinant of undergraduate business student satisfaction. *Research in Higher Education Journal*,1-26.

Maroco, J. 2007. *Análise Estatística com utilização do SPSS*. Lisboa: Edições Sílabo.

Pestana, M. & Gageiro, J. 2014. *Análise de Dados para Ciências Sociais: A complementaridade do SPSS*. Lisboa: Edições Sílabo.

Pike, G. 1991. The effects of background, coursework, and involvement on students' grades and satisfaction. *Research in Higher Education*, 32(1), 15.

Schwab, N. & Lazarotto, M. 2013. Percepções e expectativas dos alunos do curso técnico em paisagismo. *Regae: Rev. Gest. Aval. Educ*., 2(4):23-32.

Sia, J. & Ismail, A. 2016. Recruitment in higher education institution: the mediating role of parents' expectations and encouragement, *International Journal of Management in Education*, 10 (2):185-203.

Sudharani. D. & Kalpana, M. 2012. Students' Expectation, Perception and Satisfaction towards the Management Educational Institutions. *Procedia Economics and Finance,* 2: 401 – 410.

Temple, S. 2009. *Factors that Influence Students' Desires to Attend Higher Education*. *Seton Hall University Dissertations and Theses (ETDs).* Paper 420.

Universities UK. 2016. *Student experience: measuring expectations and outcomes*. Universities UK .

Wood, F. 2004. Preventing postparchment depression: a model of career counseling for college seniors. *Journal of Employment Counseling*, 41(2): 71-79.

El valor pedagógico del trabajo colaborativo entre asignaturas

Rubén Rodrigo[1], Isabel González-Barragán[1]

[1] INEA, Camino Viejo de Simancas, km 4,5, ruben@inea.uva.es

[1] INEA, Camino Viejo de Simancas, km 4,5, isabel@inea.uva.es

Resumen

Las fronteras siempre han sido lugares de conflicto y en la docencia no iba a ser diferente. Curso tras curso se observan las dificultades que los alumnos tienen para aplicar los conceptos teóricos de una asignatura a las correspondientes prácticas. Este problema se acentúa cuando en algunas asignaturas se requiere de los conocimientos que deben haber sido adquiridos, por parte del alumno, en asignaturas previas, como se precisa en los Planes Docentes de los Grados, tanto en los objetivos de las asignaturas (generales o específicos), como en las distintas competencias que el alumno debe adquirir.

Constatado el problema, se decidió buscar una solución: crear un camino donde antes había una frontera. Dicho de otro modo, hacer confluir asignaturas en proyectos docentes comunes. Así los alumnos no sólo asimilan los fundamentos teóricos de una asignatura de un modo más natural y contextualizado, sino que perciben que el todo (el conocimiento global de la carrera) es más que la mera suma de las partes (asignaturas). De este modo, además, se adquiere de manera gradual, la habilidad de conectar estos conocimientos para adquirir un "saber hacer" global dentro del campo profesional de cada uno.

La experiencia piloto se llevó a cabo con las prácticas de Edafología y Química. En la planificación del curso 2015 – 2016 se propusieron unas prácticas comunes a ambas asignaturas. La experiencia resultó hasta tal punto exitosa en el centro, que se está llevando a cabo en más asignaturas, buscando las sinergias más adecuadas entre ellas.

Palabras clave: Educación, Grado, Proyectos, Multidisciplinar, Transdisciplinar.

The pedagogical value of collaborative work among subjects

Abstract

Borders have always been places of conflict and teaching was not going to be different. Course after course the difficulties that the students have to apply the theoretical concepts of a subject to the corresponding practices are observed. This problem is accentuated when in some subjects the knowledge that must have been acquired by the student in previous subjects is required, as is specified in the Teaching Plans of the Grades, both in the objectives (general or specific) of the subjects and In the different competences that the student must acquire.

Having found the problem, it was decided to look for a solution: to create a path where before there was a border. In other words, carrying out common projects that bring together different subjects.. Thus students not only assimilate the theoretical foundations of a subject in a more natural and contextualized way, but perceive that the whole (the global knowledge of the career) is more than the mere sum of the parts. In this way, the ability to connect this knowledge to acquire a global "know-how" within the professional field of each one is gradually acquired.

The pilot experience was carried out with the practices of Soil Science and Chemistry. In the planning of the course 2015 - 2016, practices common to both subjects were proposed. The experience was so successful in the center, which is being carried out in more subjects, seeking the most appropriate synergies between them.

Keywords: Education, Degree, Multidisciplinary, Transdisciplinary, Projects.

1. Introducción

Parece cada vez más evidente que el mundo debe virar hacia sociedades sostenibles. Este hecho hace que sean muchas las voces que sugieren que deben ser científicos e ingenieros una parte fundamental en este proceso de transición (Wieman 2014). Por lo tanto, en un futuro, si no inmediato, sí muy cercano, serán los estudiantes de ingeniería y ciencias los responsables de ese cambio, adquiriendo nuevas habilidades y competencias, y la Universidad no puede quedarse al margen, sino todo lo contrario, debe convertirse no sólo en promotora de este cambio sino en ejemplo y referente. Entonces, es indispensable que la Universidad afronte y permita algunos cambios a nivel docente, integrando distintas áreas de conocimiento y promoviendo un trabajo no sólo interdisciplinar sino también transdisciplinar.

Si, como desde INEA (Escuela de Ingenierías Agrarias de Valladolid) pensamos, empieza a ser urgente tomarse en serio la sostenibilidad y el desarrollo sostenible, se deben ir promoviendo modificaciones en los planes docentes, que vean la luz en el día a día de las asignaturas. Esos cambios, más o menos profundos, deberán ir en consonancia con las necesidades de la sociedad. Integrar la sostenibilidad en la educación superior debe afrontar numerosos retos debido fundamentalmente a la contradicción existente entre las estructuras tradicionales educativas y las características necesarias de una nueva educación que realce el valor de la sostenibilidad a nivel universitario (Wieman 2014).

Es necesario y urgente un nuevo enfoque pedagógico, más práctico, más activo, que aparque definitivamente la pasividad, tanto de alumnos como de profesores, de las clases magistrales. La enseñanza pasiva todavía domina la educación superior en las universidades aunque están aumentando a lo largo del mundo los institutos que apoyan el enfoque del aprendizaje activo y colaborativo, aumentando así el compromiso y el desarrollo de los estudiantes (Freeman, Eddy et al. 2014).

Y esa es la idea principal del aprendizaje activo y colaborativo: aumentar el compromiso del estudiante en su proceso educativo. Este enfoque incluiría, entre otros, el aprendizaje basado en problemas o el trabajo cooperativo y colaborativo. Pese a los estudios y discusiones sobre si el trabajo colaborativo beneficia a todos los estudiantes o solamente a algunos (Wass, Harland et al. 2011, Lee, Kim et al. 2015), hay un gran apoyo sobre los efectos adicionales positivos del aprendizaje colaborativo (Verenikina 2012, Conejo, Barros et al. 2013). Otro enfoque que provoca una mejora del aprendizaje activo sería el aprendizaje al aire libre. Además, estudios recientes, dan una correlación positiva entre las actividades al aire libre y las habilidades del trabajo en grupo que se adquieren (Cooley, Burns et al. 2015). Sin embargo el trabajo en grupo por sí solo no mejora el aprendizaje sino que los procesos de cada grupo son muy importantes a la hora de obtener unos resultados satisfactorios del proceso de aprendizaje colaborativo (Nussbaum, Alvarez et al. 2009).

2. Metodología

Con el convencimiento de que otro tipo de educación es posible y necesaria, decidimos poner en marcha “Análisis de Suelos”; unas prácticas en común de las asignaturas de Edafología y Química. Nos resultó evidente que dentro del plan de estudios correspondiente al Grado en Ingeniería Agrícola estas prácticas es el lugar hacia el que ambas asignaturas deben converger, puesto que para analizar un suelo y saber qué textura tiene, cuánta Materia Orgánica, Potasio, etc. es necesario tratar una muestra de suelo con diferentes disoluciones.

De manera general, el procedimiento puesto en práctica ha sido el siguiente. Se establecieron 7 grupos de 3 personas y uno de 4 (25 alumnos). Lo primero que se hace es enseñar a los alumnos a distinguir los diferentes tipos de suelos de manera sensorial: color, estructura, cohesión, etc. De esta manera la primera práctica la realizan a la hora de tomar las muestras que deberá analizar cada grupo en el laboratorio. Cada uno de los alumnos del grupo debe traer una muestra de tierra para ser analizada y realizar un pequeño estudio sensorial previo del tipo de suelo. Se les anima a que

tomen juntos (los miembros de cada grupo) las muestras para que intenten buscar diferencias y tener así tres muestras de suelos diferentes y poder comprobar los resultados al finalizar el proceso de prácticas.

Ya en el laboratorio, cada grupo con sus muestras, se comienzan los análisis. Previo a este análisis de las muestras, los alumnos realizan un par de prácticas de disoluciones con el fin de familiarizarse con el material de laboratorio, con el trabajo habitual del laboratorio y coger cierta práctica en la elaboración de disoluciones. Unos guiones les ayudan a preparar las disoluciones con las que se tratarán las muestras de suelos y valorar su contenido de Materia Orgánica, etc.

Para finalizar, cada grupo debe entregar la memoria de prácticas que se les pide al iniciar las mismas. Esta memoria debe mostrar el día a día del laboratorio, con resultados, comparaciones, imprevistos, pero también deben dar la explicación teórica de los procesos químicos y edafológicos observados durante las prácticas. Dicho de otro modo, son ellos los que se encargan de dar el fundamento teórico, de explicar "los porqués" de hacer las cosas de un modo u otro y de las reacciones químicas involucradas en los procesos de caracterización del suelo.

3. Resultados y Discusión

En ningún momento se planteó este desafío docente (buscar la convergencia de dos asignaturas a través de unas prácticas comunes) como una investigación propiamente dicha, sino movidos por la convicción de cambiar las inercias negativas observadas tanto en profesores (la instalación en la comodidad de las clases magistrales) como en los alumnos (la pasividad mostrada en su proceso de aprendizaje). Además, tanto los distintos estudios como experiencias encontradas en la bibliografía existente fue otro punto de motivación para abordar este proyecto.

Como decimos, nunca se planteó este cambio como una investigación propiamente dicha por diversos motivos. En primer lugar, consideramos reamente difícil obtener resultados objetivos. ¿Por qué decimos esto? Porque no se han podido determinar variables objetivamente comparables. Cualquier resultado estaría sometido a gran variabilidad; es difícil establecer correlaciones de distintas variables pues cualquier variable a elegir estará sometida a ciertos sesgos inevitables debido a que los grupos de personas no son homogéneos y tampoco son comparables de un año a otro dada su heterogeneidad: procedencia geográfica, procedencia académica, etc.

Por último comentar, en este sentido, que en asignaturas troncales, no consideramos una buena práctica establecer distintos grupos de trabajo para compararlos entre sí, puesto que alguno de ellos, si hablamos en términos comparativos, se vería perjudicado, al tratar de establecer diferencias entre mejores y peores métodos docentes. Aún así, seguimos en la búsqueda de obtener las variables que nos den resultados objetivos y que muestren que realmente una educación más activa y participativa es necesaria y por supuesto, positiva en términos educativos para los alumnos.

Pese a todo lo comentado, existen claros indicios no sólo de que la decisión tomada fue un acierto sino que el proyecto de hacer converger en unas prácticas comunes las asignaturas de Edafología y Química está siendo un éxito. Se observa a diario una mayor implicación de los alumnos en ambas asignaturas, más que en otras del mismo curso. Además, en estas dos asignaturas, su trabajo ha comenzado a ser más autónomo; no se limitan a los apuntes de clase sino que se interesan, ya sea en la biblioteca del centro, ya sea por internet, en buscar información que complemente los conocimientos mínimos exigidos en ambas asignaturas.

Como hecho diferencial, y sin ser algo promovido por parte de los profesores, los alumnos han buscado puntos de encuentro para comparar los resultados de las prácticas entre los distintos grupos, lo que da muestra del interés y compromiso adquirido con las citadas prácticas.

A todo esto podríamos añadir los comentarios de los alumnos en tono positivo acerca de estas prácticas. Incluso alumnos de cursos superiores se han lamentado por no haber podido realizar dichas prácticas en el modo en el que se están llevando a cabo ahora.

4. Conclusiones

Los principios básicos de este aprendizaje colaborativo en proyectos comunes buscan, al igual que otros modos alternativos de aprendizaje, que el centro de este proceso sea el alumno, así como animarle a comprometerse con su propio aprendizaje como medio de motivación. En el aprendizaje colaborativo grupal, este compromiso es fuertemente dependiente del tipo de trabajo colaborativo, del tema específico, así como de la estructura del grupo.

Este trabajo grupal, no debe olvidar que debe cubrir las expectativas e intereses individuales. El aprendizaje de cada alumno no debe influir en los procesos de aprendizaje de otros, entorpeciéndolos o estorbando al resto del grupo.

El rendimiento del grupo también se puede ver afectado por la ambición de los miembros del grupo, las expectativas de objetivos, la iniciativa, etc. (Lee, Kim et al. 2015).

En este cambio de enfoque docente, en todo momento hablamos en términos de motivación, colaboración, rendimiento personal y grupal, etc. lo que hace difícil la búsqueda de parámetros objetivos de medida y correlación de resultados. Aún así, la respuesta de los alumnos a este nuevo planteamiento docente, tanto los actuales matriculados como aquellos que ya cursaron dichas asignaturas, ha sido verdaderamente positiva, como se comentó en el apartado de discusión y resultados, lo que nos motiva a continuar dicho proyecto y poner en marcha otros similares.

El/los responsable/s de cada asignatura o conjunto de asignaturas deberán buscar la mejor manera de que este tipo de proyectos comunes no sólo sean atractivos para el alumno sino que también respondan a sus necesidades formativas.

Como líneas futuras que ayuden a asentar este proyecto y a poner en marcha otros similares, se han preparado una serie de encuestas para los alumnos durante este curso 2016 – 2017, con las que poder valorar el éxito del proyecto y a su vez detectar puntos débiles y establecer objetivos de mejora. Además, para el siguiente curso, aparte de dar continuidad al proyecto presentado, se tiene elaborado un proyecto similar que busca la confluencia de las asignaturas de Electrotecnia, Construcciones y Topografía del que se espera tenga entre los alumnos la misma acogida que el expuesto en este artículo.

Bibliografía

Conejo, R., B. Barros, E. Guzmán and J. I. García-Viñas. 2013. A web based collaborative testing environment. *Computers and Education*. 68: 440-457.

Cooley, S. J., V. E. Burns and J. Cumming. 2015. The role of outdoor adventure education in facilitating groupwork in higher education. *Higher Education*. 69: 567-582.

Freeman, S., S. L. Eddy, M. McDonough, M. K. Smith, N. Okoroafor, H. Jordt and M. P. Wenderoth. 2014. Active learning increases student performance in science, engineering and mathematics. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 8410-8415.

Lee, H. J., H. Kim and H. Byun. 2015. Are high achievers successful in collaborative learning? An explorative study of college students learning approaches in team project-based learning. Innovations. In *Education and Teaching International*. http://dx.doi.org/10.1080/14703297.2015.1105754

Nussbaurn, M., C. Alvarez, A. McFarlane, F. Gómez, S. Claro, D. Radovic. 2009. Technology as small group face-to-face collaborative scaffolding. *Computers and Education*. 52: 147-153

Verenika, I. 2012. Facilitating collaborative work in tertiary teaching: a self-study. *The Ausgtralian Educational Researcher*. 39 (4): 477-489.

Wieman, C. 2014. “Stop lecturing me”. *Scientific American*. 311 (2): 70 – 71.

¿Cómo me ves? Experiencia de vídeos instructivos generados y evaluados por los alumnos

Belén Diezma[1] , Adolfo Moya-González[1] , Jaime Moya[2], José Antonio González[2]

[1] Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación, Departamento de Ingeniería Agroforestal, ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España. E-mail: belen.diezma@upm.es, adolfo.moya@upm.es

[2] Servicios Informáticos de la ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España

Resumen

En la asignatura “Mecanización para la Agricultura Sostenible”, que se imparte en el quinto semestre del Grado en Ingeniería Agroambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (ETSIAAB), durante el curso académico 2016-2017 se ha implementado el uso del vídeo educativo generado por los propios estudiantes como actividad práctica de la asignatura. En esta propuesta los alumnos se han organizado en grupos, cada uno de los cuales ha elegido una de las unidades didácticas de la asignatura sobre la que deben preparar la sesión práctica correspondiente. La preparación de la misma supone estructurar su contenido en sub-unidades sobre las que el grupo prepara sendos guiones de vídeo con supervisión de los profesores, que se graban con la asistencia de personal de servicios informáticos de la Escuela y del personal de taller. Los vídeos generados comprenden diversos aspectos necesarios para la realización de ensayos de campo de maquinaria agrícola (descripción, regulación y ejecución). En cada una de estas grabaciones un estudiante es el encargado de estar frente a la cámara explicando la materia previamente definida. El objetivo de estos vídeos es proporcionar al resto de sus compañeros las capacidades y conocimientos necesarios para realizar correctamente el ensayo de campo que se realizará posteriormente en una sesión de dos horas y sacar las conclusiones técnicas básicas sobre la ejecución de los mismos. Cada uno de los vídeos es evaluado posteriormente por parte de los alumnos y de los profesores en función de su utilidad en el proceso de aprendizaje (considerando las calificaciones de los estudiantes “espectadores” en cuestionarios específicos). Con esta propuesta se pretende incidir también en competencias transversales tales como la exposición oral y la capacidad de trabajo en equipo. La evaluación que el gran grupo hace de los vídeos generados por sus compañeros coincide en buena medida con la realizada por los profesores de la asignatura, lo que es indicador de la capacidad de los estudiantes para evaluar las explicaciones que se incluyen en el material audiovisual sobre contenidos técnicos específicos. La tasa de éxito en este curso ha mejorado respecto a la de los tres cursos anteriores, volviendo a los niveles obtenidos durante el primer curso de impartición de la asignatura.

Palabras clave: Vídeo educativo; Evaluación colaborativa; Motivación

How do you see me? Experience of educational videos created and evaluated by students

Abstract

In the course "Mecanización para la Agricultura Sostenible ", taught in the fifth semester of the Degree in Agro-Environmental Engineering of ETSIAAB, during the academic year 2016-2017 the use of educational video generated by the students themselves as a practical activity in the framework of the afore mentioned subject has been implemented. In this proposal the students have organized into groups, each of which has chosen one of the didactic units of the subject on which to prepare the corresponding practical session. The preparation of the program involves structuring its content in sub-units where the group prepares individual video screenings supervised by the teachers, which are recorded with the assistance of IT staff from the School and the Department workshop staff. The videos generated include various aspects needed for the realization of field tests of agricultural machinery (description, regulation and execution). In each of these recordings a student is

in charge of being in front of the camera explaining the previously defined subject matter. The aim of these videos is to provide the rest of their colleagues with the skills and knowledge necessary to successfully carry out the field test that will be done later in a two-hour session and draw the basic technical conclusions about the execution of the test. Each of the videos is subsequently evaluated by the students and the teachers according to their usefulness in the learning process (considering the ratings of the students "viewers" in specific questionnaires). With this proposal it is also intended to influence transversal competences such as oral exposition and the ability to work as a team. The large group's assessment of the videos generated by their peers is largely in line with that of the teachers, which is an indicator of the students' ability to evaluate the explanations included in the specific technical content of the videos. The success rate in this course has improved compared to the previous three courses, returning to the levels achieved during the first edition of the course.

Keywords: Educational video, collaborative evaluation, motivation

1. Introducción

Con la intención de obtener resultados de aprendizaje suficientemente satisfactorios para docentes y estudiantes, en el marco de los cinco cursos académicos de la asignatura “Mecanización para la Agricultura Sostenible”, impartida durante el quinto semestre del Grado en Ingeniería Agroambiental, que se oferta en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (ETSIAAB) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), se han definido y ejecutado propuestas metodológicas en el ámbito de las actividades prácticas de esta asignatura con la vocación de inspirar y motivar a los estudiantes. En ellas se ha potenciado el aprendizaje colaborativo en el que parte de los alumnos adoptan el papel de instructores, conscientes de que ésta es una de las herramientas más eficaces para abordar las enseñanzas universitarias con una perspectiva holística.

Así, durante los cuatro primeros cursos de la asignatura se persiguió aumentar la implicación y autonomía de los alumnos en el desarrollo de las prácticas mediante la designación para cada una de ellas de un grupo de alumnos coordinadores. Se trataba de dotar a estos alumnos de la capacidad de a) formular los guiones para la realización de las prácticas partiendo de una bibliografía básica aportada por los profesores, b) establecer el protocolo a implementar durante la ejecución de la sesión y c) dirigir tanto el desarrollo de los ensayos, como la posterior puesta en común y mínima elaboración de los datos. Los indicadores de la metodología durante los dos primeros cursos fueron satisfactorios, mostrando aquellas actividades y preguntas de examen relacionadas con las unidades temáticas objeto de estudio en las prácticas calificaciones por encima de la media general de la asignatura. Sin embargo, los resultados de los dos siguientes cursos obligaron a replantear la metodología y a buscar las causas de lo que parecía un agotamiento de la metodología en el escenario de esta asignatura.

En este momento el “consumo” de vídeos a través de la red es una constante tanto en su vertiente de ocio y tiempo libre como en la profesional y formativa. La confluencia de la filosofía de los *Open Course Ware (OCW)* iniciada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (2001), y el nacimiento (2005) y expansión de *Youtube* como plataforma para alojar vídeos, ha propiciado el éxito de los *MOOC (*Massive *Online Open Course)*, concebidos como herramientas educativas capaces de llegar a un gran número de seguidores respetando tiempo, espacio y ritmos de aprendizaje (García Aretio, 2015). En este contexto general en el que nos desenvolvemos tanto profesores como alumnos, y en el particular de la ETSIAAB y de la asignatura “Mecanización para la Agricultura Sostenible”, se ha considerado el vídeo, y su disponibilidad en un entorno virtual de aprendizaje, como una herramienta interesante para dinamizar la impartición de las prácticas de la asignatura.

El tratamiento del vídeo como recurso educativo tradicionalmente se ha ceñido a su empleo por parte del profesorado como forma de transmisión de conocimientos. Las posibilidades adicionales de explotación del vídeo educativo realizado por estudiantes se derivan de la necesaria labor de análisis previo a su grabación. En esta línea, la elaboración de vídeos educativos en la que los estudiantes

deban presentar ciertos conceptos de la asignatura que posteriormente estarán a disposición del resto de compañeros presenta un elevado potencial ya que incide directamente en el análisis y síntesis de conocimientos técnicos y en las capacidades de comunicación de los estudiantes implicados.

En este trabajo se presenta la experiencia docente llevada a cabo durante un único curso académico, consistente en la implementación del uso del vídeo educativo generado por los propios estudiantes como actividad práctica de la referida asignatura. Se explica la estructura de grupos de alumnos para la generación del material audiovisual, la metodología de preparación de guiones y grabación de vídeos y los procedimientos de evaluación. Se señalan las principales dificultades encontradas para la ejecución de la metodología y se presentan indicadores que permiten evaluar la actividad.

2. Materiales y Metodología

2.1. Contexto de la asignatura

La asignatura de "Mecanización para la Agricultura Sostenible" es una asignatura obligatoria que se imparte en el tercer curso de la titulación. Esta materia supone el primer y único contacto de los alumnos del Grado en Ingeniería Agroambiental con la maquinaria y la mecanización agrícola. Tiene una dedicación de 3 créditos, teniendo asignadas 3 horas semanales de docencia presencial organizadas en sesiones de una y dos horas respectivamente.

La asignatura se divide en 6 bloque temáticos, el primero presenta los conceptos fundamentales de la mecanización agraria, presentando conocimientos que han de aplicarse a lo largo de toda la asignatura. Posteriormente se estudian los grupos de máquinas más relevantes y vinculadas al grado: maquinaria de laboreo, fertilización, siembra, aplicación de fitosanitarios y recolección. De cuatro de los cinco grupos de máquinas se realizan prácticas de campo (durante algunas de las sesiones de 2 horas de docencia presencial) utilizando y evaluando el equipo en cuanto a sus consumos y a la calidad de la labor efectuada; las prácticas se realizan en la Nave de Maquinaria y en los Campos de Prácticas de la ETSIAAB. La asignatura se cierra con dos bloques uno de los cuales presenta los principales procedimientos para la gestión y el cálculo de costes de la maquinaria agrícola, y el otro introduce el concepto de agricultura de precisión y la aplicación variable de insumos.

2.2. Organización de las sesiones prácticas de campo y el uso del vídeo educativo

Cada una de las cuatro prácticas de campo se centra respectivamente en aperos de laboreo del terreno, equipos de abonado, equipos de siembra y equipos de aplicación de productos fitosanitarios. Para cada una de las sesiones prácticas se identifica un grupo de alumnos coordinadores, que hasta el curso 2015-2016 han realizado el trabajo tal y como se ha indicado previamente, pero que durante el curso 2016-2017 han adoptado otro papel.

La alternativa metodológica recientemente implementada se ha centrado en el uso del vídeo educativo. En esta propuesta los alumnos se han organizado en grupos de 5-6 estudiantes, cada uno de los cuales ha elegido uno de los grupos de máquinas sobre el que deben preparar la sesión práctica correspondiente. La preparación de la misma supone, con asistencia de los profesores, estructurar su contenido en sub-unidades sobre las que el grupo preparó sendos guiones de vídeo grabados posteriormente en una sesión (en horario adicional al oficial de la asignatura) asistida por los responsables de la generación de material audiovisual de la ETSIAAB (Jiménez López, 2014) y del personal de taller; en cada una de estas grabaciones un estudiante es el encargado de estar frente a la cámara explicando la materia que corresponda. Una vez grabados los vídeos y editados por el personal de audiovisuales, estos se han puesto a disposición de los alumnos en la plataforma Moodle UPM. El resto de los alumnos debían visualizar los vídeos antes de la jornada práctica de demostración en la que de nuevo los alumnos encargados de las grabaciones expusieron los mismos aspectos tratados en el vídeo a sus compañeros, pero en esta ocasión de modo resumido

entendiendo que su audiencia ha visto previamente los vídeos. Las jornadas de demostración han tenido una duración de una hora por tema, agrupándose dos temas en una misma jornada. Con posterioridad a la demostración se habilitó un cuestionario de evaluación para cada uno de los temas, considerando los aspectos básicos abordados en los vídeos y demostraciones y que se analizan para evaluar la comprensión de estos por parte de los alumnos.

2.3. Evaluación de los alumnos y de la metodología docente implementada

La calificación total de las actividades prácticas supone un 20% de la nota total de la asignatura, asignándose un 10% a la calificación media individual del estudiante en los seis cuestionarios propuestos y otro 10% a la labor de los estudiantes en la preparación, grabación de material audiovisual y jornada de demostración. Dado que el objetivo de los vídeos es proporcionar al resto de sus compañeros las capacidades y conocimientos necesarios para realizar correctamente el ensayo y sacar las conclusiones técnicas básicas de la ejecución de los mismos, esta última calificación se compone de la valoración de la actividad (vídeos y demo) por parte del profesorado (30%), la valoración de la actividad (vídeos y demo) por parte de los alumnos (50%), y el resultado medio de los estudiantes en el test de conceptos básicos de la demostración organizada por el grupo (20%). Se compone así una evaluación participativa que recoge la opinión del grupo de alumnos sobre el trabajo realizado por el grupo coordinador, junto con una evaluación objetiva relacionada con los logros que el gran grupo alcanza en los cuestionarios relativos a la práctica.

3. Resultados y Discusión

Como se ha mencionado previamente, la metodología seguida durante los cuatro primeros cursos de impartición de “Mecanización para una Agricultura Sostenible” mostró síntomas de agotamiento, evidenciándose una menor motivación y peores resultados por parte de los alumnos en la segunda mitad del periodo. Los indicadores cualitativos constatados por los profesores de la asignatura refieren a la falta de iniciativa y respuesta a las tareas que se pedían en las reuniones que se mantenía con los alumnos del grupo coordinador para la supervisión y guía en la preparación de los guiones de prácticas por parte de los alumnos. Incluso, en algún caso, se detectó que se hacía uso de los guiones elaborados en cursos anteriores sin ningún análisis crítico de su contenido y sin interiorizar sus conceptos, de modo que se comprometía la realización de la práctica durante la correspondiente sesión en campo. En lo que refiere a indicadores cuantitativos, destaca el empeoramiento progresivo de la tasa de rendimiento, tal y como se muestra en la Figura 1, *con*siderando las convocatorias ordinaria y extraordinaria (la tasa de rendimiento es la relación entre los alumnos aprobados y los matriculados).

A4.1. Tasa de rendimiento

Relación porcentual entre el nº de alumnos aprobados y el nº de alumnos matriculados.

Convocatoria Ordinaria y Extraordinaria

Curso	Nº de alumnos matriculados	Nº de alumnos aprobados	Tasa de rendimiento (%)
2016-17	--	--	--
2015-16	40	25	62.50
2014-15	34	21	61.76
2013-14	25	18	72.00
2012-13	15	15	100.00

Figura 1. Evolución de la Tasa de rendimiento de la asignatura “Mecanización para la Agricultura Sostenible” según los datos oficiales en la plataforma de gestión docente de la UPM.

Durante el curso 2016-2017 el total de alumnos matriculados en la asignatura es de 35, 21 de los cuales son de primera matrícula. La totalidad de los alumnos matriculados han seguido la posibilidad

de evaluación continua en la que se implementa la metodología del vídeo educativo para la impartición de las prácticas. Se han constituido tres grupos de 5 alumnos y un grupo de 6 alumnos; cada uno de los estudiantes ha sido el protagonista de un vídeo, teniendo en este momento una colección de 21 vídeos estructurados en 4 unidades (Figura 2) en el espacio de la asignatura en Moodle UPM. Cada unidad de vídeos ha tenido una media de 47 visualizaciones.

El análisis de las evaluaciones que se otorgan a los alumnos responsables de las prácticas por parte de los profesores y del resto de sus compañeros (no se incluye la autoevaluación) permite señalar que las calificaciones de los estudiantes muestran una notable coincidencia con las calificaciones otorgadas por los profesores (Figura 4). El análisis de varianza no muestra diferencias significativas entre ambas. Se puede afirmar que el gran grupo asume responsablemente la tarea de evaluar a los compañeros encargados de la práctica y es capaz de segregar diferentes niveles de calidad sus vídeos y su la labor didáctica durante la ejecución del ensayo de campo.

El análisis de la evolución de la tasa de éxito (relación entre los estudiantes aprobados y los que se presentan) en la primera convocatoria (la única de la que se disponen datos en el curso 2016-2017), muestra los mejores resultados en los cursos 2012-2013 y 2016-2017, cursos en los que se implementa por primera vez una metodología participativa para la ejecución de las prácticas (Figura 5). Sin embargo, prácticamente un 50% de los alumnos matriculados no han concurrido al examen, reproduciendo una tasa de absentismo similar a la de cursos anteriores. Lo que supone un punto sobre el que incidir en los próximos cursos por parte del profesorado, poniendo en valor los conocimientos que se adquieren durante el seguimiento y la ejecución de la metodología de prácticas propuesta.

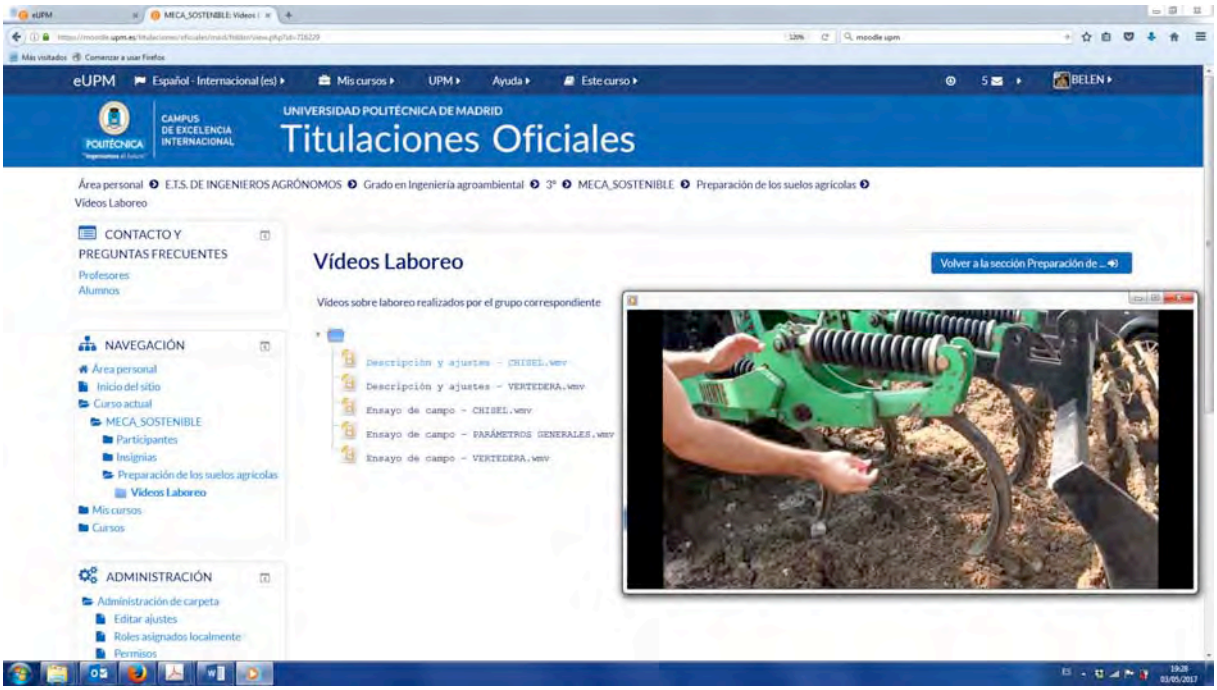


Figura 2. Estructura de los vídeos generados en la práctica sobre equipos de laboreo colgados en Moodle UPM y frame correspondiente a la sub-unidad de "Descripción y ajustes del chísel"

Figura 3. Vista del rersultado de la encuesta de evaluación del trabajo realizado por el grupo de prácticas de Laboreo

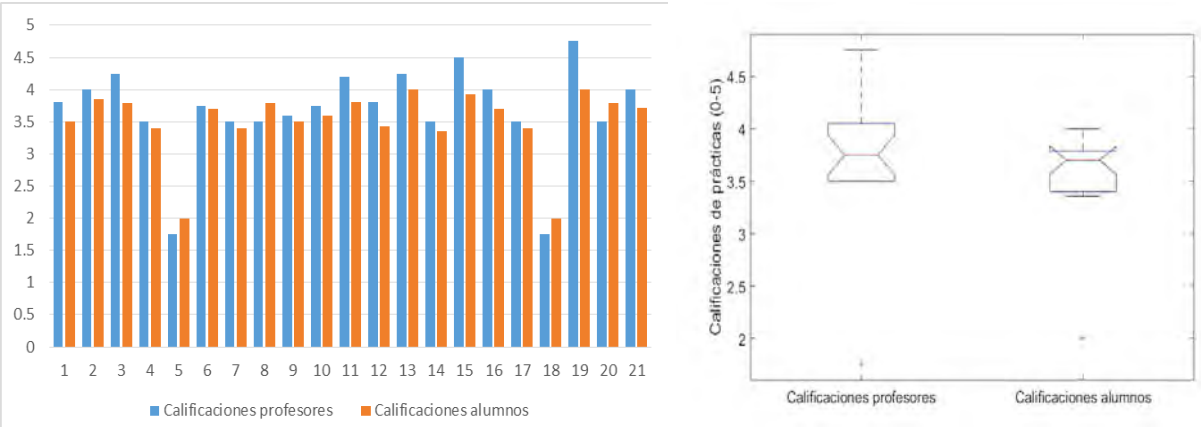


Figura 4. Calificaciones obtenidas por cada una de los 21 alumnos como responsables de la realización de un vídeo y del correspondiente ensayo de campo en las sesiones de prácticas. Se distinguen las calificaciones obtenidas por los profesores y el resto de los alumnos (izquierda). Visualización del análisis de varianza entre las calificaciones de los profesores y de los alumnos, no hay diferencias significativas (derecha).

A4.2. Tasa de éxito

Relación porcentual entre el nº de alumnos aprobados y el nº de alumnos presentados.

Convocatoria Ordinaria:

Curso	Nº de alumnos presentados	Nº de alumnos aprobados	Tasa de éxito (%)
2016-17	18	16	88.89
2015-16	26	17	65.38
2014-15	20	15	75.00
2013-14	18	9	50.00
2012-13	15	12	80.00

Figura 5. Evolución de la Tasa de éxito de la asignatura "Mecanización para la Agricultura Sostenible" en la convocatoria ordinaria según los datos oficiales en la plataforma de gestión docente de la UPM.

4. Conclusiones

El vídeo como recurso didáctico se presenta en los textos pedagógicos como un medio de observación, un medio de expresión, un medio de autoaprendizaje y un medio de ayuda a la enseñanza (Bravo Ramos, 2000). En nuestra experiencia didáctica se ha tratado de sacar partido de todas estas dimensiones. Por un lado se utiliza el material audiovisual como un medio para la observación y evaluación de las actividades de los alumnos; los vídeos, cuyos guiones son estructurados por los estudiantes, son un canal para la expresión de contenidos técnicos por parte de los alumnos protagonistas; y constituyen un material de autoaprendizaje y de ayuda a la enseñanza para el resto de los estudiantes.

Los indicadores cuantitativos del aprendizaje disponibles permiten evaluar positivamente la implementación de los vídeos instructivos realizados por los alumnos para la preparación y ejecución de las prácticas, al haber constatado una mejora en la tasa de éxito.

Se ha generado un repositorio de 21 vídeos estructurados en unidades temáticas que pueden ser de utilidad para la comunidad relacionada con la mecanización y la maquinaria agrícola. Se parte de una pretensión más modesta que la de los *MOOC*, puesto que no se pretende en una primera aproximación, que los materiales tengan una distribución masiva ni abierta, pero se considera que la posibilidad de aumentar la visibilidad de estos vídeos puede aumentar la motivación de los alumnos de la asignatura, algo que se contempla en los próximos cursos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección de la ETSIAAB por la disponibilidad de los recursos materiales para la realización de las grabaciones.

Bibliografía

Bravo Ramos, J.L. 2000. El vídeo educativo. ICE-UPM. (Acceso 1 de mayo de 2017) http://www.ice.upm.es/wps/jlbr/

García Aretio, L. 2015. ¿…Y antes de los MOOC? *Revista Española de Educación Comparada* 26: 97-115.

Jiménez López, A. 2014. Guía para grabar tus propios vídeos educativos. Gabinete de Tele-Educación. UPM. (Acceso 1 de mayo de 2017) http://serviciosgate.upm.es/docs/audiovisuales/guia%20de%20autograbaciones.pdf

FRUTURA: Tecnologías para la calidad de frutas. Modalidad para la docencia no presencial en una plataforma global

M. Ruiz-Altisent, A. Moya-González, B. Diezma, E.Correa., P. Barreiro, N. Hernández L. Lleó , G. Moreda, C. Valero-Ubierna,

Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación, LPF_TAGRALIA, Departamento de Ingeniería Agroforestal, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España. margarita.ruiz.altisent@upm.es

Resumen

En esta aportación presentamos el concepto y el desarrollo de un curso MOOC: Massive On-line Open Course, para docencia no-presencial. El grupo de investigación LPF_TAGRALIA se planteó, dentro de otras iniciativas de la UPM en innovación educativa, desarrollar un curso abierto con unos objetivos claros, que se refieren a adquirir experiencia para cursos de Máster en esta modalidad docente con un concepto cooperativo, y a dar difusión de los conocimientos y competencias docentes e investigadoras del grupo hacia unos grupos de interés muy amplios, tanto técnicos como consumidores. El curso se imparte íntegramente en lengua inglesa.

Se realizó primeramente una reunión para el intercambio de experiencias y conocimientos con el fin de: motivar y reclutar a los investigadores especializados, todos dentro del LPF-TAGRALIA, y se planteó unos objetivos tanto de contenidos como de forma de trabajo que fueran compatibles y asequibles a todos los miembros del grupo. Y se establecieron todos los términos del curso requeridos por la plataforma MIRIADA X.

Se desarrolló todas las fases del trabajo y se estableció un equipo coordinador, siendo las etapas: creación de contenidos y objetivos de aprendizaje, realización de presentaciones, grabación de vídeos de cada capítulo y sus secciones, inserción de materiales complementarios, creación de baterías de preguntas, etc. Para todo ello se ha contado con la asistencia del Gabinete de Teleeducación de la UPM.

Se estableció un esquema de aprendizaje progresivo, tratando de que los distintos grupos de usuarios, lleguen a adquirir los conocimientos de su interés, relativos a la calidad de la fruta y, en su caso, la capacidad de aplicar las técnicas avanzadas relacionadas con los diferentes aspectos de la producción, el manejo, la logística, la calidad, la instrumentación de su medida, y el consumo de la fruta.,

Se presenta el marco del trabajo, los diferentes condicionamientos y dificultades que se han encontrado en el diseño y puesta en marcha del curso.

Palabras clave: MOOC, propiedades físicas, cadena de valor

FRUTURA: Technologies for fruit quality. Massive On-line Open Course for a global learning platform

Abstract

In this contribution we present the concept and the development of a MOOC: Massive On-line Open Course, designed for remote teaching. The research Group LPF-TAGRALIA decided to develop an open-on-line course, in the frame of a number of innovation initiatives by the UPM (Technical University Madrid). It consists of a global open access course, with some specific objectives, aiming to an internal plan for acquiring own experience for open course Master's education, using a cooperative concept, and to disseminate actual teaching and research know-how and competences owned by the Group. FRUTURA Technologies is designed for some selected but ample target groups, which include technical specialists and also consumers. The course is taught wholly in English, although it includes complementary materials in Spanish also.

To begin with, a meeting was carried out in the Group, for shearing their experience and knowledge with the objective of motivating and integrating the researchers and professors, and to establish the specific objectives,

regarding contents and work procedures, to make them compatible and accessible to all members of the team. Also, some requirements by the MIRIADA X platform were made clear to all.

All phases of the work were developed, and a coordinating team was formed. Phases were established: creation of contents and learning outcomes, developing presentations, filming organization and format for every chapter and sections, developing control questions etc. For all this, the assistance of the GATE (Tele-education Cabinet at the UPM) was relevant.

A scheme for progressive teaching was established, so that the different target groups may be accessed, be able to acquire the concepts of their interest relative to fruit quality. And when interested, to ensure the acquisition of their capacity for applying the advanced techniques related to different aspects of production, handling , logistics, and consumption of fresh fruit.

The frame of the development is presented, as well as the different constraints and difficulties that were found in the design and carrying out of the course

Keywords: MOOC, physical properties, value chain

1. Introducción

Motivado por el programa de "AYUDAS A LA INNOVACIÓN EDUCATIVA PARA LA ELABORACIÓN DE MOOC (Massive Online Open Courses)" de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) para el fomento de la visibilidad de la UPM y el desarrollo de nuevos procedimientos destinados al aprendizaje a distancia se presentó una propuesta de MOOC en forma de curso técnico respecto a la obtención, manejo y determinación de parámetros de calidad en frutas y hortalizas que respondería a un interés general y de técnicos del sector.

El curso que se alojaría en la plataforma Miriada X (www.miriadax.net) sería íntegramente impartido en lengua inglesa, y cumpliría con las expectativas en respuesta a motivaciones de interés social por la alimentación saludable y de la industria hortofrutícola. Llegando a transferir un conocimiento técnico avanzado en la totalidad de la cadena de valor, desde la producción, hasta el consumo.

Con estos objetivos en mente, el equipo de docentes implicados, pertenecientes al Grupo de Investigación reconocido LPF-TAGRALIA de la UPM y con una dilatada experiencia en la materia, han llevado a cabo el diseño y planificación del curso mediante la definición de usuarios objetivo, el análisis de sus necesidades y la realización de la propuesta de valor para responder a éstas.

El curso planteado se estructura en 8 unidades, la primera de ellas de introducción y presentación de los contenidos y las siete restantes según los diferentes temas a tratar. Todos los módulos se basan en presentaciones realizadas en vídeo y cuentan con cuestionarios de evaluación específicos. Adicionalmente el curso plantea una actividad de evaluación entre iguales (P2P) que supone la aplicación de los contenidos tratados a un caso real.

La fecha prevista de comienzo del curso será en junio de 2017 y su duración será de 8 semanas.

2. Metodología

Para el análisis de la propuesta de valor se siguieron los primeros pasos de la metodología MOOC Lean Canvas, presentada en un seminario ad hoc impartido por la UPM a los participantes en la convocatoria. La mencionada metodología identifica una serie de aspectos necesarios para el correcto diseño de un MOOC. En nuestro caso el análisis realizado se circunscribió a la definición de la estructura del curso a partir de los potenciales usuarios identificados y sus necesidades tal y como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Análisis de la propuesta de valor para la definición de la estructura del curso

Otros aspectos de análisis sucesivos definidos en la metodología comentada no se consideraron de aplicación en nuestro caso ya que comprenden aspectos fuertemente condicionados por la plataforma previamente asignada para la impartición del curso, Miriada X.

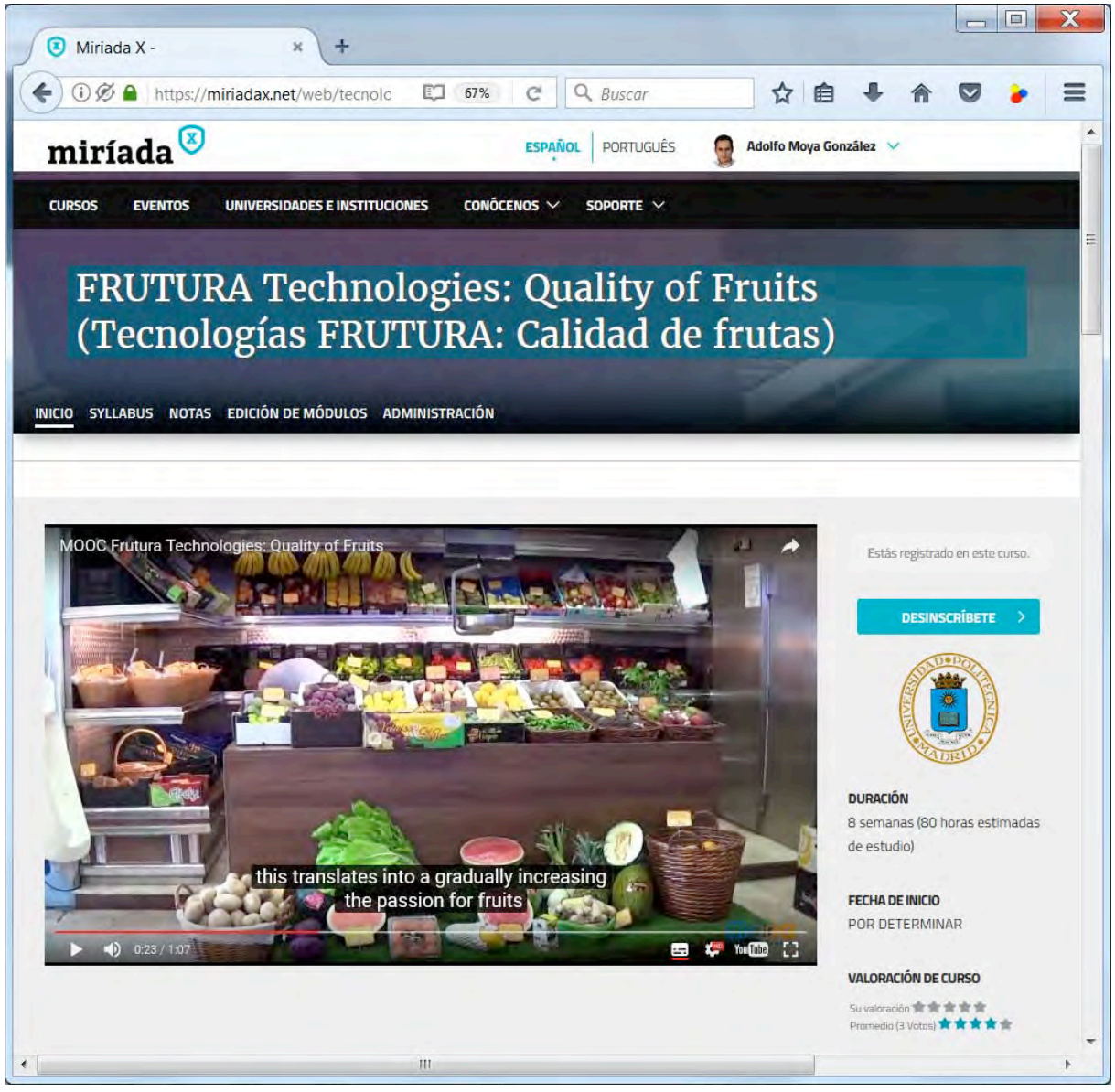


Figura 2. MOOC Frutura en la plataforma Miriada X, vídeo promocional del curso

La plataforma Miriada X presenta una elevada oferta formativa a distancia, con más de 580 cursos, ofertados por 95 universidades y más de 3 millones de alumnos matriculados, centrándose fundamentalmente en países de habla hispana.

Para el diseño y elaboración del material audiovisual disponible en el curso se tomaron en cuenta las recomendaciones realizadas por el propio personal de la UPM y de Miriada X de forma que cada uno de los módulos está basado en una serie de vídeos, con material complementario en forma de presentaciones y documentos, así como cuestionarios de evaluación a responder después del visionado de los vídeos. El formato de los vídeos se apoya en todos los casos en presentaciones multimedia definidas mediante una plantilla elaborada por los servicios audiovisuales de la UPM pudiendo visualizar al orador durante toda la presentación o tan sólo durante la presentación y/o despedida de cada uno de los vídeos. En la medida de lo posible los vídeos son de corta duración (5 a 10 minutos), intentando limitar cada vídeo a la explicación de un único concepto, más o menos complejo. La definición del tipo de vídeo a emplear resulta de la discusión a partir del análisis de información recibida en seminarios impartidos por la UPM, documentación de la plataforma Miriada X para los autores y el trabajo de Reutemann (2016) en el que se analizan las distintas modalidades de vídeo y su empleo en distintas plataformas de alojamiento de MOOC a nivel mundial.

La evaluación de los alumnos comprende la serie de cuestionarios asociados a cada módulo así como una actividad de aplicación evaluable por pares en las últimas semanas del curso.

Para la dinamización del curso se ha implementado un foro de novedades y se plantearán distintos temas de discusión a través de Twitter durante el desarrollo del curso, el seguimiento y comentarios realizados en Twitter no serán empleados para la evaluación de los estudiantes pero sí para el análisis del desarrollo del curso.

3. Resultados y Discusión

La estructura del curso finalmente planteada (Figura 3) trata de responder a las necesidades identificadas en la fase de análisis para los potenciales estudiantes, concretadas en los objetivos de aprendizaje recogidos en la Tabla 1. El curso se presenta en una serie de módulos con todo el material audiovisual disponible desde un primer momento para que los estudiantes puedan seguir el curso según su disponibilidad. Por el contrario, la evaluación de los módulos mediante cuestionarios está programada para su activación secuencialmente según el curso va avanzando, permitiendo eso sí, su realización hasta la fecha de finalización del curso. Los cuestionarios evalúan un nivel básico de competencias técnicas para cada módulo, mientras que los alumnos dispondrán de material adicional para ampliar conocimientos según sus intereses y necesidades.

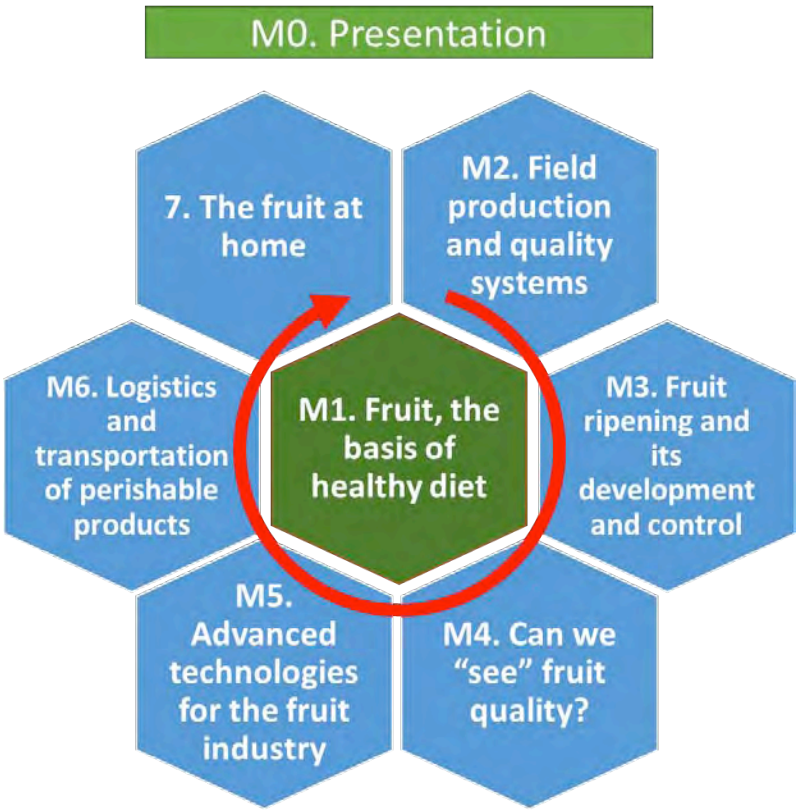


Figura 3. Esquema que muestra la estructura del MOOC Frutura

Tabla 1. Objetivos identificados para el MOOC Frutura a partir del análisis de necesidades de los estudiantes

	Objetivos de aprendizaje
1	comprender y adquirir conocimientos y habilidades básicos de uso y consumo de productos frescos, en especial frutas y hortalizas
2	capacidad para valorar el papel de la producción, transporte y manejo de frutas a lo largo de la cadena de valor
3	valorar las tecnologías avanzadas utilizadas en la industria de la producción frutícola y comprender su importancia en la cadena de valor
4	analizar la logística de la distribución de la fruta desde la producción (la parcela) hasta el consumidor, con el fin de mejorar el nivel de comprensión y las actitudes tanto de los técnicos como de los consumidores hacia las frutas y su consumo idóneo
5	capacidad para llevar a cabo una gestión óptima de la compra y almacenamiento en casa de la fruta, desde el punto de vista de la calidad organoléptica y de su consumo
6	capacidad para comprender la utilidad de las tecnologías avanzadas en la determinación de propiedades de las frutas
7	capacidad para continuar estudios profundos sobre las propiedades físicas de los materiales biológicos y la determinación de factores ligados a la calidad de la fruta

Finalmente, para valorar el interés y la consecución de los objetivos previstos a lo largo del curso se ha planteado un análisis de la participación de los estudiantes en las distintas actividades propuestas, así como de los resultados obtenidos a lo largo del curso.

4. Conclusiones

De este trabajo y de este análisis se extraerán una serie de indicadores que los docentes esperan que resulten de utilidad tanto en el proceso de rediseño del presente curso para su mejora como en otros cursos futuros.

Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento al programa de "AYUDAS A LA INNOVACIÓN EDUCATIVA PARA LA ELABORACIÓN DE MOOC (Massive Online Open Courses)" de la Universidad Politécnica de Madrid, que en su convocatoria de 2016 financió las actividades descritas en esta comunicación.

Bibliografía

Reutemann, J. 2016. Differences and Commonalities – A comparative report of video styles and course descriptions on edX, Coursera, Futurelearn and Iversity in *Proceedings of the European MOOC Stakeholder Summit 2016*, 383-392. February 22-24, 2016; Graz (Austria).

Uso del video divulgativo como herramienta de aprendizaje en estudios de Ingeniería Agraria

José-María Fuentes[1], Ana-Isabel García[1], Eutiquio Gallego[1], Francisco Ayuga[1]

[1] Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (ETSIAAB), Universidad Politécnica de Madrid, Av. Puerta de Hierro, 2-4, 28040 Madrid (España). jm.fuentes@upm.es

Resumen

La realización de videos por parte de los estudiantes sobre temas relacionados con las materias objeto de estudio puede utilizarse como instrumento motivador y como una herramienta práctica para la adquisición y evaluación de competencias transversales tales como la comunicación oral, creatividad, aprendizaje de idiomas, trabajo en equipo o uso de las TICs.

Se describe una experiencia práctica desarrollada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas de Madrid, consistente en la realización por parte de los estudiantes de los Grados en Ingeniería y Ciencia Agronómica e Ingeniería Agroambiental de una serie de videos cortos divulgativos en lengua inglesa sobre distintos temas relacionados con la construcción y las infraestructuras rurales en el primero de los grados y sobre proyectos ambientales en el segundo. Los videos fueron realizados en grupos de 4-5 estudiantes. La actividad se realizó simultáneamente en otras universidades europeas (University College of Dublin y Universidad de Bari) y americanas (University of Illinois y Virginia Tech) y a la conclusión de la misma los trabajos realizados por los estudiantes fueron analizados y evaluados de forma crítica por parte de los profesores y de alumnos del resto de instituciones participantes.

En la comunicación se ofrece información detallada sobre la metodología seguida, los criterios para la evaluación de los trabajos, los resultados académicos obtenidos y la valoración de la experiencia por parte de los alumnos. Los resultados de la experiencia son en general satisfactorios, permitiendo a los estudiantes mejorar sus capacidades en comunicación oral, expresión en lengua inglesa, creatividad y rigor técnico.

Palabras clave: innovación educativa; video divulgativo; agroingeniería; competencias transversales.

Use of video as a learning tool in Agricultural Engineering studies

Abstract

Students' videos on topics related to the curricula subjects can be used as a motivating element and a practical tool for acquiring and evaluating cross-curricular skills such as oral communication, creativity, language learning, teamwork and use of ICTs.

The paper describes a practical experience developed at the School of Agricultural Engineering in Madrid, consisting of the production of short technical videos in English by the students of the Degree in Engineering and Agricultural Science (DEAS) and Degree in Agro-environmental Engineering (DAE) on several topics related to 'Construction and rural infrastructures' in the first case and 'Environmental engineering projects' in the second one. Videos were made by teams formed by 4-5 students. The activity was simultaneously carried out in other European (University College of Dublin and University of Bari) and US universities (University of Illinois and Virginia Tech). At the conclusion of the activity, the videos were critically assessed by teachers and peers of the other participating institutions.

The article provides detailed information on the methodology, the evaluation criteria, the academic results and the evaluation of the experience by the students. The results were generally satisfactory, allowing students to improve their skills in oral communication, English language use, creativity and technical rigor.

Keywords: teaching innovation; video; agricultural engineering; cross-curricular skills.

1. Introducción

La adaptación de las titulaciones universitarias al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) ha supuesto un cambio en las metodologías docentes de las universidades españolas hacia modelos más participativos basados en la actividad y el trabajo personal de los alumnos, frente al sistema tradicional de corte expositivo, exclusivamente centrado en la transmisión de conocimientos mediante clases magistrales (Noguero, 2005; Sánchez, 2011).

Los estudios universitarios, por otra parte, deben preparar a los estudiantes para el acceso al ejercicio profesional, en coherencia con el principio de libre movilidad. El conjunto de conocimientos, capacidades y actitudes necesarias para el ejercicio de la actividad profesional reciben la designación de "competencias" (Bennet et al., 2000; OCDE, 2002; Riesco, 2008). Dichas competencias comprenden, por un lado una serie de conocimientos técnicos propios de cada disciplina ("competencias específicas") y un conjunto de habilidades y destrezas de carácter genérico y transversal ("competencias generales") aplicables a contextos diversos y no exclusivas de una determinada profesión (Rodríguez, 2007; Cano 2008). Este tipo de competencias de carácter transversal corresponden a destrezas tales como la capacidad de comunicación oral, creatividad, aprendizaje de idiomas, trabajo en equipo o el uso de las TICs, entre otras (González y Wagenaar, 2003).

Las competencias transversales influyen directamente en la empleabilidad y son uno de los principales puntos de atención en entrevistas de trabajo y procesos de selección de personal. Su adquisición por parte de los alumnos en una titulación universitaria requiere integrar en las diferentes asignaturas del plan de estudios actividades específicas para que los alumnos las pongan en práctica y una serie de evidencias para poder evaluar, en cada caso, el grado de adquisición de cada competencia transversal por parte de los estudiantes (Baños y Pérez, 2005; Cruz et al, 2008; Villa y Poblete, 2011).

La actual generación de estudiantes universitarios ha crecido inmersa entre equipos informáticos, videoconsolas y todo tipo de artilugios digitales. Los teléfonos móviles, videojuegos, internet, correo electrónico, redes sociales y mensajería instantánea son parte integral de sus vidas y de su realidad tecnológica (Valero et al, 2012; Gisbert y Esteve, 2016). Muchos de estos medios pueden y deben integrarse asimismo en los procesos de aprendizaje universitario (Cabero et al., 2000; Ferro et al., 2009).

El uso del video como herramienta didáctica cuenta con una amplia tradición en disciplinas tales como el aprendizaje de idiomas (Nunan, 1991; Winke et al, 2010; Gromik, 2012) o el desarrollo de habilidades de comunicación oral (Hagstrrom, 1994; Cazcarro y Martínez, 2011). En el ámbito de la ingeniería, el video puede utilizarse como instrumento motivador, así como para acercar al alumno ciertos procesos tecnológicos a los que difícilmente podría tenerse acceso de otro modo (Cabero et al., 2005; Maceiras et al., 2010). Dado su carácter multimedia, puede incluir, entre otros elementos, imágenes fijas, imágenes en movimiento, sonidos, etc.

Además del uso del video como complemento docente o instrumento de transmisión de conocimientos (video-lecciones; grabación de prácticas de laboratorio, etc.), existen otras posibilidades entre las que se incluyen su empleo como elemento de observación y registro de la realidad mediante grabaciones efectuadas a los alumnos o la utilización como herramienta de autoaprendizaje por parte de los estudiantes (Bravo, 2000).

El presente trabajo se centra en la elaboración de videos cortos de carácter técnico por parte de los estudiantes como estrategia para la adquisición de competencias transversales. En los apartados que siguen se describirá una experiencia práctica desarrollada en dos titulaciones de Grado en el ámbito de la Ingeniería Agrícola de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), en la que los estudiantes han realizado en grupo videos cortos relacionados con varias materias de las titulaciones ("construcción" y "proyectos ambientales") con el objetivo de potenciar el autoaprendizaje y

fomentar la adquisición de destrezas tales como la creatividad, comunicación oral, aprendizaje de idiomas extranjeros, trabajo en equipo y uso de las TICs.

2. Metodología

La actividad consiste en la edición por parte de estudiantes de tercer curso del Grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica (ICA) y 4º curso del Grado de Ingeniería Agroambiental (IAg) de la Universidad Politécnica de Madrid de un video divulgativo de duración inferior a 3 minutos, dirigido a una audiencia internacional, como actividad evaluable en las asignaturas *"Geotecnia y Cimentaciones. Obras de Infraestructura Rural"* (ICA) y *"Proyectos de Ingeniería Agroambiental"* (IAg) de las citadas titulaciones. La experiencia se ha enmarcado en el contexto del proyecto TABE.net (v. http://www.ucd.ie/tabe/), cuyo objetivo es la definición de la disciplina y la internacionalización de los planes de estudios en el ámbito de la Ingeniería de Biosistemas, contando con la participación de distintas universidades europeas (University College of Dublin, Universidad Agrícola de Atenas, Universidad Politecnica de Madrid y Universidad de Bari) y estadounidenses (Virginia Polytechnic Institute y State University and University of Illinois at Urbana-Champaign) (Curran et al., 2014).

La tarea se ha efectuado en grupos de 4-5 alumnos formados por los propios estudiantes sobre una lista de temas propuestos por los profesores, relacionados con las construcciones e infraestructuras rurales, en el caso de la asignatura "Geotecnia y Cimentaciones. Obras de Infraestructura Rural", o con proyectos agroambientales en la asignatura "Proyectos de Ingeniería Agroambiental". El objetivo de este trabajo es que los estudiantes practiquen las competencias correspondientes a: capacidad de trabajo en equipo; desarrollo de habilidades de aprendizaje autónomo; comunicación oral; aprendizaje de lengua inglesa y uso de las TICs.

La actividad se ha desarrollado a lo largo de los cursos académicos 2013/14, 2014/15, 2015/16 y 2016/17. Los datos de participación en cada curso se recogen en la Tabla 1.

Tabla 1. Alumnos participantes y número de videos realizados por cursos académicos

Curso académico	Grado	Núm. alumnos participantes	Núm videos realizados
2013/14	ICA	64	13
	IAg	---	---
2014/15	ICA	48	9
	IAg	22	5
2015/16	ICA	53	11
	IAg	20	4
2016/17	ICA	55	11
	IAg	25	5

Previamente a la realización del video por parte de los estudiantes, se indicó a los mismos las características generales para su elaboración (duración máxima de 3 minutos; formato mp4; inclusión de las referencias bibliográficas utilizadas, etc.). Dado el carácter internacional de la experiencia y que una de las competencias transversales a adquirir por los estudiantes es la comunicación en lengua inglesa, se pidió a los alumnos que desarrollaran sus videos preferentemente en inglés, o que al menos estuviesen subtitulados en dicho idioma. Los alumnos debían documentarse sobre el tema y abordar el mismo con concisión y rigor científico, teniendo en cuenta que los videos iban dirigidos a una audiencia formada por estudiantes de universidades extranjeras. La estructura del video es libre, pudiendo escoger cada grupo el formato, índice, recursos audiovisuales y programa de edición a utilizar en cada caso. Con vista a servir de ayuda para los alumnos menos familiarizados con la tecnología, se aportó a los mismos un breve manual con

instrucciones para la creación de videos con Microsoft PowerPoint 2010, la conversión entre diferentes formatos y el modo de alojar videos en YouTube.

Previamente a la entrega del trabajo definitivo, los alumnos debían efectuar en un plazo de 10 días una entrega previa con el índice de los contenidos a tratar en el video y el tiempo dedicado a cada uno de ellos. Dicho guión fue revisado por los profesores de cada una de las asignaturas, aportándose a cada equipo sugerencias e indicaciones para la elaboración del trabajo definitivo. Asimismo, los profesores establecieron un horario de tutorías grupales para resolver las dudas que pudieran surgir a los alumnos en el desarrollo de sus proyectos.

El tiempo disponible para la elaboración del video por parte de los estudiantes fue de cuatro semanas, desarrollándose la actividad al inicio de la asignatura. Una vez concluido el trabajo, se pidió a los estudiantes que alojasen la versión definitiva de los videos en YouTube[1] para poder ser visionados y evaluados por profesores y compañeros, de acuerdo con una rúbrica que se proporcionó a los alumnos a través de la plataforma Moodle. Cada alumno participante debía evaluar individualmente dos videos realizados por compañeros de otra de las instituciones participantes en el proyecto, recibiendo a su vez sus videos las evaluaciones de alumnos de otras universidades. Las valoraciones de los videos se realizaron a través de YouTube en forma de comentarios al video, indicando adicionalmente a las valoraciones cuantitativas un aspecto destacable y una sugerencia de mejora en cada caso (Figura 1).

Figura 1. Ejemplo correspondiente a uno de los vídeos realizado en el curso 2015/16

Los criterios utilizados para la evaluación de los videos se incluyen en la Tabla 2.

La calificación final de los trabajos se efectuó teniendo en cuenta la puntuación otorgada por los profesores (50%) y el valor final medio de las evaluaciones entre pares realizadas por los alumnos (50%). La realización del video constituía una actividad necesaria dentro del sistema de evaluación continua de las dos asignaturas, disponiendo la nota de esta actividad de un peso del 20% sobre la calificación final de la asignatura.

Al inicio y a la conclusión de la actividad se pidió a los alumnos que completaran sendas encuestas para poder evaluar el impacto de la actividad y conocer el grado de satisfacción de los estudiantes con el desarrollo de esta experiencia.

[1] Los vídeos correspondientes al curso 2016/17 pueden visualizarse en:
https://www.youtube.com/playlist?list=PL0F2vRzW8zdZi6Prrp2UrrT_teiQnPX7J (Grado IAg)
https://www.youtube.com/playlist?list=PL0F2vRzW8zdah8kX4GH6fqJUOuS984oRS (Grado ICA)

Tabla 2. Criterios para la evaluación de los videos

Criterio	Puntuación	Peso	Descripción
Creatividad	0-10	20%	Originalidad de la propuesta
Contenido técnico	0-10	30%	Orden y claridad en la presentación Rigor técnico Vocabulario Bibliografía utilizada
Recursos audiovisuales	0-10	30%	Calidad de audio Calidad de imagen Cadencia y ritmo
Ajuste al tiempo previsto	0-10	10%	Duración del video (3 min)
Entrega en plazo	0-10	10%	Puntualidad en la entrega

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados académicos obtenidos por los estudiantes

Los resultados académicos obtenidos por los estudiantes en la actividad pueden calificarse de satisfactorios. La participación media en los cuatro cursos académicos que se ha desarrollado esta actividad ha sido del 94% (Tabla 3).

Tabla 3. Participación de los alumnos en la actividad de vídeo en las dos asignaturas

Curso	Alumnos participantes frente a total de alumnos nuevos	Porcentaje
2013/14	64/68	94,1 %
2014/15	70/73	95,8%
2015/16	73/79	92,4%
2016/17	80/85	94,1%

La calificación media final obtenida por los estudiantes en la actividad de vídeo fue de 7,77 puntos (sobre 10), con una desviación estándar de 0,69. La calificación más baja fue de 6,3 puntos y la más alta de 8,9. La calificación media otorgada por los estudiantes de las otras instituciones participantes en el proceso de evaluación por pares (7,89) fue ligeramente superior a la otorgada por los profesores. En la tabla 4 se muestran los resultados detallados en cada uno de los cursos.

Tabla 4. Calificaciones finales en la actividad de vídeo

Curso	Calificación otorgada por los profesores			Evaluación entre pares		
	Media	Intervalo	Desviación estándar	Media	Intervalo	Desviación estándar
2013/14	7,69	(6,3-8,9)	0,66			
2014/15	7,76	(7,1-8,5)	0,48	7,84	(6,8-8,6)	0,63
2015/16	7,85	(7,1-8,4)	0,43	7,93	(6,5-9,2)	0,82

Las calificaciones medias otorgadas por los profesores a los vídeos en los diferentes apartados objeto de evaluación y para cada uno de los cursos se recogen en la Tabla 5.

Tabla 5. Calificaciones asignadas por los profesores a los vídeos en los diferentes apartados

Curso	Criterio	Intervalo	Media	Desviación estandar
2013/14	Creatividad	3-9	7,4	1,63
	Contenido técnico	4-9	7,2	1,28
	Recursos audiovisuales	5,7-8,7	7,4	0,97
	Ajuste al tiempo previsto	4-10	8,3	1,52
	Entrega en plazo	8-10	9,9	0,55
2014/15	Creatividad	6-9	7,4	1,08
	Contenido técnico	6,5-9	7,5	0,8
	Recursos audiovisuales	6,3-8,3	7,4	0,59
	Ajuste al tiempo previsto	7-10	8,8	1,04
	Entrega en plazo	7-10	9,4	1,19
2015/16	Creatividad	6-9	8,0	0,96
	Contenido técnico	6-9	7,1	0,9
	Recursos audiovisuales	6-8,7	7,5	0,76
	Ajuste al tiempo previsto	7-10	9	1
	Entrega en plazo	5-10	9,5	1,51

Como puede observarse en los resultados de la tabla, los alumnos cumplen, en general, con los requisitos correspondientes al plazo de entrega (9,3 sobre 10) y a la duración del vídeo (8,6 sobre 10) obteniendo puntuaciones algo más bajas en los aspectos correspondientes a contenido técnico del vídeo (7,3 sobre 10) y creatividad (7,6 sobre 10).

3.2. Grado de satisfacción de los estudiantes y contribución de la actividad a la adquisición de competencias transversales

Previamente a la realización del vídeo se realizó una encuesta a los alumnos para valorar su experiencia internacional y la experiencia previa en el uso de programas de edición de vídeo.

Un 83% de los alumnos encuestados (tamaño de la muestra: 110 alumnos) contestó afirmativamente a la pregunta correspondiente a su experiencia internacional, citando como tales la realización de cursos en el extranjero, la realización de viajes personales, familiares o con amigos a otros países y/o la consulta de páginas web o medios de comunicación extranjeros. Asimismo, el 50% de los estudiantes encuestados manifestó tener conocimientos de algún tercer idioma además del español y del inglés (francés, alemán o portugués, principalmente). La mayoría de los alumnos, sin embargo, manifestó no haber realizado a lo largo de sus estudios universitarios actividades parecidas a la propuesta en el sentido de intercambiar información con estudiantes de otro países y tan sólo un 23,6% de los estudiantes indicó contar con alguna experiencia previa en el manejo de programas informáticos para la edición de vídeos.

En los cursos 2014/15 y 2015/16, al concluir la actividad, se pasó a los alumnos una nueva encuesta para conocer su valoración de la experiencia. En la tabla 6 se resumen los resultados de dicha encuesta. Dado que no existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en los dos cursos, se han agrupado las contestaciones para disponer de un mayor tamaño de muestra (n=79).

Como puede observarse, la valoración general de la experiencia por parte de los estudiantes es positiva. Un 57% de los estudiantes indicaron en esta encuesta que la actividad había contribuido a mejorar sus competencias de comunicación oral y un 88,6% manifestó que el desarrollo de esta actividad había contribuido a aumentar su interés en mejorar las competencias lingüísticas. Asimismo, los alumnos valoraron positivamente el proceso de evaluación por pares.

Tabla 6. Valoración de la actividad por parte de los alumnos

Criterio de valoración	1	2	3	4	Puntuación media	Desviación estándar
Grado de satisfacción con la experiencia internacional de vídeo	10,1%	26,6%	48,1%	15,2%	2,68	0,86
Grado de satisfacción con la experiencia internacional de revisión por pares	7,6%	31,6%	46,8%	13,9%	2,67	0,81
¿En qué medida ha contribuido la experiencia a aumentar mi interés en mejorar las competencias lingüísticas?	2,5%	8,9%	50,6%	38,0%	3,24	0,72
Beneficios de compartir información con estudiantes de otros países.	6,3%	24,1%	45,6%	24,1%	2,87	0,85
¿En qué medida ha contribuido la experiencia a cambiar mi percepción sobre los estudiantes de otros países?	13,9%	32,9%	40,5%	12,7%	2,52	0,89
¿En qué medida ha contribuido la experiencia a mejorar mis competencias de comunicación oral en lengua inglesa?	7,6%	34,2%	45,6%	11,4%	2,62	0,79
Valor percibido de los comentarios recibidos en el proceso de evaluación por pares.	5,1%	20,5%	55,1%	19,2%	2,88	0,77
Valor percibido de las evaluaciones de otros vídeos realizadas por el alumno.	3,8%	20,5%	57,7%	17,9%	2,90	0,73

Escala de valoración utilizada: 1 = Bajo; 2 = Neutral o sin opinión; 3 = Moderado; 4 = Alto.

El 97,4% de los estudiantes manifestó en la encuesta realizada a la finalización de la actividad de vídeo su determinación a mejorar sus competencias de comunicación en lengua inglesa y un 87% su deseo de realizar en el futuro estudios en el extranjero.

A la pregunta sobre si los estudiantes creían que los estudiantes eran iguales en diferentes partes del mundo, el porcentaje de alumnos que contestaron afirmativamente aumento desde un 47% en la encuesta previa a la realización del vídeo hasta un 62% en la encuesta posterior.

Respecto a la realización del trabajo en equipo, en general, los alumnos valoran positivamente este aspecto sin que haya que reseñar problemas de organización importantes.

4. Conclusiones

En la comunicación se describe y muestran los resultados de una experiencia práctica consistente en la elaboración de videos técnicos cortos por estudiantes universitarios en titulaciones del ámbito de la ingeniería agrícola como estrategia para la adquisición y evaluación de competencias croscurriculares tales como la comunicación oral, creatividad, trabajo en equipo, aprendizaje de idiomas extranjerosy uso de las TICs. Las principales conclusiones que pueden extraerse de esta iniciativa son las siguientes:

- Los estudiantes tienen la posibilidad de practicar el aprendizaje autónomo a través de este tipo de actividades.
- Este tipo de actividades suponen un avance hacia la internacionalización de los estudios en el ámbito universitario.
- Los resultados de esta iniciativa son satisfactorios entre los estudiantes tanto en lo relativo a la participación como en los resultados académicos obtenidos. La calificación media obtenida (7,7) es considerablemente superior a la nota media final en las asignaturas. Las calificaciones

otorgada por los estudiantes en el proceso de revisión por pares no difieren significativamente de las otorgadas por los profesores.

- La valoración de la actividad por parte de los estudiantes es positiva, destacando especialmente los aspectos relacionados con la mejora de las competencias de comunicación oral en lengua inglesa y los comentarios recibidos en el proceso de revisión por pares.

Agradecimientos

Los autores agradecen al programa EU-US ATLANTIS y a la Universidad Politécnica of Madrid la financiación de este trabajo mediante los proyectos *"TransAtlantic Biosystems Engineering Curriculum and Mobility"* [TABE.net] e *"Incorporación del vídeo divulgativo realizado por los alumnos como procedimiento para adquirir la competencia en creatividad en asignaturas de Grado"* [IE1415-02007].

Bibliografía

Baños, J. E. y Pérez, J. 2005. Cómo fomentar las competencias transversales en los estudios de Ciencias de la Salud: una propuesta de actividades. *Educación Médica* 8(4): 40-49.

Bennet, N., Dunne, E. y Carré, C. 2000. *Skills development in higher education y employment*. Londres: The Society for Research into Higher Education & Open University Press.

Bravo, J.L. 2000. *El video educativo.* Madrid: Instituto de Ciencias de la Educación (UPM).

Cabero, J., Salinas, J., Duarte, A. y Domingo, J. 2000. *Nuevas tecnologías aplicadas a la educación.* Madrid: Síntesis.

Cabero, J., Llorente, M.C. y Román, P. 2005. Las posibilidades del video digital para la formación. *Labor docente* 4: 58-74.

Cano, E. 2008. La evaluación por competencias en la educación superior. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado* 12 (3): 1-16

Cazcarro, I. y Martínez, N. 2011. La grabación en video en el aula como herramienta de mejora de la competencia de comunicacion oral. *Educatio Siglo XXI* 29(2): 255-282.

Cruz, J. L., López, D., Sánchez, F. y Fernández, A. 2008. Evaluación de competencias transversales mediante un examen no presencial. En: *Actas del V Congreso Internacional de Docencia Universitaria e Innovación*, 1-25. Lleida.

Curran, T.P., Gates, R.S., Gentile, F., Scott, D., Ayuga, F., Briassoulis, D., Zhang, C. 2014. Using Video Podcasts to Enhance International Student Collaboration in Biosystems Engineering. In: *Proceedings of the International Conference of Agricultural engineering-AGENG 2014*. 8 pp. July 6–10, Zurich (Suiza).

Ferro, C., Martínez, A.I. y Otero, M. C. 2009. Ventajas del uso de las TICs en el proceso de enseñanza-aprendizaje desde la óptica de los docentes universitarios españoles. *EDUTEC. Revista electrónica de Tecnología educativa* 29: 1-12.

Gisbert, M. y Esteve, F. 2016. Digital learners: la competencia digital de los estudiantes universitarios. *La cuestión universitaria* 7: 48-59.

González, J. y Wagenaar, R. 2003. *Tuning educational structures in Europe.* Bilbao: Universidad de Deusto.

Gromik, N. A. (2012). Cell phone video recording feature as a language learning tool: A case study. *Computers & Education* 58(1): 223-230.

Haggstrom, M. 1994 Using a video camera y task-based activities to make classroom oral testing a more realistic communicative experience, Foreign Language Annals 27(2): 161-175.

Maceiras, R., Cancela, Á., y Goyanes, V. 2010. Aplicación de nuevas tecnologías en la docencia universitaria. Formación universitaria, 3(1): 21-26.

Noguero, F. L. 2005. *Metodología participativa en la enseñanza universitaria*. Madrid: Narcea Ediciones.

Nunan, D. (1991). Language teaching methodology (Vol. 192). New York: prentice hall.

OCDE. 2002. *Definition y selection of competences: Theoretical y conceptual foundations*. París: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

Riesco, M. 2008. El enfoque por competencias en el EEES y sus implicaciones en la enseñanza y el aprendizaje. *Tendencias pedagógicas* 13: 79-105.

Rodríguez, A. 2007. Las competencias en el Espacio Europeo de Educación Superior: tipologías. *Humanismo y Trabajo Social* 6: 139-153.

Sánchez, M. R. 2011. Metodologías docentes en el EEES: de la clase magistral al portafolio. *Tendencias pedagógicas* 17: 83-103.

Valero, C. C., Redondo, M. R. y Palacín, A. S. 2012. Tendencias actuales en el uso de dispositivos móviles en educación. *La educación digital magazine* 147: 1-21.

Villa, A., Poblete, M. 2011. Evaluación de competencias genéricas: principios, oportunidades y limitaciones. *Bordón* 63: 174-170.

Winke, P., Gass, S. Y Sydorenko, t. 2010. The efect of captioning videos used for foreign language listening activities. *Language Learning & Technology* 14(1): 65-86.

A importância da relação Brasil-União Europeia para seu mútuo desenvolvimento: implicações para a agroengenharia

Theo V. S. Ferreira[1], Deborah S. Souza[2], Cecília de F. Souza[3]

[1] Instituto de Economia (IE), bacharelado em Relações Internacionais, UFU, Uberlândia-MG, theovalois@hotmail.com

[2] Departamento de Economia (DEE), bacharelado em Ciências Econômicas, UFV, Viçosa-MG

[3] DEA/UFV, Viçosa –MG, cfsouza@ufv.br

Resumo

Brasil e União Europeia ocupam posições de destaque no cenário global das relações internacionais, assim como representam relevante e estratégica parceria política e econômica. Dessa forma, o presente trabalho objetiva realizar uma ampla análise da relação Brasil – União Europeia nas esferas política, econômica e social, tomando a Península Ibérica como referencial. Além disso, à partir de uma análise estrutural e de conjuntura em âmbito global, identificar e destacar elementos político-econômicos que poderão influenciar o desenvolvimento da Agroengenharia nos próximos cinco anos. Com abordagem holística ao tema, a introdução trata da importância da Agroengenharia e do desenvolvimento agrícola, conectando esses elementos ao Brasil e à União Europeia, além de destacar os objetivos deste trabalho. Na primeira seção, foi realizada uma breve análise do histórico das relações entre Brasil-União Europeia e, posteriormente, Brasil-Península Ibérica. Na segunda seção, foi elaborado um levantamento de informações acerca da perspectiva de tratados, acordos e cúpulas que promovem a integração entre as partes. Posteriormente, foi feita uma análise econômica dos reflexos da integração Brasil-União Europeia para ambas as partes, utilizando-se de bancos de dados de Estados e Instituições Internacionais acerca de itens como Produto Interno Bruto (PIB), balança de pagamentos e Comércio Exterior. Em seguida, fazendo uma síntese das informações supracitadas, se esclarece como todos estes fatores em conjunto podem afetar diretamente o setor de Engenharia Agrícola. Para tanto, elabora-se um estudo dos aspectos econômicos específicos do agronegócio, além de um estudo sobre o intercâmbio técnico-cultural. Finalmente, por meio de uma análise do atual cenário global, tanto conjunturalmente quanto estruturalmente, foram construídas conclusões para o momento atual e para as perspectivas de avanço da Agroengenharia. Assim, foi possível validar a hipótese de que a continuidade e fortalecimento dos vínculos entre o Estado brasileiro e a União Europeia seria benéfico e crucial para o mútuo avanço científico e tecnológico, em especial no que concerne à Agroengenharia.

Palavras-chave: Relações Internacionais, Engenharia Agrícola, Península Ibérica, Economia

The importance of the relation European Union-Brazil for its mutual development: the implications for agricultural engineering

Abstract

Brazil and the European Union occupy prominent positions in the global scenario of international relations, as well as they represent a relevant and strategic political and economic partnership. Therefore, this study aims to conduct a comprehensive analysis of the Brazil - European Union relationship in the political, economic and social spheres, taking the Iberian Peninsula as reference. Moreover, from a structural and global conjuncture analysis, to identify and highlight political-economic elements that may influence the development of agricultural engineering in the next 5 years. With a holistic approach to the theme, the introduction addresses the importance of agricultural engineering and agricultural development, connecting these elements to Brazil and the European Union, in addition to highlighting the objectives of this work. In the first section, the historical relations Brazil - European Union and, later, Brazil-Iberian Peninsula were briefly analyzed. In the second section, a survey was prepared on the perspective of treaties, agreements and summits that promote integration between the stakeholders. Subsequently, an economic analysis of the effects of Brazil-European Union integration was carried out for both, using databases of States and International Institutions on items

such as Gross Domestic Product (GDP), balance of payments and foreign trade. Forthwith, summarizing the above information, it is clarified how all these factors together can directly affect the Agricultural Engineering sector. To this end, it was drawn a study of the specific economic aspects of agribusiness, as well as a study on the technical and cultural exchanges, to contemplate the issues addressed in the Congress itself. Ultimately, through an analysis of the current global scenario, both in conjuncture and structure, we built conclusions for the current moment and for the perspectives of the agricultural engineering advance. Thus, it was possible to validate the hypothesis that strengthening the links between the Brazilian State and the European Union would be beneficial and crucial to the mutual scientific and technological advance, especially in what concerns agricultural engineering.

Keywords: International Relations, Agricultural Engineering, Iberian Peninsula, Economy

1. Introdução

O desenvolvimento econômico brasileiro, em grande parte de seu processo, esteve atrelado ao advento de instrumentos que fornecessem condições para o desenvolvimento agrário, como enfatizado por Navarro (2001), em seus estudos avançados sobre o tema. Ilustra essa afirmação o fato de que muitos dos ciclos econômicos foram nomeados em função de poderosos produtos provenientes do meio agrícola. O ciclo do café é exemplo, pois gerou inúmeras externalidades positivas, que se refletiram em desenvolvimento regional e nacional, amplamente discutido por Lopes (2008). Assim, torna-se inegável a forte relação que o Brasil guarda com sua tradição agroexportadora. Ainda hoje, mesmo após a diversificação do cenário econômico e da estrutura produtiva do País, o agronegócio mantém-se como gerador de divisas e superávits. Portanto, sendo a engenharia agrícola, implantada no Brasil no ano de 1877 (Florençano, 2008) e amplamente difundida na atualidade, um importante elo entre o campo e as tecnologias promotoras de ganhos de eficiência e produtividade, o fomento à pesquisa e desenvolvimento dessa área adquire extrema relevância.

A União Europeia, por sua vez, referência em responsabilidade ambiental (Damacena, 2011) e disseminação desse conhecimento ao redor do mundo, torna-se mais que um parceiro comercial, assumindo o papel de aliado-chave para intercâmbios técnico-científicos.

Dado o cenário descrito acima, com o presente trabalho tem-se por objetivo geral avaliar se o fortalecimento do vínculo Brasil-União Europeia é de fato benéfico para o mútuo avanço científico e tecnológico. Buscou-se especificamente analisar o impacto dessa relação bilateral para a Agroengenharia.

Assim, o presente estudo destaca-se por aliar óticas provenientes das Relações Econômicas Internacionais à área da Agroengenharia, apresentando uma abordagem diferencial em comparação à literatura atual disponível sobre o tema.

2. Metodologia

A metodologia do presente trabalho é baseada na revisão bibliográfica sobre o tema, na análise de relatórios, notícias, artigos e tratados oficiais entre os dois principais atores internacionais aqui trabalhados: Brasil e União Europeia. Além disso, para o estrato econômico do presente trabalho foram analisados dados estatísticos retirados da base de dados oficiais do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (COMEX VIS, 2016).

3. Resultados e Discussão

3.1. Histórico

A União Europeia (UE) tem sua origem em 1957, quando seis países assinaram o Tratado de Roma instituindo a Comunidade Econômica Europeia (CEE). Desde então a União Europeia vem

estabelecendo aproximações estratégicas com vários atores internacionais, incluindo o Estado Brasileiro, que caracterizam um histórico de relacionamento tradicional e bem fundamentado.

De acordo com Luciano (2016), as relações diplomáticas entre o Brasil e a Comunidade Econômica Europeia foram formalmente estabelecidas no ano de 1960, pontuando também o primeiro acordo comercial estabelecido entre essas partes, o qual entrou em vigor em 1974. Cervo (2009) aponta que as negociações entre EU e Brasil, embora contemplem interesses unilaterais, congregam, em sua base, princípios compartilhados, o que progride para um clima de entendimento mais desenvolto comparado a outros parceiros, estimulando os fluxos de comércio, capitais e empreendimentos.

Na década de 1990, os primeiros conjuntos de acordos de cooperação e associação se materializaram, colocando os dois temas em questão, os quais, de acordo com Luciano (2016) são: a promoção de negociações comerciais extra regionais, contemplando o Mercosul, e também o apoio às iniciativas de integração econômica regional. Ainda segundo esse mesmo autor, vários acordos que regem a relação entre os dois atores são estabelecidos nessa década, o que constrói toda a base para uma aproximação mais aprofundada com o início do século XXI.

A partir de 2007, quando a União Europeia reconheceu oficialmente o Brasil como um dos seus principais interlocutores mundiais, se estabelece formalmente a Parceria Estratégica UE-Brasil. Desde então tem sido realizadas reuniões anuais de Cúpula, focando nos principais desafios globais como alterações climáticas e tópicos da esfera financeira internacional, contemplando a análise das situações regionais. Tal parceria contribuiu para a geração de uma dinâmica positiva entre os dois atores, o que orienta e estimula uma cooperação cada vez mais intensificada, abrangendo níveis mais técnicos (SEAE, 2016).

Com a eleição do Estado Brasileiro como parceiro estratégico, a União Europeia gerou maior diversificação e intensificação desse relacionamento. Resultados significativos foram alcançados em muitas áreas técnicas de cooperação por meio da assinatura de acordos bilaterais específicos, além da intensificação do intercâmbio técnico-cultural. Ou seja, quando é feito o um recorte dessa relação com intuito de aumentar o grau de especificidade, é possível para certos assuntos, concentrar a representatividade da União Europeia na figura da Península Ibérica, a qual compartilha grande estrato histórico com o Estado Brasileiro. Se por um lado se tem Portugal, com o qual se partilha uma língua comum, ferramenta para construção de uma mútua história cultural, por outro lado pode-se mencionar a Espanha, Estado com o qual o Brasil tem forte histórico de relações, visto que o Brasil é o principal destino de investimentos na América Latina e do qual mais importa produtos na América Latina (COMEX VIS, 2016).

3.2. Tratados

A relação de longa data que o Brasil e a União Europeia compartilham possui suas fundações no estabelecimento de acordos e tratados que desenham e conformam o modelo de aproximação internacional entre as duas partes. Vale aqui destacar quais são estes e como regem os termos de relacionamento. Seguindo a ordem cronológica é possível, partindo da aproximação construída a partir da década de 1960, acompanhar a evolução do elo entre os dois lados (SEAE, 2016).

Primeiramente, datando o ano de 1995, há o Acordo-quadro de cooperação entre a Comunidade Econômica Europeia e a República Federativa do Brasil - Troca de cartas entre a União Europeia e o Brasil, relativas aos transportes marítimos, acordo esse importante para a resolução de quaisquer conflitos aparentes acerca de qualquer assunto referente ao funcionamento do transporte marítimo. Existe também, datando assinatura no ano de 1995 e entrando em vigência no ano de 1999, o Acordo-Quadro Inter-Regional de Cooperação entre a Comunidade Europeia e os seus Estados Membros, por uma Parte, e o Mercado Comum do Sul e os seus Estados Partes, por outra, o qual estabeleceu parâmetros para o estabelecimento de variados tipos de cooperação entre as duas partes. Outro acordo muito importante, assinado no ano de 2004 e vigente a partir de 2007 é o

Acordo de Cooperação Científica e Tecnológica entre o Governo da República Federativa do Brasil e a Comunidade Europeia, o qual determinou parâmetros mais específicos para cooperações que tratam sobre o desenvolvimento científico e tecnológico mútuo (SEAE, 2016).

A Parceria Estratégica com o Brasil na primeira Cimeira UE-Brasil, diferente das anteriores, foi um marco que estabeleceu e destacou o Brasil como parceiro importante para a UE a partir do ano de 2007. O memorial das relações entre as partes permitiu a construção de laços históricos e culturais estreitos, sobre o intercâmbio de valores, além da capacidade de contribuição decisiva para o tratamento de muitos desafios em pauta nas agendas de discussões globais, tais como as alterações climáticas, a pobreza, o multilateralismo, os direitos humanos, entre outros. As relações bilaterais entre Brasil e União Europeia possuem uma firmeza baseada no crescimento regular e orgânico, no aprofundamento do diálogo político e nas mútuas consultas às margens de grandes eventos multilaterais (SEAE, 2016).

É interessante mencionar que a Parceria Estratégica teve e seu primeiro Plano de Ação Conjunta plurianual para os anos de 2008-2011, corroborando para uma relação mais bem desenvolvida, principalmente em termos políticos. Desde a construção dessa parceria, temas centrais têm incluído discussões sobre um multilateralismo efetivo, além das alterações climáticas, energia sustentável, a luta contra a pobreza e a desigualdade da distribuição de renda, o processo de integração do Mercosul e a estabilidade da América Latina como um todo. A partir de 2011 um novo Plano de Ação Conjunta plurianual foi acordado para o período 2012-2014, com o objetivo de reforçar ainda mais e estruturar a cooperação bilateral estabelecida no primeiro Plano de Ação Conjunta (SEAE, 2016).

3.3. Aspectos Econômicos

Sendo o Brasil um dos países pioneiros nas relações diplomáticas com a União Europeia, os reflexos de sua interação no campo econômico são notáveis e mutuamente relevantes. Para verificar tal afirmação, as relações comerciais representam um grande medidor do bom funcionamento da parceria Brasil-UE. Há dados que comprovam que no período compreendido entre 2003 e 2013, o intercâmbio comercial mais que triplicou (MRE, 2017).

Como informado no Intercâmbio Comercial do Agronegócio, a partir de 2008, entretanto, com a crise representando uma desaceleração no dinamismo econômico do bloco europeu, as exportações brasileiras destinadas à UE apresentaram baixo crescimento, abrindo espaço para que outras interações emergissem como alternativas de comércio, sendo a Ásia a mais representativa delas. Mesmo assim, em 2012, a União Europeia ainda alcançou expressiva participação na corrente de comércio brasileira, um *market share* na casa de 20,7% (MAPA/ACS, 2013).

Atualmente, o Bloco mantém sua relevância para a economia internacional brasileira, tendo sido destino de 18,01% das exportações brasileiras e transacionado 22,58% de nossas importações em 2016, segundo dados da plataforma COMEX VIS, do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC). Os países da UE com maior representatividade no comércio com o Brasil, como importadores dos produtos nacionais são: Países Baixos, com cerca de 31% de participação em seu Bloco, seguidos de Alemanha (15%), Itália (10%), Bélgica (9,7%), Reino Unido (8,5%) e Espanha (7,8%). Adicionalmente, constituem as principais origens de importações brasileiras os seguintes países do Bloco europeu: Alemanha (29%), Itália (12%), França (11%), Países Baixos (9,3%) e Espanha (8,4%) (COMEX VIS, 2016).

Segundo a ferramenta Comex Vis, do MDIC, as exportações para a União Europeia são predominantemente compostas por produtos básicos, sendo farelo e resíduos da extração de óleo de soja os itens mais expressivos. Já as importações brasileiras provenientes da UE são essencialmente formadas por manufaturados, com destaque para medicina humana e veterinária, peças para veículos e gasolina. Um fenômeno importante resulta da análise dessas pautas, já que, ao exportar básicos e importar produtos de maior valor agregado, o Brasil acaba por exportar quantidades bastante superiores, mesmo quando os saldos comerciais são negativos. Na Tabela 1 e

Figura 1 esse fenômeno é ilustrado, demonstrando que mesmo nos anos de saldo deficitário, as quantidades exportadas pelo Brasil superam as importadas, o que evidencia a necessidade de uma maior diversificação da pauta de exportação brasileira (COMEX VIS, 2016).

Tabela 1. Exportações e Importações Brasileiras para a EU por valor e quantidade. (Fonte: PORTAL ALICEWEB, 2017)

	Exportações		Importações	
Ano	Valor (US$ FOB)	Quantidade	Valor (US$ FOB)	Quantidade
2016	33.357.320.710	6.061.762.578	31.062.332.106	4.062.326.451
2015	33.946.636.998	6.060.846.423	36.646.219.434	4.329.693.789
2014	42.047.281.231	6.386.087.058	46.719.056.229	5.861.249.102
2013	47.771.601.075	6.254.108.219	50.750.680.815	5.715.904.407
2012	49.101.847.842	7.522.511.523	47.715.732.066	5.560.060.471

Figura 1. Exportações, Importações e Balança Comercial Brasil-União Europeia, em *bilhões de dólares. (Fonte: COMEX VIS, 2016)*

Considerando a relevância da interação econômica descrita acima, é válido acrescentar a importância que inovações na agroengenharia resultantes dessa relação podem adquirir. Confere-se um caráter ainda direcionado à engenharia agrícola, mas muito mais diverso e de maior valor agregado à matriz de produtos brasileiros e amplia-se o intercâmbio técnico-científico dessas economias, gerando potencial para ganhos mútuos.

3.4. Implicações para a Agroengenharia

A economia brasileira possui um potencial comercial internacionalmente vasto. De acordo com o International Trade Centre (ITC), em 2015 o comércio internacional brasileiro de produtos atingiu uma proporção de 21,2% de seu PIB, sendo 10,8% atribuídos às exportações (ITC, 2017). O agronegócio brasileiro, por sua vez, destaca-se nessas relações por apresentar números expressivos e superavitários. Segundo dados da Associação Brasileira do Agronegócio (ABAG), a receita das exportações do agronegócio brasileiro aumentou 4,6% em março de 2017 em comparação ao mesmo mês de 2016, atingindo US$ 8,7 bilhões (ABAG, 2017). No cenário macroeconômico brasileiro, o PIB agropecuário é historicamente crescente. De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, a participação do agronegócio no PIB de 2016 em relação ao ano de 2015 teve alteração do percentual de 21,5% para 23% (CNA apud ABAG, 2017). Através de dados do

AGROSTAT, nota-se que, ao receber 18,38% das exportações do agronegócio brasileiro, a União Europeia representa, atualmente, o segundo mercado mais receptivo aos produtos agro brasileiros, ficando atrás apenas da China (Figura 2) (AGROSTAT, 2017).

Figura 2 – Exportações Brasileiras do Agronegócio por Mercados em 2017 (Fonte: AGROSTAT, 2017)

Cervo (2009) cita que os países europeus compreendem metade dos vinte maiores investidores diretos no Brasil, salientando que no ano de 2006, o Brasil era o quarto país de destino dos investimentos diretos europeus. Essa relação ajudou na construção da indústria de transformação que modernizou o Brasil com participação maior dos empreendimentos externos, e com isso coube maior enfoque aos empresários brasileiros na promoção da infraestrutura, indústria de base e modernização agropecuária. O alicerce para que esse caminho pudesse ser traçado recai sobre o Acordo de Cooperação Científica e Tecnológica entre o Governo da República Federativa do Brasil e a Comunidade Europeia de 2004, pois tal acordo desenhou e guiou a forma e os propósitos da cooperação entre Brasil e União Europeia nesta área, abrindo também as portas para o avanço de assuntos técnicos no relacionamento bilateral entre os blocos Mercosul-EU.

Um grande produto dessa relação é ilustrado no relatório de Cooperação em Ciência, Tecnologia e Inovação Brasil-União Europeia: Avanços e Oportunidades, estudo que analisou o impacto dos editais de pesquisa na cooperação Brasil - União Europeia. Um dos autores deste estudo confirmou o seguinte: "_ Há uma percepção bem positiva por parte dos coordenadores brasileiros e europeus com relação à visibilidade das pesquisas, das publicações e dos eventos internacionais conjuntos (...)" (HOFFMANN apud MCTIC, 2016). No estudo é relatado que em 2014 foram estabelecidos direcionamentos para a cooperação entre o Brasil e a União Europeia em Pesquisa e Inovação, tratando de prioridades temáticas como: pesquisa marinha, bioeconomia, segurança alimentar e agricultura sustentável, energia, nanotecnologia, dentre outras. Uma das áreas de destaque, que coloca a Agroengenharia em perspectiva, é a do desenvolvimento de Biocombustíveis, na qual o Brasil se destaca como 2º maior produtor do mundo. Essas prioridades temáticas moldam o roteiro para a elaboração das ‘’Chamadas Coordenadas’’, que organizam a forma como essa cooperação se dá na prática.

Essas Chamadas Coordenadas são norteadas pelo princípio de benefícios mútuos e reciprocidade, o qual sempre esteve presente na relação de interesse entre as duas partes. No relatório fica explícito que, até a data de sua publicação, foram realizadas Chamadas Conjuntas nas áreas de Tecnologia da Informação e Comunicação (TICs) e Biocombustíveis, contemplando o campo da Agroengenharia. Como mencionado no relatório de Hoffmann e Natola (2016), essa análise das Chamadas Coordenadas é importante para a cooperação bilateral pois desde o lançamento, em 2014, do programa de fomento à pesquisa e inovação da União Europeia, o “Horizon 2020”, pesquisadores e instituições do Brasil deixaram de ser automaticamente elegíveis para obter recursos europeus (cerca de 80 bilhões de euros disponíveis para financiamento de projetos entre 2014 e 2020).

Com o relatório foi possível identificar diversos elementos positivos, além de aspectos críticos e desafios que surgiram, orientando futuras colaborações no contexto dessa cooperação bilateral. A Publicação, desta forma, mostrou que a maior vantagem das antigas e das vindouras Chamadas Conjuntas é a sua continuidade ao longo do tempo, permitindo uma harmonização e sincronização dos procedimentos de incentivo entre as agências financiadoras Brasileiras e Europeias. Um dos resultados do estudo relatou que várias instituições já trabalhavam com colaborações prévias às Chamadas Conjuntas (Figura 3A) e, com base nestas colaborações, muitos projetos geraram novos acordos, destacando o potencial das cooperações de longo prazo. No relatório também foram apresentados resultados que mostram a existência de muitas novas iniciativas e projetos gerados como *spin-offs* dos projetos financiados pelas Chamadas Coordenadas (Figura 3B), destacando que várias instituições submeteram novas propostas durante o andamento do projeto ou após o seu término, destacando o potencial de novas cooperações para pesquisa (HOFFMANN e NATOLA, 2016).

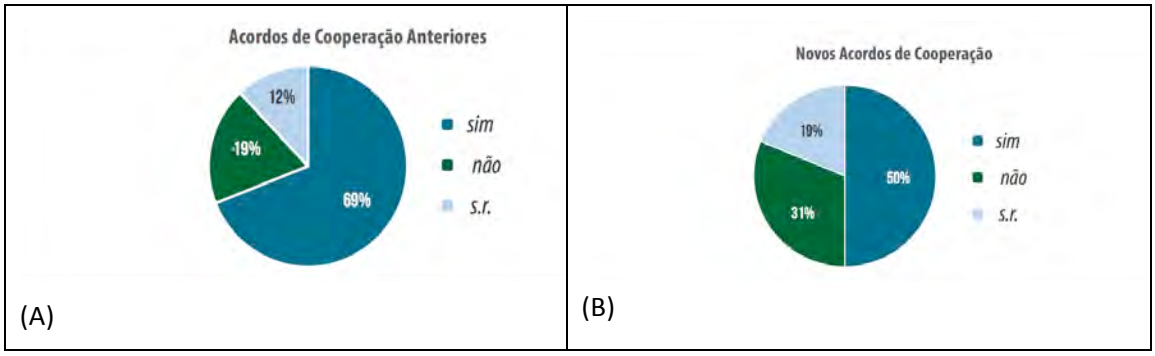


Figura 3. Percentuais de instituições que já possuíam acordos de cooperação anteriores às Chamadas Conjuntas (A) e Percentuais de instituições que fizeram novos acordos de cooperação após as Chamadas Conjuntas (B) (azul escuro para ''sim'', verde para ''não'' e azul claro para ''sem resposta'') (Fonte: HOFFMANN e NATOLA, 2016)

Um impacto a ser mencionado também, fruto da cooperação Brasil-União Europeia, é o estabelecimento de acordos que promovem mútuo crescimento dentro da área de educação, o que se estende à área da Agroengenharia, dentre outras. Após a reforma do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), realizada em 2009, sob supervisão do então ministro da educação do Brasil, Fernando Haddad, universidades portuguesas, várias delas com cursos na área da Agroengenharia, começaram a abrir suas portas para o ingresso de estudantes brasileiros, devido à universalização da metodologia de ingresso às universidades que a reforma propôs.

Tais oportunidades se dão pelo já citado *European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Program,* que sustenta a abertura de programas como o Erasmus+ e Erasmus Mundos, destinados a apoiar a ação externa da União Europeia para fornecer ensino superior internacional (ERASMUS+, 2014), e também o projeto INCOBRA, voltado ao objetivo de ''orientar, aumentar e aprimorar as atividades de cooperação em atores de Pesquisa e Inovação (P&I) do Brasil (BR) e da União Europeia (UE), de modo a obterem benefícios mútuos'' (INCOBRA, 2017). Com fins de explicitar os crescentes benefícios e a importância dessas atividades de cooperação, o portal do projeto INCOBRA fornece análises acerca dos números de publicações conjuntas e patentes.

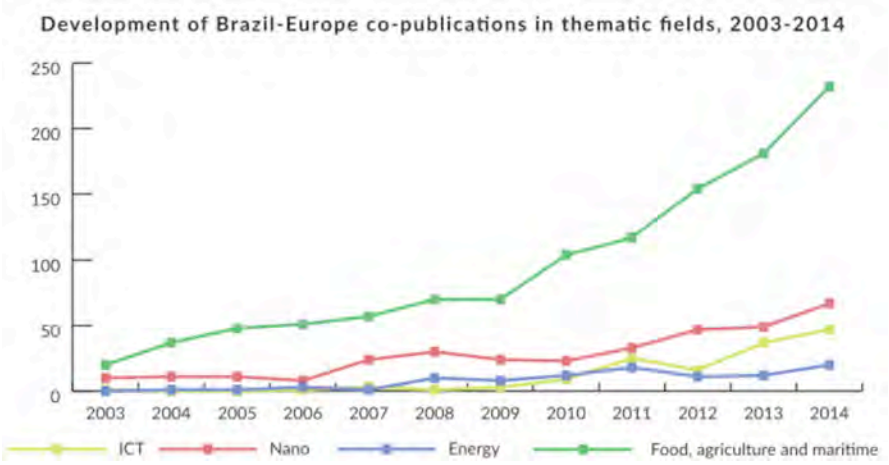


Figura 4. Desenvolvimento do número de publicações conjuntas entre Brasil-Europa por áreas temáticas entre os anos de 2003 e 2014 (Fonte: INCOBRA, 2017)

Dando destaque às implicações para a Agroengenharia e o Agronegócio, no gráfico da Figura 4 está representado o aumento do volume de publicações conjuntas Brasil-Europa, em diversos campos temáticos, no período de 2003 a 2014, durante o qual fica claro o avanço das pesquisas nos temas relativos à alimentos e agricultura.

3.5. Análise conclusiva

Todo alicerce histórico, político e econômico que foi construído desde o fim da década de 1960 estabeleceu a base para o desenvolvimento tecnológico e intercâmbio sociocultural que se pode verificar hoje. A cooperação entre os dois atores, Brasil e União Europeia, bilateralmente, em se tratando da abertura para o relacionamento inter-regional, é um caminho a ser seguido e tomado como referência para outros atores globais.

Elisa Natola, consultora em ciência, tecnologia e inovação (CT&I) da União Europeia no Brasil, no evento de lançamento do relatório "Cooperação em Ciência, Tecnologia e Inovação Brasil-União Europeia: Avanços e Oportunidades", mencionou que nesse documento se destaca a importância da ampliação da cooperação entre Brasil e União Europeia, focando nos fóruns de diálogo político que construirão a base para se trabalhar de forma conjunta em outras áreas temáticas, destacando a importância de ''intensificar o diálogo político para que isso seja cada vez mais bem-sucedido. O referido estudo oferece uma análise que permite o conhecimento mais aprofundado dos dois lados, o brasileiro e o europeu, resultando em melhor alinhamento das visões" (NATOLA apud MCTIC, 2016).

Como bem destaca Cervo (2009), o comércio exterior do Brasil tem na UE seu principal destino, salientando sua importância nos 30% da demanda por produtos brasileiros. Essas relações entre Brasil e União Europeia se estendem para muito além da esfera política, envolvendo aspectos dos campos humano e cultural, financeiro e empresarial, assim como as várias facetas do comércio exterior. Nesse sentido, pode-se usar como exemplo, evidenciando sua relevância, o IX Congresso Ibérico de Agroengenharia 2017. A oportunidade de reunir investigadores, técnicos e demais profissionais da área para que possam conjuntamente discutir, apresentar e partilhar idéias e experiências, representa possibilidades de imenso crescimento ao se refletir sobre as perspectivas futuras para diversas áreas específicas e todo seu impacto global. Além disso, engrandecendo ainda mais o cenário, destaca-se a oportunidade do âmbito internacional, que permite reunir *expertises* de todo o planeta. O intercâmbio cultural e o debate social contribuem para o avanço científico e tecnológico ao se propor novas perspectivas para lidar com os desafios e dificuldades do mundo atual.

Certamente o futuro guarda incertezas, mas devido aos acontecimentos atuais é possível desenhar tendências e identificar fatores de peso na vindoura organização global, que poderão afetar os termos de cooperação Brasil-União Europeia. Com um intuito meramente ilustrativo, aqui se destacam dois pontos, contemplando o lado de cada um dos atores trabalhados na presente pesquisa: 1) Para o Brasil cabe citar as eleições presidenciais que ocorrerão em 2018 e a trajetória brasileira que será tomada a partir de então. Como a Política Externa Brasileira e a Política de Cooperações serão afetadas por este fato? 2) A Europa, de modo geral, passa por um momento politicamente delicado, e os termos de cooperação entre os Estados da União Europeia são afetados por essa agitação política interna ao bloco econômico, especialmente após as decisões britânicas acerca do Brexit. Além disso, destacam-se também as eleições que virão a ocorrer em 2017 e nos próximos anos, ressaltando as da França e Alemanha. Como a Política Externa Europeia e sua Política de Cooperações serão afetadas por estas ocorrências?

4. Conclusão

Conclui-se, pelos argumentos aqui apresentados, que o fortalecimento dos vínculos entre o Estado brasileiro e a União Europeia é de fato benéfico e crucial para o mútuo avanço científico e tecnológico, em especial no que concerne à Agroengenharia.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Viçosa e à Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade do ganho de conhecimento.

Bibliografia

AGROSTAT. 2017. Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília – DF. (Acesso em 16 de abril de 2017). http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm.

ABAG. 2017. “Agronegócio em 2017: além da 'economia'”. São Paulo – SP. (Acesso em 15 de abril de 2017). http://www.abag.com.br/conteudos/interna/abag-agronegocio-em-2017.

Cervo, Amado L. 2009. O Brasil e a União Europeia. Brasília – DF: Thesaurus Editora. Fundação Alexandre Gusmão – FUNAG. Biblioteca do Cidadão, O livro na Rua. Série Diplomacia ao alcance de todos. 16 páginas, volume 19.

COMEX VIS, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. 2016. (Acesso em 15 de abril de 2017). http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-is/frame-bloco?bloco=uniao_europeia.

Damacena, Fernanda Dalla Libera. 2011. A proteção ambiental no âmbito da união europeia. *Revista Eletrônica Direito e Política*, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciência Jurídica da UNIVALI, Itajaí, v.6, n.1, 1º quadrimestre de 2011. - ISSN 1980-7791.

ERASMUS+. Acerca do ERASMUS+. Agência Nacional ERASMUS+. 2014. Comissão Europeia, no domínio da Educação, Formação, Juventude e Desporto. Lisboa. (Acesso em 20 de abril de 2017). http://www.erasmusmais.pt/erasmusmais/erasmus/acerca-do-erasmus.html.

Florençano, José Carlos Simões; ABUD, Maria José Milharezi. 2008. Histórico das profissões de Engenheiro, Arquiteto e Agrônomo no Brasil. *Revista Ciências Exatas*, v. 5, n. 1.

Hoffmann, Andrea R.; Natola, Elisa. 2016. *Cooperação em Ciência, Tecnologia e Inovação Brasil-União Europeia: Avanços e Oportunidades*. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Brasília – DF. 24 páginas.

INCOBRA. 2017. Project. European Union's Horizon 2020 Research and Innovation programme – Agreement number 692520. Porto. (Acesso em 20 de abril de 2017). https://www.incobra.eu.

ITC, International Trade Center. 2017. "Brazil's Trade Performance". Genebra, Suíça. (Acesso em 12 de abril de 2017). http://www.intracen.org/layouts/CountryTemplate.aspx?pageid=47244645034&id=47244645105.

Lopes, Juarez Rubens Brandão. 2008. *Desenvolvimento e mudança social: formação da sociedade urbano-industrial no Brasil*. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais. Aspectos do desenvolvimento econômico. pp. 11-22. ISBN: 978-85-99662-82-3. (Acesso em 26 de abril de 2017). http://static.scielo.org/scielobooks/df6bv/pdf/lopes-9788599662823.pdf.

Luciano, Bruno T. 2016. Introdução: as Relações Brasil-União Europeia e a Agenda do Desenvolvimento Sustentável. In: LUCIANO, Bruno T (Org.). *União europeia, Brasil e os desafios da agenda do desenvolvimento.* Rio de Janeiro – RJ: Fundação Konrad Adenauer. Série Relações Brasil-Europa. Páginas 7 – 15, volume 5.

MAPA/ACS, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2013. Intercâmbio comercial do agronegócio: principais mercados de destino. Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio. Brasília – DF. Páginas 446 – 467.

MCTIC. 2016. Estudo analisa impacto dos editais de pesquisa na cooperação Brasil - União Europeia. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Brasília – DF. (Acesso em 03 de abril 2017). http://www.mcti.gov.br/noticia/-/asset_publisher/epbV0pr6eIS0/content/estudo-analisa-impacto-dos-editais-de-pesquisa-na-cooperacao-brasil-uniao-europeia.

MRE, Ministério das Relações Exteriores. 2017. "União Europeia". Brasília – DF. (Acesso em 12 de abril de 2017). http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/ficha-pais/5812-uniao-europeia.

Navarro, Z. 2001. Desenvolvimento rural no Brasil: os limites do passado e os caminhos do futuro. *Estudos Avançados*. v.15, n.43, p.83 – 100. (Acesso em 26 de abril de 2017). http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142001000300009.

PORTAL ALICEWEB. 2017. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Brasília – DF. (Acesso em 15 de abril de 2017). http://aliceweb.mdic.gov.br.

SEAE. 2016. O Brasil e a UE. Delegação da União Europeia no Brasil. ". Brasília – DF. (Acesso em 30 de março de 2017). http://eeas.europa.eu/archives/delegations/brazil/eu_brazil/index_pt.htm.

PROYECTO TOPPS: Cinco años de formación en Buenas Prácticas Agrarias para la prevención de la contaminación de las aguas por escorrentía

J. Román-Vázquez[1], E. J. González-Sánchez[1&2], A. Miranda-Fuentes[1], J.A. Gil-Ribes[1]

[1] Departamento de Ingeniería Rural, Área de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Córdoba. www.uco.es/cemtro julio.roman@uco.es

[2] Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV). www.agriculturadeconservacion.org egonzalez@agriculturadeconservacion.org

Resumen

El proyecto TOPPS (Train Operators to Promote best Practices and Sustainability - www.proyectotopps.es) contempla el desarrollo de actividades para la difusión de buenas prácticas agrícolas encaminadas a la prevención de la contaminación de las aguas superficiales por escorrentía. Una de las actividades enmarcadas en el proyecto es la organización de actividades de transferencia de tecnología, en concreto, cursos y jornadas de campo con contenidos teórico-prácticos.

Para evaluar la calidad y aceptación de los contenidos propuestos, el equipo de trabajo TOPPS ha desarrollado una encuesta que ha sido entregada a los participantes al término de cada una de las jornadas formativas. Esta encuesta aborda aspectos como la importancia de la escorrentía como fuente de contaminación difusa, la utilidad y facilidad de uso de la herramienta de diagnóstico y la eficacia y dificultad de implantación de las buenas prácticas propuestas.

Desde 2012, se han realizado 30 cursos en los que se han formado a más de 1500 personas. En los mismos, se han recabado más de 300 encuestas. Estos cursos y jornadas se han realizado a lo largo y ancho de la geografía española. Los asistentes a estas actividades han sido fundamentalmente agricultores (29%) y asesores agrarios (27%), personal de las administraciones públicas (21%), investigadores (7%), entre otros. A través del análisis de dicha encuesta se ha podido determinar la utilidad de la formación realizada para mejorar las acciones formativas, reforzando los aspectos necesarios tras la evaluación de la formación realizada por los participantes.

En conjunto, el 65% de los participantes consideran que la escorrentía es un problema en su zona, pero a su vez, el 81% piensa que no tienen a disposición información suficiente de cómo prevenir que ocurra. Los asistentes evalúan como muy útil (48%) o útil (50%) el material y la información recibidos en los cursos. El 73% identifica como principal causa las prácticas agrarias que dejan el suelo desnudo o desprovisto de cobertura. Los encuestados consideran que la siembra directa, el uso de cultivos cubierta o cobertura permanente, y la rotación de cultivos, son las prácticas agrarias más eficaces a la hora de prevenir la escorrentía. En su conjunto, constituyen los principios básicos de la Agricultura de Conservación. Las medidas que los asistentes evaluaron como más complicadas de implementar en campo son las que requieren elementos constructivos, como diques o elementos de dispersión.

Palabras clave: Formación, Prevención de la contaminación, Análisis de encuestas, Escorrentía

TOPPS PROJECT: Five years training in Best Management Practices to prevent water pollution by runoff

Abstract

The aim of TOPPS project (Train Operators to Promote best Practices and Sustainability - www.proyectotopps.es) is to develop activities for the dissemination of best management practices to prevent water contamination by runoff. One purpose of the project is the organization of activities of transfer, specifically, courses and field trainings with theoretical and practical contents.

To evaluate the quality and acceptance of the proposed contents, the TOPPS team has developed a survey that has been delivered to the attendees at the end of each of the training day. This survey addressed aspects such

as the importance of runoff as a pollution diffuse source, utility and the effectiveness and difficulty of implementing the proposed measures.

Since 2012, 30 courses have been held and more than 1500 people have been trained. More than 300 surveys have been collected. These courses have been carried out throughout Spain. The attendees at the training courses were mainly farmers (29%) and advisers (27%), public administration personnel (21%), researchers (7%), among others. Through the analysis of this survey it has been possible to determine the usefulness of the training carried out to improve the training actions, reinforcing the necessary aspects.

Overall, 65% of respondents believe that runoff is a problem in their area, but 81% think they do not have enough information available to prevent runoff occurs. Attendees evaluate as very useful (48%) or useful (50%) the material and information received in the training. The 73% identify as main cause the agricultural practices that leave the ground without coverage. They consider direct sowing, use of cover crops or permanent cover, and crop rotation to be the most effective agricultural practices in preventing runoff. This measures are the basic principles of Conservation Agriculture. The measures that the assistants evaluated as more difficult to implement in fields are those that require constructive elements, such as ditches or dispersion structures.

Keywords: Training, Prevention of pollution, Survey analysis, Runoff

1. Introducción

El Real Decreto 1311/2012, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios en su artículo 31 trata sobre las medidas para evitar la contaminación difusa (escorrentía y deriva) por productos fitosanitarios en las masas de agua. El apartado primero de la misma dice: "*Cuando se apliquen productos fitosanitarios se tomarán las medidas necesarias para evitar la contaminación difusa de las masas de agua, recurriendo en la medida de lo posible a técnicas que permitan prevenir dicha contaminación y, reduciendo, también en la medida de lo posible, las aplicaciones en superficies muy permeables.*"

Las materias activas de los productos fitosanitarios llegan a las aguas superficiales por escorrentía principalmente (McDonald et al, 2000). El uso de técnicas de Agricultura de Conservación, consigue mayores niveles de infiltración de agua de lluvia que el laboreo convencional (G.S. Zhang et al, 2007), asimismo aumenta el volumen de macroporos y materia orgánica, que retienen los productos agroquímicos y favorecen su degradación (Sadeghi et Isensse, 1997), disminuyéndose por tanto el riesgo de pérdida de pesticidas por escorrentía (Holland, 2004). Además el uso de estas técnicas no reducen su eficiencia en la reducción de la escorrentía y erosión a lo largo de los años (Maetens et al, 2012).

Por otro lado la implantación de infraestructuras en campo tales como, bandas de seguridad y elementos de retención de aguas dan muy buenos resultados en la reducción de la escorrentía, siendo incluso mejores que el uso de técnicas de agricultura de conservación en zonas del centro y norte de Europa (Maetens et al, 2012). La implantación de bandas de seguridad de 5 m, tal y como viene reflejado en el Real Decreto 1311/12, llegan a reducir la transferencia de glifosato a las aguas superficiales en un porcentaje del 39%, así como reduce la deposición de partículas del suelo que pueden llevar adheridas materias activas en un 62% (Syversen et Bechmann, 2004).

TOPPS es un proyecto cuyo objetivo principal es establecer unas prácticas de manejo apropiadas para reducir la contaminación de aguas superficiales por fuentes difusas (escorrentía y deriva), así como capacitar a los asesores agrarios para promover las mejores prácticas y con la mayor sostenibilidad. Durante más de cinco años, el proyecto TOPPS ha recorrido la geografía española con el fin de promover un compendio de buenas prácticas agrícolas para evitar la contaminación de aguas superficiales por materias activas de productos fitosanitarios. Tras treinta jornadas y más de 1500 personas formadas, se han recabado más de 300 encuestas con el fin de evaluar los contenidos y la aceptación de las medidas propuestas en post de mejorar la formación que se realiza.

2. Metodología

Para realizar la evaluación de los contenidos de la formación, el equipo TOPPS perteneciente al grupo de investigación AGR-126"Mecanización y Tecnología Rural" de la Universidad de Córdoba, ha desarrollado una encuesta que fue entregada a los participantes tras la realización de los cursos de formación.

Dicha encuesta está dividida en los siguientes apartados: Datos Generales, Bloque de escorrentía, Bloque General.

En el apartado de datos generales se encuesta a los asistentes acerca de la edad, relación con la agricultura y sobre la importancia de fuentes potenciales de contaminación de aguas por productos fitosanitarios.

Posteriormente, la encuesta hace referencia al bloque de escorrentía, en el que se pregunta a los usuarios acerca del conocimiento general sobre escorrentía y erosión y sobre la eficacia de las medidas propuestas y su dificultad de implantación.

Por último, el bloque general cuestiona a los participantes acerca de la utilidad de la formación recibida y la ampliación de conocimientos en las materias tratadas.

Tras recabar más de 300 encuestas, resultaron válidas para su estudio 117, debido a que gran parte de las encuestas recogidas no se encontraban correctamente o totalmente completadas.

El análisis de datos de los resultados obtenidos es meramente descriptivo, siendo realizado mediante hojas de cálculo.

3. Resultados y Discusión

Una vez analizadas las encuestas seleccionadas para su estudio, se obtuvieron los siguientes resultados.

3.1. Bloque de Datos Generales

En los datos obtenidos en las encuestas, se puede observar como la mayor parte de los asistentes a las jornadas de formación, un 61.68 %, se encuentra en un rango de edad entre 30 y 49 años. Este alto porcentaje de personas de mediana edad, nos hace ver que este tipo de formación resulta más interesante a una población con experiencia en el sector y mayor acceso a la información, lo cual puede resultar más favorable a la hora de aplicar medidas propuestas.

Tabla 1. Rango de edad de los participantes

EDAD	16-29 años	30-49 años	50-65 años	> 65 años
Porcentaje	11,21%	61,68%	24,30%	2,80%

En cuanto a la actividad profesional de los asistentes, las jornadas se han realizado principalmente para agricultores (29%), asesores técnicos (27%) y personal de la administración pública (21%). En este sentido es de destacar que se cumplen los objetivos de formación, ya que la población objetivo de la formación, principalmente, son agricultores y asesores agrarios.

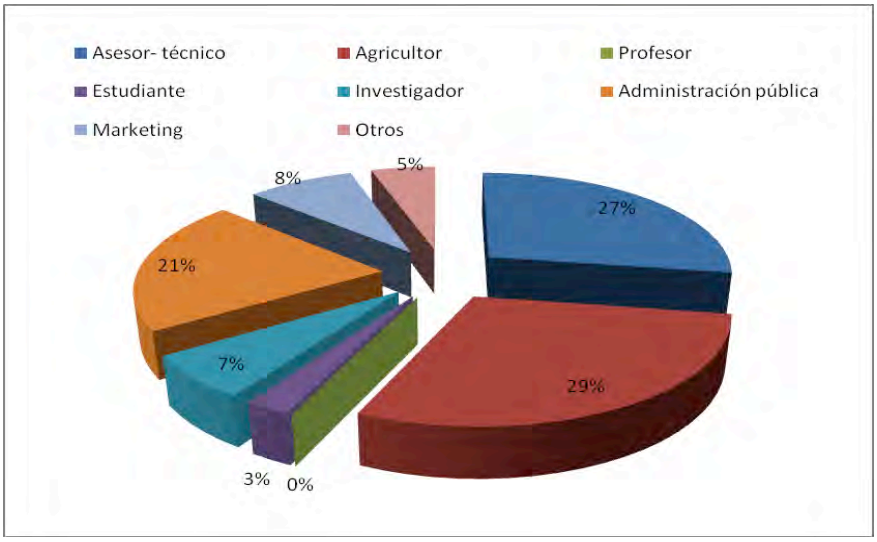


Figura 1. Actividad principal de los asistentes a las jornadas

Con respecto a la percepción de los factores que provocan la contaminación de aguas superficiales por productos fitosanitarios, se instó a los encuestados valorar por orden de importancia distintas opciones.

Tabla 2. Orden de importancia de factores que provocan la contaminación de aguas superficiales

	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Limpieza de los equipos	12,75%	5,88%	12,75%	43,14%	25,49%
Eliminación indebida de los envases	0,98%	10,78%	14,71%	24,51%	49,02%
Equipos regulados incorrectamente	42,16%	21,57%	23,53%	8,82%	3,92%
Erosión y escorrentía	30,39%	26,47%	23,53%	12,75%	6,86%
Deriva	13,73%	35,29%	25,49%	10,78%	14,71%

A tenor de los resultados, se puede observar como la mala regulación de los equipos es percibido como el factor más importante de contaminación de aguas superficiales. Por su parte la Escorrentía es considerado por un 30.39% como el primer causante de contaminación, y por un 26,47% como el segundo factor de riesgo de contaminación más importante. En vista a estos resultados, nos hace ver la importancia que, para los asistentes a las jornadas de formación, la escorrentía tiene como fuente de contaminación de aguas superficiales.

3.2. Bloque escorrentía

Una vez determinada la importancia de la escorrentía por parte de los participantes, se cuestiona en la encuesta sobre la consideración de la escorrentía como un problema en la agricultura y la información que se poseen los encuestados acerca de las técnicas agrícolas disponibles para evitarla.

En este sentido la mayor parte de los encuestados, un 65%, cree que la escorrentía es uno de los principales problemas de la agricultura de su región. Asimismo, es relevante que un 81% de los encuestados opina que no existe suficiente información sobre técnicas para evitarla. Estos resultados nos hacen ver que la formación que se realiza en las jornadas acerca del uso de Buenas Prácticas Agrícolas para evitar la escorrentía y erosión es necesaria, ya que existe un déficit de formación en estas técnicas.

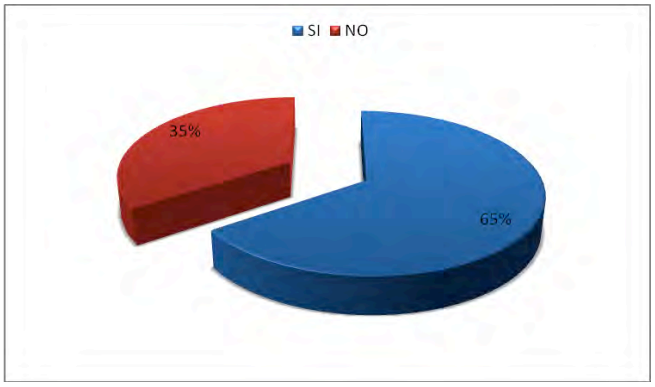


Figura 2.Resultados a la importancia de la escorrentía en su zona

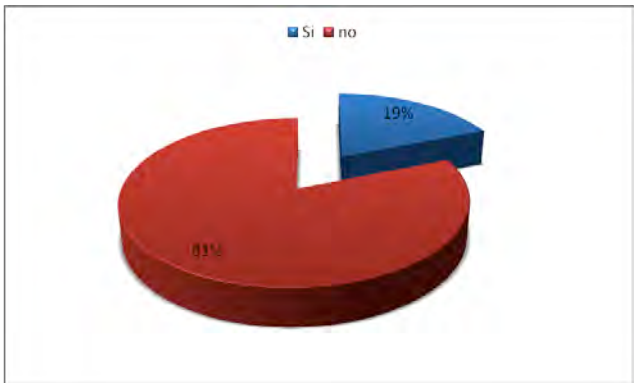


Figura 3.Resultados a la información disponible para reducir la escorrentía

Tras la formación realizada, un 73% de los encuestados opina que el principal problema por el que se produce la escorrentía es la realización de operaciones de cultivo que mantienen el suelo desnudo.

Las jornadas, promueven el uso de una serie de buenas prácticas agrícolas para reducir la escorrentía y erosión. Cuestionados acerca de la eficacia de algunas medidas, se obtuvieron los siguientes resultados, determinados en un rango de 1 a 5 siendo 5 la más eficiente y 1 la menos eficiente.

En los mismos términos, se obtuvieron las siguientes respuestas en cuanto a la dificultad de implantación de las mismas. Estas respuestas se encuentran en un rango de 1 a 5 siendo 1 la más fácil de implantar y 5 la más difícil.

A tenor de los resultados obtenidos, se observa que los asistentes a las jornadas de formación creen que las técnicas de agricultura de conservación, siembra directa (4,02 de valoración sobre 5) y la implantación de cubiertas vegetales en leñosos (4,21 sobre 5) son las mejores medidas a aplicar para evitar la escorrentía y erosión. Asimismo son percibidas como las medidas más fáciles de implantar.

Es por eso, que tras la evaluación de estos resultados, el grupo de escorrentía del proyecto TOPPS, plantee promover el uso de estas medidas con mayor énfasis en las futuras jornadas de formación.

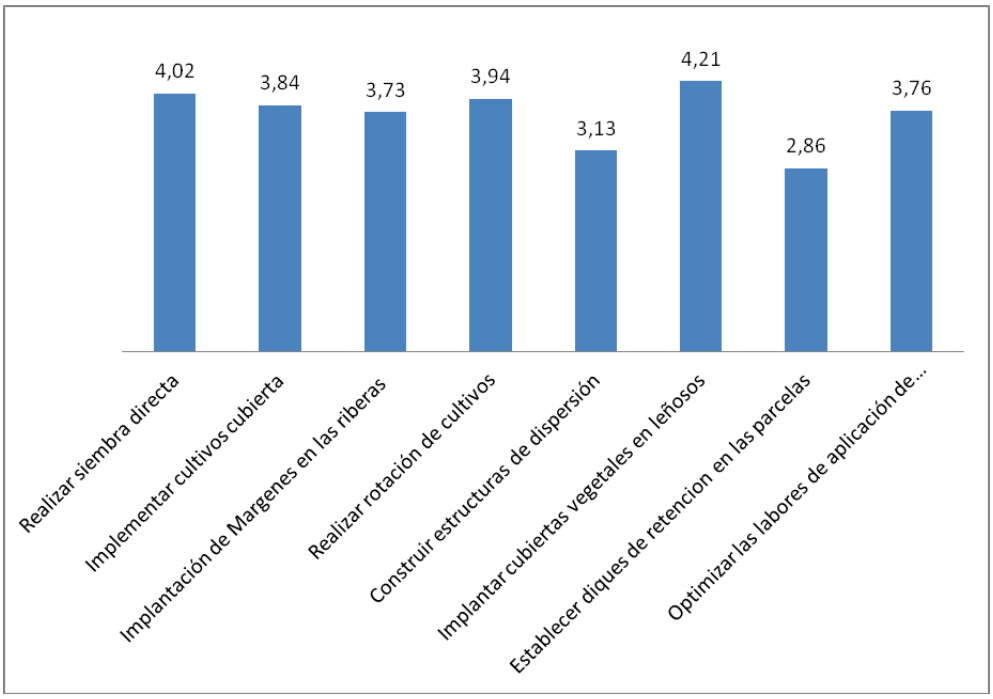


Figura 4. Valores medios de eficacia de las medidas propuestas en las jornadas de formación.

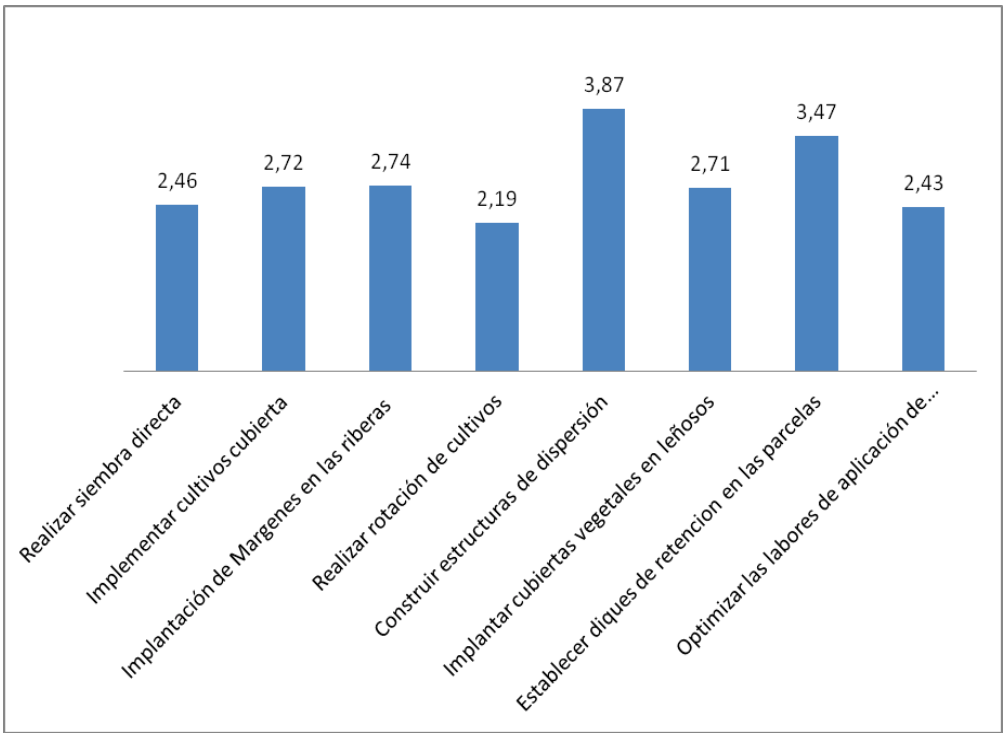


Figura 5. Valores medios de dificultad de implantación de las medidas propuestas en las jornadas de formación.

Por otro lado se puede observar como las medidas enfocadas a la construcción de infraestructuras con el fin de retener y dispersar la escorrentía no son consideradas como las más eficaces y además conllevan mayor dificultad de implantación.

3.3. Bloque General

El último bloque de la encuesta se centra en la evaluación de la formación. En este sentido el 100% de los encuestados opina que los contenidos que se tratan en las jornadas son útiles o my útiles, y el 98% cree que el material que se aporta es útil o muy útil.

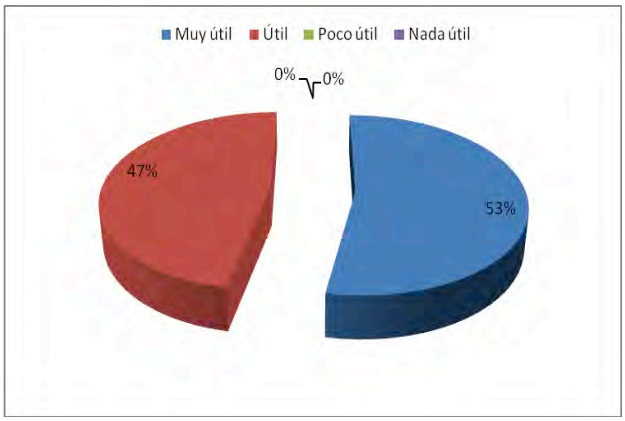


Figura 6. Valoración de los contenidos tratados en la formación.

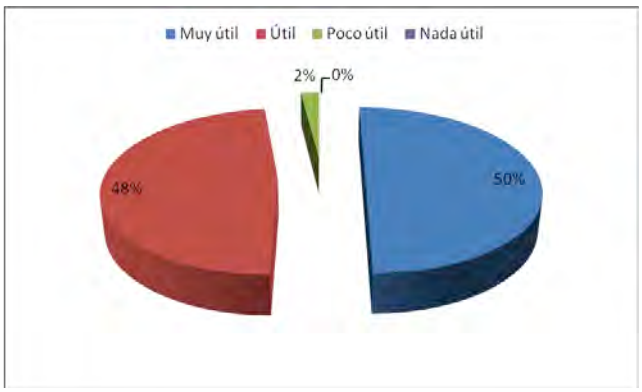


Figura 7. Valoración del material aportado en las jornadas de formación.

Estos resultados hacen ver la buena aceptación de las jornadas por parte de los asistentes a las mismas, por lo que a tenor de las respuestas obtenidas se puede deducir que la formación realizada en los cursos TOPPS tienen un efecto beneficioso en la divulgación de buenas prácticas para conseguir una mayor sostenibilidad en el sector agrícola

4. Conclusiones

Atendiendo a los resultados obtenidos podemos destacar las siguientes conclusiones.

- La escorrentía es considerada uno de los mayores problemas en la agricultura de nuestro país, pero no existe suficiente formación e información para minimizar este problema.
- Las técnicas de agricultura de conservación, siembra directa y cubiertas vegetales en leñosos, son consideradas como las medidas más apropiadas para minimizar los efectos adversos que provoca la escorrentía y erosión.
- La formación ofrecida a través del proyecto TOPPS está considerada de gran utilidad, y se consigue reducir las carencias de información que actualmente existen en términos de reducción de contaminación de aguas por escorrentía y erosión.

Agradecimientos

Los autores agradecen a ECPA (European Crop Protection Association) por la financiación del proyecto TOPPS y a AEPLA (Asociación Empresarial para la Protección de las Plantas) la colaboración en el desarrollo de las jornadas de formación.

Bibliografía

Proyecto TOPPS. 2014. *Buenas Prácticas agrícolas para reducir la deriva, la escorrentía y la erosión*. Madrid. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Holland, J.M. 2004. The envaironmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture Ecosistems & Environment*. 103, 1-25.

Maetens, W., Poesen, J., Vanmaercke, M., 2012. How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean? *Earth-Science Reviews*. 115, 21-36

McDonald, D.D., Ingersoll, C.G., Berger, T.A., 2000. Development and evaluation of consensus –based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 39, 20-31

Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios. Boletín Oficial del Estado, 15 de septiembre de 2012, sec. I. Pág. 65127. http://www.boe.es/boe/dias/2012/09/15/pdfs/BOE-A-2012-11605.pdf

Sadeghi, A.M., Isensse, A.R., 1997. Alachlor and Cyanazine persistence in soil under different tillages and rainfal regimes. *Soil Science* 162, 47-54.

Syversen, N., Bechmann, M., 2004. Vegetative buffer zones as pesticide filters for simulated surface runoff. *Ecological Engineering* 22, 175–184

Zhang, G.S., Chan, K.Y., Oates, A., Heenan, D.P., Huang, G.B. 2007. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years if conservation tillage. *Soil and Tillage Research* 92, 122-128.

Utilización de grabaciones de sesiones docentes para el apoyo en el repaso de conceptos previos

Rosario Castro Abengoza[1]

[1] Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria. Universidad de León. Av. Portugal nº 41, 24071, León, España. mrcasa@unileon.es

Resumen

En este estudio se trata de ayudar a nuestros estudiantes en el repaso de conceptos previos que debían dominar en el momento de acometer el estudio de nuestra asignatura.

Con este objetivo claro y después de haber utilizado distintas fórmulas a lo largo de diferentes años y que habían funcionado de forma desigual, se han realizado una serie de experiencias, en los dos últimos cursos académicos (20105/16 y 2016/17), en las que se ha utilizado como herramienta principal, AVIP (Audio Visual sobre tecnología IP) desarrollada por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) e integrada como un módulo de actividad de Moodle, plataforma utilizada como Aula Virtual institucional y externa de la Universidad de León (ULE).

Se diseñó en Moodle lo siguiente:

- Sesión grabada previamente con AVIP: presentación y clase convencional.
- Cuestionario de evaluación sobre el concepto explicado.
- Encuesta de satisfacción de la exoeriencia.

Se realizó en dos asignaturas diferentes del Máster Universitario en Ingeniería Agronómica, con dos conceptos o temas puntuales diferentes y en una asignatura del Grado en Ingeniería Agraria para comprobar si la madurez del estudiante influye en el éxito de la experiencia.

La experiencia ha resultado mucho más satisfactoria que otras fórmulas utilizadas anteriormente. En cuanto a los aspectos técnicos no ha habido ningún problema reseñable, la visualización de los vídeos ha sido cómoda y su utilización por parte del alumno ha sido intuitiva.

Académicamente los estudiantes han mejorado sus resultados parciales en los puntos tratados y didácticamente ha sido muy efectivo en cuanto a motivación para el aprendizaje autónomo.

Palabras clave: prerrequisitos, vídeos, explicación grabada, aula virtual.

Use of recorded classes for support in the revision of previous concepts

Abstract

In this project we try to help our students in the beginning of our subject, with the revision of previous concepts that they have to dominate.

We have used different formulae throughout different years and it has worked of unequal forms to achieve this objective. In the last two academic courses (2015/16 and 2016/17) we have carried out a series of experiences; it has been used as the principal tool Audio Visual on IP technology (AVIP), developed by the National university of distance Education (UNED) and integrated as a module of Moodle's activity, platform used as a Virtual Classroom in León's University (ULE).

It was designed in Moodle:

- Session recorded with AVIP: presentation and conventional class.
- Questionnaire of evaluation of the explained concept.
- Survey of satisfaction of the experience.

It was realized in two different subjects of the Master in Agronomic Engineering, with two punctual concepts, and in a subject of the Degree in Agrarian Engineering to verify if the maturity of the student influences in the success of the experience.

The experience has turned out to be much more satisfactory than other formulae used previously. There have not been technical problems, the visualization of the video has been comfortable and its utilization has been intuitive.

The students have improved their partial results and the experience has been very effective for their motivation and their autonomous learning.

Keywords: previous requirements, video, recorded explanation, virtual classroom.

1. Introducción: justificación y objetivos

Uno de los problemas que se tienen en las asignaturas de los cursos superiores de Grado o de los Másteres es que a menudo requieren conocimientos de asignaturas más básicas que se han estudiado en anteriores cursos.

La experiencia demuestra que nuestros estudiantes no siempre recuerdan con suficiente claridad estos conceptos básicos que van a necesitar para acometer las nuevas materias de cursos superiores, por lo que el repaso se hace necesario.

A lo largo de los años hemos ido utilizando diferentes técnicas para ayudar a nuestros estudiantes a realizar este repaso: hacer recomendaciones específicas en las guías docentes y dejar que ellos se organizaran, utilizar las primeras sesiones presenciales para realizar un "resumen" de conceptos previos, con el consiguiente gasto de tiempo y esfuerzo, no siempre provechoso, etc...

Con la utilización de las aulas virtuales (Moodle) se empezó a proponer, para realizar el repaso, material de apoyo y actividades de diferente índole, por ejemplo, cuestionarios de autoevaluación, tareas con ejercicios ya hechos, pero en cualquier caso nuestra experiencia es que no siempre esta actividad de repaso era hecha de forma autónoma y satisfactoria.

Así, llegaba el momento del inicio de la nueva asignatura sin que nuestros estudiantes tuvieran un dominio de los conceptos previos necesarios para realizar un aprendizaje significativo, por lo que en muchos casos se convertía en un aprendizaje memorístico y bien se sabe que el aprendizaje adquiere significado sólo si se relaciona con el conocimiento previo.

No afrontar este hecho llevaba dos consecuencias emparejadas, por una parte, teníamos a esos estudiantes que no dominaban los conocimientos previos necesarios, lo que hacía que la nueva materia fuera aprendida de memoria y por otra, los estudiantes que sí habían hecho el repaso lo que provocaba un desnivel y falta de homogeneidad importante, siendo esto un lastre para el desarrollo correcto de las sesiones presenciales.

La situación y punto de partida para plantearse la realización de estas experiencias era: tenemos una necesidad, ayudar a nuestros estudiantes en el repaso de conceptos previos, y tenemos un recurso, la herramienta AVIP para poder hacer "clases" y con la posibilidad de grabar estas sesiones, podemos tener "clases enlatadas" que pondríamos a disposición de los alumnos.

La parte técnica no revestía mayor dificultad, ya habíamos probado esta herramienta en experiencias anteriores para otros objetivos y ya habíamos trabajado con AVIP y su interacción con Moodle. Los objetivos ahora serían:

Objetivo 1. Comprobar que el estudiante fuera autónomo de verdad, actividad asincrónica y sin ayuda, ni de manuales ni de instrucciones, el profesor en casa…

Objetivo 2. Comprobar que esta herramienta era más motivadora para realizar el repaso y que éste no fuera una losa para nuestros estudiantes.

Objetivo3. Hacer colección de “micro sesiones” grabadas con conceptos puntuales que pudieran servir indistintamente y de forma transversal a diferentes estudiantes.

2. Materiales y Metodología

La herramienta utilizada para las experiencias ha sido AVIP (Audio Visual sobre tecnología IP), a priori es una herramienta docente síncrona que proporciona la denominada “presencialidad virtual". Consiste en que desde cualquier punto se puede acceder a las actividades presenciales de cualquier otro punto como si se estuviera allí.

Entre los servicios que ofrece la plataforma AVIP están las Aulas AVIP de Web conferencia que utilizan el software “Conferencia Online”, que permite realizar web conferencias con roles diferenciados (moderador, presentador e invitado) (Grabación Conferencia on-Line, 2008).

La novedad en estas experiencias es que se ha utilizado AVIP, pero de una forma diferente para la que inicialmente está pensada y ha sido para dar una clase de forma “asíncrona”. El equipo necesario en este caso es tan sólo, para el ponente, un ordenador conectado a Internet, webcam y auriculares con micrófono (recomendado).

La forma de trabajar ha sido la siguiente:

– Se creó una sala de web conferencia en la que sólo estaba como participante el profesor que iba a explicar el concepto concreto que se quería repasar (Figura 1)

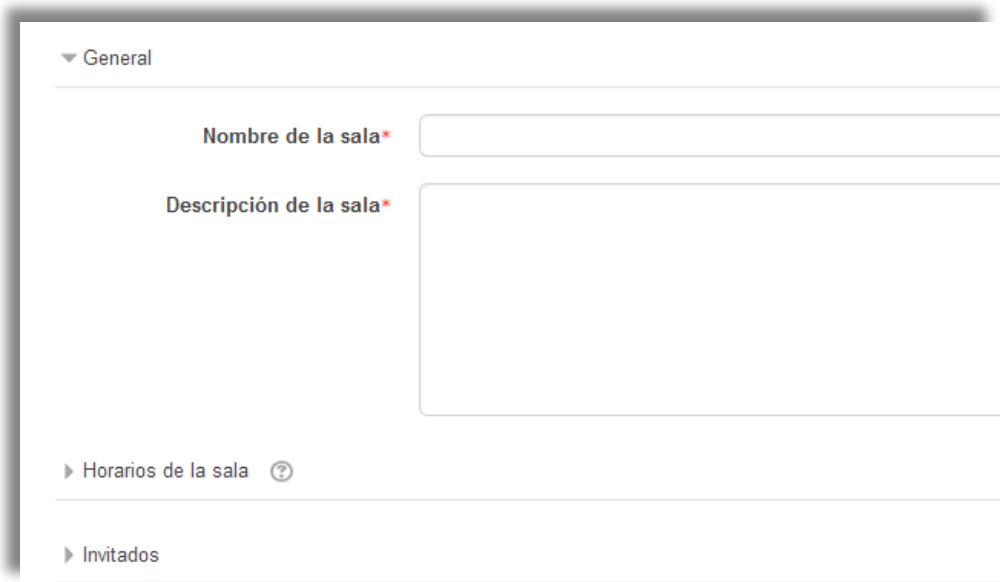


Figura 1. Interface para la creación de sala de web conferencia desde Moodle

- Se impartió la clase (sin alumnos que la recibieran) pero realizando la grabación de la misma.
- Se recuperó la grabación mediante el enlace web que se genera de forma inmediata. Cabe comentar que la herramienta también permite solicitar la generación del audio (formato .mp3) y del vídeo (formato .mp4) con la idea de proceder a su almacenamiento.
- En el aula virtual (Moodle) donde está diseñada la asignatura se incluyó este enlace, de tal forma que los estudiantes pudieran acceder a la grabación, durante un tiempo determinado, antes del inicio de las clases presenciales (Figura 2)

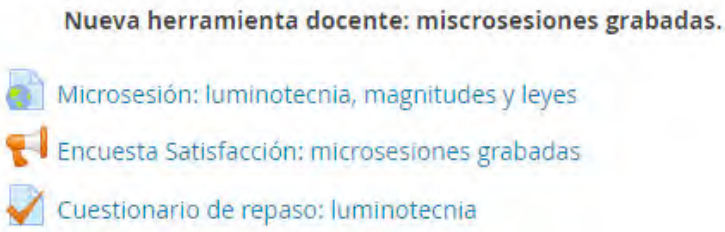


Figura 2. Ejemplo de micro sesión de repaso grabada junto con su cuestionario de evaluación y la encuesta de satisfacción

- Después de este tiempo de visualización de la sesión grabada se propuso la realización tanto el cuestionario de evaluación del concepto explicado como la encuesta de satisfacción de la experiencia, ambos diseñados también en Moodle de forma convencional.

Las experiencias se han realizado con dos grabaciones que se corresponden a dos conceptos básicos:

- Factor de potencia y su corrección
- Magnitudes y leyes de la luminotecnia

A lo largo de los cursos académicos 2015/16 y 2016/17 en las titulaciones y asignaturas que se reflejan en la Tabla 1:

Tabla 1. Esquema del desarrollo de las experiencias: conceptos explicados en las asignaturas de las titulaciones

Curso académico	**Titulación/curso**	**Asignatura**	**Concepto**	**Nº de participantes**
2015/16	Grado en Ingeniería Agraria/ 4º curso	Instalaciones eléctricas agrarias	✓ Factor de potencia y su corrección ✓ Magnitudes y leyes de la luminotecnia	24
2016/17	Grado en Ingeniería Agraria/ 4º curso	Instalaciones eléctricas agrarias	✓ Factor de potencia y su corrección ✓ Magnitudes y leyes de la luminotecnia	17
2016/17	Máster U. en Ingeniería Agronómica/1er curso	Bases de la ingeniería Rural	✓ Magnitudes y leyes de la luminotecnia	10
2016/17	Máster U. en Ingeniería Agronómica/1er curso	Ahorro y eficiencia energética	✓ Factor de potencia y su corrección	10

La dinámica de las experiencias fue la siguiente:

Curso académico 2015/16:

Experiencia realizada en 4º del Grado en Ingeniería Agraria, asignatura de Instalaciones Eléctricas Agrarias, se propusieron los dos videos: video 1.- Factor de potencia y su corrección y video 2.- Magnitudes y leyes de la luminotecnia. En esta asignatura había matriculados 24 estudiantes de los cuales 12 realizaron el repaso de conceptos previos visionando los videos y los otros 12 estudiantes no tuvieron ayuda de ningún tipo, eran conceptos ya estudiados en una asignatura de 2º curso y se les propuso el repaso de dichos conceptos de forma autónoma.

Curso académico 2016/17:

Experiencia realizada en 4º del Grado en Ingeniería Agraria, asignatura Instalaciones Eléctricas Agrarias, se propusieron los dos mismos videos. En esta ocasión había matriculados 17 estudiantes y todos tuvieron a su disposición los videos, pero como se planteó como experiencia opcional no todos los visionaron, aunque en esta ocasión tuvieron a su disposición material (presentaciones de PowerPoint) para realizar el repaso de conceptos previos.

Experiencia realizada en 1º del Máster Universitario en Ingeniería Agronómica, en la asignatura de Ahorro y eficiencia Energética, video 1.- Factor de potencia y su corrección y en la asignatura de Bases de la Ingeniería Rural I, video 2.- Magnitudes y leyes de la luminotecnia. Había matriculados 10 estudiantes en cada una de las asignaturas y la dinámica de la experiencia fue igual que para el Grado, todos tuvieron a su disposición los videos además del material de apoyo, de tal forma que ellos mismos pudieran elegir la forma de realizar el repaso, en esta ocasión todos visionaron los vídeos.

3. Resultados y Discusión

Se presentan a continuación tanto los resultados de los cuestionarios de evaluación como de las encuestas de satisfacción realizadas a los intervinientes de las distintas experiencias.

3.1. Resultados de los cuestionarios de evaluación

En la Figura 3, se presenta la nota media obtenida en los cuestionarios de evaluación (curso 2015/16) por los estudiantes que visionaron los videos y por los estudiantes que no visionaron los vídeos, así como el porcentaje de presentados a la prueba de evaluación.

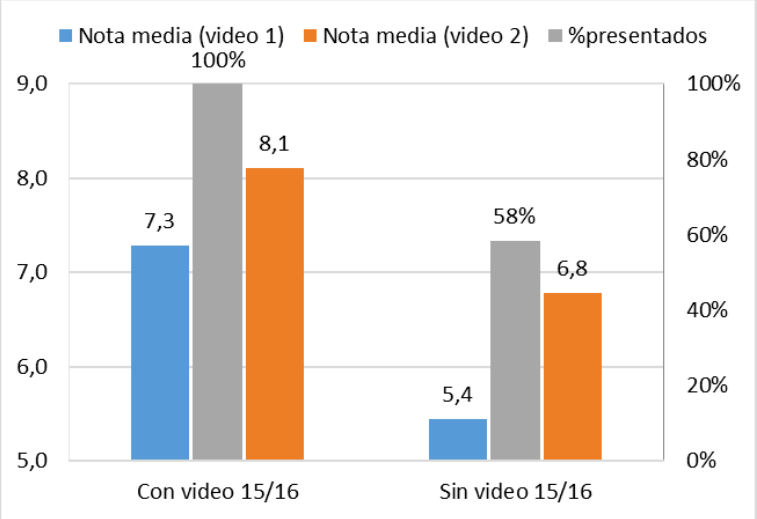


Figura 3.- Nota media y porcentaje de presentación de los estudiantes de Grado. Curso 2015/16.

Se observa como con el visionado de los vídeos se incrementa la nota media obtenida por los estudiantes, 7,7 sobre 10 frente a 6,1 sobre 10 para los estudiantes que realizaron el repaso de los conceptos previos sin ningún tipo de apoyo.

El porcentaje de presentación a la prueba de evaluación fue muy diferente: el 100% en el primer caso y el 58% en el segundo.

En la Figura 4 se presenta la nota media obtenida en los cuestionarios de evaluación (curso 2016/17) por los estudiantes que visionaron los videos y por los estudiantes que, aun teniéndolos disponibles, no visionaron los vídeos y prefirieron realizar el repaso con el material de apoyo, así como el porcentaje de presentados a la prueba de evaluación.

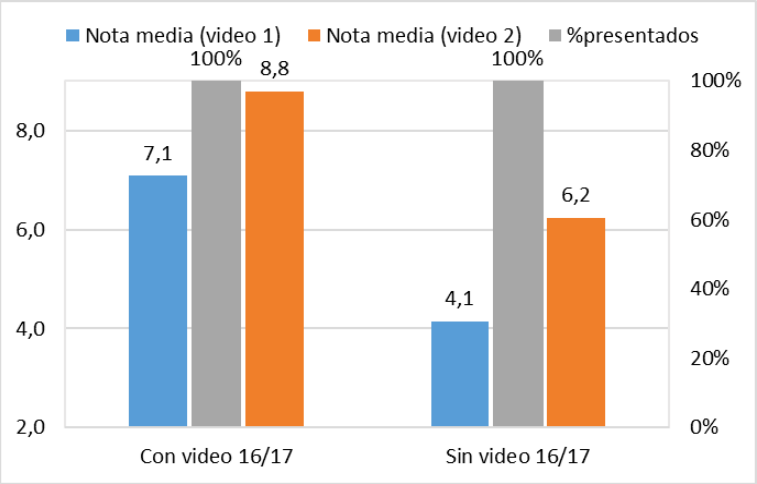


Figura 4.- Nota media y porcentaje de presentación de los estudiantes de Grado. Curso 2016/17.

Se observa como con el visionado de los vídeos se incrementa la nota media obtenida en la evaluación, 7,9 sobre 10 frente a 5,2 sobre 10, y si se pone a disposición de los estudiantes material de apoyo para el repaso de conceptos previos, bien videos o bien presentaciones PowerPoint, el porcentaje de participación en la evaluación se incrementa notablemente, en el curso académico 2016/17, vieran o no lo vídeos, todos se presentaron a la evaluación de los conceptos.

En la Figura 5 se presentan las notas medias obtenidas por los estudiantes de Grado y de Máster. Se comprueba que la madurez del estudiante no influye en la nota obtenida tan solo en la participación en la experiencia. Recordemos que en el Grado, aunque todos los estudiantes tenían a su disposición los vídeos, no todos los visionaron; mientras que en el Máster, todos los estudiantes recurrieron a los videos para realizar el repaso de conceptos previos.

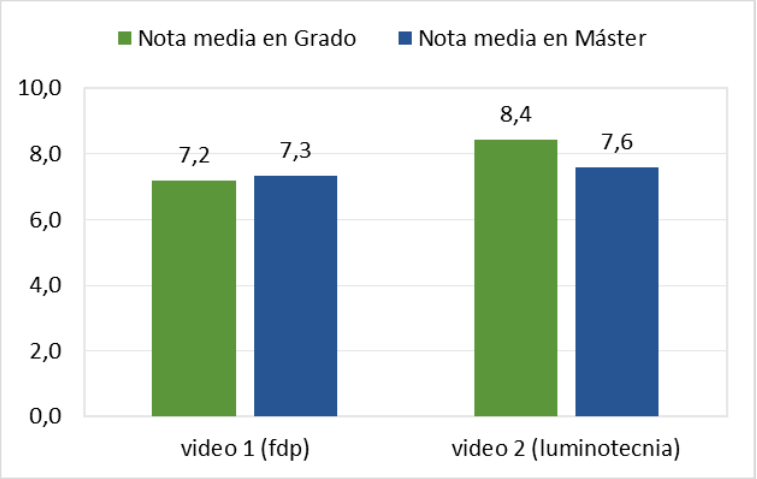


Figura 5.- Nota media obtenida por los estudiantes de Grado y de Máster.

3.2. Resultados de las encuestas de satisfacción

En cuanto a la encuesta de satisfacción de la experiencia, se diseñó de tal forma que un grupo de preguntas iban encaminadas a conocer aspectos técnicos de la experiencia, otro grupo de preguntas se realizaba para conocer la adecuación de la herramienta para el fin propuesto y después con preguntas abiertas se pretendía detectar el grado de aceptación de la herramienta por parte de los usuarios.

En la Figura 6 se observa como los aspectos técnicos de la experiencia son valorados muy positivamente, es decir, tecnicamente los estudiantes no tuvieron ningún problema, los videos se escuchaban y se veían correctamente.

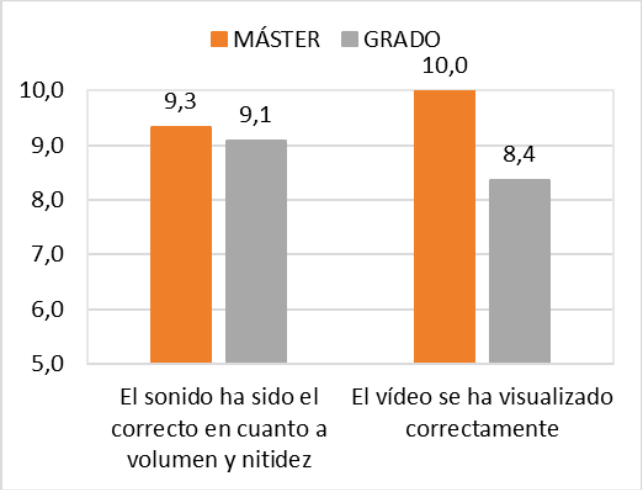


Figura 6.- Aspectos técnicos de la experiencia.

Además de esto, los comentarios realizados en las preguntas abiertas de la encuesta indicaban que el acceso a los vídeos había sido muy intuitivo, facil y cómodo y que era muy útil el que el docente, durante la grabación de la sesión, pudiera ir realizando las anotaciones en la misma presentación como si fuera una pizarra.

En la Figura 7 se presentan los resultados que permiten evaluar la adecuación de la herramienta para el fin propuesto y se observa cómo ver al ponente mientras visualizan la sesión grabada facilita la atención del estudiante (media 7,1 sobre 10) asimismo la grabación de la sesión para su visualización de forma asincrónica facilita la toma de apuntes (media de 8,0 sobre 10), aspecto que parece consideran más los estudiantes de Grado que los de Máster y en cuanto a la comprensión de los conceptos también lo califican con un notable (media de 7,8 sobre 10).

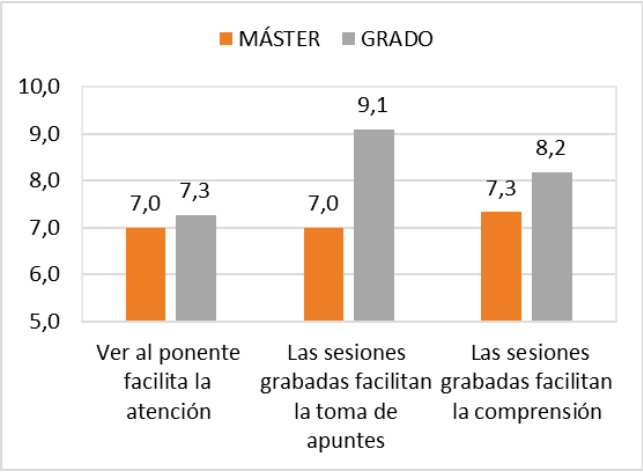


Figura 7.- Adecuación de la herramienta para el fin propuesto.

Los comentarios realizados en las preguntas abiertas iban en este sentido:

"Los vídeos permiten visualizar repetidas veces el contenido, si no se entiende a la primera o si lo necesitas más adelante a lo largo de la asignatura se puede volver a visualizar la explicación. Comodidad de poder ver la clase en cualquier momento y en cualquier lugar."

"Se facilita la toma de apuntes por el hecho de que se puede parar el vídeo en el momento en que se necesite. Por otra parte, se dispone de tiempo para razonar y comprender lo que se está escuchando."

Otra cuestión que se planteaba era la duración correcta de estas sesiones grabadas (Figura 8), las respuestas fueron:

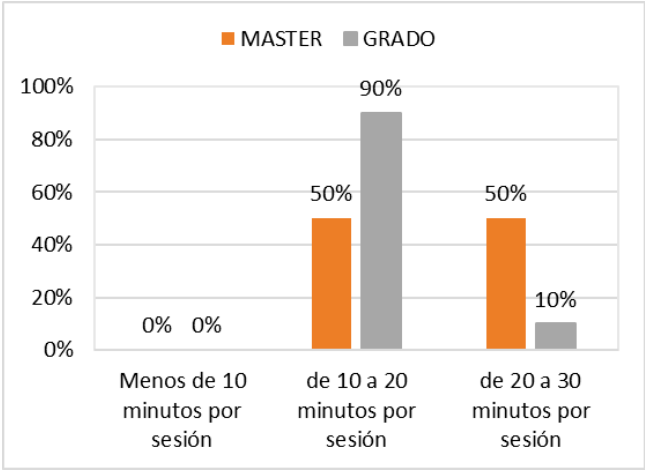


Figura 8.- El tiempo correcto dedicado a la sesión.

Con una media con respecto al total de respuestas del 87% consideraban oportuno duraciones de 10 a 20 minutos e incluso un poco más (de 20 a 30 minutos) con una media del 13%, sobre todo los estudiantes de Máster.

En las experiencias realizadas, estos videos de micro sesiones grabadas, se han utilizado sólo como material de apoyo para el repaso de conceptos previos, pero pensando en la posibilidad de utilizar esta herramienta con otros objetivos se preguntó a los estudiantes si elegirían esta herramienta frente a la clase tradicional y se pudo comprobar que el grado de aceptación de la herramienta es elevado, pero con restricciones.

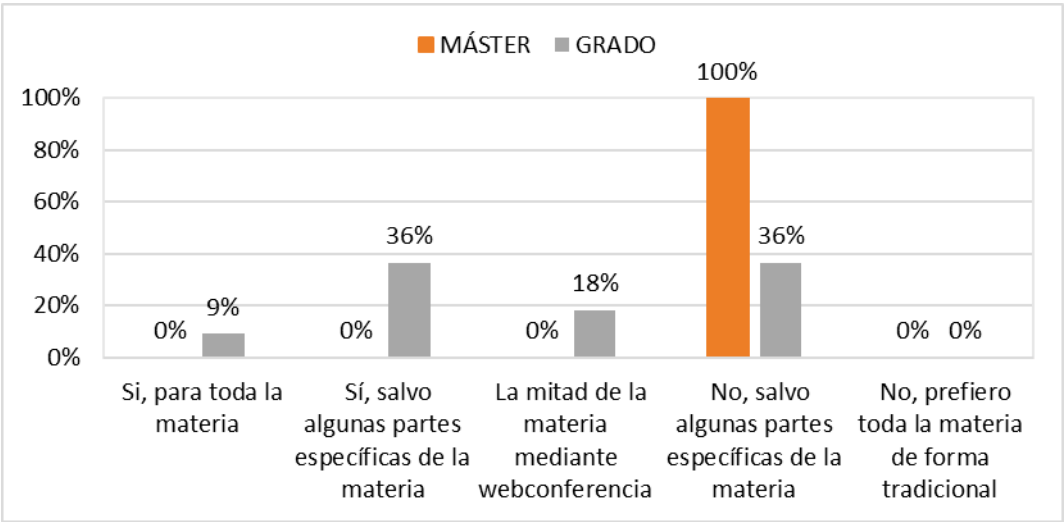


Figura 9.- Pregunta: Elegirías las sesiones grabadas como herramienta docente frente al formato tradicional.

Como se puede observar en la Figura 9 los estudiantes de Máster sólo elegirían esta herramienta frente a la clase tradicional en algunas partes específicas de la asignatura.

Estos estudiantes decían en los comentarios de las preguntas abiertas que uno de los problemas que detectaban era no poder preguntar al profesor en el mismo momento en que la duda se planteaba

pues, aunque se tuviera la posibilidad de realizarlas por diferentes medios (mail, mensajes de Moodle, foros…) consideraban este aspecto como una desventaja de esta herramienta frente a la clase tradicional.

Asimismo, consideran oportuno la utilización de videos con sesiones grabadas para momentos puntuales u objetivos concretos, como el que se había planteado en esta experiencia, incluso ellos mismos proponían utilizarlos, por ejemplo, para recuperar clases presenciales que por diferentes motivos no pudieran impartirse.

Los estudiantes de Grado están mucho más divididos, pero en cualquier caso hay un 0% de elección en recibir toda la materia de forma tradicional, lo que hace pensar que esta herramienta es aceptada e incluso preferida frente a la docencia tradicional, bien para conceptos previos como en este caso, o incluso para otras partes de la materia, reseñar que un 9% de los estudiantes de Grado propuso realizar toda la materia mediante sesiones grabadas

4. Conclusiones

Como conclusiones de las experiencias llevadas a cabo se pueden señalar:

1. Con la utilización de sesiones docentes previamente grabadas para ser utilizadas por el estudiante como material de repaso de conceptos previos se incrementa la calificación puntual en la prueba de evaluación del concepto repasado.
2. El facilitar al estudiante material de apoyo, sea éste del carácter que sea, para realizar el repaso de concepto previos, motiva la realización de dicho repaso.
3. La madurez del estudiante no influye en los resultados obtenidos en cuanto a calificaciones, pero sí se observa una mayor disposición a la hora de utilizar esta herramienta para realizar el repaso de conceptos previos frente a la utilización de material convencional.
4. En cuanto a los aspectos técnicos la experiencia ha sido valorada con sobresaliente por parte de los estudiantes, señalando la facilidad y comodidad en su utilización.
5. Las opciones que se abren con la utilización de estos vídeos de micro sesiones docentes frente a la utilización de material tradicional (presentaciones PowerPoint, por ejemplo) para el repaso de conceptos son muchas: permiten ver al ponente con lo que se incrementa la atención del alumno, permiten parar, adelantar o retrasar el video, verlo en repetidas ocasiones y en cualquier sitio, se facilita la toma de apuntes y la comprensión del concepto.
6. La duración del vídeo no ha de ser excesivo (30 minutos máximo), es preferible la partición de las sesiones en diferentes vídeos para ser visualizados de forma independiente.
7. Aunque para el docente supone un trabajo extra previo a la impartición de la asignatura, una vez hechas las grabaciones, éstas se pueden utilizar en cualquier momento con tan solo procurar que sean conceptos básicos los explicados y que no cambien en el tiempo.
8. Asimismo, facilita el inicio de las asignaturas, pues los estudiantes han repasado los conceptos previos necesarios para acometer la nueva materia de forma autónoma, por otra parte, el hecho de que se integre perfectamente en el aula virtual hace que la interacción docente-discente empiece incluso antes del inicio de las sesiones presenciales.

Bibliografía.

Vega Núñez, J., 2008. Grabación Conferencia on-Line (En diferido). Universidad Nacional de Educación a Distancia, Intecca. 15 jul. 2008. Fecha de acceso: 1 de mayo de 2017. https://www.intecca.uned.es/portalavip/grabacion.php?ID_Grabacion=52828&ID_Sala=3&hashData=6cf78e22c47ea2240cc17331db51c894&paramsToCheck=SURfR3JhYmFjaW9uLElEX1NhbGEs

Innovación Docente en la Planta Piloto de Extracción de Aceites Vegetales de la ETSIAM de Albacete, España

Manuel Alvarez-Ortí, Adrián Rabadán, Eulogio López, Andrés Alvarruiz, Ricardo Gómez, Miguel Olmeda, Sergio Díaz, Carmen Gómez-Cantó, José Emilio Pardo

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Campus Universitario s/n, 02071-Albacete (España). manuel.alvarez@uclm.es

Resumen

El proyecto planteado se basa en la utilización de la metodología del aprendizaje basado en proyectos, mediante la que el alumno se convierte en protagonista de su propio aprendizaje, asesorado y tutorado en todo momento por el personal docente. Así, se plantea una pregunta inicial a los alumnos, que deben resolver mediante una planificación y estructuración del trabajo, de tal forma que se resuelva la pregunta planteada mediante la información adquirida.

Se plantea un problema práctico basado en la elaboración de aceites vegetales de la máxima calidad sensorial y fisicoquímica. Los alumnos, distribuidos en grupos, disponen de la maquinaria de la Planta Piloto de Extracción de Aceites Vegetales de la ETSIAM para la elaboración de aceites de frutos secos. Además, se plantea el tema de la utilización de los subproductos (harinas parcialmente desgrasadas) generados durante el proceso.

Por medio de una planificación previa, se establecen las diferentes sesiones prácticas, en las que los alumnos deben evaluar la influencia de los parámetros de extracción en el producto final, que es analizado desde un punto de vista físico-químico y sensorial. Los resultados obtenidos sirven como base para el debate, la elaboración de hipótesis y la búsqueda de la mejor solución a la pregunta inicial. Finalmente, se evalúa la actividad del alumno mediante la redacción de un trabajo científico y una presentación oral, donde adquieren especial importancia las conclusiones obtenidas.

Palabras clave: innovación docente, aceites vegetales, calidad, optimización

Teaching innovation at the Pilot Plant for the Extraction of Vegetable Oils from the ETSIAM in Albacete, Spain

Abstract

The project is based on the use of the project-based learning methodology, through which the student becomes the protagonist of his own learning, advised and tutored by the teaching staff. Thus, an initial question is suggested to the students, which must be resolved through a planning and structuring of the work that allows obtaining the necessary information.

A practical problem is presented based on the production of vegetable oils of the highest sensory and physicochemical quality. The students, distributed in groups, have the equipment of the Pilot Plant for the Extraction of Vegetable Oils from ETSIAM for the elaboration of nuts oils. In addition, the use of by-products (partially defatted flours) generated during the process is considered.

Through a previous planning, the different practical sessions are established, in which the students must evaluate the influence of the extraction parameters on the final product, which is analysed from a physical-chemical and sensory point of view. The results obtained serve as a basis for the debate, the elaboration of hypotheses and the search for the best solution to the initial question. Finally, the student's activity is evaluated through the writing of a scientific paper and an oral presentation, where the conclusions obtained are of particular importance.

Keywords: teaching innovation, vegetable oils, quality, optimization

1. Introducción

La metodología del aprendizaje basado en proyectos es un modelo de aprendizaje en el que los alumnos trabajan sobre proyectos que tienen aplicación en el mundo real, más allá del aula de clase (Galeana, 2006). Esta metodología hace énfasis en el producto, fundamentándose sobre un problema complejo y necesita de la utilización de los conocimientos previamente adquiridos (Hernández et al., 2009). De esta forma, se facilita la adquisición de conocimientos y habilidades básicas por parte del alumno, así como su aprendizaje para resolver problemas complejos llevando a cabo tareas difíciles mediante el empleo de los conocimientos previamente adquiridos (Barak y Shachar, 2008).

En el aprendizaje basado en proyectos, el docente se encarga de apoyar y guiar a los estudiantes a lo largo del desarrollo del proyecto, pero en ningún caso actúa como único recurso de información. Los estudiantes deben ser los encargados de conseguir la información y de analizarla en función de los objetivos que pretenden alcanzar (Smith y Pastor, 2016). Debido a la libertad de acción durante el aprendizaje, se puede dar el caso de que los estudiantes alcancen metas que no estaban previstas desde el principio. Esto último no supone en absoluto una fuente de inestabilidad o descoordinación, siendo una de las grandes ventajas de la aplicación de este tipo de aprendizaje.

Además, el planteamiento y resolución del problema debe promover la capacidad de trabajo en equipo, aumentar las habilidades en el uso de las TIC y mejorar las capacidades de búsqueda de información y el pensamiento crítico. El problema propuesto debe tratarse de un problema real, con aplicaciones en la industria, de tal forma que se promueva la implicación de los alumnos y la responsabilidad por el propio aprendizaje (Hasni et al., 2016).

Por lo tanto, el proyecto planteado pretende promover la responsabilidad por el propio aprendizaje, mejorar la habilidad para desarrollar tareas complejas y mejorar la capacidad de trabajar en equipo. Todo ello mediante el planteamiento de un problema real que debe ser resuelto por los alumnos mediante la búsqueda de información y el análisis crítico de los resultados obtenidos en las sesiones prácticas planteadas.

2. Materiales y Métodos

2.1. Extracción de aceite

La materia prima (frutos secos) se proporcionan a los alumnos, bien comprada en supermercados o adquirida de proveedores locales. Para la extracción de aceites se cuenta con el equipamiento de la Planta Piloto de Extracción de Aceites Vegetales de la ETSIAM de Albacete. En este caso, se emplean métodos de extracción por presión, de los que la Planta Piloto cuenta con dos tipos de prensas (Figura 1): una prensa de tornillo modelo Komet Oil Press CA59G (IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, Alemania) y una prensa hidráulica de una presión nominal de 80 t (MECAMAQ Modelo DEVF 80, Vila-Sana, Lleida, España).

2.2. Análisis del aceite obtenido

Los aceites obtenidos se someten a análisis físico-químicos y sensoriales. Dentro de los análisis físicoquímicos se evalúa el color mediante espectrofotómetro y colorímetro.

La acidez se mide mediante el kit HI3897-010 (Hanna Instruments), basado en una valoración colorimétrica. El índice de peróxidos se mide con el kit HI83730-20 (Hanna Instruments).

Los valores de los coeficientes de extinción molar K232 y K270 se evalúan en una disolución de aceite al 1% en ciclohexano, realizando la medida de la absorbancia a longitudes de onda de 232 y 270 nm.

La estabilidad oxidativa se mide mediante el método rancimat, con una temperatura de 100ºC y una velocidad de aire de 10 L/h.

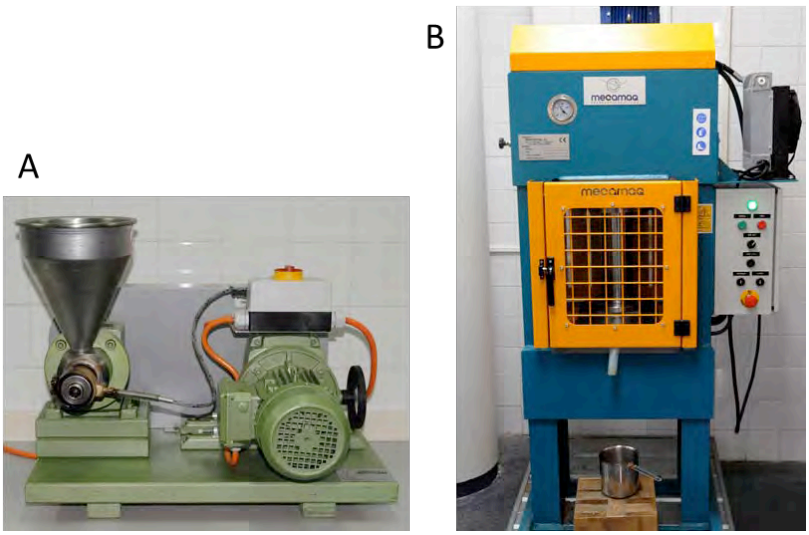


Figura 1. Prensas disponibles en la Planta Piloto de Extracción de Aceites Vegetales. A) Prensa de tornillo. B) Prensa hidráulica.

Finalmente, para la evaluación sensorial se realizan tests de preferencia, contando con los propios alumnos como jueces consumidores.

2.3. Evaluación de resultados y conclusiones

Para la discusión de los resultados y la redacción del trabajo final, se proporciona acceso a revistas científicas mediante las páginas de Scopus y Google académico. La presentación de los resultados se realiza en el aula de la ETSIAM.

3. Resultados y Discusión

El proyecto de innovación docente que se plantea se ha desarrollado en la asignatura de Bases Tecnológicas de la Industria Agroalimentaria. Esta asignatura se imparte en el tercer curso del Grado en Ingeniería Agraria y Agroalimentaria en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes de Albacete. En la figura 2 se presenta un esquema del proyecto planteado.

El trabajo comienza con una sesión en la que se procede a formar grupos de trabajo a los que se les plantea un problema, que debe resolverse al final de las sesiones prácticas. En este caso, el problema está relacionado con una de las líneas de investigación del grupo, como es la optimización del proceso de obtención (secado y extracción por prensado) de aceite de diferentes frutos secos (Sena-Moreno et al., 2016). Se pide a los alumnos que elijan el mejor sistema de extracción de aceites de frutos secos, poniendo hincapié en que no hay una única solución, por lo que cobra especial importancia la justificación de la solución adoptada, en base a los resultados obtenidos.

De esta forma, se implica a los alumnos en un problema real, y se les pone en contacto con productos novedosos mediante los que se pretende incrementar el valor añadido a las producciones agrícolas tradicionales. Además, se introduce a los alumnos en el mundo de la investigación de productos agroalimentarios, en el que es de suma importancia la optimización de procesos para la elaboración de productos de alta calidad.

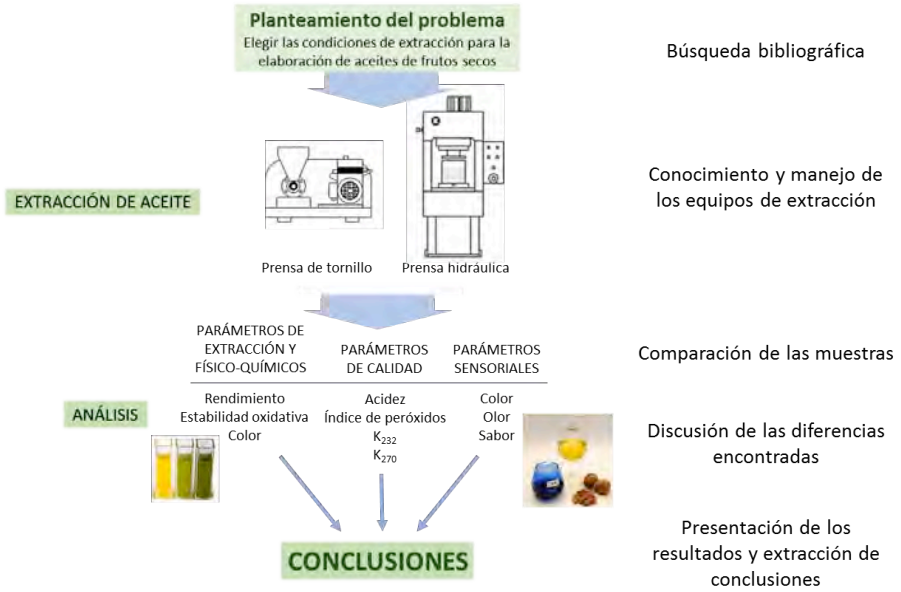


Figura 2. Esquema del trabajo planteado.

La primera parte del trabajo consiste en la búsqueda de información relacionada con el estado actual del problema. Cada grupo elige un fruto seco diferente, del que debe encontrarse información suficiente relativa a su composición química y, en su caso, acerca de los sistemas de extracción de aceite que se emplean en la actualidad. Para esta tarea, se ponen a disposición de los alumnos fuentes bibliográficas y acceso a internet para la búsqueda de artículos científicos relacionados con el fruto seco elegido, con el asesoramiento del profesorado. La búsqueda bibliográfica se sigue mediante una sesión de tutoría, en el que se hace ver a los alumnos los aspectos positivos y negativos de la búsqueda realizada, y, en su caso, se completa con artículos científicos aportados por el profesorado. En esta fase del trabajo, los alumnos deben aprender a buscar información fiable, que será de aplicación en las siguientes sesiones.

El siguiente paso es la elaboración de los aceites. En una sesión, en la Planta Piloto de Extracción de Aceites Vegetales se elaboran los aceites, empleando sistemas de presión. En esta sesión, la labor docente es importante, pues se explican las diferentes condiciones de funcionamiento de las prensas empleadas, para que los alumnos puedan tenerlas en cuenta a la hora de elaborar las conclusiones. Los alumnos son los encargados de elaborar los aceites, evaluando los rendimientos obtenidos y la facilidad de manejo de cada equipo.

En las siguientes sesiones prácticas se realizan los análisis de los aceites, que deben servir para evaluar las diferencias existentes en función del sistema de extracción (prensa hidráulica, prensa de tornillo). En estas sesiones, los alumnos aprenden el uso de técnicas básicas de laboratorio (Figura 3). Los resultados obtenidos en los análisis muestran las diferencias debidas a los sistemas de extracción, que sirven como base a la discusión entre los miembros del grupo, que en el último paso debe servir para extraer las conclusiones del trabajo, que deben estar debidamente justificadas. Los resultados se discuten en presencia del profesor en el aula.

El proyecto planteado finaliza con la presentación de los resultados y las conclusiones obtenidas. Los alumnos deben presentar un trabajo con formato científico, con un apartado de introducción donde se refiera la información encontrada en la búsqueda bibliográfica realizada, un apartado de materiales y métodos donde se expongan los distintos procedimientos realizados en la Planta Piloto (elaboración de aceites y análisis), y un apartado de resultados y discusión, donde se expongan los

resultados obtenidos, y se justifiquen las conclusiones adoptadas en base a éstos. Finalmente, se debe incluir un apartado de conclusiones, donde se dé respuesta al problema planteado.

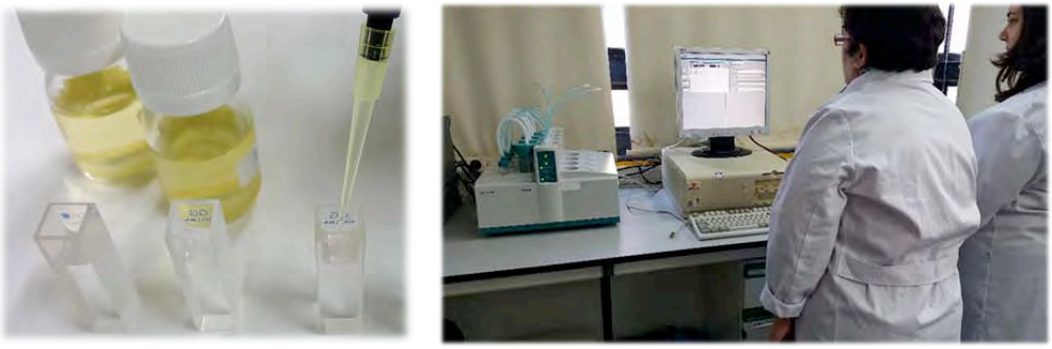


Figura 3. Alumnos trabajando en la Planta Piloto de Extracción de Aceites Vegetales de la ETSIAM en el análisis de las muestras de aceite elaboradas.

La presentación del trabajo debe ir acompañada de una presentación oral en el aula, en la que se presenten los principales resultados y conclusiones obtenidas y se pueda debatir con el resto de alumnos de la asignatura y el profesor acerca de las ventajas e inconvenientes de la solución adoptada.

En la tabla 1 se muestra un resumen de las sesiones programadas para el cumplimiento de los objetivos planteados. En total, el trabajo se distribuye en 12 sesiones, que se realizan en el aula, en la Planta Piloto para la Extracción de Aceites Vegetales de la ETSIAM, en el despacho del profesor, o como trabajo autónomo, abarcando un total de 25 horas.

Tabla 1. Sesiones empleadas para completar el trabajo planteado

Sesión	Lugar	Duración	Objetivo
1	Aula	1 h	Formación de grupos de trabajo Planteamiento del problema
2	Trabajo autónomo	4 h	Búsqueda bibliográfica
3	Despacho	1 h	Tutoría de seguimiento del trabajo
4	Planta Piloto	2 h	Elaboración de aceites
5	Planta Piloto	2 h	Análisis
6	Planta Piloto	2 h	Análisis
7	Planta Piloto	2 h	Análisis
8	Despacho	1 h	Tutoría de seguimiento del trabajo
9	Aula	2 h	Discusión de los resultados obtenidos
10	Trabajo autónomo	5 h	Redacción del trabajo final
11	Despacho	1 h	Tutoría de seguimiento del trabajo
12	Aula	2 h	Presentación de conclusiones

4. Conclusiones

El proyecto planteado promueve la responsabilidad por el propio aprendizaje, puesto que los alumnos son los encargados de buscar la información necesaria para la resolución del problema planteado. Además, se fomenta el trabajo en equipo, favoreciendo el debate entre los distintos componentes del grupo que deben justificar la solución adoptada. Este debate y discusión interna dentro del grupo fomenta la habilidad de desarrollar tareas complejas y el análisis de resultados para ofrecer la mejor alternativa. Además, los alumnos entran en contacto con un proceso productivo real

y con la planificación necesaria para desarrollarlo, evaluando todos aquellos factores que pueden influir en las características del producto final.

Bibliografía

Barak, M. y Shachar, A. 2008. Projects in Technology education and fostering learning: The potential and its realization. *Journal of Science Education and Technology*, 17(3): 285-296.

Galeana, L. 2006. Aprendizaje basado en proyectos. *Revista Ceupromed-Universidad de Colima* (Acceso 15 de Abril de 2017) http://ceupromed.ucol.mx/revista/.

Hasni, A., Bousadra, F., Belletête, V., Benabdallah, A., Nicole, M.-C., y Dumais, N. 2016. Trends in research on project-based science and technology teaching and learning at k-12 levels: a systematic review. *Studies in Science Education*, 52(2): 199-231.

Hernández, M., Moreno, J.H., y León, G. 2009. Aprendizaje basado en problemas y proyectos. III Jornadas de Orientación para Profesores y Orientadores. Universidad de Cartagena.

Sena-Moreno, E., Pardo, J.E., Pardo-Giménez, A., Gómez, R., y Alvarez-Ortí, M. 2016. Differences in Oils from Nuts Extracted by Means of Two Pressure Systems. *International Journal of Food Properties*, 19(12): 2750-2760.

Smith, E.K. y Pastor, M. 2016. Engage me and I learn. *Phi Delta Kappan*, 98(2): 41-43.

Fomento del trabajo fuera del aula con prácticas similares a problemas de examen evaluadas por pares

Francisco J. Castillo-Ruiz[1], Sergio Castro-Garcia[1], Juan Agüera-Vega[1]

[1]Grupo Docente UCO 144 "Mecanización Agraria". E.T.S.I. Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Edificio Leonardo Da Vinci, Ctra. Nacional IV-a, km. 396, 14014 Córdoba. E-mail: FJCR g62caruf@uco.es; SCG scastro@uco.es; JAV jaguera@uco.es

Resumen

Se parte de la detección de una serie de carencias en la adquisición de conocimientos en la asignatura Motores y Máquinas de 2º curso del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural. Para dirigir y motivar al alumnado de cara a la superación de la asignatura se organizaron dos prácticas fuera del aula (P2 y P3), de la misma naturaleza que los tres tipos de ejercicios de examen (P1, P2 y P3). La corrección de las prácticas se hizo mediante evaluación por pares y posterior revisión del profesorado. La realización de las dos prácticas tuvo un seguimiento desigual, con una tasa de evaluación de 33 y 22 % respectivamente, mientras que la tasa de éxito fue muy elevada, 87 y 97 %. En cuanto a los resultados del examen, la tasa de evaluación fue del 59 y 55 %, y la tasa de éxito del 50 y 36 %, inferior a la registrada en las prácticas. Sin embargo la tasa de rendimiento fue similar entre el examen (30 - 20 %) y las prácticas (29 y 12 %). Los resultados de los exámenes del curso 2016/17 fueron mejores que en los exámenes del curso 2015/16, por lo tanto se ha cumplido el objetivo de mejorar el porcentaje de alumnos que superan la asignatura, mejorando o manteniendo el rendimiento. Por último, la tasa de evaluación no mostró un resultado satisfactorio en las prácticas, por lo que se hace necesario incidir entre el alumnado en la importancia de estas actividades.

Palabras clave: Pedagogía del error, aprendizaje fuera del aula, trabajo fuera del aula, tasa de éxito, tasa de rendimiento.

Homework encouragement by means of peer reviewed activities similar to exam problem

Abstract

Firstly, it has been detected some deficiencies in the acquisition of knowledge for the subject "Motores y máquinas" corresponding to the 2nd year of the Degree in Agri-food Engineering and Rural Environment. Two homework practices (P2 and P3), similar to the three types of exam exercises (P1, P2 and P3) were organized to tutorize and motivate students in order to pass the subject. Practices correction was done through peer evaluation and subsequent revision of the teaching staff. The performance of the two practices was unevenly followed, with an evaluation rate of 33 and 22% respectively, while the success rate was very high, 87 and 97%. Regarding the results of the examination, the evaluation rate was 59 and 55% and the success rate was of 50 and 36% for P2 and P3 respectively, lower than that recorded in the practices. However, the rate of performance was similar between exam (30 - 20%) and practices (29 and 12%). The results of the 2016/17 exams were better than in the examinations of the 2015/16 course, therefore the objective of improving the percentage of students who pass the subject, improving or maintaining the performance has been accomplish. Finally, the evaluation rate did not show a satisfactory result for the practices, for this reason, it is necessary to persuade the students to the importance of these activities.

Keywords: Pedagogy of error correction, out of classroom learning, homework, success rate, performance rate.

1. Introducción

El avance en la aplicación del conocimiento, y las técnicas pedagógicas en las asignaturas correspondientes a los Grados de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural, Enología e Ingeniería Forestal, es una necesidad impuesta por el mercado laboral. En este sentido, la Universidad de Córdoba se propone avanzar en la mejora de la calidad de la enseñanza para proveer al mercado laboral de profesionales de alta cualificación que se ajusten a la demanda del mismo. Además, el avance de la internacionalización de la Universidad de Córdoba debe realizarse mediante la atracción de alumnos del Espacio Europeo de Educación Superior (E.E.E.S) y de terceros países. El proceso de atracción de alumnos internacionales debe tener como base la calidad de la enseñanza y la adecuación de las titulaciones a las necesidades reales de su desempeño profesional.

El proceso de aprendizaje requiere de una base previa de conocimientos en materias transversales que en ocasiones no ha sido correctamente adquirida por los alumnos. En este sentido se ha observado una carencia en este campo en los alumnos de las titulaciones de Grado de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural, Enología y Grado de Ingeniería Forestal. Además se ha detectado una falta de aprovechamiento de las horas de trabajo fuera del aula por parte del alumnado, debido fundamentalmente al predominio de la lección magistral como método de transmisión de conocimientos (CIDUA, 2005). Este trabajo fuera del aula, debe proporcionar al alumno la oportunidad de explorar la materia con mayor profundidad, adquiriendo por un lado el nivel adecuado en las competencias requeridas para superar la asignatura, y por otro lado conocimientos prácticos aplicables a situaciones reales.

Para solucionar estos problemas, el Área de conocimiento de Ingeniería Agroforestal está comprometida con la mejora de la calidad educativa basada en las metodologías activas centradas en el alumnado a través de actividades académicamente dirigidas. Estas actividades tienen como objetivo principal la aplicación del conocimiento teórico a la práctica mediante la realización de ejercicios y actividades prácticas. Además, se contribuye mantener un Grupo Docente activo e innovador en las asignaturas del área, capaz de difundir los resultados de las nuevas experiencias educativas llevadas a cabo.

Aumentar el autoaprendizaje entre el alumnado mediante la búsqueda, selección e interpretación de información en los buscadores y bases de datos específicas es un aspecto fundamental para la formación del alumnado. La adquisición de la competencia de “acceso y uso de la información” es de gran importancia en la preparación de los futuros profesionales, y dota al alumnado de la capacidad para enfrentarse a una gran diversidad de problemas en el ámbito profesional. Por último, el plurilingüismo es identificado como una competencia esencial para el desempeño de la actividad de un titulado superior. En este sentido, el fomento del conocimiento de otras lenguas se puede potenciar mediante la búsqueda de información en fuentes y bases de datos en otro idioma diferente de la lengua materna del alumnado.

El fomento del trabajo fuera del aula en las asignaturas de segundo curso de las citadas titulaciones permite al alumno adquirir los conocimientos y destrezas necesarios para superar la asignatura y para desarrollar su carrera profesional con un nivel adecuado en el campo de la mecanización agraria. El desarrollo de tareas fuera del aula es uno de los pilares del E.E.E.S. y por tanto una obligación del alumno. Sin embargo, la escasa implantación del autoaprendizaje entre el alumnado durante los primeros cursos de grado hace que, en muchos casos, no se aproveche este tiempo de trabajo, y en numerosas ocasiones este hecho conlleva la no superación de la asignatura por parte del alumno. Además, es conveniente aprovechar la pedagogía del error como método de aprendizaje (Lomas, 2016) en el que el alumno pierde el miedo al fracaso, sustituyéndolo por la visión de una oportunidad para aprender.

La evaluación realizada de los resultados obtenidos en convocatorias y proyectos de innovación docentes anteriores han puesto de manifiesto la importancia de la participación y motivación del alumno para el aprovechamiento y éxito en las asignaturas de segundo curso. El presente proyecto

de innovación docente propone avanzar en la aplicación de este conocimiento adquirido, con una mayor actividad, implicación y autonomía del alumnado en el desarrollo de los contenidos prácticos de la asignatura.

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar el aumento del porcentaje de alumnos que superan la asignatura y el afianzamiento de las competencias adquiridas, con la introducción prácticas fuera del aula y su metodología de corrección. Además, se ha buscado una mejora de la implicación del alumnado en la asignatura y dotar a la misma de una aplicación práctica del conocimiento teórico.

2. Materiales y Métodos

Actualmente, en la asignatura "Motores y máquinas" de segundo curso del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural se realizan una serie de prácticas en las que se explican tres tipos de problemas que luego se evalúan en el examen. Estas prácticas se imparten fomentando la participación del alumnado, incluyendo en todo caso un problema que debe ser resuelto por el alumno al final de la clase. Sin embargo, es frecuente que durante cada práctica los alumnos no adquieran los conocimientos requeridos, Por lo tanto, en el presente trabajo se plantea reforzar estas prácticas con tareas realizadas fuera del aula por los alumnos.

De los tres tipos de problema de examen (P1, P2 y P3), se han diseñado prácticas para realizar como trabajo fuera del aula en dos de ellos (P2 y P3). Para ello, se ha elaborado un enunciado de problema simulando un examen y se ha puesto a disposición del alumnado en la plataforma Moodle después de realizar la práctica de aula correspondiente. Se ha dado dos semanas de plazo para la ejecución del problema por parte del alumnado como tarea en horario fuera del aula, disponiendo el profesorado de la asignatura de un extenso horario de tutorías durante ese periodo de tiempo. Una vez realizada la práctica, el alumno la envía a través de la plataforma Moodle para proceder a su corrección.

En primer lugar, se preparó una lista de los problemas entregados asignando un número a cada uno de ellos, y se distribuyó entre los alumnos para que realizasen una corrección por pares, asignando una nota numérica en escala de 0 a 10. Posteriormente, el profesorado realizó una corrección del problema entregado y de la corrección realizada, dos notas definitivas, una para el alumno que había realizado la práctica, y otra para el alumno que había corregido la práctica. Estas notas junto con las correspondientes sugerencias y correcciones fueron enviadas a través de la plataforma Moodle.

La metodología empleada tuvo una fuerte componente participativa del alumnado, tanto durante la realización de las prácticas fuera del horario lectivo, como en la dedicación del tiempo necesaria fuera del aula. Esta estrategia se planteó debido a la importante carga de trabajo fuera del aula que demandan las titulaciones dentro del E.E.E.S., y que en ocasiones queda infrautilizada por el alumno, principalmente al comienzo del cuatrimestre, generando carencias en los conocimientos adquiridos que en ocasiones llevan al alumno a no superar la asignatura.

Posteriormente se realizó el análisis tanto de las notas obtenidas en la práctica y corrección de la misma, como las notas obtenidas en las distintas convocatorias de examen. Para realizar este análisis se emplearon dos indicadores propuestos para analizar los resultados de la asignatura (MINECD, 2014).

$$\text{Tasa de rendimiento} = \frac{\text{Alumnos que superan la asignatura}}{\text{Alumnos matriculados}} \cdot 100 \qquad (1)$$

$$\text{Tasa de éxito} = \frac{\text{Alumnos que superan la asignatura}}{\text{Alumnos presentados}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$\text{Tasa de evaluación} = \frac{\text{Alumnos presentados}}{\text{Alumnos matriculados}} \cdot 100 \quad (3)$$

Con estos tres indicadores se ha evaluado el efecto de las prácticas diseñadas e implementadas en la asignatura. Finalmente, también se ha empleado la nota media de los alumnos participantes como un indicador tanto para las prácticas fuera del aula, como para los exámenes.

Se evaluaron las tasas especificadas y el rendimiento académico como nota media para los exámenes de los cursos 2016/17 y 2015/16, teniendo en cuenta que en el segundo caso no se había puesto en práctica las tareas fuera del aula. Se midieron estos valores para las convocatorias de exámenes de enero (1.ª) y febrero (2.ª), así como para la realización de la práctica fuera del aula y corrección de la misma.

3. Resultados y Discusión

Las prácticas han registrado una nivel de participación bajo, especialmente en la P3. Sin embargo la nota media y la tasa de éxito han sido muy elevadas en las prácticas, mientras que en el examen, estas tasas han sido sensiblemente inferiores (Tabla 1). Entre otros factores, esto puede deberse a que en el trabajo fuera del aula, el alumno dispone de acceso a todo el material de la asignatura, pudiendo además acceder a contenidos on-line, mientras que en el examen sólo dispone de un formulario.

Tabla 1. Indicadores de las prácticas realizadas y exámenes del año en curso y el anterior para los tipos de ejercicios considerados.

Actividad	Indicador	Práctica	Corrección	Examen 1.ª conv. 16/17	Examen 2.ª conv. 16/17	Examen 1.ª conv. 15/16	Examen 2.ª conv. 15/16
P2	Tasa de evaluación (%)	33	23	58	48	46	29
	Tasa de éxito (%)	87	96	78	69	77	80
	Tasa de rendimiento (%)	21	22	45	33	45	31
	Nota media	7,5	8,8	6,7	5,4	5,1	4
P3	Tasa de evaluación (%)	22	12	58	47	46	28
	Tasa de éxito (%)	97	100	39	54	50	13
	Tasa de rendimiento (%)	29	12	22	25	30	5
	Nota media	9	9,3	4,1	5	4,1	3,1

La ejecución de las actividades descritas no ha mostrado una influencia clara sobre la tasa de éxito en los tipos de problemas estudiados para el examen final de la asignatura, sin embargo, si se observaron mejores tasas de evaluación en los exámenes del curso objeto de estudio con respecto a la convocatoria correspondiente del año anterior (Tabla 1). En este sentido, la realización de tareas prácticas con un buen resultado a nivel de evaluación, ha animado a un mayor número de alumnos a enfrentarse a los exámenes de la asignatura. Además, la nota media del curso 2016/17 ha sido superior o igual a la nota media obtenida para el mismo ejercicio en la misma convocatoria para el curso 2015/16. Se requiere un estudio más prolongado en el tiempo para concluir que la realización de tareas fuera del aula ha mejorado la calificación media de los alumnos excepto para el tipo de ejercicio P3 en la primera convocatoria de examen.

La nota obtenida en el examen final puede variar en función de otras variables como son la asistencia a clase, curso y tipo de materia (Pérez y Graell, 2004), así como la interacción entre estas variables. Por otro lado, variables como la motivación, estrategias de aprendizaje o el clima de trabajo y estudio del centro también se han mostrado como factores clave en el rendimiento académico de los alumnos (Garrido-Macias et al., 2013). En este sentido, la realización de prácticas en el aula y la asignación de trabajos fuera de la misma fomentan un clima de trabajo y aprendizaje que puede influir positivamente en el rendimiento académico de los alumnos.

Si se compara el examen atendiendo a los parámetros globales y no por ejercicio, sí que se observa una mejora en todos los campos (Tasa de evaluación, de éxito y de rendimiento) del curso 2016/17 con respecto al curso 2015/16, excepto en la nota media de la segunda convocatoria, que ha resultado equivalente (Tabla 2). En este sentido también se observa un efecto negativo a medida de se avanza en las convocatorias, de tal forma que las distintas tasas y rendimiento académico decae en las convocatorias más avanzadas. Este efecto, puede deberse al nivel de motivación del alumnado. Aquellos alumnos más motivados tienden a presentarse en la primera convocatoria, mientras que los alumnos con un nivel de motivación más bajo suelen presentarse en la segunda o sucesivas convocatorias.

Tabla 2. Indicadores globales para los exámenes en el curso objeto de estudio y el anterior.

Parâmetro	**Examen 1.ª conv. 16/17**	**Examen 2.ª conv. 16/17**	**Examen 1.ª conv. 15/16**	**Examen 2.ª conv. 15/16**
Tasa de evaluación (%)	59	55	46	30
Tasa de éxito (%)	50	36	27	20
Tasa de rendimiento (%)	30	20	16	7
Nota media	4,8	3,5	3,4	3,5

4. Conclusiones

En los exámenes del curso 2016/17, los tres indicadores considerados fueron mejores, y la nota media igual o mejor que en los exámenes del curso 2015/16, por lo tanto se ha cumplido el objetivo de mejorar el porcentaje de alumnos que superan la asignatura, mejorando o manteniendo el rendimiento. Por último, la tasa de evaluación en las tareas de corrección de las prácticas fue muy inferior a la registrada en las prácticas, por lo que se concluye que es necesario incidir en la importancia de la pedagogía del error entre el alumnado para que entiendan la realización de estos ejercicios como una oportunidad de aprendizaje y no como una tarea tediosa.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Córdoba la concesión de un proyecto de innovación docente para llevar a cabo el trabajo presentado. Además los autores agradecen la concesión de una beca FPU por parte del ministerio de Educación, Cultura y Deporte al primer autor.

Bibliografía

CIDUA. 2005. Informe sobre innovación de la docencia en las universidades andaluzas. (Acceso el 27 de abril de 2017) www.uma.es/eees/images/informe_innovacion_docencia_univ_andaluzas_cidua.doc

Lomas, C. 2016. Pedagogía del error. Aula de secundaria, 17, pp: 7. (Acceso el 14 de octubre de 2017) http://www.octaedro.com/pdf/Pedagogiadelerror.pdf

MINECD. 2014. Anuario de indicadores universitarios. (Acceso el 14 de febrero de 2017) https://www.educacion.gob.es/educabase/tabla.do?path=/Universitaria/Indicadores/2014/2_Academico/1_Grado/l0/&file=EIU02102.px&type=pcaxis&L=0%3C/font%3E

Pérez, J. and S. Graell. 2004. Asistencia a clase y rendimiento académico en estudiantes de medicina. La experiencia de la Universidad Autónoma de Barcelona. *Educación médica* 7: 85-90.

Garrido Macias, M., N. Jiménez Luque, A. Landa Sánchez, E. Páez Espinar, and Ruiz M. Barranco. 2013. Factores que influyen en el rendimiento académico: La motivación como papel mediador en las estrategias de aprendizaje y clima escolar. *Revista electrónica de investigación Docencia Creativa* 2: 17-25.

Uso del método del caso como herramienta para impulsar la innovación en las ingenierías

María-Ángeles Fernández-Zamudio[1] , Antonio Ruiz Canales[2] , Amparo Melián Navarro[2]

[1] Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Ctra Moncada-Náquera, km. 4,5. 46 113 Moncada (Valencia), España, e-mail: fernandez_marzam@gva.es

[2] Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández, Crta de Beniel km. 3,2 03312 Orihuela (Alicante), España, e-mail: acanales@umh.es amparo.melian@umh.es

Resumen

De forma tradicional las habilidades que se presuponían en ingeniería eran básicamente las relacionadas con el cálculo, la lógica o la planificación estratégica. En la actualidad se necesita que los futuros profesionales de ingenierías puedan atender de una forma más realista las actuales demandas laborales. Es por ello que es preciso potenciar mucho más sus competencias más sociales y personales, por ejemplo más habilidades directivas, y ser capaces de tomar decisiones en contextos como los actuales, que son muy dinámicos y cambiantes. Se trata, sobre todo, de que puedan anteponerse a los momentos de crisis generando soluciones más innovadoras, creativas y prácticas. Precisamente el Método del Caso es una herramienta de gran ayuda en la formación universitaria y profesional, ya que con ella se fomenta las anteriores habilidades, se amplía la visión con la que enfrentarse a los problemas y se logra un trabajo más eficiente y práctico.

En este trabajo se repasa la metodología del caso, y cómo puede ser llevado en la práctica por profesionales de distintas ingenierías, ya que también tiene una fuerte base de aprendizaje autónomo. La experiencia de estas clases han dado un resultado muy enriquecedor, al ser la implicación del estudiante muy directa. Se percibe que quienes participan de forma activa en esta metodología acaban adquiriendo una experiencia similar a la que podrían tener en prácticas reales, lo que supone un gran avance en la docencia tradicional, ayudando a tener ingenieros mejor preparados para las demandas reales, y con perfiles profesionales más innovadores.

Palabras clave: Enseñanza en ingeniería, innovación docente, metodologías activas

The case method as a tool to promote innovation in engineering

Abstract

Calculation, logic or strategic planning were the traditional skills of engineerings. At present it is necessary that future professionals of engineerings can attend in a more realistic way the present labor demands. Social and personal skills along with business management skills are needed to improve decision making in the current context, which is very dynamic and with strong changes. Professionals must put themselves ahead of the moments of crisis, generating more innovative, creative and practical solutions. Specifically the Case Method is a great tool in university and professional training, since it encourages a lot of skills, broadens the vision with which to deal with problems and achieves a more efficient and practical work.

In this work, we review the Case Method, and how can practice in different engineering, promoting the autonomous learning. Experiences of these classes has given a very enriching results, being the student's involvement very direct. It is perceived that those who participate actively in this methodology end up acquiring an experience similar to what they could have in real practices, which is a great advance in traditional teaching, helping to have engineers better prepared for the real demands.

Keywords: Engineering teaching, teaching innovation, Active methodologies

1. Introducción

En todas las disciplinas los modelos tradicionales de enseñanza han primado hasta ahora mucho más el qué se enseña que el qué se aprende (Herradon et al., 2009). En el caso de las ingenierías la

formación ha tenido una base muy alta de teoría, la cual partía en los primeros cursos de un amplio espectro de materias básicas, como el álgebra, química, biología, física etc., a las que se añadían paulatinamente los conocimientos más específicos.

El profesional de ingeniería fue durante décadas una persona erudita, con una gran cultura genérica y que alcanzaban su especialización con la experiencia real en su carrera laboral, la cual ejercía dentro de un solo campo profesional de forma continua durante muchos años.

Pero la realidad actual es bien distinta. Todo es muy cambiante y los profesionales se enfrentan a nuevos retos de forma continua, ya que los conocimientos se quedan obsoletos rápidamente. Los avances tecnológicos de la era de internet son sobre todo muy rápidos, y exigen una continua actualización de todas las materias. No solo cambian los procedimientos, también la forma de abordar los problemas, las leyes que regulan los mercados, etc., y por ello cambia el enfoque con los que planifican los proyectos. Hoy en día ya no se busca solo aumentar la productividad y reducir costes, hay que hacerlo respetando el medio ambiente, con gran eficiencia energética, reutilizando los subproductos que hasta ahora solo eran residuos, etc., en definitiva buscando que la rentabilidad sea sostenible social y ambientalmente.

Esa visión de los problemas mucho más dinámica, amplia y siempre abierta a los cambios, exigen también un adiestramiento distinto, una formación más práctica, flexible y versátil. Es por ello que el mercado laboral, actualmente demanda a los profesionales de ingenierías que tengan una serie de habilidades, destrezas o actitudes que trascienden a las específicas de su campo de acción. Se espera que sean capaces de trabajar en equipo, se valora la capacidad para resolver conflictos, la oratoria y defensa pública de los productos obtenidos, que gestionen eficazmente su tiempo, etc.

Es en este contexto donde surge los actuales planteamientos de metodologías educativas más activas, donde su principal novedad es que se fomenta la creatividad, con la certeza de que esta es también una de las mejoras vías para fomentar la innovación. Una de las metodologías más versátiles para potenciar esas habilidades y competencias más transversales en los universitarios es el llamado Estudio o Método del Caso (MC). Es una herramienta que exige la participación directa del alumnado, a quién se le motiva a reflexionar sobre cuestiones complejas y a que proponga soluciones creativas en su toma de decisiones.

El método del caso consta en una parte de trabajo individual y una puesta en común con el grupo. En la parte grupal, el estudiante entra en contacto con ideas diferentes y debe participar en un debate, donde con frecuencia asume un determinado rol. Uno de los aspectos más interesantes del MC es precisamente las enseñanzas que se derivan de tener que interpretar y actuar como lo haría en la vida real un determinado perfil profesional, por lo que amplían sus miras y forma de abordar los problemas de forma más práctica.

El objetivo del presente trabajo será por lo tanto recopilar las bases del método del caso y definir aspectos claves que facilitan su práctica en las aulas de ingeniería, destacándose todas las competencias que se pueden trabajar con esta metodología, y las que justificarían un uso mucho más generalizado en la formación universitaria primero, y posteriormente y en la formación continua de los profesionales.

2. El método del caso

Se trata de una metodología que se basa en aprender de la experiencia vivida por otras personas o entidades, y por lo tanto utilizada desde antaño de una manera informal. Como método oficial de enseñanza en las universidades se viene usando desde el inicio del siglo XX, y ha tenido mucha aceptación sobre todo en los campus norteamericanos. La universidad que con más intensidad ha aplicado el método del caso ha sido la Harvard Business School, habiendo publicadas referencias de profesores que la utilizaron en el programa de Derecho en 1914, momento en el que se formalizó como una herramienta clave para la enseñanza superior (Leenders and Erskine, 1989).

A partir de ahí se ha utilizado cada vez más, aplicándose exitosamente en materias tan dispares como derecho, medicina, psicología, ciencias políticas, ciencias sociales etc. Dada su versatilidad y buenos resultados, con el tiempo también se ha ido incorporando en materias más técnicas, como la agricultura, la arquitectura y en las distintas ingenierías.

2.1. Fundamentos del método del caso y secuencia de trabajo

En el método del caso los estudiantes no sólo hacen preguntas sino también formulan sus propias respuestas, es por lo tanto una herramienta docente que favorece el aprendizaje por descubrimiento. También se cataloga como docencia activa, ya que implica al alumnado en su propia formación, fomenta su curiosidad, y le incita a asumir roles y tomar decisiones, de igual manera que deberá hacer cuando ejerciten su profesión. Está demostrado que los estudiantes aprenden mejor cuando su implicación en el proceso de enseñanza es mayor. De hecho el profesorado solo hace una labor de facilitar ese nuevo rol del alumnado, que son los verdaderos participantes y no se limitan a escuchar o absorber todo de forma pasiva, como lo suelen hacer en la docencia tradicional. La participación en la metodología del caso es de forma individual y colectiva, por lo que necesariamente se adquieren destrezas de trabajo en grupo que también serán muy útiles en su vida laboral. En la Tabla-1 se recopila una serie de habilidades y competencias que se trabajan.

Tabla 1.- Algunas habilidades y competencias que se adquieren con la práctica del Método del Caso

Reflexión individual y planteamiento de cuestiones acerca de realidades complejas
Trabajo en equipo
Resolución de conflictos
Asumir roles diferentes (ej. Liderazgo, conciliador, etc.)
Exposición oral y presentación pública de las ideas
Plantear soluciones novedosas e imaginativas
Dar respuesta rápida e innovadoras a problemas
Búsqueda de argumentos que sustenten las propuestas
Participar de forma dinámica y activa en la resolución de problemas
Fomentar la curiosidad, creatividad y la innovación

Elaboración propia

Según Ogliastri (1993), hay tres tipos de casos, y cada uno de ellos genera una utilidad distinta. Por un lado están los casos para discutir en clase, que se trabaja con un material reducido y que tienen la finalidad de provocar la discusión en el aula, aunque no se puede desarrollar a fondo un argumento. Por otra parte están los casos de estudio, mucho más extensos y en los que se expone una problemática, y cuáles son las perspectivas al respecto, generalmente con una serie de recomendaciones. Finalmente, están los casos de investigación, en los que se analizan uno o varios temas, y se profundiza en una serie de hechos, desarrollándose una serie de hipótesis o teorías que puedan explicar la problemática analizada.

Cualquiera de los tres tipos de casos son útiles en las ingenierías, aunque según la titulación o materia donde se trabajen el enfoque puede ser distinto. Lo que sí hay que resaltar es que un caso no es una mera exposición o lectura de un tema, sino que se debe plantear con un objetivo académico concreto.

El trabajo con el caso empieza con la lectura individual de un documento de base, donde de forma detallada se contextualiza la problemática a analizar. Este es un texto que puede tener una extensión variable y llevar como complemento una serie de anejos. En cualquier caso se recomienda que no sean muy largos, y que concentren exclusivamente los aspectos de los que puede extraerse una enseñanza, evitando introducir otros temas que no aporten en este sentido.

Es muy recomendable acompañar este documento base con vídeos u otros recursos que puedan ilustrarlo. Igualmente es fundamental que el alumnado cuente con un guión que les ayude al planteamiento a seguir, y en el que se suelen añadir preguntas con el fin de motivarles a retener las cuestiones más relevantes, y que además le facilitará su participación posterior en el debate realizado con el grupo. Por su parte el profesorado, si no tiene la autoría del caso, debería contar con un guión que le ayude a planificar la docencia del mismo. Un resumen de los materiales necesarios se recopila en Tabla-2.

Tabla 2.- Materiales necesarios para desarrollar el Método del caso

Material	**Características**
Documento base	Texto donde se desarrolla el caso a analizar De 5-25 páginas más anexos (5-10 páginas) Introducción del caso, contexto y evolución de la empresa, principales hitos, retos futuros, etc.
Material complementario	Vídeos Noticias y otros links Software Material legislativo, etc.
Guía para el alumnado	Con instrucciones detalladas para alcanzar los objetivos docentes Listado de preguntas para reflexionar, profundizar en el caso y facilitar el debate grupal
Guía para profesorado	Definir claramente los objetivos docentes Planificar cómo ha de desarrollarse la sesión grupal Relación de preguntas y datos que sirvan para enriquecer el debate

Elaboración propia

Respecto a la secuencia con la que puede trabajarse el método del caso, se ha hecho un resumen en la Tabla-3. Si bien es muy importante el trabajo individual del alumnado que debe hacer previamente y fuera de clase, lo fundamental es cómo se trabaje el caso en el grupo, por lo que hay que fomentar una participación muy activa del conjunto de alumnos. En la sesión presencial se puede partir de unos debates previos en grupos pequeños donde se consensuen los aspectos que luego deben ponerse en común, y que sirven para romper el hielo entre compañeros/as. Para dinamizar este debate se puede partir de una serie de preguntas previas y de carácter global, o bien de otras más específicas que puedan surgir en el momento. El papel del profesorado es evitar que la discusión no derive en otros temas menos relevantes para los objetivos docentes iniciales, pero delegará la iniciativa y el ritmo de la sesión en el alumnado, que es el que debe sentirse protagonista principal.

Lo más enriquecedor es que el debate sea abierto, primándose la diversidad de opiniones y la creatividad de las mismas. Se ha comprobado que posturas muy lejanas acaban acercándose si el debate se enfoca de manera constructiva. Los tiempos y el ritmo sí pueden marcarse por el docente, quién recopilará al final una serie de conclusiones que sirvan de cierre. También es importante que se concluya con una visión global del problema planteado y las soluciones planteadas, así como de su posible extrapolación a otros contextos.

Tabla 3.- Secuencia de trabajo en el desarrollo del Método del caso

Momentos o fase	**Características**
1) Entrega al alumnado de los materiales del caso	Documento base Material complementario Guía para el alumnado
2) Preparación individual del caso	El alumnado revisa fuera del aula y de manera individual todo el material (Trabajo autónomo) Hace búsquedas y lecturas complementarias Resuelve las cuestiones planteadas y redacta las suyas propias
3) Sesión grupal: Desarrollo (preferiblemente presencial y con un grupo de tamaño medio)	El profesorado introduce el caso y plantea cuestiones básicas El profesorado va guiando la sesión mientras que el resto del tiempo el alumnado toma total protagonismo con autonomía Debates en grupos pequeños. Primera puesta en común Debate común con participación del conjunto de alumnado El profesorado dinamiza el debate intentando que todo el mundo participe y sea un debate rico y dentro de los objetivos fijados
4) Sesión grupal: Cierre	Se extraen unas conclusiones comunes acerca de la problemática analizada. No tienen porqué ser uniformes ni únicas El profesorado extrapola los resultados obtenidos a otros ejemplos y realidades distintas al propio caso analizado

Elaboración propia

2.2. Buenas prácticas para obtener resultados óptimos con el método del caso

Es especialmente importante cómo se elige el tema o aspecto a analizar, el cual debe ser real o muy cercano a lo que ocurre en la realidad. Hay casos que explican los éxitos de otras empresas o proyectos y con ello trasladar esa experiencia positiva. También hay casos en los que se analizan fracasos, con intención de aprender de los errores ajenos.

La redacción del caso debe ser acorde al tiempo en el que se trabajará. Normalmente deberá de simplificar muchas cosas para favorecer su asimilación por los estudiantes, pero el alcance del mismo será mayor si el enfoque utilizado motiva al alumnado para que adquiera una serie de enseñanzas eminentemente prácticas.

Es mejor si se eligen temas, empresas o situaciones, que sean conocidas, o bien que hayan destacado de forma pública, y que motiven de antemano al alumnado a aprender de lo ocurrido en las mismas.

Es positivo si el caso tiene opciones de ser aplicado en otras situaciones, sectores o contextos diferentes al que se detalla en el documento de base. La idea es que todos los que lo realicen no sólo terminen con una gran información sobre el hecho analizado sino con una enseñanza aplicable a otras problemáticas y ámbitos.

Elegir un caso muy denso, y en el que coinciden múltiples problemas o situaciones a analizar puede ser contraproducente. Es mejor dividir el caso en varios más concretos para que el estudiante afiance mejor las enseñanzas que de cada parte puedan derivarse.

Los casos donde se reflejan extractos de las entrevistas realizadas al personal directamente implicado en la empresa o problemática analizada, no sólo facilitan la lectura, sino que dan una idea más creíble, al ser un relato real de los propios protagonistas.

Es preciso evitar dar información irrelevante, o extenderse en temas improductivos que solo disperse a quién analiza el caso.

También es muy importante la dimensión y esfuerzo requerido, que ha de ser acorde al tiempo de trabajo asignado y al grado de implicación y participación que se vaya pedir al alumnado.

No puede esperarse que el alumnado adquiera todas las destrezas por el mero hecho de analizar un caso aislado. Lo ideal es que esta metodología se usara de manera reiterada, y analizar varios casos complementarios, que permitan abordar áreas y problemas distintos. Esta metodología se caracteriza por ser muy versátil y adaptable, por lo que los resultados también serán acordes al enfoque que podamos darle.

3. La aportación práctica del método del caso en las ingenierías

Hay estudios que señalan la necesidad de utilizar el método del caso para potenciar algunas de las competencias deficitarias entre los estudiantes de ingeniería (Marzo et al., 2006). Sabemos que estos titulados suelen finalizar sus estudios con una buena formación teórica y un alto desarrollo de algunas competencias. Sin embargo, las empresas piensan que aún quedan otras importantes habilidades que deberían desarrollarse para que así puedan acceder con éxito al mercado laboral. Entre las competencias que se consideran son deficientes están: la comunicación, la capacidad de trabajo en equipo, la habilidad para un aprendizaje continuo, el conocimiento de idiomas e informática, la flexibilidad o capacidad de adaptación a los cambios, la capacidad de liderazgo y la innovación (Marzo et al., 2006).

Lo deseable es compartir numerosas metodologías en el proceso formativo, pero es cierto que el estudio del caso debería generalizarse, ya que ofrece grandes posibilidades y es útil para mejorar muchas de esas competencias que todavía son insuficientes. En la Tabla-4 se resaltan las principales competencias desarrolladas para cada fase del estudio del caso. Y de forma complementaria a esta tabla se indica lo siguiente:

- Inicialmente el alumnado debe realizar un trabajo autónomo, solo usando unas instrucciones relativamente sencillas que acompañan al caso. Debe ser capaz de revisar todo el material, en el plazo previsto. En este sentido es conveniente marcar unos plazos que los habitúen a trabajar bajo cierta presión, que es como lo harán en su vida real. Se está potenciando la reflexión, la capacidad de crítica y de búsqueda autónoma, así como la gestión del tiempo.
- Tras ese análisis individual, el alumnado debe ser capaz de extraer conclusiones razonadas sobre el caso estudiado. Las preguntas del guión le serán muy útiles para focalizar el análisis y serán la base sobre la que se desarrolle el debate. Aquí se trabaja la expresión escrita, ya que lo normal es que elabore un pequeño guión con sus respuestas y conclusiones previas. Dependiendo de la tipología del caso se refuerza la capacidad para resolver problemas técnicos o empresariales, lo que sin duda exige creatividad. Así mismo el anteponerse a una situación conflictiva les hace llevar a la práctica los conceptos teóricos que han adquirido en el conjunto de asignaturas y de manera convencional. Recordemos que los conocimientos específicos son las capacidades que siempre se han trabajado más en las carreras técnicas.
- En la fase de debate grupal los participantes deberán saber argumentar con respuestas coherentes y creativas las preguntas propuestas de antemano y otras que surjan en el debate. Con ello se trabaja no solo el trabajo en equipo y la expresión oral, también se potencian rasgos propios del liderazgo, como será la persuasión, la buena gestión de los tiempos, la implicación en

la resolución de conflictos personales y la capacidad de improvisación. Una de las habilidades que más se potencia es la innovación, ya que deben ser capaces de sorprender con sus argumentos al resto.

- Es el propio grupo es el que reconoce y prima las soluciones más creativas y novedosas. Para un mismo caso analizado las respuestas y propuestas llegan a ser muy distintas dependiendo del grupo y entorno en el que se haya trabajado. Se trabajará además la conciliación, la capacidad para generar consenso, la síntesis y el razonamiento argumentado, así como su exposición en público. Generalmente cabe esperar no una sino varias posibilidades de resolución a las cuestiones planteadas, y suelen salir respuestas novedosas por lo que el personal se habitúa a innovar en la resolución de problemas.

Tabla 4.- Algunas competencias que se desarrollan en cada fase del Método del caso

Momentos o fase	**Características**
Trabajo autónomo del alumnado con los materiales	Reflexión Capacidad de crítica Búsqueda autónoma Gestión del tiempo
El alumnado responde a cuestiones (planteadas o propias)	Mejora de la expresión escrita Redacción de argumentos justificados Creatividad para resolver problemas técnicos o empresariales
Fase grupal (Debate)	Trabajo en equipo Liderar propuestas Resolución de conflicto (llegar a acuerdos) Mejora de la expresión oral y exposición pública de ideas Capacidades propias del liderazgo (persuasión, gestión de tiempos, capacidad de improvisar, motivación grupal, etc.)

Elaboración propia

4. Conclusiones

El estudio de casos es una herramienta docente con una gran utilidad para las diferentes titulaciones de ingenierías. Se trata de una metodología activa que exige la participación del alumnado, convirtiéndolo en verdaderos protagonistas de su proceso formativo, lo que es consecuente con los nuevos enfoques pedagógicos.

Se trata de una herramienta muy versátil y fácil de implementar, ya que puede usarse de forma puntual o bien de manera rutinaria en la mayoría de las asignaturas de cursos oficiales, así como en materias impartidas en los cursos de formación continua a trabajadores/as.

De forma tradicional de las escuelas de ingeniería salen egresados con una amplia base técnica. Sin embargo pueden tener deficiencias en otras habilidades esenciales que también pide la sociedad y las empresas. Entre las competencias transversales que más se han echado en falta de los titulados en ingenierías se destacan las siguientes: la comunicación, la capacidad de trabajo en equipo, la habilidad para un aprendizaje continuo, la adaptación a los cambios, la gestión de tiempos, el trabajo bajo presión, la capacidad de liderazgo y la resolución de conflictos personales. Además, el gran dinamismo con el que se mueven los mercados y la necesidad de respuestas creativas novedosas exigen gran capacidad de innovación por parte de los profesionales.

Precisamente todas estas competencias se pueden mejorar con el uso de la metodología de estudio del caso. El trabajo individual por un lado y el trabajo grupal posterior contribuyen a saldar estas deficiencias formativas y habilita a los profesionales en ingeniería, dotándoles de capacidades más amplias. Esta mejor cualificación sin duda le ayudará a acceder a mejores empleos, y a desempeñar de forma más óptima su actividad laboral, lo que es algo imprescindible en este tiempo tan cambiante.

Bibliografía

Herradón R., Blanco J., Pérez A., Sánchez J.A. 2009. Experiencias y metodologías b-learning para la formación y evaluación en competencias genéricas en ingeniería. *La cuestión universitaria*, Vol. 5, pp. 33-45.

Leenders, M.R. and Erskine J.A. 1989. *Case Research: The case writting Process*. 3rd Ed. Research and Publications Division. School of Business Administration. The University of Western Ontario.

Marzo M., Pedraja M., Rivera P. 2006. Las competencias profesionales demandadas por las empresas: el caso de los ingenieros. *Revista de Educación*, 341, pp. 643-661.

Ogliastri E. 1993. *Casos sobre casos. Experiencias con métodos de discusión en clase*. Uniandes Bogotá. Monografías de Administración, 35.

Área Temática:

Mecanização

Mecanización

Influencia de la poda mecánica en la producción y calibre de los frutos de limoneros 'Fino 95'

Bernardo Martin-Gorriz[1], Carlos Martinez Barba[1], Antonio Torregrosa[2]

[1] Universidad Politécnica de Cartagena. Área de Ingeniería Agroforestal. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena (Murcia). E-Mail: b.martin@upct.es; cmbarba@gmail.com

[2] Universitat Politècnica de València. Dpto Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia. E-mail: torregro@dmta.upv.es

Resumen

La poda mecánica no es una técnica que está ampliamente aceptada entre los agricultores españoles, entre otros motivos, por la falta de estudios rigurosos con variedades y formas de cultivo que justifiquen sus posibles ventajas. En experiencias realizadas en el periodo 2009-2012, por investigadores de la UPCT y UPV se evaluó el potencial de la poda mecánica combinada con poda manual en mandarinos 'Fortune', obteniendo como principal conclusión que la alternancia entre poda mecánica y manual es la opción más recomendable; en cambio, el tratamiento continuado de poda mecánica durante dos años seguidos reduce sustancialmente la producción. Como continuación del trabajo anterior se ha iniciado una experiencia de cuatro años para evaluar el potencial de la poda mecánica combinada con poda manual en limoneros 'Fino 95'. Los parámetros analizados son producción, calibre, calidad de la fruta, características de la biomasa podada y productividad de la labor. Se han realizado cinco tratamientos de poda, entre poda manual (control) y poda mecánica, con varias intensidades de poda mecánica. Los resultados del primer año muestran que la producción en los tratamientos en los que hubo algún tipo de poda manual (1, 2, 3), la producción fue significativamente menor que aquellos en los que sólo se realizó poda mecánica (4 y 5); 243 kg/árbol frente a 346 kg/árbol. En calibres no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, estando los calibres comprendidos entre 63,6 y 65,46 mm. No obstante, los resultados no son totalmente concluyentes al ser de un solo año, sobre todo, porque en los tratamientos manuales se cortó mucha más biomasa que en los mecánicos, con 62,9 kg/árbol de promedio en los manuales frente a 8,1 kg/árbol en los mecánicos.

Palabras clave: Citrus, Manejo de cultivos, Mecanización, Limón, Citrus sinensis.

Effect of mechanical pruning on the yield and quality of 'Fino 95' lemons

Abstract

Mechanical pruning is not a widely accepted technique among Spanish farmers for many reasons, including the lack of rigorous studies with varieties and farm management to justify its potential benefits. Experiments carried out in the period 2009-2012 by researchers from the UPCT and UPV evaluated the potential of mechanical pruning combined with manual pruning of 'Fortune' mandarins, with the result that the alternation between mechanical pruning and manual pruning is the most recommendable option. In contrast, mechanical pruning for two consecutive years reduced the production significantly. Following the previous experiences, four years of trials to evaluate mechanical pruning combined with manual pruning in 'Fino 95' lemon have been started. The following variables are being analysed: yield per tree, fruit diameter, fruit quality, productivity, pruned biomass characterisation and pruning cost. Five pruning treatments have been carried out between hand pruning (control) and mechanical pruning. The results of the first year show that production was significantly lower in hand pruning treatments (1, 2, 3) than in mechanical pruning treatments (4, 5); 243 kg/tree versus 346 kg/tree, respectively. The results from the first year show that production was significantly lower in the treatments with some type of hand pruning than in treatments that only involved mechanical pruning. There were no significant differences in fruit diameter among treatments, with values ranging between 63.6 and 65.46 mm. Nevertheless, the results are inconclusive since they correspond to only one year, mainly, because in hand pruning it was cut more biomass than in mechanical pruning, 62.9 kg/tree on average in hand pruning versus 8.1 kg/tree in mechanical pruning.

Keywords: Citrus, Crop management, Mechanization, Lemon fruits, Citrus sinensis.

1. Introducción

La poda más la eliminación de restos de poda consumen del orden la tercera parte de la mano de obra utilizada en el cultivo de los cítricos en España (excluida la recolección), con unas 95 horas anuales por ha (Juste et al., 2000), por lo tanto es una tarea que interesa mecanizar para reducir los costes del cultivo. El triturado mecánico de los restos de poda ha permitido reducir los costes de eliminación de los restos, pero aún falta mucho camino por recorrer en la poda.

La poda mecánica no selectiva comenzó a realizarse en cítricos de forma experimental en los años 50 en USA, demostrándose que la poda mecánica complementada con poda manual podía reducir los costes en un 30-50% sin afectar a la producción ni a la calidad (Moore, 1958).

En España se realizaron los primeros ensayos en los años 70 - 80 (Ortiz-Cañavate, 1979; Zaragoza y Alonso, 1980 y 1981). En los ensayos de Zaragoza y Alonso (1980, 1981) se comparó la no-poda con poda manual, poda mecánica y poda mecánica complementada con poda manual, tras un año de poda, el siguiente se dejaban todos los árboles sin podar, el experimento se desarrolló durante 4 años y en dos variedades 'Washington navel' y 'Salustiana'. Observaron que el año en que se realizaba la poda, la producción de los tratamientos podados disminuía respecto al tratamiento de no poda, pero el año siguiente, en que se dejaban todos los árboles sin podar, las producciones se igualaban. En el promedio de los dos bienios, se observó que en la variedad 'W. navel' en todos los tratamientos de poda, la producción fue inferior a la de los árboles sin podar (14%) sin diferencias apreciables entre los tratamientos de poda, mientras que en la variedad 'Salustiana', no hubo diferencias entre los árboles no podados o podados a mano, pero sí las hubo respecto a los podados mecánicamente, que tuvieron una reducción de producción del 17% respecto a los primeros, sin observarse diferencias entre los podados mecánicamente con repaso o sin él. El tamaño de los frutos fue inversamente proporcional a la producción, pero no se observaron diferencias en contenidos en azúcares, acidez o índice de madurez entre los tratamientos de poda.

En otros países mediterráneos como Italia o Turquía, también se han realizado experimentos de poda mecánica con resultados similares (Giametta y Zimbalatti, 1992; Spina et al., 1984; Yildirim et al., 2010; Raciti et al., 1982).

Está comprobado que el año en que se practica la poda mecánica, se reduce la producción, pero si se analiza el efecto de la poda a lo largo de varios años, este efecto adverso se diluye porque el árbol compensa en los años sin poda, la producción perdida en los años de poda mecánica, seguramente debido a la acumulación de reservas y a una mejor iluminación (Rouse et al., 2006; Sauls, 2008; Yildirim et al., 2010; Zaragoza y Alonso, 1980; Mendoça et al., 2008; Kallsen, 2005; Fallahi y Kilby, 1997).

Algunos autores, como Kallsen (2005) comparan diversas intensidades de poda, corte cenital (topping) mecánico a varias alturas, así como varias intensidades de poda manual, con la no-poda, observando que en todos los casos, a mayor intensidad de poda, mayor reducción de la producción, con independencia del tipo de poda aplicado.

En el mismo sentido, Joubert et al. (2000) en Sudáfrica observa el efecto de una prepoda severa y ligera combinadas con repaso manual en naranjos (cv. 'Valencia' y cv. 'Navel') y pomelos que habían crecido demasiado, solapándose en exceso. Tras tres años de experiencias comprobaron que todos los sistemas de poda ensayados daban una mayor producción que el control sin podar, pero la mejor combinación fue la de prepoda de los laterales con una inclinación de 10-20° combinada con una poda selectiva (manual) 2 a 3 veces al año. La prepoda formando un plano inclinado, además de favorecer la penetración de la luz a la parte baja del árbol, favorece que la producción se concentre en la zona baja que es más fácil de alcanzar en la recolección manual.

En la citricultura valenciana, se le da mucha importancia a las "faldas" de los árboles porque es una zona muy productiva, sin embargo, ensayos realizados de recorte de las mismas (skirting) con prepodadoras, han mostrado que la producción total del árbol no disminuye, y en cambio se facilita

la recolección mecánica y se reducen los problemas de contagios por hongos del suelo, además de afectar al microclima del árbol (El-Zeftawi, 1976; Morales y Davies, 2000; Sauls, 2008).

Similares resultados encontraron Santarosa et al. (2010), quienes utilizaron la poda combinada con el aclareo para regular el tamaño y vecería de naranjos. Según Sauls (2008) la vecería se puede controlar con la poda mecánica realizando la misma tras un año de baja producción, que se espera sea la antesala de un año muy productivo.

La poda mecánica permite controlar las dimensiones de los árboles, lo que facilita la realización de otras labores, como los tratamientos fitosanitarios y la recolección tanto manual como mecánica (Boswell et al., 1977).

Actualmente, la poda mecánica, utilizada bien sola o bien combinada con poda manual, se emplea de manera habitual en algunas explotaciones españolas, pero es una técnica que no está ampliamente aceptada entre los agricultores, entre otros motivos, por la falta de estudios con variedades y formas de cultivo más próximas a las suyas que le permitan valorar con certeza sus posibles ventajas. En experiencias realizadas en el periodo 2009-2012, por investigadores de la UPCT y UPV (Martin-Gorriz et al., 2014) se evaluó el potencial de la poda mecánica combinada con poda manual en mandarinos 'Fortune', obteniendo como principal conclusión que la alternancia entre poda mecánica y manual es recomendable; en cambio, el tratamiento continuado de poda mecánica durante dos años seguidos reduce sustancialmente la producción. Como continuación del trabajo anteriormente citado se ha iniciado una experiencia de cuatro años para evaluar el potencial de la poda mecánica combinada con poda manual en limoneros 'Fino 95'. A continuación se exponen los resultados del primer año de ensayos.

2. Materiales y Métodos

2.1 Parcela y cultivo

Los ensayos se han realizado en una parcela de limoneros (Citrus limon L. Burm F.) de la variedad 'Fino' injertados sobre Citrus macrophylla de la finca El Cañarico, ubicada en Alhama de Murcia (Murcia). El terreno es una ladera con orientación N, presentando una pendiente transversal descendente S-N del 6-11 % y una pendiente longitudinal (E-O) que no se cuantificó por ser mínima y variable a lo largo de las calles. Los árboles estaban plantados en mesetas casi triangulares, con alturas comprendidas entre los 0,75-1 m de altura, siendo más pronunciada la altura en la cara Norte que en la Sur, dada la dirección transversal de la pendiente. El marco era de 7,5 x 6 m, 222 árboles/ha. El cultivo dispone de una fila de goteros ubicada en la cima de los caballones. El terreno era bastante pedregoso.

2.2. Equipos empleados

La poda manual se realizó con serruchos y tijeras de una mano, todos ellos de accionamiento manual. Los podadores eran una cuadrilla especializada que realiza habitualmente este trabajo en la finca.

La poda mecánica se realizó con una prepodadora de discos de la marca 'Industrias David' (www.industriasdavid.com), que constaba de cinco discos de corte montados linealmente sobre un brazo articulado. El tractor utilizado fue un Kubota M8540 Narrow de 63,7 kW de potencia. Con esta podadora mecánica no se pudieron cortar las faldas, ya que el último disco no es articulado, por lo que las faldas se recortaron con un cortasetos manual de la marca Oleo-Mac modelo 446 BP Ergo (www.oleomac.es).

Debido a una avería en la prepodadora, que obligó a retrasar varios días la poda mecánica, el recorte de las faldas y la poda manual se hizo antes (10 marzo 2016) que la poda mecánica (18 marzo 2016).

2.3. Diseño de experimentos

En la Fig. 1 se muestra la distribución de los ensayos en campo en el primer año. Se realizaron 5 repeticiones por tratamiento (poda controlada de 75 árboles y medición de la producción y calibres de un árbol de cada tres de los que forman la repetición, en total 25 árboles), distribuyendo los tratamientos al azar en el campo.

Árbol	1	2	3	4	5
1	Manual	FTD	FTDR	FTR	FTDI
2	Manual	FTD	FTDR	FTR	FTDI
3	Manual	FTD	FTDR	FTR	FTDI
4	FTDI	Manual	FTD	FTDR	FTR
5	FTDI	Manual	FTD	FTDR	FTR
6	FTDI	Manual	FTD	FTDR	FTR
7	FTR	FTDI	Manual	FTD	FTDR
8	FTR	FTDI	Manual	FTD	FTDR
9	FTR	FTDI	Manual	FTD	FTDR
10	FTDR	FTR	FTDI	Manual	FTD
11	FTDR	FTR	FTDI	Manual	FTD
12	FTDR	FTR	FTDI	Manual	FTD
13	FTD	FTDR	FTR	FTDI	Manual
14	FTD	FTDR	FTR	FTDI	Manual
15	FTD	FTDR	FTR	FTDI	Manual

Figura 1. Distribución de los ensayos del primer año.

Los tratamientos planteados para los cuatro años de ensayos se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos planteados para cuatro años de ensayos.

Tratamiento	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Observaciones
1	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
2	FTDI	Manual	FTDI	Manual	Totalmente mecanizado, alternado con manual
3	FTR	FTR	FTR	FTR	Manual, pero con faldas y topping mecánicos
4	FTDR	FTIR	FTDR	FTIR	Mecánico por un lado y repaso por el otro, alternando los años
5	FTD	Manual	FTI	Manual	Variante del tratamiento 2 con poda mecánica por un solo lado

Leyenda: Manual = control; F = faldas; T = topping; D= lado derecho (Sur); I = lado izquierdo (Norte); R = repaso manual.

La unidad experimental fue el árbol, pero se eligieron 3 árboles sucesivos para cada tratamiento, con lo que la producción y los calibres se controlan en el árbol central de cada tríada, pues los árboles extremos se pueden ver afectados por las condiciones de borde.

Las variables medidas en el momento de la poda fueron: (1) capacidad de trabajo de las máquinas y podadores; (2) biomasa cortada; (3) diámetro de las ramas cortadas a nivel del corte; (4) ancho de las calles antes y después de la poda; (5) altura de los árboles antes y después de la poda; (6) altura de las faldas antes y después de la poda; y (6) estado fenológico del cultivo. Las variables medidas en el

momento de la recolección fueron: (1) producción de los árboles experimentales (peso de todos los limones del árbol y (2) calibres (por muestreo, 60 limones/árbol experimental).

El 'repaso' consistió en la poda manual del 1/2 árbol cuyo lateral no había sido prepodado. Por lo tanto, los tratamientos con repaso, consistieron en poda mecánica de 1/2 árbol, sin repaso alguno y poda manual del otro 1/2 árbol. En el caso de los árboles con las dos caras prepodadas, el repaso consistió en podar manualmente el árbol entero.

La poda mecánica de los laterales consistió en el pase de la prepodadora en posición casi vertical recortando una pequeña cantidad de las ramas que invadían la calle.

El topping se realizó colocando la barra de corte en posición ligeramente ascendente desde la calle hacia la fila de los árboles.

El tratamiento estadístico de los datos se ha realizado con el software Statgraphics Centurion XVII (http://www.statgraphics.com/) empleando principalmente Análisis de la varianza (ANOVA) y comparación de medias.

3. Resultados y Discusión

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el primer año de poda.

3.1. Capacidades de trabajo

I. Poda manual del árbol completo. Los podadores tardaban entre 29-36 min/árbol. La cuadrilla era de 4+1 personas, 4 podando (en parejas de 2 por árbol) y el encargado que organizaba la tarea y la supervisaba, realizaba algún corte pero no se dedicaba a podar. Los 29 min/árbol son sin considerar al encargado, y los 36 min/árbol considerándolo.

II. Repaso manual de todo el árbol tras la poda mecánica (tratamiento FTR). No se pudo comprobar si el repaso manual costó menos tiempo que la poda del árbol completo, puesto que se realizó antes que la poda por problemas técnicos con el tractor. Por lo tanto, este primer año, a efectos de la contabilización de tiempos, este tratamiento fue una repetición más de la poda manual.

III. Repaso manual de 1/2 árbol (el lateral sin poda mecánica, tratamiento FTDR). Los podadores emplearon 18 min para hacer medio árbol. Es la forma de reducir tiempo, puesto que se les indicó que solo podaran el medio árbol del lado sin poda mecánica y los chupones del lado con poda mecánica. El motivo fue porque como aún no se había hecho la poda mecánica, el otro medio árbol se dejó sin tocar para la máquina.

IV. Tractor. La velocidad de avance fue de 0,9 km/h. El tractorista trabajó a una velocidad relativamente baja, pues a pesar de ser una tractorista experimentado, no pudo ir más rápido por las condiciones del terreno (piedras grandes y el caballón en su cara norte). La velocidad habitual de trabajo de este tipo de equipos es de unos 2 km/h, pudiendo llegar incluso a 3 km/h. No se contabilizó el coste del recorte de faldas, aunque sería igual para el sistema manual que para el sistema mecánico.

En la Tabla 2 se contemplan varios posibles escenarios y se comparan con el coste de la poda exclusivamente manual. Se observa como el sistema puramente mecánico tiene un coste del 23 % del manual. Opciones menos drásticas, para las costumbres de los agricultores actuales, como podría ser podar mecánicamente 1/2 árbol y repaso manual del otro medio (MqTL + repaso 1/2 árbol), tiene un coste del 62% del sistema manual, todo ello dentro de las grandes variaciones de capacidades de trabajo y precios que la poda conlleva.

Tabla 2. Costes de la poda según diversos escenarios.

Tipos de poda	[1]Coste (€/ha)	Porcentaje respecto a manual (%)
Manual	1056	100
MqTTLL	244	23
MqTTLL + repaso completo	1186	112
MqTTLL + repaso 1/2 árbol	779	74
MqTL + repaso 1/2 árbol	657	62
MqTTL + repaso 1/2 árbol	718	68

Leyenda: T topping un lado, TT topping ambos lados, L, poda lateral por un lado, LL, poda lateral por los dos lados.

[1] Coste calculado en base a: 8 €/h para poda manual y 35 €/h para poda mecánica.

3.2. Biomasa podada

En la Tabla 3 se muestran los pesos, diámetros y longitudes de las ramas cortadas en cada tipo de poda. En los árboles podados manualmente se recogieron 62,9 kg/árbol. El 'topping' cortó 3,34 kg/árbol. La poda lateral de los dos lados del árbol, 2,64 kg/árbol y en las faldas se recortaron 2,12 kg/árbol. Salvo en el caso de las faldas, en que se recortó una cantidad similar tanto en el lado Norte como en el Sur de las filas, en todos los demás casos (manual, 'topping' y lateral) siempre se recortó mucha más biomasa en la cara Sur que en la Norte, de hecho, los árboles presentan una clara asimetría con un mayor crecimiento hacia el lado Sur.

Tabla 3. Pesos, diámetros y longitudes de las ramas cortadas.

Tipos de poda	Peso total (kg/árbol)	Peso lado Sur (kg/árbol)	Peso lado Norte (kg/árbol)	Diámetro ramas (mm)	Longitud ramas (cm)
Manual	62,9	38,8	24,1	12,3	109
'Topping'	3,34	2,59	1,12	7,7	66
Lateral	2,64	1,47	0,89	4,5	26
Faldas	2,12	0,98	0,83	5,2	34

Las ramas cortadas a mano presentaron los mayores diámetros de corte (12,3 mm). En la poda mecánica, el 'topping' hizo los cortes más gruesos y de ramas más largas, pues se cortaron básicamente chupones vigorosos (7,7 mm). El diámetro de las ramas laterales cortadas (4,5 mm) fue menor que el del topping. Por último, las faldas, recortadas a 50 cm de altura, presentaron ramas un poco más gruesas (5,2 mm) que las de los laterales.

3.3. Producción y calibre de los frutos

3.3.1. Producción

Los datos de producción han sido analizados utilizando análisis de varianza. El ANOVA de producción en función de los cinco tratamientos de poda, muestra que hay diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Cuando se aplica el test de Duncan a los tratamientos (Tabla 4) se observa que en los tratamientos en los que hubo poda manual, bien solo poda manual (M), bien repaso a

mano (FTDR, FTR), la producción fue significativamente menor que en aquellos en los que sólo se realizó poda mecánica.

Tabla 4. Test de Duncan (Test de rango múltiple para kg vs tratamiento).

Tratamiento	repeticiones	Media (kg/árbol)	Grupos Homogeneos	
M	5	221	X	
FTDR	5	251	X	
FTR	5	259	X	
FTD	5	341		X
FTDI	5	350		X

Method: 95.0 percent Duncan.

3.3.2. Calibres

Se midió el calibre de 60 frutos en cada tratamiento. No se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, estando los calibres comprendidos entre los 63,6 mm del tratamiento FTD y los 65,5 mm del tratamiento FTR.

3.4. Análisis de costes del cultivo

En la Tabla 5 se muestran los costes de cultivo de las cuatro últimas campañas proporcionados por el técnico de la explotación. Se observa un incremento de los costes totales a lo largo del periodo, principalmente ocasionado por al aumento en el precio del agua de riego, como consecuencia de tener que utilizar más agua procedente de desalación. El coste de la mano de obra supone entre un 22% y 28% del total de costes de cultivo de limonero, según la campaña. Es la segunda partida de mayor coste, después de los fitosanitarios y abonos.

Tabla 5. Costes anuales de cultivo de las campañas 2012/13 a 2015/16.

Partidas	Campaña							
	2012/13		2013/14		2014/15		2015/16	
	€/ha	%	€/ha	%	€/ha	%	€/ha	%
Fitosanitarios y abonos	2866	42	3248	41	3145	38	3227	41
Agua	818	12	1091	14	2011	24	1596	19
Energía	284	4	310	4	248	3	240	3
Combustible y maquinaria	291	4	283	4	307	4	260	3
Mano de obra	1753	26	2259	28	1875	22	2023	24
Otros	737	11	770	10	787	9	861	10
Costes totales	**6748**	**100**	**7961**	**100**	**8374**	**100**	**8405**	**100**

En la Fig. 2 se muestra el porcentaje de coste que supone la mano de obra empleada en la poda respecto al resto de labores del cultivo. La labor de poda manual ha supuesto entre un 29% y 49% de los costes totales de mano de obra de la explotación, con una tendencia a aumentar, y que ha alcanzado su valor máximo en la campaña 2015/16 con un 49% del total.

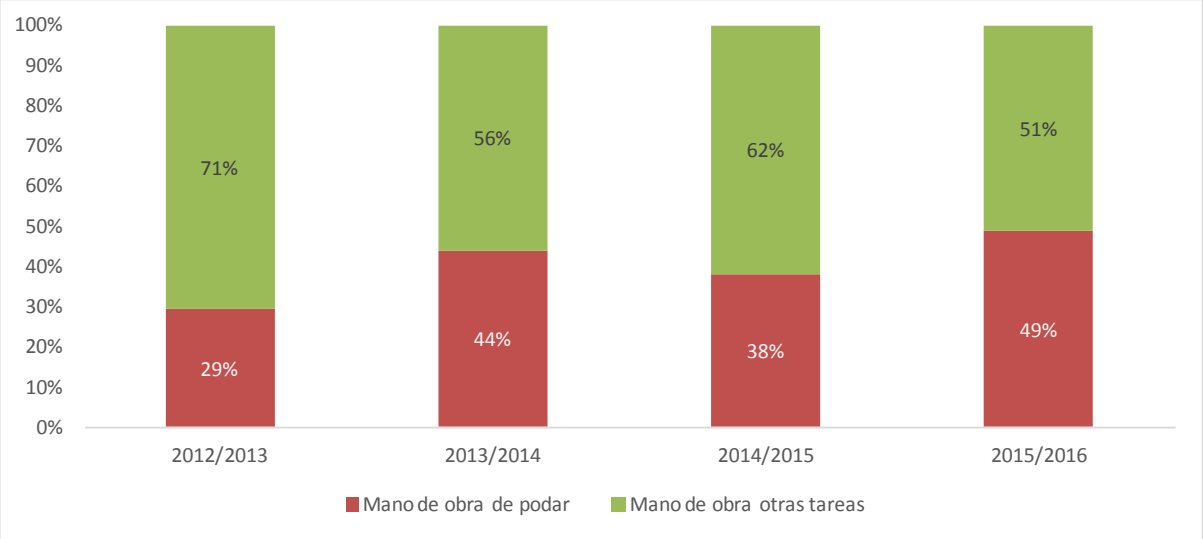


Figura 2. Distribución de la mano de obra en el cultivo del limonero (%).

Entre las campañas 2012/13 y 2015/16 el coste de la poda estuvo en un rango entre 514 €/ha y 987 €/ha. El coste de la poda manual calculado en la última campaña a partir de la medida del tiempo de trabajo de los podador fue de 1056 €/ha (Tabla 2); señalar que este valor es muy similar al proporcionado por el técnico de la explotación; por lo que a partir de los datos de la Tabla 2 se puede realizar una buena estimación de cuál sería la reducción del coste de la poda según el tipo de poda que se emplease.

4. Conclusiones

En relación con la biomasa podada, la poda manual cortó fundamentalmente chupones y alguna rama gruesa, siendo la cantidad de biomasa cortada del orden de diez veces superior a la cortada con la prepodadora.

Respecto al tiempo invertido en la labor, la poda exclusivamente mecánica por las 4 caras del árbol (TTLL) tuvo una capacidad de trabajo 4,3 veces superior a la manual. La poda manual fue lenta y en los tratamientos en que se utilizó el tractor, este también iba muy lento por el mal estado de las calles (piedras y caballón excesivamente grande). La poda mecánica de 1/2 árbol y la poda manual del otro medio supuso un ahorro de tiempo del 32 %.

Los resultados de la producción y calibres del primer año muestran que la producción en los tratamientos en los que hubo algún tipo de poda manual (M, FTDR, FTR), la producción fue significativamente menor que aquellos en los que sólo se realizó poda mecánica (FTD, FTDI); 243 kg/árbol frente a 346 kg/árbol. La explicación puede radicar en la mayor intensidad de eliminación de biomasa de los tratamientos con poda manual.

En calibres no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, estando los calibres comprendidos entre 63,6 y 65,5 mm. No obstante, los resultados de producción y calibre no son totalmente concluyentes al ser del primer año de ensayos.

A modo de conclusión general señalar que los datos obtenidos en este primer año de ensayos muestran que es posible introducir sistemas mecánicos de poda para reducir los costes de la labor, sin que por ello se vea reducida la producción. Ahora bien, serán necesarios como mínimo 3 ó 4 años más de ensayos para obtener resultados concluyentes.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado mediante el proyecto RTA2014-00025-C05-02 del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) y mediante fondos FEDER.

Bibliografía

Boswell, S.B., L.L. Ede and C.D. McCarty. 1977. Effect of training young lemon trees for limb-shaker mechanical harvest on yield and tree trunk growth. *HortScience* 12 (4): 352-353.

El-Zeftawi, B.M. 1976. Response of "Navel" orange trees to skirting. *Scientia Horticulturae* 5 (1): 59-63.

Fallahi, E. and M. Kilby. 1997. Rootstock and pruning influence on yield and fruit quality of 'Lisbon' lemon. *Fruit Varieties Journal* 51(4): 242-246.

Giametta, G. and G. Zimbalatti. 1992. Three-years experiments of citrus fruit mechanical pruning. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 2: 693-696.

Joubert, F.J., M.H. Plessis and P.J.C. Stassen. 2000. Pruning strategies to alleviate overcrowding in higher density citrus orchards. *Journal Applied Horticulture* 2(1): 1-5.

Juste, F., B. Martín, F. Fabado and E. Moltó. 2000. Estudio sobre la reducción de los costes de producción de cítricos mediante la mecanización de las prácticas de cultivo. *Comunidad Valenciana Agraria* 12: 23-29.

Kallsen, C.E. 2005. Topping and manual pruning effects on the production of commercially valuable fruit in a midseason Navel Orange variety. *HorTecnology* 15 (2): 335-341.

Martin-Gorriz, B., I. Porras Castillo and A. Torregrosa. 2014. Effect of mechanical pruning on the yield and quality of 'Fortune' mandarins. *Spanish Journal of Agricultural Research* 12(4): 952-959.

Mendonça, V., J.D. Ramos, S.E.A. Neto and J.C.M. Rufini. 2008. Production of 'Poncan' tangerine tree after pruning recovery. *Ciencia e Agrotecnologia* 32 (1): 103-109.

Moore, P.W. 1958. Mechanical pruning for citrus. *California Agriculture* 11: 7-13.

Morales, P. and F.S. Davies. 2000. Pruning and Skirting Affect Canopy Microclimate, Yields and Fruit Quality of 'Orlando' Tangelo. *HortScience* 35(1):30-35.

Ortiz-Cañavate, J. 1979. Mechanical pruning of citrus. Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. *Tecnología Agraria* 5: 155-167.

Raciti, G., P. Spina, A. Scuderi and F. Intrigliolo. 1982. Tre anni di potatura meccanica degli agrumi in Italia. *Frutticultura* 44: 35-46.

Rouse, B., L. Parsons and T.A. Wheaton. 2006. Hedging, topping and skirting trees in the citrus canker era. *Citrus Industry* 12:1-2.

Santarosa, E., O.C. Koller, H.B. Petry and B. Casamali. 2010. Frequência e intensidade de poda em pomar jovem de laranjeiras 'Valência' sob manejo orgânico. Ciência Rural Santa Maria 40 (10): 2081-2085.

Sauls, J.W. 2008. Citrus pruning. Texas Citrus and Subtropical fruits. http://aggie-horticulture.tamu.edu/citrus/pruning/L2308.htm (Acceso 14 de marzo de 2008).

Spina, P., A. Giuffrida and E. Melita. 1984. Comparative trials of citrus mechanical and aided pruning. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 1: 106-109.

Yildirim, B., T. Yesiloglu, M. Incesu, M. Kamiloglu, F. Ozguven, O. Tuzcu and Y. Aka. 2010. The effects of mechanical pruning on fruit yield and quality in 'Star Ruby' grapefruit. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8 (2): 834-838.

Zaragoza, S. and E. Alonso. 1980. La poda mecanizada de los agrios en España. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Serie: Producción Vegetal* 12: 157-180.

Zaragoza, S. and E. Alonso. 1981. Citrus pruning in Spain. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 1: 172-175.

Alternativas de implementación de pulverizadores hidroneumáticos en modelos numéricos de dinámica de fluidos computacional

Jorge Badules[1], F. Javier García-Ramos[2], Mariano Vidal[3], H. Malón[4]

[1] Escuela de Doctorado, Universidad de Zaragoza. jbadules@hotmail.com

[2] Escuela Politécnica Superior de Huesca, Universidad de Zaragoza. 22071 Huesca, España. fjavier@unizar.es

[3] Escuela Politécnica Superior de Huesca, Universidad de Zaragoza. 22071 Huesca, España. vidalcor@unizar.es

[4] Escuela Politécnica Superior de Huesca, Universidad de Zaragoza. 22071 Huesca, España. hml@unizar.es

Resumen

El análisis de tratamientos fitosanitarios mediante modelos numéricos de ordenador tiene interés para mejorar la eficiencia de los mismos, con ventajas respecto al estudio experimental. El primer paso para realizar estos modelos numéricos es modelizar la aplicación que realiza la máquina que aplica el tratamiento.

En el caso de pulverizadores hidroneumáticos existen diferentes alternativas para su simulación en modelos de dinámica de fluidos computacional (CFD): 1) introduciendo los parámetros de caudal de aire en las toberas; 2) especificando las velocidades de aire generado a lo largo de una línea a una distancia de la salida de aire del circuito neumático de la máquina; 3) modelizando la geometría exacta de los componentes del sistema neumático de la máquina e introduciendo el caudal de aire en el inicio del circuito neumático.

Las metodologías planteadas se han analizado para el caso de un pulverizador hidroneumático con salidas de aire adaptadas a la geometría de un cultivo de viña en línea. Las metodologías basadas en la introducción en el modelo de valores de aire medidos en las salidas del circuito neumático, utilizadas habitualmente en otras tipologías de pulverizadores, no han dado resultados satisfactorios. La metodología basada en la introducción en el modelo CFD de la geometría de la máquina aporta una precisión aceptable. En cambio, presenta una complejidad en el mallado que dificulta el cálculo.

Se propone utilizar la metodología de modelizar la geometría del circuito neumático pero realizando el cálculo CFD en varias etapas, para de esta forma poder realizar estudios más complejos en el futuro.

Palabras clave: Simulación informática, modelos, CFD, pesticida, fitosanitario

Alternatives of implementation of hydropneumatic sprayers in numerical models of computational fluid dynamics

Abstract

The analysis of phytosanitary treatments using computer numerical models is interesting to improve their efficiency, with advantages over the experimental study. The first step to perform these numerical models is to model the treatment carried out by the sprayer.

In the case of air-assisted sprayers, which generate air jets, there are different alternatives to simulate the air flow supplied by the machine in CFD models: 1) introducing in the model the measured air flow at the nozzles outlet; 2) introducing in the model velocities of air measured along a line at a given distance from the nozzles; 3) modelling the exact geometry of the pneumatic circuit of the sprayer and introducing the air flow at the entrance of the circuit.

The described methodologies have been tested by implementing CFD models considering an air-assisted sprayer adapted to vine crop. The methodologies based on the introduction in the model of air measurements at the nozzles outlet, validated by the literature in other types of sprayers, have not given satisfactory results in this case. The methodology based on the geometry of the machine has produced an acceptable precision. On the other hand, it presents a complexity in the meshing that makes calculation difficult. It is proposed that, in sprayers that have to be modeled in this way, the CFD calculation should be divided into several steps, separating the machine from the surrounding air.

Keywords: Computer simulation, CFD, models, agricultural sprayer, pesticide

1. Introducción

La evaluación de los tratamientos realizados por los equipos de aplicación de productos fitosanitarios se ha venido realizando mediante ensayos de campo que implican un elevado coste y, en muchos casos, poca repetitividad de los ensayos (Da Silva et al., 2006) pues dependen de muchas variables como geometría, desarrollo del cultivo o condiciones atmosféricas, siendo algunas de ellas incontrolables. Como alternativa, se pueden utilizar modelos numéricos que simulan el tratamiento realizado por el equipo (Da Silva et al., 2006; Baetens et al., 2007; Baetens et al., 2009; Nuyttens et al., 2011). Este tipo de estudios permiten optimizar las condiciones de regulación de los equipos de aplicación (Svensson 2001, Ako 2011, DEFRA 2011) y aportan información muy útil para la mejora del diseño de dichos equipos. La simulación numérica mediante ordenador atenúa algunos de los problemas de la toma de datos experimental, permitiendo simular los tratamientos (Teske et al., 2011) en diferentes condiciones de regulación de los equipos de forma más sencilla. Una de las técnicas numéricas empleadas para este fin es la simulación mediante dinámica de fluidos computacional (CFD).

En el caso de los tratamientos realizados con pulverizadores hidroneumáticos, el primer paso para su simulación numérica con CFD es la modelización de las corrientes de aire generadas por la máquina. En la última década se han realizado diferentes estudios con modelos CFD de varios tipos de pulverizadores hidroneumáticos (Delele et al., 2005; Endalew et al., 2010a; Endalew et al., 2010b; Dekeyser et al., 2013; Salcedo et al., 2013), quedando constancia que cada tipo de pulverizador requiere de la calibración de su propio modelo numérico.

La implementación de los parámetros requeridos por el modelo numérico para simular el flujo de aire generado por la máquina constituye, por lo tanto, el primer paso a realizar. En este sentido, el objetivo de este trabajo es analizar varias alternativas de modelización CFD, analizando las ventajas e inconvenientes de cada una. Para ello, se ha considerado un pulverizador hidroneumático de geometría adaptada a un cultivo de viñedo en línea. El estudio se ha basado en la comparación de cuatro estrategias de modelización CFD: 1) modelo basado en la introducción en el modelo de la velocidad del aire medida experimentalmente en las toberas de salida de los conductos neumáticos (Dekeyser et al., 2013); 2) modelo basado en la introducción en el modelo de la velocidad del aire medida experimentalmente a lo largo de una línea ubicada a cierta distancia de las salidas de aire (Endalew et al., 2010b; Salcedo 2015); 3) modelo basado en la implementación de la geometría del circuito neumático de la máquina, sin necesidad de caracterizar el aire a la salida de la máquina, introduciendo en el modelo el caudal en el inicio del circuito neumático; 4) modelo modificación del modelo 3 pero realizando el cálculo en varias etapas.

2. Materiales y Métodos

En el estudio se ha considerado un pulverizador hidroneumático comercial con geometría adaptada a un cultivo de viña en línea (figura 1). El equipo original consta de una turbina de flujo centrífugo que deriva el caudal hacia cuatro conductos de salida. Cada conducto termina en una bajante vertical en la que se encuentran alojados cuatro grupos de salida de aire, cada una de las cuales está constituida por cuatro toberas (en total 16 toberas por bajante) con deflectores que pueden orientarse en varias posiciones. El seto del cultivo queda encerrado en un túnel formado por una pareja de bajantes opuestos entre sí y separados aproximadamente 1,65 m, siendo tratado por las dos caras a la vez. La máquina puede tratar, por lo tanto, dos filas de cultivo simultáneamente.

En este artículo no se pretende analizar la eficiencia del tratamiento fitosanitario (lo cual queda para investigaciones futuras), sino que el objetivo es estudiar cual es la estrategia más adecuada para la implementación de la máquina en un modelo numérico CFD. Por ello, los análisis experimentales se simplificaron al estudio de una sola bajante, aislada en laboratorio. Dicha bajante se implementó en el interior de la nave de maquinaria agrícola de la Escuela Politécnica Superior (Huesca, España), donde se conectó mediante un conducto a un ventilador centrífugo modelo S&P CRRT/2-401 RD 275

5,5kW, capaz de proporcionar al conducto un caudal de aire similar al aportado por el equipo de aplicación.

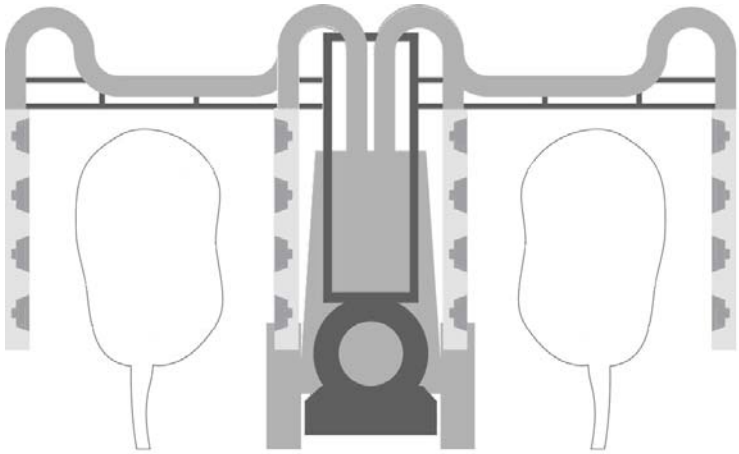


Figura 1. Esquema del pulverizador en el que se ha basado el estudio en condiciones de trabajo.

Se realizó el aforado (García-Ramos et al., 2015) del ventilador según la Norma ISO 9898:2000(E). Como resultado de la medición, se obtuvo un caudal de 1010 $m^3 \cdot h^{-1}$. Este caudal proporciona unas velocidades de aire a la salida de las toberas en el rango de las que se pueden obtener en la máquina real.

Las mediciones de velocidad de aire a la salida de las toberas (figura 2) se realizaron con un anemómetro de hilo caliente Testo 0635.1041 con una centralita modelo 445 (Testo SE & Co. KGaA, Lenzkirch, Germany). Se tomó como valor de velocidad de aire en cada punto de medida, la velocidad de aire durante 15 segundos con una frecuencia de 1 segundo, de modo que se utilizó el dato medio como resultado de velocidad de aire en cada punto.

Los datos de entrada a los diferentes modelos numéricos se tomaron experimentalmente en el centro de las toberas para el modelo 1 y en una línea a 0,15 m de distancia de las toberas para el modelo 2. En el caso de los modelos 3 y 4 se introdujo el caudal aforado del ventilador como una velocidad media por el conducto de entrada a la bajante.

Los puntos de medida para comprobación de los modelos numéricos se dispusieron en 3 planos perpendiculares a la dirección dominante del flujo de aire, separados 0,3, 0,6 y 0,9 m de las toberas (figura 2).

Para las simulaciones informática se utilizó el software ANSYS FLUENT® en un ordenador con procesador Intel i7-4820k con 16 GB de RAM.

2.1. Modelo 1: características del aire en toberas de salida

Este modelo se basa en la caracterización de los flujos de aire generados a la salida de las toberas. Se trata de un modelo tridimensional en el que un prisma representa el espacio de aire contiguo al pulverizador. Sus condiciones de contorno son el suelo, las entradas de aire que simulan el pulverizador, y las salidas de aire a presión atmosférica en el resto. Debido a la sencillez geométrica del modelo, se puede conseguir una rápida convergencia del cálculo.

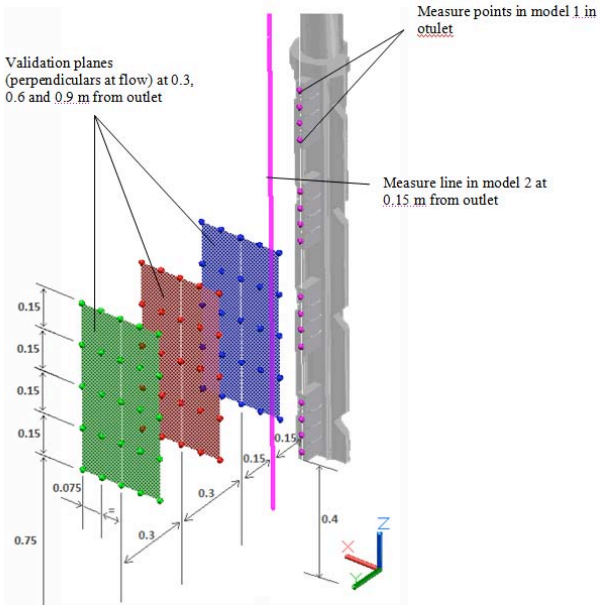


Figura 2. Puntos de medida y control de los diferentes modelos numéricos estudiados

Para la simulación en CFD de la máquina analizada mediante este modelo, se tuvo en cuenta que la salida de aire en el equipo se produce exclusivamente a través de 16 toberas de reducida sección por cada bajante. Éstas se generan en la geometría del modelo con 16 pequeños huecos; este detalle provoca una necesidad de mallado moderada, elevando el número de celdas a unas 350.000 (figura 3).

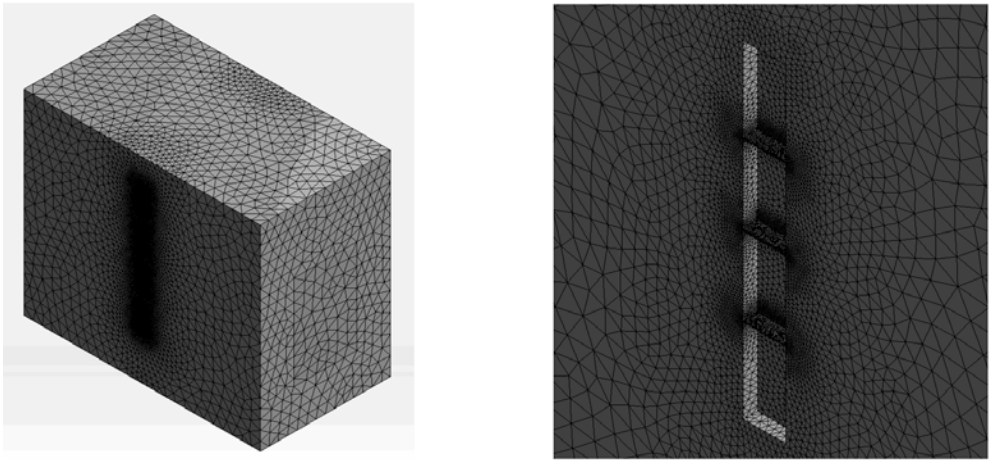


Figura 3. Malla de cálculo general del modelo 1 (izquierda). Detalle de zona de un grupo de salida de aire de la bajante constituido por 4 toberas (derecha), con mallado fino que incrementa el número de celdas del modelo.

Se configuró la posición de los deflectores de la máquina de tal forma que todas las toberas tuviesen la misma sección, siendo 0,03 x0,05 m. Esta configuración no se varió en todo el experimento.

Se procedió a medir la velocidad del flujo generado en el centro de cada tobera, aproximando el anemómetro lo máximo posible a la salida de aire (Dekeyser et al., 2013), deduciendo la dirección del flujo a partir del ángulo de los deflectores (Da Silva et al., 2002). Estos datos se introdujeron en un modelo CFD como primera aproximación al funcionamiento de la máquina. Se optó por realizar el cálculo con un modelo de viscosidad k- ε y funciones de pared estándar, tanto en éste como en todos los modelos.

2.2. Modelo 2: caracterización del aire a una distancia determinada

En un segundo modelo (figura 4) se aplicó la metodología más extendida en la bibliografía para la simulación en CFD de pulverizadores hidroneumáticos (Endalew et al., 2010b; Salcedo 2015). Se tomaron velocidades de aire a 0,15 m de distancia de las toberas, en un rango de altura de 1,8 m (abarcando ampliamente la distancia en la que se encuentran todas las toberas de un bajante) con saltos de 0,1 m. La dirección del flujo se introdujo como en el modelo 1. A diferencia del modelo 1, el mallado inicial tuvo un número muy inferior de celdas al simplificarse la condición de contorno de entrada de aire al modelo, no siendo necesario realizar un mallado fino en todo el dominio. Fue conveniente remallar sólo en las zonas de mayores velocidades, iterativamente, durante el cálculo, mediante herramientas de mallado adaptativo disponibles en el propio software CFD usado, lo que permitió conseguir converger el cálculo en menos de 5 minutos pues el software optimiza el número de celdas sin que ello tenga repercusiones en los resultados obtenidos en el cálculo.

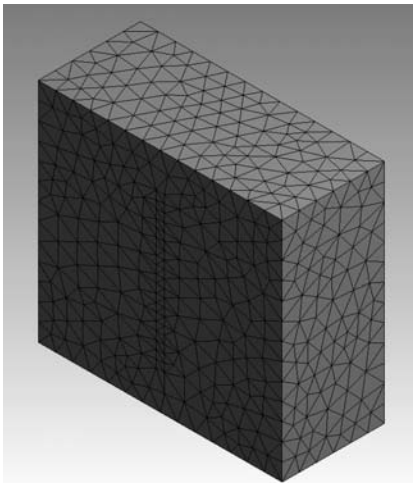


Figura 4. Malla de cálculo general del modelo 2. Las celdas son relativamente grandes en comparación con el modelo 1, pero se remallan durante el cálculo allí donde es exclusivamente necesario.

2.3. Modelo 3: modelo basado en la geometría del circuito neumático

En el tercer modelo se optó por un enfoque muy diferente, en el que no se introdujo en el modelo la velocidad de aire en la salida de la máquina. Como alternativa se introdujo en el modelo la geometría del circuito neumático (figura 5) y el caudal de aire a la entrada del mismo que había sido aforado previamente en laboratorio. Para ello en el modelo se introdujo la velocidad del aire en el área circular del conducto. El propio modelo CFD calcula la distribución del aire dentro del bajante y su salida al exterior por las toberas tras ser conducido por los deflectores. El modelo también incluyó un ortoedro o prisma de fluido de fase gaseosa (que es lo único que está representado en los modelos basados en las metodologías anteriores), con condiciones de contorno de salida de aire, salvo el suelo que tiene condición de pared.

En esta metodología, la geometría de la parte de la máquina introducida en el modelo CFD requiere de una meticulosa precisión, ya que este aspecto es crítico. Es imprescindible realizar medidas del contorno interior del conducto ya que dicha geometría determina la circulación del aire por el interior del elemento hasta su salida por las toberas. La precisión en la definición del contorno interior del conducto resulta determinante para la fiabilidad del modelo. Por tanto, si no se dispone de planos del fabricante, es necesario desmontar la máquina y realizar mediciones internas. En nuestro caso se optó por la medición por medios propios. Dicha geometría se introdujo con un programa CAD y posteriormente se cargó en el programa de CFD.

El mallado planteado constó de aproximadamente unas 550.000 celdas. En este caso, las técnicas de remallado adaptativo durante el cálculo implementadas en los programas CFD dieron problemas, probablemente por la irregularidad de la malla, por lo que se comprobó que era preferible comenzar

directamente el cálculo con un mallado fino y mantenerlo sin cambios hasta el final. Se utilizó una malla no estructurada, pues la compleja geometría de los deflectores y de la máquina no hicieron viable realizar otro tipo de mallado. En este modelo se resolvió sólo la ecuación de continuidad y de la cantidad de movimiento.

Generalmente para cálculos en CFD se adopta como criterio de convergencia alcanzar un valor menor a 10^{-4} en los residuos de las ecuaciones calculadas. En este modelo fue imposible alcanzar estos valores con un tiempo razonable, por lo que en este caso, el cálculo se dio por finalizado cuando los residuos de la ecuación de continuidad (que presentaron los valores más altos en este caso, en torno a $3 \cdot 10^{-2}$) se estabilizaron.

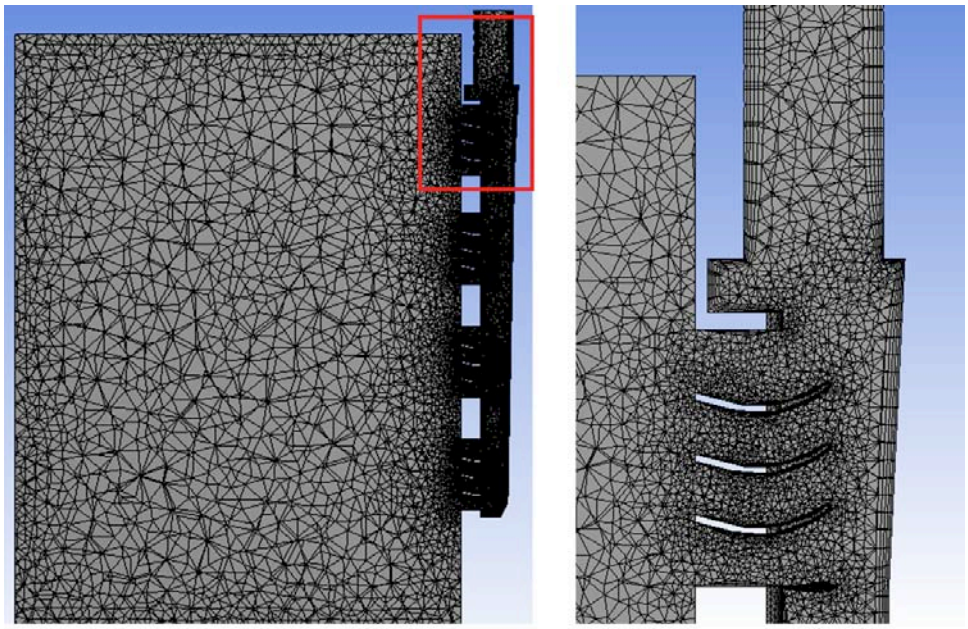


Figura 5. Sección de la malla de cálculo del modelo 3, que incluye geometría del conducto y espacio de aire (izquierda). A la derecha, detalle de mallado de la parte superior del conducto.

2.4. Modelo 4: cálculo por etapas

Como al plantear un modelo sobre una malla no estructurada, como la del modelo 3, aparecieron problemas en la convergencia del cálculo, se diseñó un modelo 4, que dividió el cálculo en dos etapas (figura 6). La primera etapa se centró en considerar la modelización de la geometría del circuito neumático, mientras que la segunda etapa consistió en un simple prisma, análogo al modelo realizado con las otras estrategias descritas, pero de un mallado totalmente estructurado y regular. La solución de la primera etapa (velocidades de aire) se utilizó como condición de contorno de inicio de la segunda etapa, con la ventaja de que esta segunda etapa convergió muy rápido en el cálculo.

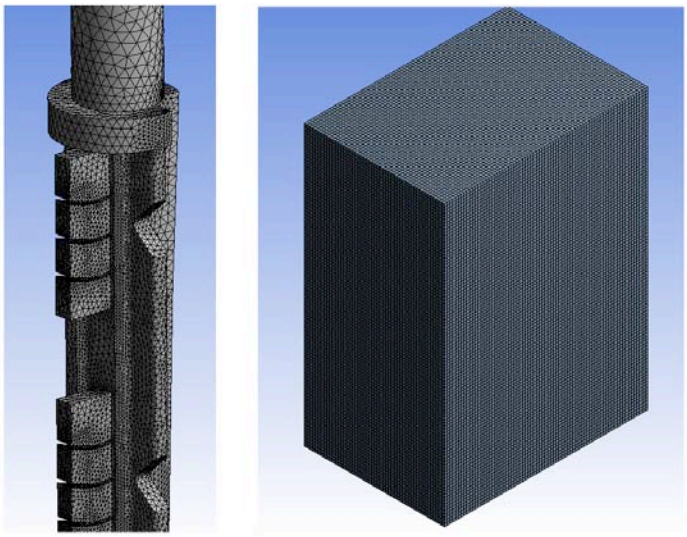


Figura 6. Vista externa de las mallas del modelo 4. Izquierda, etapa 1 (conducto de la máquina). Derecha, etapa 2 (aire próximo al conducto). La solución de la etapa 1 (velocidad del aire a la salida de las toberas) es la condición de contorno de entrada a la etapa 2.

3. Resultados y Discusión

Una vez explicados las condiciones de la simulación de todos los modelos, se exponen los resultados correspondientes a los perfiles de velocidad de viento en una altura comprendida entre 0,75 y 1,35 m. Esta zona ha sido elegida ya que es la que presentan los setos de viña más habituales, siendo por tanto la de mayor interés para conocer el comportamiento del flujo de aire generado por el equipo. Se compararon los perfiles de velocidad en la intersección de los planos XZ de validación a 0,3, 0,6 y 0,9 metros (fig. 2) con el plano YZ que contiene a las toberas, ya que es en ese plano en el que se dan las velocidades más altas y por lo tanto es el más representativo.

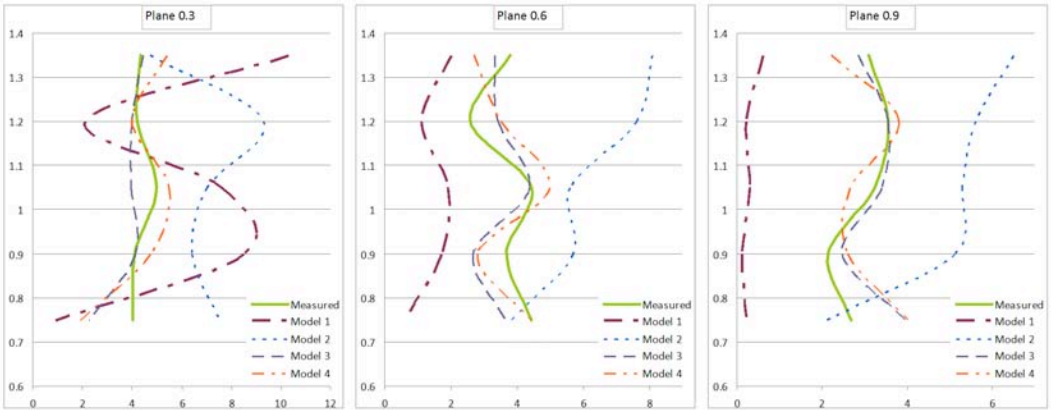


Figura 7. Perfiles de velocidades medidas a tres distancias de la máquina (0,3 m; 0,6 m ; 0,9 m) con las cuatro estrategias de implementación del cálculo numérico estudiadas, frente al perfil medido experimentalmente. Eje abscisas: velocidad (m/s); Eje ordenadas: altura (m).

El método basado en la medición de caudal a la salida de las toberas (modelo 1) produjo los errores más elevados.

La simulación numérica del modelo 3 proporcionó variaciones de velocidades en el aire de hasta 20 $m \cdot s^{-1}$ por centímetro en las toberas, de lo que se deduce que tomar como velocidad media de una tobera en el modelo numérico, la velocidad medida experimentalmente en el centro de la misma, es una simplificación excesiva.

El modelo 2 presentó problemas similares. Al medir la velocidad del aire a 0,15 m de la tobera, las corrientes no cambian tan bruscamente, pero siguen teniendo tal complejidad, que una simple toma de datos discreta no puede recoger. Esta metodología que ha obtenido buenos resultados con otros pulverizadores hidroneumáticos (Salcedo 2015) con salida de aire abierta (atomizadores) no es adecuada para el equipo analizado con geometría adaptada a viñedo.

Sólo los modelos 3 y 4, basados en la geometría de la máquina, ofrecieron resultados admisibles. Cualitativamente los perfiles de velocidad obtenidos mediante esta técnica guardan correlación con los encontrados por medición directa. Las diferencias en las magnitudes de las velocidades medidas podrían deberse tanto a pequeños errores aún existentes en la geometría de la bajante del modelo CFD, como a imprecisiones en la medición directa debido a la inestabilidad del flujo.

Como recapitulación, el modelo 1, basado en la medida de los caudales a la salida de la máquina, no es recomendable, pues en ese caso se necesitaría una precisión milimétrica en la medida de los mismos, lo cual no es factible en condiciones reales. No es suficiente conocer el caudal emitido en cada tobera de la máquina, es necesario conocer con total precisión su distribución, pues de eso depende el comportamiento de las corrientes de aire.

Por otro lado, el modelo 2, basado en la caracterización de las corrientes de aire a una distancia de la máquina, permite realizar mallas relativamente simples, de cálculo rápido y estable en CFD. Por el contrario, necesita una meticulosa toma de datos experimentales para caracterizar adecuadamente las corrientes de aire generadas. En máquinas singulares, como la aquí estudiada, sin embargo, la metodología no es práctica. Podría llegarse a hacer un modelo CFD válido, pero se necesitaría tomar una enorme cantidad de datos y su implementación en el modelo por otra parte, también sería laboriosa. Otra desventaja es que, una vez calibrado un modelo, sólo sería válido para la configuración de la máquina en la que se tomaron los datos, de modo que si se quiere estudiar el flujo de aire con otro régimen de revoluciones del ventilador o turbina, es necesario volver a tomar datos experimentales para volver a cargarlos al modelo CFD, pues a priori, no es posible saber si una variación en el caudal de aire proporciona una variación proporcional en las corrientes de aire generadas.

La metodología basada en la modelización de la geometría del circuito neumático de la máquina (modelo 3), presenta problemas inversos a la de caracterización de la corriente generada. Resulta complejo obtener la geometría puesto que debe realizarse un minucioso trabajo de medición de la máquina y modelización CAD (este paso podría solventarse si se trabajase con planos proporcionados directamente por el fabricante) y finalmente se obtienen unas mallas de cálculo muy irregulares, complejas, de difícil y lento cálculo. Sin embargo, una vez se tiene realizado el modelo, se tiene la ventaja de que se pueden estudiar diferentes condiciones de regulación de la máquina considerando diferentes caudales de entrada, tan solo cambiando el caudal de entrada a la máquina en el modelo CFD.

El principal problema del modelo 3, no obstante, es que no permite continuar con el estudio del tratamiento completo, incluyendo fase dispersa, ecuación de la energía, velocidad de arrastre, etc., ya que para solventar ese problema se necesitaría realizar un cuidadoso mallado inviable en términos de coste-tiempo. Para ello debe dividirse en varias etapas, tal y como se ha desarrollado en el modelo 4, asumiendo una pequeña pérdida en la precisión de los resultados.

4. Conclusiones

Las estrategias de simular numéricamente el flujo de aire generado por un pulverizador hidroneumático mediante CFD, introduciendo en el modelo las velocidades de aire generadas por la máquina, no ha dado resultados satisfactorios para el caso de un pulverizador hidroneumático adaptado a viñedo en línea. Este hecho es generalizable para cualquier pulverizador hidroneumático en el que el aire atraviese geometrías complejas durante su trayectoria dentro de los conductos de la

máquina, aunque la bibliografía ha demostrado que es útil con otro tipo de equipos de aplicación de fitosanitarios como por ejemplo los atomizadores utilizados en frutales.

La metodología en la que se introduce en el modelo CFD la geometría detallada del circuito neumático de la máquina es más apropiada para este tipo de pulverizadores, si bien presenta el problema de que el tiempo requerido para el cálculo es elevado y los residuos obtenidos no son bajos en la ecuación de continuidad, debido a la complejidad de la malla. No obstante, presenta ventajas evidentes frente a las metodologías anteriores. Por ejemplo permite estudiar el efecto del cambio del caudal de aire en la máquina, simplemente incrementando el caudal en el modelo; con las metodologías alternativas, sería necesaria la toma de datos experimentales para cada caudal que se quisiera estudiar.

La inestabilidad del modelo numérico puede paliarse dividiéndolo en etapas, realizando una primera etapa considerando la geometría del circuito neumático de la máquina, y una segunda, con el aire circundante, cuya condición de contorno de entrada sería la solución de salida de la primera. En esta segunda etapa es posible crear un mallado estructurado que facilita la convergencia de las ecuaciones a resolver y en el futuro, pueden implementarse más factores en el cálculo, como la fase dispersa, la interacción planta-aire, etc., permitiendo en una evolución de la metodología el estudio completo del tratamiento con la máquina.

Bibliografía

Ako, P. 2011. Development of a model to predict spray deposition in air-carrier sprayer applications. Tesis Doctoral. Universidad de Florida.

Baetens, K., Nuyttens, D., Verboven, P., De Schampheleire, M., Nicolaï, B., Ramon, H. 2007. Predicting drift from field spraying by means of a 3D computational fluid dynamics model. *Computers and Electronics in Agriculture* 56, 161–173.

Baetens K., Ho Q.T., Nuyttens D., De Schampheleire M., Endalew A. M., Hertog M.L.A.T.M., Nicolaï B., Ramon H., Verboven P. 2009. A validated 2-D diffusion–advection model for prediction of drift from ground boom sprayers. *Atmospheric Environment* 43, 1674–1682.

Da Silva, A. Sinfort, C. Bonicellii, B. Voltz, M. Huberson, S. 2002. Spray penetration within vine canopies at diferent vegetative stages. *Aspects of applied biology*, 66, 331 - 339.

Da Silva, A., Sinfort, C., Tinet, C., Pierrat, D., & Huberson, S. 2006. A Lagrangian model for spray behaviour within vine canopies. *Journal of Aerosol Science* 37, 658-674.

DEFRA (Department for Environment Food and Rural Affairs, United Kingdom Govern). 2011. Options for the development of a model for evaluation of bystander and resident exposures to pesticides used in orchard, hop and bush fruit application. Research Project Final Report

Delele, M.A., De Moor, A., Sonck, B., Ramon, H., Nicolaï, B.M., Verboven, P. 2005. Modelling and validation of the air flow generated by a cross flow air sprayer as affected by travel speed and fan speed. *Biosystems Engineering* 92 (2), 165–174.

Dekeyser, D., Duga, T.A., Verboven, P., Endalew, M.A., Hendrickx. N., Nuyttens. D. 2013. Assessment of orchard sprayers using laboratory experiments and computational fluid dynamics modelling. *Biosystems Engineering* 114, 157-169.

Endalew, A. M., Debaer, C., Rutten, N., Vercammen, J., Delele, M. A., Ramon, H. 2010a. A new integrated CFD modelling approach towards air-assisted orchard spraying. Part I. Model development and effect of wind speed and direction on sprayer airflow. *Computers and Electronics in Agriculture* 71, 128-136.

Endalew, A. M., Debaer, C., Rutten, N., Vercammen, J., Delele, M. A., Ramon, H. 2010b. A new integrated CFD modelling approach towards air-assisted orchard spraying - part II: validation for different sprayer types. *Computers and Electronics in Agriculture* 71, 137-147.

García-Ramos F.J., Malón H., Aguirre A.J., Boné A., Puyuelo J., Vidal M. 2015. Validation of a CFD Model by using 3D sonic anemometers to analyse the air velocity generated by an air-assisted sprayer equipped with two axial fans. *Sensors* 15, 2399-2418

Nuyttens, D.; De Schampheleire, M.; Baetens, K. 2011. Drift from field crop sprayers using an integrated approach: results of a five-year study. *Transactions of the ASABE* 54 (2), 403-408.

Salcedo, R., Granell, R., Garcerá, C., Palau, G., Moltó, E., Chueca P. 2013. Validation of a CFD model of the effect of an orange tree canopy on the air flow produced by an air-blaster sprayer. 12th International Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing (SuproFruit2013). IVIA, Valencia (Spain), Jun 26-28, 95-97.

Salcedo, R. 2015. Modelos CFD para el flujo del aire y la distribución de las gotas de un turboatomizador durante las aplicaciones en cítricos. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.

Svensson, S.A. 2001. Converging air jets in orchard spraying − influence on deposition, air velocities and forces on trees. Tesis Doctoral. Universidad Sueca de Ciencias Agrarias. Alnarp, Suecia.

Teske, M. E.; Thistle, H. W.; Schou, W. C. 2011. A review of computer models for pesticide deposition prediction. *Transactions of the ASABE* 54 (3), 789-801.

Aclareo mecánico de mandarinas 'Clemenrubí' con un vibrador de ramas

Antonio Torregrosa[1], Enrique Ortí[1], Sebastià Balasch[2], Coral Ortiz[1]

[1] Universitat Politècnica de València, Dpto. Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Cno. Vera s/n, 46022 Valencia. torregro@dmta.upv.es

[2] Universitat Politècnica de València, Dpto. de Estadística e Investigación Operativa aplicadas y Calidad. Cno. Vera s/n, 46022 Valencia

Resumen

Se ha probado el aclareo mecánico con un sacudidor de ramas, en mandarinos 'Clemenrubí', como alternativa al aclareo manual para reducir los costes de producción.

Los tratamientos ensayados fueron: no aclareo (**s**), aclareo manual (**m**) y aclareo con vibrador (**v**).

La población de frutos derribados por el vibrador no se diferenció de la de los frutos remanentes tras la sacudida, es decir, el sacudidor derribó frutos de todos los tamaños por igual (diámetro medio de 31.8 mm) presentando los frutos eliminados a mano menor tamaño (27.9 mm).

El tratamiento sin aclareo fue el más productivo, con 26.7 kg/árbol, seguido del aclareo manual con 21.3 kg/árbol y por último el aclareo mecánico con 14.4 kg/árbol. Las producciones totales fueron directamente proporcionales al número de frutos remanentes en los árboles, observándose también una ligera disminución de los calibres proporcional a dicho número.

En la categoría de frutos de más de 50 mm de diámetro, en el tratamiento **s** se cosecharon 12.3 kg/árbol, frente a 7.0 y 6.9 en los tratamientos **v** y **m** respectivamente. En la categoría de 40-50 mm, los tratamientos **s** y **m** fueron muy similares, con 13.7 y 13.2 kg/árbol respectivamente, siendo claramente inferior la cantidad de frutos del tratamiento **v** con 5.8 kg/árbol. En la categoría de diámetro inferior a los 40 mm se recogió muy poca fruta en los tres tratamientos, 0.3, 0.3 y 0.1 para **s**, **m** y **v** respectivamente.

Palabras clave: cítricos, sacudidor ramas.

Mechanical thinning of 'Clemenrubí' mandarins with a branch shaker

Abstract

Mechanical thinning of 'Clemenrubí' mandarins with a branch shaker was tested, as an alternative to hand thinning to reduce crop costs. The treatments evaluated were: no-thinning (**s**), hand thinning (**m**) and shaker thinning (**v**).

The population of fruits removed by the shaker was not different from the population of fruits remaining on the tree after shaking, thus, the shaker detached fruits of all sizes equally (average diameter 31.8 mm), although the fruits removed by hand were smaller (27.9 mm).

The higher yield was obtained in no-thinning (26.7 kg/tree), followed by hand thinning (21.3 kg/tree), getting mechanical thinning the lowest yield (14.4 kg/tree). Yields were directly proportional to the number of no-removed fruits, and sizes were inversely proportional to fruit quantity.

In the category of more than 50 mm in diameter, in the treatment **s** 12.3 kg/tree was harvested, compared to 7.0 and 6.9 kg/tree in treatments **v** and **m** respectively. In 40-50 mm class, treatments **s** and **m** yielded similarly, 13.7 and 13.2 kg/tree respectively, being clearly lower the amount of fruit in treatment **v** with 5.8 kg/tree. In the category less than 40 mm there was few fruit in the three treatments, 0.3, 0.3 and 0.1 in **s**, **m** and **v** respectively.

Keywords: citrus, branch shaker

1. Introducción

El aclareo de flores y frutos es una técnica usada en algunos cultivos para incrementar el tamaño de los frutos, aunque se puede producir una reducción de la producción total (Ouma, 2012).

Los principales métodos de aclareo utilizados son el manual, el mecánico y el químico. El primer método es el más empleado por su flexibilidad y adaptación a todas las condiciones del cultivo, pero es muy caro. El aclareo químico se emplea en algunos cultivos, pero las limitaciones legales para el uso de algunos agroquímicos, y los resultados inciertos debidos a factores ambientales no controlados, están limitando mucho su uso (Greene y Costa, 2012). Por otra parte, el aclareo mecánico, basado en la vibración, contacto directo con hilos en movimiento, etc. tiene como principales condicionantes la forma de los árboles y su poca selectividad (Rosa et al., 2004; Rosa et al., 2008), pero se está usando con prometedores resultados en cultivos en espaldera de manzano y peral y también en frutales de hueso (Martín et al., 2011).

En los cítricos se han realizado importantes trabajos de aclareo químico (Guardiola y García-Luís, 2000; González-Rossia et al., 2007; Stover et al., 2002) y varios estudios confirman el efecto de las auxinas sintéticas como aclareadores químicos en mandarinas (Mesejo et al., 2012). Los agentes químicos incrementan la producción de etileno en los días siguientes a su aplicación y los frutos remanentes aumentan su crecimiento obteniendo mayores tamaños, pero muchos agroquímicos están siendo rechazados por el comercio (Ouma, 2012) y por lo tanto, es interesante explorar las posibilidades de otros sistemas de aclareo. Algunos trabajos exploratorios han sido realizados con vibradores manuales de gasolina y eléctricos en mandarinos 'Clemenrubí' y 'Clemenules', observándose que es posible derribar frutos de pequeño tamaño (Ortiz et al., 2016), pero es necesario realizar trabajos más exhaustivos para probar la validez económica de estas técnicas (Davis et al, 2004).

En este sentido, se ha planteado este trabajo, en mandarinos 'Clemenrubí' por ser una variedad que tiene muy poca caída natural de frutos, lo que conlleva la producción de una elevada cantidad de frutos en unos árboles, que normalmente son de pequeño tamaño, lo que da lugar a fruta de muy bajo calibre, por lo que el aclareo suele ser obligatorio, realizándose de 2-3 pases cada temporada.

2. Materiales y métodos

2.1. Ubicación de los ensayos

Los ensayos se han realizado en una plantación situada en Sagunto (Valencia, España, coordenadas Google maps: 39.645122, -0.303941).

Los ensayos se plantearon sobre una fila de mandarinos, con un patrón que consistía en vibrar dos árboles seguidos y dejando el tercero sin vibrar. Así se repitió este patrón tres veces, con un total de 9 árboles. Además se vibró un 10º árbol adicional. El tratamiento manual consistió en tomar muestras de los árboles colindantes que se aclararon a mano.

El marco de plantación era 2 m de distancia en la fila con una separación de 5.1 m entre filas. Las filas estaban sobre mesetas de 1.5 m en la coronación y una altura media de 0.5 m. Una fila de goteros discurría por cada extremo de la meseta. La pendiente transversal a las filas era del 5%. Las filas estaban orientadas según la dirección Norte-Sur, en la que la pendiente es menor y más irregular.

2.2. Material vegetal

Mandarinos 'Clemenrubí' injertados sobre 'Citrange carrizo' con madera intermedia de naranjo 'Salustiano'. Edad 8 años. Troncos de 0.45 m de altura y 0.11 m de diámetro. Tres a cuatro ramas principales, las copas tienen 2.2 m de altura hasta la cima de la meseta y las faldas 0.9 m hasta la cresta de la meseta; el diámetro de las copas es de 2.5 m en la dirección transversal a las calles, y 2.2 m en la dirección de las filas, con lo que el volumen de copa del prisma equivalente es de 6.8 m3.

2.3. Equipos utilizados

Se utilizó un vibrador de mochila con motor de gasolina de la marca Vibroli (www.nta.es) de 2.1 kW de potencia, 60 mm de carrera, 11 kg de masa y una pértiga de 2 m de longitud con una gancho terminal de 40 mm de amplitud. Bajo los árboles se colocaron lonas para recoger todos los frutos derribados (figura 1). Todas las vibraciones se grabaron en video para poder contabilizar el tiempo necesario para vibrar los árboles, así como el número de vibraciones/árbol y la duración de cada una.

Figura 1. Vibrador y lonas de recogida

2.4. Metodología utilizada para realizar el aclareo

Tras colocar las lonas, se vibraron varias ramas aplicando una sola vibración muy breve, cuando parecía que caían pocos frutos, se aplicaba una segunda vibración también breve.

Todos los frutos derribados se recogieron y trasladaron al laboratorio para su pesada y calibración en el mismo día (figura 2). Además, se recogieron frutos de árboles aclarados a mano para determinar el tamaño de los frutos que se eliminan manualmente.

Figura 2. Detalle de frutos derribados con el vibrador

Tras la vibración se contabilizaron los frutos no derribados.

Dos días más tarde se midieron los calibres de los frutos remanentes tanto en los árboles vibrados como en los no-vibrados, así como en los aclarados a mano.

2.5. Calendario

El 8 de julio de 2016 se vibraron en laboratorio ramas de mandarinos 'Clemenrubí'. Se observó que con el tamaño de esas fechas (>12 g) los frutos ya se desprendían, cosa que no ocurría en ensayos anteriores con frutitos de menor tamaño. El 12 de julio de 2016 se realizaron ensayos en campo con el vibrador de ramas. El 23 de septiembre se realizó la recolección de todos los frutos.

2.6. Recolección

En la recolección, se pesó la producción de cada árbol y se midió el diámetro ecuatorial de todos los frutos. En laboratorio se midieron los calibres ecuatorial y polar de 35 frutos así como su masa, para relacionar la masa con el calibre (figura 3).

Figura 3. Medida de los calibres de los frutos recolectados

2.7. Métodos estadísticos

Se realizaron análisis de varianza unifactoriales para el estudio de la influencia del tipo de aclareo sobre el calibre y sobre la producción; para la comparación de medias entre los 3 tipos de aclareo se utilizaron los intervalos LSD de Fisher.

Se estudiaron también las posibles diferencias entre el tamaño de los frutos derribados y remanentes para cada árbol vibrado, con el test t de Student de comparación de medias.

Finalmente, se utilizó un modelo de regresión lineal simple para el estudio de la relación entre la producción y el número de frutos presentes en los árboles.

3. Resultados y discusión

3.1. Calibre de los frutos derribados con máquina y a mano

El tamaño medio de los frutos derribados con máquina fue de 31.0 mm (sd 3.2) frente a los 28.3 mm (sd 2.0) de los clareados a mano (figura 4). Por debajo del calibre 30 mm, estaba el 85% de los frutos derribados a mano, frente a tan solo el 26 % de los derribados con máquina (figura 4).

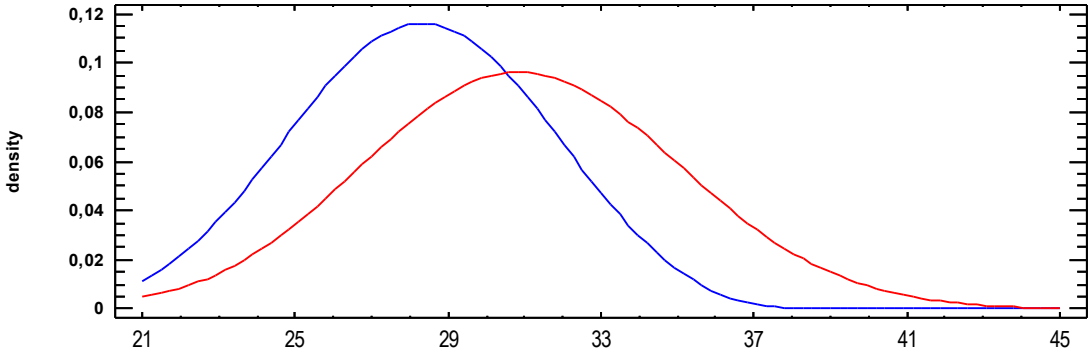


Figura 4. Distribución de calibres (mm) de los frutos derribados (rojo con máquina, azul a mano)

3.2. Porcentajes de derribo

En promedio se derribaron 206 frutos/árbol con máquina, frente a 119 a mano, por lo tanto, la intensidad del aclareo manual fue aproximadamente la mitad que la del aclareo con máquina. Porcentualmente, con máquina se eliminó el 36 % de los frutos del árbol y a mano el 24 %.

3.3. Calibres de los frutos remanentes en el árbol.

Se pudo observar que, aunque los calibres de los frutos remanentes en los árboles aclarados a mano eran los más grandes (33.1 mm), no hubo diferencias significativas con los aclarados con máquina (32.1 mm) e incluso con los no aclarados (32.6 mm).

El tratamiento sin aclareo (**s**) presentó un calibre intermedio mientras que los árboles aclarados a mano (**m**), presentaron los mayores tamaños, porque se eliminaron los frutos de menos de 30 mm de diámetro. No obstante, las diferencias fueron muy pequeñas, 1 mm de media entre el grupo de frutos más grandes y el de los frutos más pequeños (figura 5).

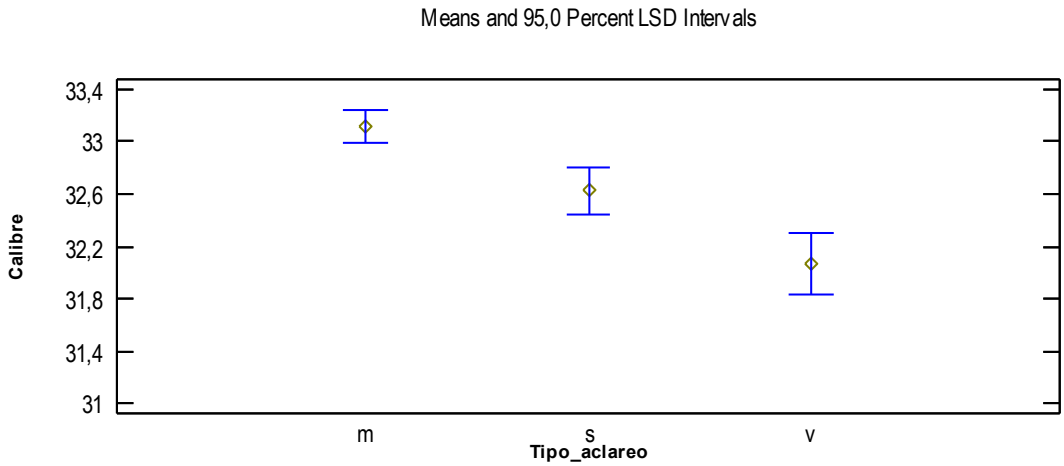


Figura 5. Calibres medios, junto con sus correspondientes intervalos LSD, de los frutos remanentes en los árboles según el tratamiento de aclareo.

3.4. Comparación entre los calibres de los frutos remanentes en el árbol con los derribados.

Para conocer si el vibrador eliminaba principalmente los frutos de mayor tamaño, se compararon los calibres de los frutos derribados con la máquina en cada árbol con los de los frutos que quedaron sobre el mismo árbol sin derribar (tabla 1). El test 't' de diferencias de medias para la hipótesis nula 'diámetro medio de los frutos remanentes igual al diámetro medio de los frutos derribados', con un nivel de significación del 5% mostró que no hubo diferencias estadísticas en los calibres de los árboles 1, 4 y 7. En el caso del árbol 10 sí que las hubo, pero los frutos de mayor tamaño fueron los remanentes en el árbol. Por lo tanto, se pudo comprobar que el vibrador no derribó principalmente los frutos de mayor tamaño, como se podría esperar por su mayor inercia, sino que redujo la población de frutos, de todos los calibres aproximadamente por igual, manteniendo el tamaño de los presentes en el árbol.

Tabla1. Test 't' de diferencias de medias entre los diámetros de los frutos derribados y remanentes en el árbol.

	Árbol 1	*Árbol 4*	*Árbol 7*	*Árbol 10*
Media remanentes	31.78	32.61	31.88	32.60
Media derribados	31.75	32.38	31.63	31.20
Estadístico **t**	0.09	0.80	0.85	5.22
P-Valor	0.93	0.43	0.40	$9.1\ 10^{-7}$

3.4. Capacidades de trabajo

Los técnicos de la finca de los ensayos informaron que en el primer pase (eliminación de calibres inferiores a los 20 mm de diámetro) se necesitaban unos 12 min/árbol. En segundo (eliminación de calibres <30 mm) se empleaban unos 8 min/árbol y a veces se llega a hacer un tercer pase a finales de agosto.

Aunque se trata de unos ensayos exploratorios, y por lo tanto aún no está perfeccionada la técnica, el tiempo empleado en vibrar cada uno de los árboles fue de 1.6 min/árbol, vibrando 4-6 ramas durante 1 s aproximadamente, cada una. Por lo tanto, aunque el tiempo empleado en cada árbol fuera de 2 min, la capacidad de trabajo sería 4-5 veces superior a la manual.

3.5. Daños a los árboles

Tan sólo se observó algún ligero rasguño en la zona de agarre del vibrador, pero de poca importancia. El deshojado fue casi nulo.

3.6. Producción

La producción global media fue de 19 kg/árbol, con unos valores mínimos de 9 kg/árbol y máximos de 30 kg/árbol. Por tratamientos, la mayor producción se obtuvo en los árboles sin aclareo (**s**), con 26.7 kg/árbol, seguidos por los árboles clareados a mano (**m**) con 21.3 kg/árbol y la menor producción se obtuvo en los árboles clareados con el vibrador (**v**) con 14.4 kg/árbol. Sólo hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos **v** y **s** según el test LSD para un nivel de significación del 5 %.

3.7. Número de frutos y producción

En el momento de la recolección los árboles no clareados (**s**) tenían 455 frutos/árbol, 363 los clareados a mano (**m**) y 221 los clareados con máquina (**v**) según se recoge en la tabla 2. Las

producciones fueron directamente proporcionales al número de frutos presentes en los árboles (figura 6).

Tabla 2. Número de frutos y producción

Tratamiento	Número frutos	producción, kg
m	363	21.30
s	455	26.70
v	221	14.40
promedio	312	19.00

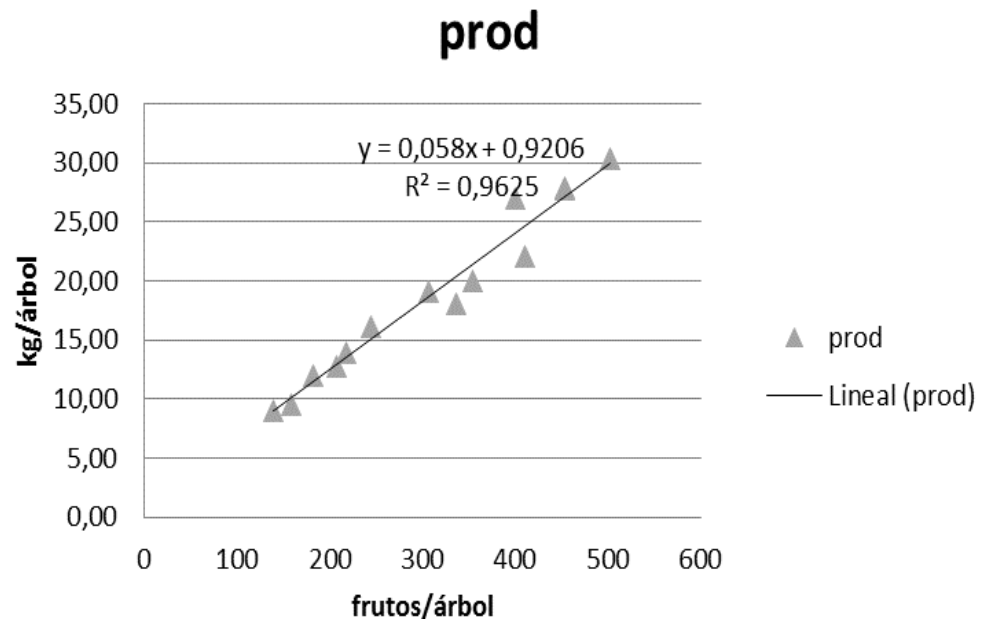


Figura 6. Relación entre la producción y el número de frutos presentes en los árboles.

3.8. Distribución de calibres

Si se analiza la distribución de los frutos en función de 3 tamaños: I) diámetro ecuatorial (**De**) mayor de 50 mm, II) **De** entre 40 y 50 mm y III) **De** menor de 40 mm, se observa que, en valor absoluto, el tratamiento **s** fue el que mayor masa de frutos del tamaño I obtuvo (12.3 kg) siendo prácticamente iguales las cantidades obtenidas en los dos tratamientos con aclareo (**v** y **m**) con unos 7 kg (tabla 3).

En la categoría intermedia, el tratamiento **v** presentó una cantidad muy baja (5.8 kg) mientras que los otros dos presentaron cifras similares en torno a los 13.5 kg; por último, en la categoría III, hubo muy poca fruta en todos los casos (0.1-0.3 kg).

Si se observan las cifras relativas, el tratamiento **v** tuvo los frutos más grandes (54% > 50 mm) seguido de **s** y en tercer lugar **m**.

Tabla 3. Distribución de los frutos por calibres

Peso según calibres , estimado por diámetro 1,16 g/mm				
kg	**>50**	**>=40 y <50**	**<40**	**total**
v	7,0	5,8	0,1	13,0
s	12,3	13,7	0,3	26,3
m	6,9	13,2	0,3	20,5
%total	**>50**	**>=40 y <50**	**>40**	**total**
v	54	45	1	100
s	47	52	1	100
m	34	65	1	100

3.9. Estudio económico

Cabe plantearse si el incremento de calibre conseguido con el aclareo compensa el trabajo de realizarlo y la consiguiente pérdida de producción.

Para ello se tomó como referencia los precios a mayoristas publicados en la página web 'http://fruitsale.es/es/precios' donde aparecían los precios de las mandarinas 'Clemenrubí' en Murcia de la semana del 26 de septiembre a 10 de octubre de 2016 (tabla 4).

Tabla4. Precios mandarinas 'Clemenrubí' en Murcia, al por mayor, semanas 26 sep. a 10 de oct. de 2016.

Variedad	**Catg.**	**Calibre**	**Formato**	**Peso caja**	**Precio al por mayor, €/kg**
Clemenrubi. Origen Murcia	1ª	40-45mm	En cajas de plástico a granel con hoja o sin hoja directas del campo de Murcia	11-13 kg	0.90
		50-55 mm		10-15 kg	1.00

Se consideró que los frutos con un diámetro mayor a 50 mm tienen un precio de 1 €/kg, los comprendidos entre 40-50 mm se pagan a 0.90 €/kg y los inferiores a los 40 mm no tienen precio. Acorde a los pesos recolectados en cada categoría, el valor de las mandarinas para cada tratamiento sería de 24.6 €/árbol en el caso **s**, 18.8 en el del aclareo manual y tan sólo 12.2 €/kg en el caso del aclareo con el vibrador (tabla 5).

El argumento usado por algunos agricultores de que, aun no incrementando el tamaño de la fruta mediante el aclareo, conviene realizarlo porque es más barato aclarar que recolectar la fruta de tamaño no comercial, no es válido en esta experiencia, porque la fruta obtenida con un calibre inferior a 40 mm fue muy poca (1 %).

Por lo tanto, lo mejor hubiera sido no aclarar, pues los árboles no aclarados fueron capaces de producir más fruta sin reducir prácticamente su calibre (conviene recordar que todos los árboles habían sido clareados a mano en junio eliminando los frutos de menos de 20 mm).

Tabla 5. Valor del producto a 0,9 €/kg 50-40 mm, 1€/kg >50 y 0€/kg si <40

euros/árbol	>50	>=40 y <50	total, €
v	7.0	5.2	**12,2**
s	12.3	12.3	**24.6**
m	6.9	11.9	**18.8**

4. Conclusiones

El vibrador de ramas desprendió fruta de todos los tamaños, reduciendo el número total de frutos remanentes en el árbol, pero sin modificar la distribución en tamaño de los mismos.

El aclareo con el vibrador de ramas fue 4-5 veces más rápido que el aclareo manual.

La producción total fue directamente proporcional al número de frutos presentes en el árbol.

El incremento de calibre, aunque mayor en los árboles con menor número de frutos, fue poco relevante.

Los árboles con mayor producción (sin aclareo) también fueron los que presentaron una mayor cantidad de frutos de la categoría superior.

El tratamiento con vibrador, aunque produjo los frutos con mayor calibre, redujo excesivamente la producción.

A la vista de los resultados de este estudio, limitados por la alta variabilidad observada entre los árboles y ser de una sola campaña, la mejor opción hubiera sido no realizar el aclareo del mes de julio.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el INIA y fondos FEDER (Proyecto RTA2014-00025-C05-02).

A la empresa Fontestat por facilitar los campos experimentales y en especial a los técnicos Federico Izquierdo y Joan Borrás por su asesoramiento y colaboración en los ensayos. A los técnicos de la UPV Montano Pérez y Juan José Peña y al investigador del IVIA Guillermo Mateu, por su colaboración en los ensayos.

Bibliografía

Davis, K., Stover E. and Wirth, F. 2004. Economics of Fruit Thinning: A Review Focusing on Apple and Citrus. *HortTechnology* 14(2): 282-289.

González-Rossia, D., Reig, C., Juan, M. and Agustí, M. 2007. Horticultural factors regulating effectiveness of GA3 inhibiting flowering in peaches and nectarines (Prunus persica L. Batsch), *Scientia Horticulturae* 111(4): 352-357.

Greene, D. and Costa, G. 2013. Fruit thinning in pome- and stone-fruit: state of the art. *Acta Horticulturae* 998: 93-102.

Guardiola, J.L. and García-Luis, A. 2000. Increasing fruit size in Citrus. Thinning and stimulation of fruit growth. *Plant Growth Regulation* 31: 121–132.

Martin-Gorriz,B., Torregrosa, A. and GarcíaBrunton J. 2011. Feasibility of peach bloom thinning with hand-held mechanical devices. *Scientia Horticulturae* 129: 91-97.

Mesejo, C., Rosito, S., Reig, C., Martinez-Fuentes, A. and Agustí, M. 2012. *Journal of Plant Growth Regulation* 31: 186-194.

MSJ Global, 2016. Precios y disponibilidad de frutas y cítricos. (accedido el 4 de octubre de 2016).

http://fruitsale.es/es/precios

Ortiz, C., Martín-Gorriz, B., Ortí, E. and Torregrosa, A. 2016. An approach to mechanical thinning of mandarins. *In ASABE Annual International Meeting*.1-7. 17-20 July. Orlando, Florida.

Ouma, G. 2012. Fruit thinning with specific reference to citrus species: A review. *Agriculture and Biology Journal of North America* 3(4): 175-191.

Rosa, UA., Thompson, JF., Slaughter, D., DeJong, T., Shackel, K., Tiamzon, J. and Johnson, S. 2004. Feasibility study of using electromagnetic shaker technology for peach thinning. *In Proc. Int. Conf. AgEng. 1116-1117.* 12–16 September, Leuven, Belgium.

Rosa, UA., Cheetancheri, KG., Gliever, CJ., Lee, SH., Thompson, J. and Slaughter, DC. 2008. An electro-mechanical limb shaker for fruit thinning. *Comput. Electron. Agric*. 61: 213–221.

Stover, E., Ciliento, S., Ritenour, M. and Counter, C. 2002. NAA thinning of 'Murcott': comparison of small plot and commercial harvest data. *Proceedings of Florida State Horticultural Society* 115: 287-291.

Análisis de diferentes estrategias de poda mecanizada sobre la producción de naranja variedad Navel y sus costes

Guillermo Mateu[1], Antonio Torregrosa[2], Florentino Juste[2], Bernardo Martin-Gorriz[3], Patricia Chueca[1]

[1] Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Ctra. CV- 315, km. 10. 46113 Moncada (Valencia). España. E-mail: mateu_gui@gva.es ; chueca_pat@gva.es

[2]Universitat Politècnica de València-DIRA. Camino de Vera s/n 46022 Valencia. España. E-mail: torregro@dmta.upv.es; flojuspe@alumni.upv.es;

[3]Universidad Politécnica de Cartagena. Área de Ingeniería Agroforestal. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena (Murcia). E-Mail: b.martin@upct.es;

Resumen

La rentabilidad de la citricultura española está sufriendo grandes reducciones debido al incremento de los costes de producción y a los bajos precios percibidos por el agricultor.

De las operaciones de cultivo, la poda se realiza de manera manual y puede suponer hasta un 11,7 % de los costes totales de producción. El objetivo de este estudio es conocer el efecto de diferentes estrategias de poda mecánica frente a la poda manual sobre la producción de naranjas en la variedad `Navel Foios´ y determinar sus costes.

Para ello, se llevó a cabo en una parcela comercial ubicada en Alcublas (Valencia) un ensayo con un diseño experimental de bloques al azar en el que se evaluaron durante una campaña seis estrategias de poda: control (C) (sin poda), poda manual (M) (realizada con sierra manual y tijeras de podar), y cuatro intensidades de poda mecanizada mediante el uso de una podadora de discos: FTDI (Falda, Altura, Lateral lados derecho e izquierdo), FTR (Falda, Altura, Repaso manual), FTDR (Falda, Altura, Lateral lado derecho, Repaso manual), FTD (Falda, Altura, Lateral lado derecho). Cada tratamiento se realizó sobre 3 árboles sucesivos y se consideró el árbol central como unidad experimental. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento.

La poda mecánica redujo sustancialmente los costes de poda mientras que no se encontraron diferencias significativas de producción entre los tratamientos. Estos resultados se contrastarán con los resutlados obtenidos en las próximas campañas.

Palabras clave: podadora de discos, mecanización, capacidades de trabajo, cítricos

Analysis of the different mechanical pruning strategies on the production of Navel oranges and its costs

Abstract

The profitability of citriculture in Spain is undergoing considerable reductions due to the increasing production costs and the low prices perceived by the farmers.

Among the farming operations, pruning is done manually, which can lead to an increase in total production costs of up to 11.7%. The objective of this study is to understand the impact of the different mechanical pruning strategies against manual pruning on the production of *Navel Foios* orange variety and to determine their costs.

For the purpose of this study, a trial with random blocks experimental design was carried out in a commercial orchard located in Alcublas (Valencia). In one season, six pruning strategies were assessed: control (C) (no pruning); manual pruning (M) (with hand saw and pruning shears); and four mechanical pruning intensities using a disc pruner: FTDI (Skirting, Topping, Hedging both sides), FTR (Skirting, Topping, Manual), FTDR (Skirting, Topping, Hedging Right side, Manual), FTD (Skirting, Topping , Hedging Right side). Each treatment

was performed on 3 successive trees, the middle one was considered the experimental unit. 3 repetitions of each treatment were carried out.

Mechanical pruning reduced the pruning costs considerably, and significant differences in production were not observed between the treatments. These results will be compared with those obtained in the following seasons.

Keywords: disc pruner, mechanization, work capacity, citrus

1. Introducción

España es el sexto productor de cítricos a nivel mundial y el primer exportador para su consumo en fresco, al que destina alrededor del 50% de su producción. De ahí que los cítricos sean un producto clave en la economía agraria española. La superficie total destinada al cultivo es de alrededor de 300 000 ha y se concentra principalmente en la Comunidad Valenciana, Andalucía y la región de Murcia. De esa superficie total el 50 % se destina al cultivo de naranjo, el 36 % al de mandarino y el 14 % restante al limonero (MAGRAMA, 2015).

Pese a la importancia económica y social de la citricultura, las rentas de los agricultores están sufriendo grandes reducciones debido principalmente a un incremento constante de los costes de producción, al aumento de los precios de los bienes de equipo, de las materias primas y de la mano de obra, a lo se suma el estancamiento o incluso reducción de los precios percibidos por los agricultores en la últimos años.

La comercialización de los cítricos está organizada de tal forma que el precio que recibe el agricultor se realiza por descuento: las cadenas de alimentación fijan un precio al consumidor, sobre éste, la cadena de distribución descuenta su beneficio, después, los centros de acondicionamiento del producto (centrales y almacenes de confección) deducen su beneficio. Por último, los recolectores descuentan sus costes. Al final del proceso, el productor recibe un precio que no le permite obtener beneficios y, en los últimos años, incluso supone graves pérdidas económicas. Esta manera de fijar el precio que recibe el agricultor, que se conoce como venta “a resultas”, hace que el elemento de la cadena que más riesgos corre es el que menos rentabilidad obtiene del proceso.

Una manera de que los agricultores aumenten su nivel de renta es disminuir los costes de producción. En España éstos son muy elevados, de hecho superan ampliamente los costes de producción de los países competidores en mercados exteriores, como es el caso de EE.UU. (Florida o California) o incluso de los países que compiten directamente en el mercado europeo como Marruecos, Egipto o Israel (Juste et al., 2000).

En general, la poda en cítricos España se realiza de forma manual. Para realizar la poda manual y la eliminación de los restos de poda con la trituradora se emplean alrederor de 69 h/ha, lo que supone un 11,6% de los costes totales de producción (Juste et al., 2000). Mecanizar la poda daría lugar a un mayor margen de beneficios para los agricultores siempre que esta no afecte a la producción o a la calidad de la fruta.

En USA la poda mecánica comenzó a realizarse de forma experimental en los años 50, demostrándose que la poda mecánica complementada con poda manual podía reducir los costes en un 30-50% sin afectar a la producción ni a la calidad del limón (Moore, 1958). En España se realizaron los primeros ensayos en los años 70 - 80, observaron que en el año de la poda, el rendimiento de los árboles podados disminuyó con respecto a los árboles sin podar, pero al año siguiente, cuando todos los árboles seguían sin podar, los rendimientos eran similares en todos los tratamientos. En promedio, para los dos bienios, el rendimiento en todos los tratamientos de poda de las naranjas de "Washington Navel" fue menor que en los tratamientos no podados (14%). En las naranjas 'Salustiana', sin embargo, no hubo diferencias entre los árboles sin podar o podados a mano, pero hubo una reducción del 17% en el rendimiento de los que fueron podados mecánicamente con respecto a los que no se podaron (Ortiz-Cañavate, 1979; Zaragoza, 1980 y 1981). Está demostrado

que el año en que se practica la poda mecánica, se reduce la producción, pero si se analiza el efecto de la poda mecánica a lo largo de varios años, este efecto se diluye porque el árbol compensa en los años que no reciben poda, la producción perdida en los años en que reciben poda mecánica (Zaragoza y Alonso, 1980; Fallahi y Kilby, 1997; Kallsen, 2005; Rouse et al., 2006; Sauls, 2008; Mendoça et al., 2008; Yildirim et al., 2010; Martín-Górriz et al.,2014):

El objetivo de este estudio es conocer el efecto de diferentes estrategias de poda mecánica frente a la poda manual sobre la producción y calidad de naranjas en la variedad `Navel Foios´ y determinar sus costes.

2. Materiales y Métodos

El ensayo se realizó en una parcela comercial de naranjos de la variedad `Navel Foios´ injertada sobre `Citrange carrizo´ con una superficie de 0,3 ha situada en el municipio de Alcublas (Valencia: coordenadas 39°43'6.47"N, 0°38'35.05"W). El marco de plantación es de 6 m × 3 m y los árboles están plantados sobre una meseta de unos 35 cm de alto. La altura media de la copa, antes de la poda, era de 2,56 m, con 3 m de ancho y 4,14 m de profundo, por lo que considerando la copa como un elipsoide, se estimó un volumen de vegetación medio de 17,63 m^3.

El diseño experimental consistió en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Para cada tratamiento se eligieron tres árboles sucesivos y como unidad experimental se consideró el árbol central. Se realizaron seis tratamientos o estrategias de poda diferentes: C (Control, sin poda), M (Manual, con tijeras de poda y serrucho), FTR (Faldas, poda en altura y repaso manual árbol completo), FTDR1 (Faldas, poda en altura, poda lateral y repaso manual1 a una sola cara), FTD (Faldas, poda en altura y poda lateral derecho) y FTDI (Faldas, poda en altura y poda lateral a ambos lados). Para realizar la poda mecánica se utilizó una podadora con cinco discos de corte (Modelo Pantógrafo, Industrias David, Yecla, Murcia) y un tractor Kubota Narrow 19540 (Kubota machinery, Osaka, Japan). La poda en altura se realizó con dos pases horizontales para cubrir toda la copa, y la poda lateral con un sólo pase por cada lado. Las faldas se podaron con un cortasetos (Stihl H5 82R), los tiempos se estimaron como si se realizara la poda lateral con la podadora de discos.

Las variables respuesta a considerar en los ensayos fueron:

- Longitud (cm) de las ramas cortadas en función del tipo de corte. Se midieron 100 ramas por tipo de corte.

- Diámetro (mm) de las ramas cortadas en función del tipo de corte. Se midieron 100 ramas por tipo de corte.

- Biomasa (kg/árbol) obtenida en función del tratamiento. Se pesaron las ramas cortadas con un dinamómetro digital (Advanced Force Gauge 500 N, Mecmesin, England, U.K.).

- Tiempos (min/árbol) obtenidos en función del tipo de corte y del tratamiento. Se midieron los tiempos empleados para realizar los diferentes cortes. Los tiempos por tratamiento se obtuvieron realizando el sumatorio de los tiempos empleados en realizar los distintos cortes .

- Producción absoluta (kg/árbol). La fruta recolectada se pesó con un dinamómetro digital.

- Producción relativa al volumen de copa (kg/m^3). La fruta recolectada se pesó con un dinamómetro digital. El peso obtenido se dividió entre el volumen de copa medido.

- Calibre (mm) de los frutos. Se midió con un calibre digital.

Para estudiar el efecto de los diferentes tipos de corte sobre las variables respuesta longitud y diámetro de las ramas y biomasa se realizó un análisis de la varianza simple (ANOVA). De igual modo, para estudiar el efecto de las diferentes estrategias de poda sobre las variables respuesta biomasa, tiempos, producción absoluta, producción relativa al volumen de copa y calibre se realizó un análisis

de la varianza simple (ANOVA). En todos los análisis se comprobó que los datos cumplían la hipótesis de homocedasticidad mediante el Test de Levene. La normalidad de los datos se comprobó mediante papel probabilístico normal. Para comparar las medias de los tratamientos se utilizó la prueba Diferencias Mínimas al Cuadrado (LSD). En todos los análisis se consideró un nivel de confianza del 95%.

Para obtener las capacidades de trabajo teóricas se utilizó el tiempo (min) medido para podar un árbol y se calculó el número de árboles podados por hora (árbol/hora). Para los costes se consideró el coste del podador a 9,4 €/h, el coste del tractorista a 10 €/h y un total de 463 árboles/ha. Los costes de la maquinaria se obtuvieron siguiendo la metodología ASABE. Los costes se obtuvieron utilizando la siguiente fórmula:

$$Costes\ \left(\frac{€}{ha}\right) = \frac{1}{CTT} \times C \times N \quad (1)$$

Siendo CTT la capacidad de trabajo teórica (árbol/h), C el coste en €/h de la maquinaria más el tractorista o de los podadores y N el número de árboles/ha. Los costes totales se obtuvieron mediante la suma de los costes de la poda manual y mecánica.

3. Resultados y Discusión

3.1. Caracterización de la biomasa podada

Los diámetros y las longitudes de las ramas podadas fueron mayores significativamente para los cortes manuales, ya sea poda manual o poda manual de repaso tras pasar la podadora de discos, que para los cortes realizados con la podadora de discos (Tabla 1).

Respecto a la biomasa obtenida con poda mecánica se observó que la poda lateral y la de las faldas presentaron similares diámetros y longitudes no encontrándose diferencias significativas. Sin embargo la biomasa resultante en altura presentó valores de diámetro significativamente mayores y similares de longitud. Entre las diferentes operaciones de poda manual se observó que la poda integra manual presentó de manera significativa mayores diámetros y longitudes respecto a los repasos manuales.

Tabla 1. Diámetros y longitudes medias, mínimas y máximas de las ramas podadas en función del tipo de corte.

Tipo de corte	Diámetro (mm)			Longitud (cm)		
	Med	Máx	Min	Med	Máx	Min
Lateral	4,59 (0,14)*a	17,92	1,48	29,02 (0,69)*a	86	12
Faldas	4,61 (0,15)*a	18,54	1,69	29,76 (0,82)*a	82	9
Altura	5,91 (0,26)*b	21	3	28,88 (1,22)*a	86	3
Repaso manual	14,73 (1,18)*c	41,57	4,2	73,94 (3,94)*b	140	20
Repaso manual1	16,22 (0,76)*c	49,6	2,51	87,23 (3,29)*c	192	14
Manual	18,17 (0,79)*d	48,9	6,23	102,11 (3,44)*d	215	37

(ER)*: Error estándar; Letras dentro de las diferentes columnas muestran diferencias significativas entre tipos de corte (LSD, 95%).

En los tratamientos de poda manual integral o poda manual de repaso a todo el árbol (FTR) tras pasar la podadora de discos se obtuvieron biomasa mayores que en los tratamientos de poda mecánica y con repaso a un lado aunque las diferencias sólo fueron significativas para el de FTR debido a la variabilidad de los datos (Tabla 2). Este resultado coincide con los obtenidos para las experiencias de poda realizadas en mandarino `Fotune´ (Martin-Gorriz et al., 2014) y con las experiencias realizadas en `Valencia Late´ (Velazquez et al., 2010).

Tabla 2. Biomasa media por árbol en función del tipo de tratamiento

Tratamiento	**Biomasa media (kg/árbol)**
C	0 (0)*a
FTDI	3,76 (1,21)*a
FTD	9,29 (6,04)*ab
FTDR1	9,37 (3,22)*ab
M	18,86 (2,56)*bc
FTR	27,73 (4,03)*c

*: Error estándar; Letras en las columnas muestran diferencias significativas entre biomasa (LSD, 95%).

3.2. Tiempos de poda, capacidad de trabajo teórica y costes

La velocidad de trabajo del tractor era de 2,33 km/h para las faldas y la poda lateral. Para la poda en altura la velocidad de trabajo era de 2,61 km/h. En la tabla 3 se muestran los tiempos medios obtenidos en función del tipo de corte y en función del tratamiento. El tratamiento que empleó más tiempo fue la poda manual, con 9.27 min/árbol, seguido del tratamiento FTR con 8.10 min/árbol aunque las diferencias entre dichos tratamientos no resultaron significativas. Cuando el repaso manual sólo se hizo por un lado (FTDR1) se redujo de forma significativa el tiempo de poda respecto al manual, empleandose un total de 3.90 min/árbol. Finalmente, los tratamientos con tan sólo poda mecánica, FTD y FTDI emplearon significativamente tiempos menores, con tan sólo 0.31 y 0.23 min/árbol respectivamente.

Tabla 3. Tiempos medios de poda en función del tipo de corte y tratamiento

Tipo de corte	Tiempo medio (min/árbol)	Tratamiento	Tiempo medio (min/árbol)
Lateral	0,08	C	0 (0)*a
Repaso manual1	3,67	FTD	0,23 (0)*a
Manual	9,27	FTDI	0,31 (0)*a
Repaso manual	7,95	FTDR1	3,90 (0,90)*b
Altura	0,07	FTR	8,10 (0,67)*c
Faldas	0,08	M	9,27 (0,97)*c

*: Error estándar; Letras en las columnas muestran diferencias significativas entre tiempos (LSD, 95%).

Para la obtención de los costes, siguiendo la metodología ASABE, se obtuvo el coste para la maquinaria (podadora de discos + tractor + tractorista) de 46 €/h. El coste de cada tratamiento se obtuvo como la suma de los costes de la poda manual y los costes de la poda mecánica implicados en cada uno de ellos (Tabla 4). El tratamiento con el coste más elevado fue el M, que ascendió a 672,41 €/ha. La poda mecánica con posterior repaso manual del árbol completo (FTR) redujo los costes en un 6,3%. En el FTDR1 los costes se redujeron en un 48,27% y finalmente el coste de la poda exclusivamente mecánica (FTDI) ascendió a 109,45 €/ha, es decir, los costes se redujeron en un 83,72%.

Tabla 4. Capacidades teóricas de trabajo y costes

Tratamiento	C.T.T manual (árbol/h)	C.T.T mecanizada (árbol/h)	Costes (€/ha)
M	6,47	0	672,41
FTR	7,55	400	629,91
FTDR1	16,35	260,85	347,85
FTD	0	260,85	81,64
FTDI	0	194,59	109,45

3.3. Calibre de la fruta y producciones relativas/absolutas de la fruta

Las diferentes estrategias de poda no tuvieron efecto sobre los calibres ya que no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (Tabla 5). En todos los casos los calibres de la fruta cumplieron con los mínimos demandados por los mercados. En cuanto a las producciones absolutas (kg/árbol) se observó que fueron mayores para los tratamientos FTR y FTDI. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos con los valores de producciones relativas al volumen de copa (kg/m^3), encontrandose el valor más elevado para el tratameinto FTDR1. A diferencia de lo que ocurre en mandarino `Fortune´ (Martin-Gorriz et al., 2014) las producciones

absolutas y relativas más elevadas no se encuentraron en el tratamiento M. En la producción relativa se observa que el tratamiento C presentó una de las produciones más elevadas, por detrás del tratamiento FTDR1. El mayor calibre se encuentra en el tratamiento FTDR1.

Tabla 5. Calibre medio de la fruta y producción absoluta y relativa al volumen de copa media

Tratamiento	**Calibre medio (mm)**	**Producción absoluta media(kg/árbol)**	**Producción relativa al volumen de copa media (kg/m^3)**
C	72,88 (2,28)*a	87,23 (10,56)*a	7,23 (0,71)*a
M	76,05 (0,69)*a	107,52(20,26)*ab	6,13 (1,30)*a
FTDR1	76,89 (2,87)*a	102,14 (7,05)*ab	8,02 (1,40)*a
FTD	74,01 (1,65)*a	106,5 (11,52)*ab	7,07 (0,54)*a
FTDI	75,79 (2,33)*a	120,15(10,98)*ab	7,2 (0,19)*a
FTR	75,96 (0,36)*a	125,89 (6,19)*b	6,57 (0,48)*a

*: Error estándar; Letras dentro de las diferentes columnas muestran diferencias significativas entre calibres y producciones (LSD, 95%).

4. Conclusiones

Las diferentes estrategias de poda no han afectado a la producción ni al calibre de la fruta, por lo que los precios precibidos por el agricultos resultarían similares. Sin embargo, los coste de las estrategias en las que hay una poda manual a la totalidad del árbol son muy superiores que las estrategías únicamente mecánicas o combinadas con poda a medio árbol. Por lo tanto, los resultados obtenidos en una campaña indican que en la variedad Navel Foios la poda mecánica aumentaría de manera considerable la rentabilidad del cultivo.
Con el fin de confirmar estos resultados y obtener conclusiones consistentes, este ensayo se repetirá en las próximas campañas.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto "Aplicación de nuevas tecnologías para una estrategia integral de la recolección mecanizada de cítricos (CITRUSREC)" financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) y el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España (proyecto RTA2014-00025-C05-00) y cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Guillermo Mateu es beneficiario de una beca de formación y especialización del fondo social europeo (FSE). Agradecer a Benjamín Torres la cesión de la parcela experimental y su colaboración.

Bibliografía

ASABE Standards. 2014. D497.7. Agricultural Machinery Management Data. St. Joseph, Mich.

ASABE Standards. 2014. D496.3. Agricultural Machinery Management. St. Joseph, Mich.

Fallahi, E., Kilby, M. 1997. Rootstock and pruning influence on yield and fruit quality of 'Lisbon' lemon. *Fruit Varieties Journal* 51: 242-246.

Juste, F., Martín, B., Fabado, F., Moltó, E. 2000. Estudio sobre la reducción de los costes de producción de cítricos mediante la mecanización de las prácticas de cultivo. *Comunidad valenciana agraria* 12: 23-29.

Kallsen, C.E. 2005. Topping and manual pruning effects on the production of commercially valuable fruit in a midseason Navel Orange variety. *HorTecnology* 15: 335-341.

MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente), 2014. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/).

Marti, V., González, E. F. 2010. The influence of mechanical pruning in cost reduction, production of fruit, and biomass waste in citrus orchards. *Applied Engineering in Agriculture*, 26(4): 531-540.

Martin-Gorriz, B., Castillo, I. P., Torregrosa, A. 2014. Effect of mechanical pruning on the yield and quality of 'Fortune'mandarins. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12(4): 952-959.

Mendonça, V., Ramos, J. D., Neto, S. E. A., Rufini, J. C. M. 2008. Production of 'Poncan' tangerine tree after pruning recovery. *Ciencia e Agrotecnologia* 32: 103-109.

Moore, P.W. 1958. Mechanical pruning for citrus. *California Agriculture* 11: 7-13.

Ortiz-Cañavate, J. 1979. Mechanical pruning of citrus. Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. *Tecnología Agraria* 5: 155-167.

Rouse, B., Parsons, L., Wheaton, T.A. 2006. Hedging, topping and skirting trees in the citrus canker era. *Citrus Industry* 12: 2 pp.

Sauls, J. W. 2008. Citrus pruning. *Texas Citrus and Subtropical fruits*. http://aggie-horticulture.tamu.edu/citrus/pruning/L2308.htm. Accessed 14/3/2008.

Yildirim, B., Yesiloglu, T., Incesu, M., Kamiloglu, M., Ozguven, F., Tuzcu, O., Aka, Y. 2010. The effects of mechanical pruning on fruit yield and quality in 'Star Ruby' grapefruit. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8: 834-838.

Zaragoza, S., Alonso, E. 1980. La poda mecanizada de los agrios en España. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias*. Serie: Producción Vegetal 12: 157-180.

Zaragoza, S., Alonso, E. 1981. *Citrus pruning in Spain. Proc. Int. Soc. Citric*. 1: 172-175.

Modelo de predicción de tracción de las labores de alzado con diferentes aperos

Mariano Suárez de Cepeda[1] , Raimundo Romero[2]

[1] ETSIAM-UCLM, Av. Ciudad Universitaria, s/n, 02071 Albacete, España. mariano.suarez@uclm.es

[2] ETSIAM-UCLM, Av. Ciudad Universitaria, s/n, 02071 Albacete, España. raimundo.romero@uclm.es

Resumen

Labrar es preparar la tierra gradualmente para que las plantas fructifiquen.

Los aperos de laboreo primario desplazan y destruyen el suelo para alterar el perfil de los horizontes del suelo y reducir su resistencia y enterrar o mezclar materiales vegetales, plaguicidas y fertilizantes en la capa de labranza. El laboreo primario es el más agresivo, profundo, y deja una superficie de suelo más rugosa.

El presente trabajo consiste en la determinación de un modelo de tracción por medio de la realización de una serie de ensayos con aperos para las labores de alzado (arado de vertedera, arado de discos y fresadora).

El material utilizado para realizar las mediciones de campo está compuesto de controlador de prestaciones para tractores DICKEY-john CMS 100 (consola, captador de velocidad, radar, caudalímetro de fuel, y contador de parada automática), sistema de adquisición de datos SA64/AD32, y sensores de esfuerzo para los brazos de tiro del tractor (ejes dinamométricos, marca Vibrometer modelo LB 214, con carga de 50 kN, y diámetro medio de 50 mm).

Los ensayos han sido realizados en distintos tipos de suelo, variando la profundidad, anchura, velocidad y condiciones del suelo para tres tipos de aperos diferentes de laboreo primario: arado de vertedera, arado de discos y fresadora.

Los resultados permiten obtener los modelos de predicción de tracción para cada uno de los aperos, pudiendo concluir que la tracción aumenta con texturas más finas del suelo, la profundidad, la anchura y la velocidad de trabajo.

Palabras clave: Maquinaria agrícola, suelo, tractor, arado de vertedera, arado de discos y fresadora.

Draft prediction models for primary tillage implements

Abstract

Tilling is soil gradually preparing for plant growth.

Primary tillage implements displace and shatter soil to reduce soil strength and to bury or mix plant materials, pesticides, and fertilizers in the tillage layer. Primary tillage is more aggressive, deeper, and leaves a rougher soil surface relative to secondary tillage.

This work consists a test by to determine draft prediction model for primary tillage implements.

The material used for field measurements consists in: tractors DICKEY-john CMS 100 (console, speed sensor, radar, fuel flow meter and automatic stop), data acquisition system SA64/AD32 and sensors for draft (axle dynamometer, vibrometer LB 214, with load of 50 kN, and mean diameter of 50 mm).

The experiences for primary tillage implements (moldboard plow, disc plow and rotavator) have been conducted in different soil types and in different conditions (depth, width, velocity and soil conditions).

The results allow draft prediction models for each of the tools.

Keywords: Agricultural implement, draft, plow, tilllage, data acquisition system, plow, rotavator

1. Introducción

Labrar es preparar la tierra gradualmente para que las plantas fructifiquen.

Se distinguen dos tipos de labores preparatorias: labores profundas y labores superficiales.

Generalmente el laboreo profundo se corresponde con las labores de tipo primario, y las superficiales con los laboreos de tipo secundario y complementario.

Los aperos de laboreo primario se encargan de desplazar y destruir el suelo para reducir su resistencia y enterrar o mezclar materiales vegetales, plaguicidas y fertilizantes en la capa de labranza. El laboreo primario es más agresivo, más profundo, y deja una superficie del suelo más rugosa que el laboreo secundario.

Durante las operaciones de laboreo se le somete al suelo a unas variaciones de carga para causarle un grado de deformación y rotura, venciendo su natural resistencia.

Las fuerzas paralelas a la dirección de trabajo requeridas para propulsar los distintos tipos de aperos de las diferentes operaciones agrícolas es lo que se denomina tracción.

Los requerimientos de tracción necesarios para el accionamiento de los aperos, que va a proporcionar la unidad motriz (tractor), van a depender de las propiedades del suelo, los parámetros de la operación, la geometría y forma de la herramienta, así como la disposición de la misma.

El estudio de estas fuerzas permite avances en la generación del conocimiento para la mejor utilización de los recursos y de las necesidades de estructura y potencia.

Bajo esta perspectiva el objeto de este trabajo consiste en la realización de un ensayo para la determinación de la tracción de diferentes aperos de laboreo primario variando distintos parámetros de la operación y en distintos tipos de suelo.

La utilidad de conocer los esfuerzos de tracción de distintos aperos de labores primarias, a nivel de suelos de Castilla-La Mancha (España) y en distintas condiciones de operación, permite complementar los conocimientos ya existentes, establecer comparaciones con otros estudios de similares características, crear unas tablas de requerimientos de tracción de los implementos y crear mapas de tracción en suelos y condiciones de diferentes geografías y condicionantes naturales. Estos estudios permiten, así mismo, completar la experiencia sobre aperos con peculiaridades específica y completar el conocimiento del amplio espectro de los mismos.

En este sentido, el esfuerzo de tracción es un parámetro importante para medir y evaluar el rendimiento de los aperos en cuanto a requerimientos de energía. Son muchos los estudios encaminados para determinar los requerimientos en tracción y en energía de los aperos de labranza bajo diferentes condiciones de trabajo. Se han desarrollado modelos matemáticos para predecir el esfuerzo de tracción de algunas herramientas de labor, sin olvidar la dificultad que ello supone debido a las complejas interacciones entre una herramienta de labor y el suelo.

Kydd et al. (1984) desarrollaron ecuaciones del esfuerzo de tracción para aperos de labranza y encontraron que las variaciones en las condiciones climáticas, de humedad, dureza y tipo de suelo hicieron difícil obtener datos repetidos de esta fuerza.

Nicholson et al. (1984) midieron los requerimientos en tracción de un arado de discos, un arado de rejas y un arado chisel en suelos de marga y limo y de marga, arcilla y limo. Ellos relacionaron el esfuerzo de los discos con su masa, mientras que los requerimientos para el chisel y el arado de rejas dependían de la profundidad y velocidad. Sugirieron el siguiente modelo para el requerimiento en tracción del arado chisel y el arado de rejas:

$$UD = \left(\frac{d}{r_d}\right)^n (a + bS) \quad (1)$$

donde:

UD: esfuerzo específico (FL^{-1}).

d: profundidad de labor (L).

r_d: profundidad de referencia de 8,26 cm (L).

S: velocidad de trabajo (LT^{-1}).

a, b: coeficientes de regresión.

n: 1 para el arado de rejas y 2 para el arado chisel.

ASAE Standards (2012) proporciona expresiones matemáticas de los requerimientos en tracción y energía para los aperos de labor en varios tipos de suelos.

Palmer y Kruger (1982) observaron que la energía requerida en tracción para labrar un área dada dependía de la profundidad de labor y la velocidad de trabajo del apero.

Bloome et al. (1983) midieron el efecto de la velocidad en los esfuerzos de tracción característicos de un arado de vertedera, un arado chisel con rejas cola de golondrina y otro con rejas en V, y un arado de discos sobre arena fino-margosa y suelo margo-limoso. Encontraron que en arena fino-margosa el esfuerzo de tracción del chisel con rejas cola de golondrina era casi independiente de la velocidad, mientras que el esfuerzo en suelo margo-limoso era dependiente de ésta. Los requerimientos en tracción de los discos y el arado chisel con rejas en V sobre el suelo de arena fino-margosa mostraron poca influencia con la velocidad.

Collins et al. (1978) presentaron la siguiente relación entre el esfuerzo unitario y la velocidad para el arado de vertedera en tres tipos de suelo:

$$UD = BD\left(1 + b_1 S + c_1 \cdot S^2\right) \quad (2)$$

donde:

UD: esfuerzo específico (FL^{-2}).

BD: esfuerzo específico base (FL^{-2}).

S: velocidad de trabajo (LT^{-1}).

B_1: b/a, c_1: c/a.

a, b, c: constantes empíricas.

Cullum et al. (1989) informaron que los requerimientos en tracción de los discos, sembradora de azadas, discos unidireccionales con sembradora y rodillo compactador exhibieron una dependencia lineal con la velocidad.

Rowe y Barnes (1961) y Long et al. (1987) afirmaron que los requerimientos de potencia debidos al esfuerzo de tracción específico se incrementaban cuando lo hacía la velocidad.

Sommer et al. (1983) establecieron que el cambio en la velocidad de 2,5 a 3 m/s con un arado de discos se tradujo en un incremento del esfuerzo entre el 5 y el 10%.

Krishan et al. (1988) propusieron una ecuación cuadrática debida a la velocidad de trabajo para explicar la variación del esfuerzo de tracción específico de unos discos en cuando se utilizaron como apero de labor primaria.

Bloome et al. (1983) explicaron que el esfuerzo de tracción para unos discos era una función lineal de la profundidad.

Kydd et al. (1984) desarrollaron ecuaciones para el esfuerzo medio de aperos de labranza empleados en el oeste de Canadá. Encontraron que el esfuerzo de tracción dependía principalmente de la profundidad de labor.

Evans et al. (1984) comunicaron que cada configuración de un equipo de labranza tenía una profundidad a la cual el esfuerzo de tracción específico era mínimo, con lo cual sugirieron la posibilidad de una profundidad óptima de operación para una configuración dada.

Summers et al. (1986) estudiaron los efectos de la velocidad y profundidad de labor en el esfuerzo de tracción de cuatro aperos de labor primaria (arados de vertedera, arados chisel, arados de discos y arados de rejas). Establecieron que el esfuerzo era una función lineal y cuadrática de la velocidad para los tres últimos y el arado de vertedera, respectivamente. También indicaron que la fuerza de tiro era directamente proporcional a la profundidad para todos los aperos ensayados.

Grisso et al. (1996) desarrollaron ecuaciones de regresión para los esfuerzos de tracción de un arado de discos, un arado chisel y un cultivador, basadas en la velocidad de trabajo y la profundidad de labor. El efecto de la profundidad de labor en el esfuerzo de tracción del arado de discos, arado chisel y cultivador tenía más influencia que la velocidad de trabajo. Las ecuaciones a las que llegaron fueron las siguientes:

$$D_{ds} = C_1 \cdot d + C_2 \cdot d^2 + C_3 \cdot S \quad (3)$$

$$D_{cs} = C_1 \cdot d + C_2 \cdot d^2 + C_3 \cdot S \quad (4)$$

$$D_{fc} = C_1 \cdot d + C_2 \cdot d^2 + C_3 \cdot S + C_4 \cdot d \cdot S \quad (5)$$

donde:

D_{ds}: esfuerzo del arado de discos (N).

D_{cs}: esfuerzo del arado chisel (N).

D_{fc}: esfuerzo del cultivador (N).

d: profundidad de labor (cm).

S: velocidad de trabajo (km/h).

Ci: coeficientes de regresión.

Stephens et al. (1981) comunicaron diferencias del 25 al 50% cuando compararon los datos del esfuerzo de tracción de varios aperos de labranza. Las diferencias fueron atribuidas a la cantidad de labor que era realizada. Apuntaron una variación del 30% en fuerzas de tracción entre varias marcas de arados de vertedera. También establecieron la hipótesis de que podrían existir diferencias similares en otros equipos de laboreo.

ASAE Standard D497.7 (2012) provee una ecuación lineal generalizada para predecir los requerimientos de tracción de los implementos por medio del uso de una tabla que contiene los coeficientes de una ecuación generalizada para ser aplicada a cada uno de los tipos de apero y texturas del suelo. Bowers (1989) realizaba una serie de ensayos para determinar las ecuaciones de tracción y compararlas con los valores usados por ASAE Standard D497.4 (2012), remarcando la importancia de tener datos locales en cuanto a esfuerzo de tracción de las distintas máquinas y aperos en los suelos y condiciones de una zona concreta.

2. Metodología

Los tractores empleados en la toma de datos de campo fueron:

NEW HOLLAND Fiatagri L85. Se trata de un tractor de 2+2 RM. Potencia nominal de 63 kW. Peso total de 5090 kg. Neumáticos de serie: delanteros – 380/70 R-24, traseros – 480/70 R-34.

NEW HOLLAND Fiatagri 110-90dt. Se trata de un tractor de 2+2 RM. Potencia nominal de 80 kW. Peso total de 6.600 kg. Neumáticos de serie: delanteros – 380/70 R-24, traseros – 480/70 R-38.

Los aperos empleados en las experiencias fueron:

Apero A. Arado de vertedera. Tipo: reversible. Reversibilidad: mecánica. Enganche: a los tres puntos. Nº. de cuerpos: cuatro. Tipo de vertedera: helicoidal. Medida de la vertedera: 14" (355 mm). Peso: 300 kg. Anchura de trabajo: 70 cm. Profundidad de trabajo: mínima de 22 cm, media de 27 cm., y máxima de 32 cm.

Apero B. Arado de discos. Tipo: fijo. Enganche: semisuspendido. Nº. de discos: cuatro. Diámetro de los discos: 28" (710 mm). Borde de los discos: liso. Anchura de trabajo: 125 cm. Profundidad de trabajo: mínima de 20 cm., media de 25 cm. y máxima de 30 cm.

Apero C. Fresadora. Enganche: a los tres puntos. Tipo: de eje transversal, accionada por la toma de fuerza (540 rpm). Nº. de coronas: nueve. Nº. de cuchillas: 54. Tipo de cuchillas: curvas. Anchura de trabajo: 180 cm. Profundidad media de trabajo: 10 cm. Tabla niveladora. Control de profundidad con patines. Peso: 350 kg.

El trabajo experimental se realizó en fincas de las provincias de Albacete y Cuenca. Los suelos de Albacete presentaban una textura franco-arenosa y franca. El suelo de la finca de Cuenca tenía una textura arcillosa.

Para la toma de datos de campo, lectura y almacenamiento de los diferentes parámetros controlados durante el ensayo, se utilizó un equipo compuesto por los siguientes elementos:

- Controlador de prestaciones para tractores DICKEY-john CMS100 constituido por una consola, un captador de velocidad en ruedas motrices, un radar que proporciona la velocidad real de avance, un caudalímetro de fuel, y un contador de parada automática de conteo.

- Sistema de Adquisición de datos AD32, compuesto de equipos electrónicos, informáticos y accesorios, que permite la captación, almacenamiento y visualización de un máximo de 32 señales analógicas procedentes de acondicionadores de instrumentación.

- Sensores de esfuerzo para los brazos de tiro del tractor, compuesto de dos ejes dinamométricos en los brazos de tiro del tractor.

Los canales que se mantuvieron activos en el ordenador eran para medir los esfuerzos de tracción (uno para cada brazo de tiro), uno para el consumo de combustible, otro para la velocidad teórica y un último para la velocidad real. La duración de cada ensayo quedó establecida en 30 segundos y la frecuencia de muestreo en 900 Hz lo que se traduce en un total de 27.000 datos por canal.

Los ensayos de los aperos en campo se realizaron, para las características técnicas de cada apero a ensayar, haciendo funcionar el tractor en distintas condiciones de marcha, grupo reductor y regímenes (1500, 1750, 2000, 2250 y 2500 rev min^{-1}) a varias profundidades de trabajo (PN – normal, PG - máxima y PP – mínima), en dos tipos de tracción (simple y doble).

Concluida la sesión de trabajo en campo se procedió a obtener los valores medios para cada uno de los canales.

Se realiza un análisis de la varianza sobre diferenciación de medias y regresión de la ecuación de la resistencia del terreno al laboreo a partir de un modelo de la velocidad obtenido de la literatura para las texturas fuertes, y su estimación para las otras texturas.

3. Resultados y Discusión

En este apartado se van a exponer los resultados de cada uno de los aperos por separado y una ecuación de regresión de la tracción de los aperos.

3.1. Arado de vertedera

El resultado de tracción en distintas condiciones de trabajo del apero se da en la tabla 1. Los superíndices se muestran por columnas y filas para cada uno de los grupos de ensayos realizados.

Tabla 1. Tracción en arado de vertedera en distintas condiciones

Arado de vertedera	**Textura**		
Profundidad	**Suelta**	**Franca**	**Fina**
Poca	$4,12^{aA}$	$7,06^{mA}$	$12,04^{xB}$
Normal	$4,91^{abM}$	$8,81^{nN}$	$14,39^{yP}$
Grande	$5,74^{bX}$	$10,30^{pY}$	$16,82^{zZ}$

Nivel de significación α=0,05

3.2 Arado de discos

El resultado de tracción en distintas condiciones de trabajo del apero se da en la tabla 2. Los superíndices se muestran por columnas y filas para cada uno de los grupos de ensayos realizados.

Tabla 2. Tracción en arado de discos en distintas condiciones

Arado de discos	**Textura**		
Profundidad	**Suelta**	**Franca**	**Fina**
Poca	$5,68^{aA}$	$9,16^{mB}$	$18,41^{xC}$
Normal	$7,35^{bM}$	$14,13^{nN}$	$24,46^{yP}$
Grande	$9,00^{cX}$	$17,87^{pY}$	$29,15^{zZ}$

Nivel de significación α=0,05

3.3 Fresadora

El resultado de tracción de la fresadora se da en la tabla 3.

Tabla 3. Tracción de la fresadora en distintos tipos de suelo

Fresadora	**Textura**		
	Suelta	**Franca**	**Fina**
Única	$0,419^{a}$	$0,453^{a}$	$0,436^{a}$

Nivel de significación α=0,05

En la medición de la tracción de la fresadora se observan valores positivos y negativos de tracción, por lo que se da la circunstancia de que en ocasiones el apero empuja.

3.4 Variación de la tracción con la velocidad en los arados de vertederas

Para los arados de vertedera, los modelos de resistencia del suelo respecto a la velocidad ($km.h^{-1}$), son:

Terreno fuerte: $RE\,(N.cm^{-2}) = 1 \cdot \left(6,783 + 0,044 \cdot v^2\right)$ (R^2=0,376) (6)

Terreno medio: $RE\,(N.cm^{-2}) = 0,6 \cdot \left(6,783 + 0,044 \cdot v^2\right)$ (R^2=0,367) (7)

Terreno suelto: $RE\,(N.cm^{-2}) = 0,35 \cdot \left(6,783 + 0,044 \cdot v^2\right)$ (R^2=0,461) (8)

3.5 Variación de la tracción con la velocidad en los arados de vertederas

Para los arados de discos, los modelos de resistencia del suelo respecto a la velocidad (km.h^{-1}), son:

Terreno fuerte: $RE\,(N.cm^{-2}) = 1 \cdot \left(6{,}801 + 0{,}053 \cdot v^2\right)$ (R^2=0,357) (9)

Terreno medio: $RE\,(N.cm^{-2}) = 0{,}56 \cdot \left(6{,}801 + 0{,}053 \cdot v^2\right)$($R^2$=0,333) (10)

Terreno suelto: $RE\,(N.cm^{-2}) = 0{,}30 \cdot \left(6{,}801 + 0{,}053 \cdot v^2\right)$ (R^2=0,367) (11)

4. Conclusiones

Los resultados proporcionan datos acordes con la literatura y permite obtener datos para completar una tabla de requerimientos de tracción de los aperos y estimar la variabilidad de la resistencia específica del terreno según texturas y en función de la velocidad de trabajo.

Bibliografía

Bloome, P. D., Barchelder, D. G., Khalilian, A. y Riethmuller, G. P. 1983. *Effects of speed on draft of tillage implements in Oklahoma soils*. ASAE Paper No. 83-1032.

Bowers, C. G. 1989. *Tillage draft an energy measurements for twelve southeastern soil series*. ASAE Paper No. 86-1524.

Collins, N. E., Kemble, L. J. y Williams, T. H. 1978. *Energy requirements for tillage on coastal plains soil*. ASAE Paper No. 78-1517.

Cullum, R. F., Graham, W. D., y Gaultney, L. D. 1989. Energy requirements for barley production in interior Alaska. *Agroborealis*. Vol. 21(1): 24-29.

Evans, D. E., Johnson, C. E. y Schafer, R. L. 1984. Tillage tools how arrangements effect draft. *Agricultural Engineering*. Vol. 65(10): 18-24.

Grisso, T. D., Yasin, M. y Kocher, M. F. 1996. Tillage implement forces operatins in silty clay loam. *Transactions of the ASAE*. Vol. 39(6): 1977-1982.

Krishnan, P., Kemble, L. J., Williams, T. H. y Collins, N. E. 1988. *Draft requirements of disk harrows*. ASAE Paper No. 88-1504.

Kydd, H. D., Frehlich, G. E. y Boyden, A. R. 1984. *Tillage power requirements in Western Canada*. ASAE Paper No. 88-1027.

Nicholson, R. I., BASHFORD, L.. L. y Mielke, L. N. 1984. *Energy requirements for tillage from a reference implement*. ASAE Paper No. 84-1028.

Palmer, A. L. y Kruger, I. R. 1982. Comparative drafts of six tillage implements. In *Proc. Conf. on Agric. Eng*., 163-167, Armidale, NSW Australia, 22-24 August. Nat. Committee Agric. Engineering of Institution of Engineers, Australia.

Rowe, R. J. y Barnes, K. K. 1961. Influence of speed on elements of draft of a tillage tool. *Transactions of the ASAE*. Vol. 4(1): 55-57.

Sommer, M. S., Chen, S. H. y Bierl, J. F. 1983. *Disk blade performance*. ASAE Paper No. 83-1537.

Stephens, L. E., Spencer, A. D., Floyd, V. G. y Brixius. W. W. 1981. *Energy requirements for tillage and planting*. ASAE Paper No. 81-1512.

Summers, J. D., Khalilian, A. y Batchelder, D. G. 1986. Draft relationships for primary tillage in Oklahoma soils. *Transactions of the ASAE*. Vol. 29(1): 37-39.

Perdas de mosto na colheita mecânica de uvas: Comparativo Brasil e Espanha

Wilson Valente da Costa Neto[1], Pilar Barreiro Elorza[1]

[1] LPF-TAGRALIA, Edifío de motores, E.T.S.I. A.A.B., Universidad Politécnica de Madrid. Avd Complutense s/n, Ciudad Universitaria, CP 28040. e-mail:wilsonneto@unipampa.edu.br

Resumo

Para a colheita mecânica de uvas, a quase totalidade das colhedoras comerciais contam com um sistema de hastes sacudidoras que realizam o desprendimento do fruto do raquís, o que é uma vantagem, pois não há o transporte de matéria a ser descartada na vinícola. Contudo, estes órgãos ativos ocasionam um percentual de dano, como o rompimento da película e a consequente liberação de mosto, no qual parte é recolhida e armazenada junto com a uva nos reservatórios da máquina e parte é perdida em campo. Assim, este trabalho buscou comparar a perda de mosto em duas colheitas mecânicas, uma realizada no Brasil, com duas máquina do tipo de arrasto, em duas propriedades, que somadas as superfícies resultou em 50 ha. As frequências das hastes empregadas variaram de 480 a 570 ciclos min^{-1}. O segundo caso de estudo foi desenvolvido na Espanha, foram avaliadas três máquinas, sendo duas autopropelidas e uma de arrasto ao longo de 70 ha. As frequências das hastes foram de 450 a 540 ciclos min^{-1}. Para avaliação da perda de mosto foram utilizados papéis hidrossensíveis dispostos em 7 zonas distintas da videira: no solo, no primeiro fio de produção e nos demais pontos da vegetação, instalados previamente a passagem da máquina e após a colheita, recolhidos e arquivados para que não sofressem interferência ambiental, como o contato com outros líquidos. Posteriormente os papéis foram scanneados e as imagens tratadas com o uso de rotinas desenvolvidas no programa MatLab de modo a identificar os pontos de impacto e quantificar a área de recobrimento equivalente a cobertura de mosto sobre uma planta. Foram realizadas 29 avaliações, 14 no Brasil sendo 4 variedades tintas; na Espanha foram 15 avaliações com 5 variedades brancas. Os resultados demonstraram um percentual variável de recobrimento de mosto de 0.09% até 33.16% no Brasil e na Espanha o valor minimo foi de 0.11% e 14.65% máximo . Os maiores valores encontrados foram para as variedades brancas. As diferenças podem ser devido a produtividade, variedade de uvas, umidade relativa do ar (maior pela manhã). Contudo a um dos principais fatores que contribuem com a perda de mosto é a utilização não ajustada da faixa de frequencia das hastes sacudidoras em respeito ao tipo de uva a ser colhido.

Palavras-chave: Colhedoras de uvas, máquinas agrícolas, mecanização vitícola, viticultura mecanizada.

Most losses in mechanical harvesting of grapes: Comparative Brazil and Spain

Abstract

For the mechanical harvesting of grapes, almost all commercial harvesters rely on a system of shaking rods that effect the detachment of the fruit from the rachis, which is an advantage since there is no transport of matter to be discarded in the winery. However, these active organs cause a percentage of damage, as in the rupture of the grape skin and the consequent release of must, in which part is collected and stored together with the grape in the reservoirs of the machine and part is lost in the field. So, this work sought to compare the loss of must in two mechanical crops, one in Brazil, with two machines of the type of trawl, in different properties, which added the surfaces resulted in 50 ha. The frequencies employed ranged from 480 to 570 (beats min^{-1}). The second case study was developed in Spain, three machines were evaluated, two self-propelled and one trawling along 70 ha. The frequencies used were 450 to 540 (beats min^{-1}). In order to evaluate the loss of must, hydrosensitive papers were used in 7 different zones of the vine: in the soil, in the first production line and in the other vegetation points, previously installed before the machine was passed and after harvesting, collected and filed so that no environmental interference, such as contact with other liquids. Afterwards the papers were scanned and the images treated with the use of routines developed in the MatLab program in order to identify the impact points and to quantify the covering area equivalent to the covering of must on a plant. There were 29 evaluations, 14 in Brazil, 4 of which were red varieties; In Spain there were 15 evaluations with 5 white

varieties. The results showed a variable percentage of wort covering from 0.09% to 33.16% in Brazil and in Spain the minimum value was 0.11% and 14.65% maximum. The highest values were found for white varieties. The differences may be due to productivity, variety of grapes, relative humidity (higher in the morning). However one of the main factors contributing to the loss of must is the unadjusted use of the frequency range of the shafts in respect of the type of grape to be harvested.

Keywords: Grape harvesters, agricultural machines, winemaking mechanization, mechanized viticulture.

1. Introdução

A liberação do mosto durante a colheita mecânica de uvas é uma realidade indesejada a ser resolvida na etapa enológica. Uma vez rompida a película da baga, ocorre a exposição e contato da polpa com as leveduras presentes na casca é iniciado o processo de fermentação, ocasionando a oxidação dos compostos fenólicos e aromáticos e ainda, a prematura masseração, que somados os atrasos entre a colheita e o processamento, e a exposição a elavadas temperaturas acentuam o processo de degradação da uva armazenada (Baldini e Intrieri, 2004).

Quando Orton J.R. (1969) patenteou a máquina de colheita de uvas, apresentou um sistema de movimento horizontal de um conjunto de hastes flexiveis sobre o cultivo que deveria estar disposto em linha, o seu invento baseava-se na aplicacão de golpes cadenciados cuja a transferência de vibrações ocasionava o desprendimento da uva do raquís. Este princípio se mantem até os dias atuais e seus efeitos ainda são objeto de pesquisa.

Pezzi *et al.* (2013a) destacam que o desenvolvimento de experimentos voltados a avaliar diferentes sistemas de transmissão de vibração das hastes sacudidoras das colhedoras de uvas é tema de pesquisa na Itália. Assim como o mosto resultante do processo de colheita mecanizada que compõe de 25 a 30% da massa de frutos colhidos (Pezzi *et al.,* 2013b).

Deste modo, o o bjetivo deste trabalho foi o de avaliar a liberação de mosto em campo durante a colheita mecanizada em duas propriedades localizadas no Estado do Rio Grande do Sul – Brasil e em três propriedades localizadas no município de Villarrobledo na Espanha no transcorrer da safra de 2016, realizadas no mês de janeiro no Brasil e em setembro na Espanha.

2. Material e Métodos

Foram realizados duas avaliações em campo durante a colheita mecânica de uvas, a primeira no Brasil entre os dias 12/01 a 04/02/2016, em duas propriedades localizadas no Rio Grande do Sul, na qual utilizavam uma colhedora da marca Pellenc modelo 3052 Smart Systeme e Pellenc modelo 8050 na segunda propriedade, ambas máquinas de arrasto. Foram realizados 8 e 6 provas em diferentes horários, ambas operando com frequência entre 480 a 570 ciclos min^{-1} totalizando 14 avaliações com 4 variedade tintas e 10 brancas ao longo de 50ha.

Na Espanha, foram avaliadas três máquinas, sendo duas New Holland (modelo 9090X e SB6560) do tipo autopropelida, operando com frequência de 450 a 480 ciclos min^{-1} nas hastes sacudidoras e uma Pellenc 1815 do tipo de arrasto, com frequência de 540 ciclos min^{-1} nas hastes sacudidoras, totalizando 15 avaliações com 5 variedades de uvas brancas e 10 tintas distribuídas em 70 ha.

Para obtenção das informações de temperatura ambiente (°C) e umidade relativa do ar (UR%) , foi utilizado um termo-higrômetro digital marca Minipa modelo MT-241, instalado à sombra na área do vinhedo com antecedência mínima de 1h para o início do registro dos dados.

Foram utilizados papéis hidrossensíveis para avaliar a liberação do mosto durante a colheita, posicionados previamente a passagem da máquina em linhas aleatórias de cultivo e em distintos horários ao longo do dia. A Figura 1 apresenta o posicionamento dos papéis em 6 pontos distintos sendo: dois papéis (A-B) sobre o solo, logo abaixo da linha de cultivo afastados do caule entre 60 e 80

cm, no caule com altura de 40cm (C); dois papéis no braço de produção de uvas (F-D) e um papel na área do dossel (E) com altura 1,30-1,50m.

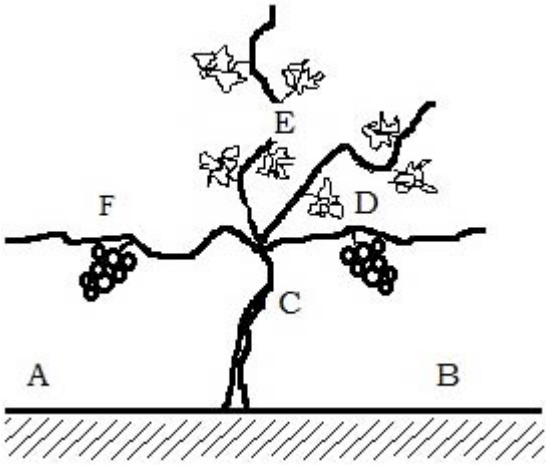


Figura 1. Distribuição dos papéis hidrosenssíveis na planta.

Logo após a passagem da máquina, os papéis eram imediatamente recolhidos e catalogados para posterior aquisição e análise de imagem no programa MatLab®. Para a obtenção do valor de recobrimento, foi utilizado a Equação (1) na programação, semelhante a utilizada por Salem et al.(2014), de forma a contabilizar os pontos de impacto e desprezar possíveis pigmentações proveniente de escorrimento de líquidos, como demonstra a Figura 2, no qual, a imagem a esquerda é o papel sem tratamento e a de fundo branco com zonas em negro, após análise.

$$2B - R - G > 15 \quad (1)$$

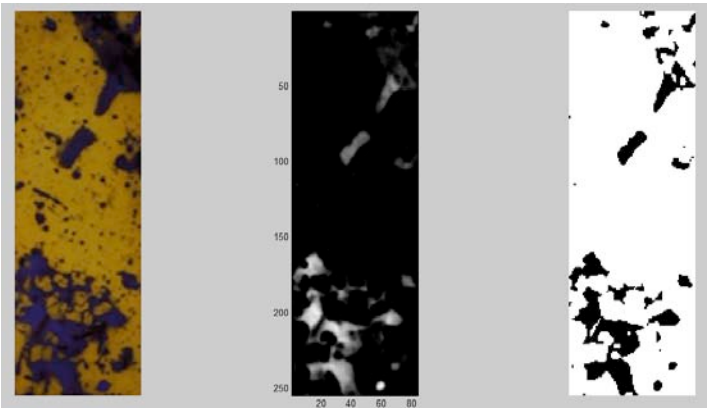


Figura 2. Etapas do tratamento de imagem.

Para melhor apresentação das informações, foi atribuido o valor de 3.84m2 como a área de ocupação de uma cepa (planta), considerando 0.96m2 no plano horizontal junto ao solo (0.6 X1.6m) e 2.88 m2 (1.8X1.6m) no plano vertical longitudinal a linha de cultivo, compostos pelos pontos “C”, “D”, “E” e “F”. Para a definição destes valores, foram considerados o comprimento do braços de produção e a altura do dossel vegetativo.

3. Resultados e Discussão

Os dados foram organizados com identificação das máquinas, uvas (branca ou tinta), Frequencia de atuação das hastes (golpes por minuto), horário da coleta de dados (hora), temperatura ambiente (°C), umidade relatira do ar (UR%), zonas de coletas, e percentual de recobrimento de mosto por planta (cepa).

A Tabela 1 apresenta os resultados no Brasil: 2 colhedoras de arrasto e tipos de uvas.

Em todos os casos a liberação de mosto é muito superior durante a primeira hora da manhã com relação ao resto do dia (15% vs 4%; 33% vs 9%; 8% vs 0.5%) estas diferenças de valores se devem a presença do orvalho, comum neste período. A Figura 3 apresenta o excesso de umidade (água+mosto) em suspensão durante a colheita às 8:30h no Rio Grande do Sul.

Figura 3. Neblina gerada pela colhedora de uvas durante a manhã.

Tabela 1. Recobrimento de mosto na avaliação do Brasil considerando solo, tronco e folhas (0.96m2 no solo e 2.88m2 plano vertical)

	Tinta(T) Branca(B)	F	Hora (h)	Temp.(°C)	UR%	A-B%	C%	D-F%	E%	recobrimento/ cepa %
Pellenc 3052	B	480	9:45	25.9	60	4.83	18.75	35.24	0.08	15.34
	B	480	13:30	25.2	53	0.27	3.52	23.12	-	7.01
	B	480	12:15	27.6	77	1.25	2.38	15.67	-	5.03
	B2	480	15:40	37.4	47	0.25	1.35	1.26	5.42	2.16
	B2	480	14:50	40.4	37	3.42	4.08	0.06	-	1.97
	B2	480	15:20	38.4	40.3	2.73	0.44	-	0.01	0.83
Pellenc 3050	B	570	5:20	13.5	89	46.74	42.16	38.43	-	33.16
	B	570	13:10	27.1	51	2.52	5.03	32.31	-	10.38
	B	570	14:30	31.1	52	8.80	10.71	14.22	-	8.79
	B	570	13:15	41.4	36	2.13	9.30	19.89	-	8.16
	T	540	10:30	28	59	0.55	20.51	9.50	0.07	7.98
	T	540	10:45	32.2	52	1.15	0.57	0.04	0.00	0.46
	T	540	14:00	40	23	0.01	0.49	0.03	0.03	0.14
	T	540	13:30	39.1	31	0.30	0.02	-	0.01	0.09

A produtividade média de uvas por planta foram de 3.9kg em B, 2.07kg em B2 e 2.0kg para T. E densidade de 2976 plantas/ha, 4000 plantas/ha e 4545 plantas/ha.

Com relação a Pellenc3050 o seus resultados são significativamente piores em comparação a Pellenc 3052 com as uvas brancas, devido ao emprego da frequencia mais elevadas, resultou em medianas de 9.6% a 3.6% e F=570 e F=480. Quando em operação com as uvas tintas a 3050 reduziu a frequencia de 570 para 540 passando de 9% de recobrimento de mosto em uvas brancas a 0.5% nas uvas tintas. Esta mudança de frequencia e diferença nos resultados ocorre pela facilidade de desprendimento das uvas de acordo com a variedade e a menor produtividade das uvas tintas (informações empríricas do operador).

Os valores registrados para variedades brancas na zona de produção (D-F) corresponde em ambas as máquinas perdidas semelhantes a Barreiro et al. (2016) na qual encontrou valores de 22% e 34%. Somente com as uvas B2 se obtem perdidas inferiores que correspondem a variedade de baixa produtividade similar a tinta.

Considerando a mediana dos valores da coluna "recobrimento/cepa" para a Pellenc 3050 obten-se 9.6%, para as uvas brancas e mediana de 0.3% para as tintas, e para Pellenc 3052 mediana de 5.4% em uvas brancas.

Os resultados da Espanha realizados com as três colhedoras de uvas, encontram-se dispostos na Tabela 2 (somente a Pellenc 1815 era de arrasto). Claramente existe diferença no número de avaliações realizadas com cada máquina, este fato é justificado pela distância entre os locais de colheita e autorização dos responsáveis para realização do estudo, deste modo foram realizadas 5 análises com variedades tintas e 10 brancas.

As medianas do recobrimento de mosto foram de 1.1% para as uvas brancas e 4.3% para as uvas tintas, ou seja, o inverso da tendencia com relação ao Brasil e apresentando mediana de produtividade em B=11kg/planta e T=3.55kg/planta, e densidade média de 2222 plantas ha^{-1} em ambos os casos).

Tabela 2. Recobrimento de mosto na operação de três colhedoras de uvas na Espanha.

	Tinta(T) Branca(B)	Hora(h)	F	Temp(°C)	UR%	A-B%	C%	D-F%	E%	recobrimento/cepa %
1815	B	13:30	540	N/I	N/I	0.00	16.24	0.35	N/I	4.32
	B	13:45	540	N/I	N/I	0.84	1.31	12.85	N/I	3.91
	B	11:30	450	N/I	N/I	0.05	0.00	0.51	N/I	0.15
9090X	B	15:50	450	31.2	10	2.38	25.87	28.03	11.65	14.65
	B	15:00	450	31.8	0	12.26	35.30	0.00	26.34	12.39
	T	11:30	450	32.2	27	0.02	13.88	25.09	3.37	10.15
	T	11:30	480	27.4	50	0.01	0.85	13.54	0.10	3.75
	T	11:15	480	28.3	48	0.37	0.05	9.60	N/I	2.61
	T	8:15	480	10.9	76	0.80	0.37	1.33	18.03	0.65
	T	12:00	480	34	22	0.00	0.05	2.34	1.48	0.62
	T	13:45	480	40	0	0.01	0.40	1.20	0.37	0.42
	T	14:50	480	29.4	33	0.00	0.00	0.76	N/I	0.20
	T	10:15	480	20.9	56	0.00	0.02	0.39	0.00	0.11
6560	T	7:50	450	9.4	89	0.39	0.00	16.65	N/I	4.44
	T	6:50	450	10.3	85	0.08	2.33	3.62	N/I	1.57

Tanto no Brasil como na Espanha a frequencia empregada nos modelos de arrasto (540-570) é superior as autopropelidas (450-480) salvo com a Pellenc 3052 de arrasto que utilizava uma frequencia de 480 e maior amplitude.

Com a máquina 9090X se constata um melhor efeito de passar de 450 para 480 nas uvas tintas (10.5% a 3%). A máquina 9090X e a 6560, ambas autopropelidas, resultam em maiores perdas de mosto em uvas tintas quando utilizado frequencia de 450 ciclos min^{-1}.

4. Conclusões

Conclui-se que os valores de liberação de mosto pelas máquinas no Brasil foi maior comparado com a Espanha principalmente nas primeiras horas da manhã. Este fato pode estar relacionado com os valores mais elevados de UR no Brasil e a presença de orvalho pela manhã, vindo a contribuir com a reação dos papéis hidro-senssíveis, deste modo, o volume de água no mosto gerado na colheita tende a ser menor conforme decresce a UR do ar, tendo como referência o horário das 10:00h para o inicio da colheita.

As perdidas de mostos entre Brasil e Espanha nas zonas "C", "D-F" (zonas de produção) foram similares e diferentes nos demais pontos de análise.

O nível de frequência de ação das hastes demonstrou existir relação com o nível de perdas de mosto, no Brasil o valor de 480 ciclos min^{-1} resultou em menores perdas em relação a frequencias maiores, na Espanha a frequencia de 540 apresentou melhores resultados em comparação a frequencias superiores em uvas brancas.

A frequencia de vibração e amplitute entre as máquinas de arrasto e autopropelidas são diferentes e maiores nas colhedoras de arrasto.

As uvas brancas tem mais perdas de mosto em geral por apresentarem maior produtividade em relação as tintas.

Para as variedades tintas, frequencias de 480 ciclos min^{-1} utilizadas na Espanha apresentaram ser as mais adequadas em comparação aos demais casos de tintas.

A mensuração de perda de mosto em campo demonstra ser uma informação a ser considerada para a gestão da colheita, contudo por ser pouco visivel, é niglegenciada durante a regulagem da máquina em campo.

Agradecimentos

O autor agradece o apoio do Cnpq.

Bibliografia

Baldini, E., Intrieri, C. 2004. *Viticoltura Meccanizzata*.Bologna: Editora Edagricole

Barreiro, E.P., Diezma, B., Guarrido-Izard, M., Moya, A., Valero, C., 2016.Vendimiadora New Holland Braud 8030L. *Vida Rural.* p:12-21.

Pezzi, F., Balducci, G., Pari, L. 2013a. The Comparison between two Grape Harvesting Machines with Horizontal and Vertical Systems. *Proc. 1st Iwon Vineyard Mechanization & Grape & Wine Quality.* Ed.:S.Poni Acta Hort. 978.p.257-260.

Pezzi, F., Balducci, G., Pari, L. 2013b. A New System to Preserve Quality of Grapes Harvested by Machine. *Proc. 1st Iwon Vineyard Mechanization & Grape & Wine Quality.* Ed.:S.Poni Acta Hort. 978.p.191-198.

Orton, J.R., 1969.Grape Harvesting Machine. Patent Number:3439482 Official Gazette of the United States Patent Office.

Salem, H. M., Valero, C., Muñoz, M. Á., Gil-Rodríguez, M., & Barreiro, P. 2014. Effect of reservoir tillage on rainwater harvesting and soil erosion control under a developed rainfall simulator. Catena, 113, 353-362.

La Compra Pública Precomercial como herramienta de innovación: el caso Mecaolivar

Jesús A. Gil-Ribes[1], Gregorio L. Blanco-Roldán[1], Sergio Castro-García[1], Emilio Gonzalez-Sanchéz[1], Rafael R. Sola-Guirado[1], Antonio Miranda-Fuentes[1], Francisco Márquez-García[1], Francisco J. Castillo-Ruiz[1], David-Ceular[1], Andrés Cuenca-Cuenca[1], José Colmenero-Martinez[1], Jesús I. Gil Cabanás[1], Sergio Bayano-Tejero[1], Alberto Godoy-Nieto[1]

[1] G.I. AGR 126 "Mecanización y Tecnología Rural", Departamento de Ingeniería Rural, E.T.S.I. Agrónomos y de Montes, Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Edificio Leonardo Da Vinci, Ctra. 14071 Córdoba. Mail: gilribes@uco.es

Resumen

El convenio CPP Mecaolivar, por el que la Universidad de Córdoba fue galardonada en el 2015 con el Premio Nacional de Innovación y Diseño en la modalidad de Compra Pública Innovadora (CPI) por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (MINEICO), ha supuesto un impulso para la mecanización y modernización del olivar intensivo y tradicional con el desarrollo de nuevos equipos tanto de recolección, con sistemas basados en cosechadoras integrales y vibradores automatizados dotados de materiales y sistemas de agarre mejorados, como en la aplicación de fitosanitarios por medio de nuevos sistemas de aplicación a copa con sectorización y adaptación al tipo de olivar y, a través de la aplicación de herbicidas con sistemas de detección de flora o con nuevos sistemas de desbroce de cubiertas que favorezcan la supervivencia de la protección del suelo. Esta iniciativa llevada a cabo por GI AGR-126 de la UCO ha dado su fruto en el Convenio de Compra Publica Pre-comercial (CPP) que ha contado con un presupuesto de 3,88 M€, de los cuales el 80 % son fondos FEDER gestionados por el MINECO, y el 20 % han sido cofinanciados por la UCO, gracias a la aportación de la Interprofesional del Aceite de Oliva Español (IAOE), generando una inversión privada inducida de 2,73 M€, mejorando el sector del aceite de oliva, apoyando técnica y económicamente a la industria de producción de maquinaria agrícola dotándola de carácter más competitivo frente al mercado nacional e internacional y permitiendo obtener una mayor rentabilidad en este tipo de cultivos predominantes en España.

Palabras clave: olivar, I+D+i, mecanización, tecnología, rentabilidad.

Pre-commercial Public Procurement as investment in innovation: the Mecaolivar Project

Abstract

The CPP Mecaolivar project, awarded by the Ministry of Economy (MINECO), Industry and Competitiveness with the National Innovation Award (2015) in the modality of Public Innovative Procurement (CPI), has meant a revolution in the mechanization and modernization of the intensive and traditional olive groves through the development of new equipment for harvesting with systems based on integral harvesters and robotized shakers with improved materials and grabbing systems, as well as phytosanitary treatment through new atomization systems with sectorization and adaptation to type of olive grove , application of herbicides with vegetation detection systems or new soil management systems allowing soil protection for future crops. This initiative launched by GI AGR-126 of the University of Córdoba (UCO) has given as result a Pre-commercial Public Procurement (CPP), which had a budget of € 3.88 M. The project has been funded with Feder European funds (80%) through the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness and the University of Cordoba, and has been supported by the Interprofessional of Spanish Olive Oil as part of their R&D programs, generating an private investment of € 2.73 M, improving the Olive oil sector, supporting technically and economically to the production industry of agricultural machinery doing it competitive in the national and international market and allowing to obtain a greater profitability in this type of groves which are predominant in Spain.

Keywords: olive, R&D, mechanization, technology, profitability.

1. Introducción

España es el primer país productor de aceite y de aceituna de mesa. Concretamente alcanzó el 44% de la producción total mundial durante la campaña 2015-16, con 1,4 MTm de aceite y una superficie cultivada de 2,6 Mha (COI, 2016). Gran parte del desarrollo de esta actividad económica tiene lugar en Andalucía donde se encuentra el mayor bosque de olivos del mundo. Cuantitativamente, con el aceite de oliva se genera un valor de producción anual de 3.485 millones de euros lo que resalta la importancia de este sector para el España (AICA, 2016).

No todas las plantaciones generan la misma rentabilidad en cuanto a sus costes de producción (AEMO, 2012), en parte por la alta vinculación que existe con la tipología y morfología del cultivo. Para conseguir una adecuada sostenibilidad económica se requiere una reducción de los costes de producción, lo que sólo es viable por medio de la mecanización de sus operaciones. Sin embargo, en el caso de plantaciones con configuraciones tradicionales se presentan dificultades para la introducción de la mecanización. La principales innovaciones en los últimos años se ha focalizado hacia plantaciones de superintensivo, debido a la existencia de maquinaria para la realización de sus tareas, a pesar de estar menos presentes en España frente a otras tipologías dominantes como el olivar tradicional (62,1 %) y el intensivo (36,5 %) (ESYRCE, 2015).

La reconversión del olivar tradicional no es factible, en la mayoría de los casos, debido al alto coste económico que supone y por limitaciones técnicas y agronómicas, por lo que se debe apostar por la I+D+i que ayude a dar soluciones a las plantaciones existentes. De igual manera, se deben de producir avances en las plantaciones de olivar intensivo de cara a una mecanización más eficiente.

En este contexto surge el convenio de Compra Pública Precomercial Mecaolivar para dar respuesta a las demandas de innovaciones tecnológicas y mejoras en la modernización y mecanización del olivar centrándose en esas tipologías. El proyecto contó con el apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad (financiación con fondos europeos FEDER de innovación) y de la Organización Interprofesional del Aceite de Oliva Español (IAOE), en representación del sector, lo que permitió a la Universidad de Córdoba el co-desarrollo de prototipos pre-comerciales de maquinaria innovadora mediante la compra de innovación a las empresas del sector. Sus líneas de trabajo apostaron por una evolución tecnológica en el campo de, aplicación de productos fitosanitarios, manejo del suelo, recolección y poda por ser los pilares clave para la mejora de su rentabilidad.

Se sabe que la existencia de maquinaria agrícola eficiente, es uno de los principales elementos en la rentabilidad y la productividad del cultivo, como se ha visto en el caso del olivar superintensivo. Sin embargo, el sector de la maquinaria de olivar en España lo conforman mayoritariamente empresas con una importante brecha en I+D+i con respecto a empresas extranjeras y multinacionales que dominan el mercado de los equipos de mayor tamaño. La Compra Pública se presenta como una de las fórmulas de cooperación público-privada, asociación para la innovación, con mayor capacidad para impulsar la I+D+i, permitiendo lanzar un reto a varias empresas con la capacidad tecnológica de resolverlo, consiguiendo que desarrollen lo que realmente necesita el mercado, haciéndolas competitivas, de tal forma que se obtiene una sinergia entre administración y empresa. La administración mejora sus capacidades de I+D+i y obtiene nuevos servicios para los ciudadanos a la vez que la empresa innova y ensancha su mercado. Bajo esta estrategia ha asentado las bases del convenio CPP Mecaolivar, cuyos resultados finales se pretendieron plasmar, entre otros índices, en el desarrollo de prototipos precomerciales.

2. Materiales y Metodología

La estructura del convenio Mecaolivar se dividió en varias fases (*Figura 1*). En primer lugar, se realizó una consulta al mercado hacia las empresas del sector y se analizaron las necesidades presentes en las líneas de desarrollo. Se establecieron 6 líneas de desarrollo para el diseño, prototipado y ensayo de distintas soluciones innovadoras; 3 enfocadas a maquinaria para la recolección, 2 a la aplicación

de fitosanitarios al vuelo y al suelo y una para la caracterización y adaptación de los árboles, así como su estudio en la deriva. En base a ellas, se publicaron unos pliegos técnicos (*Tabla 1*) que recogían los requerimientos de demanda temprana para que las empresas interesadas en el desarrollo de las líneas pudieran optar a su concurso.

Posteriormente al inicio del 2014, en una primera fase de pre-prototipado y estudio de la viabilidad de las soluciones, las empresas que configuran la red empresarial de fabricantes pudieron presentar la documentación sobre sus planteamientos (etapa 1) y aquellas que fueron seleccionadas, en función de su adecuación a la oferta pública, pasaron a la fase de pre-prototipado, (etapa 2). En una segunda fase, las empresas ganadoras del concurso co-desarrollaron los prototipos con la Universidad de Córdoba, y los presentaron al final en una demostración pública con la colaboración del MAPAMA en el Centro del IFAPA de Cabra (Córdoba).

En una tercera fase, finalizado el convenio y financiada por IAOE, los prototipos fueron ensayados en campo y se plantearon una serie de mejoras que los fabricantes debían llevar a cabo a partir de las carencias observadas por el equipo técnico de la UCO, siguiendo un proceso típico de desarrollo de maquinaria y prototipos en un proceso de ensayo-error-corrección-ensayo.

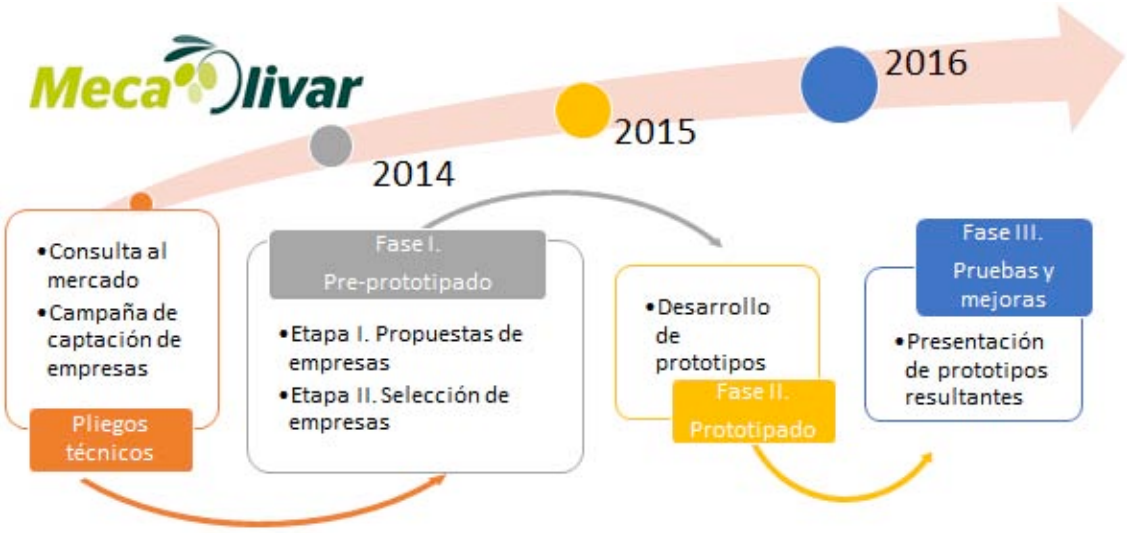


Figura 1. Cronología del convenio Mecaolivar.

Cada uno de los prototipos surge como demanda específica de una necesidad detectada en el sector con diferente enfoque estratégico.

Tabla 1. Descripción de funcionalidades requeridas del pliego técnico

Soluciones (Líneas)	Funcionalidad requerida por las soluciones planteadas	Justificación de la línea
LÍNEA 1 Cosechadora de olivar tradicional basada en sacudidores de copa	▪ Aplicación de la vibración directamente en ramas fructíferas. ▪ Alto porcentajes de derribo y eficiencias en recolección temprana. ▪ Localización del fruto derribado para facilitar su recepción y manejo. ▪ Adaptación a suelos con pendiente y de difícil tránsito. ▪ Incorporación de tecnologías para la agricultura de precisión. ▪ Manejo y limpieza del fruto de	No existe ningún sistema para la recolección integral del olivar tradicional. Los sistemas de sacudidores de copa pueden suponer una alternativa en este sentido, pues aplican una vibración de gran amplitud y baja frecuencia directamente sobre las ramas fructíferas del árbol permitiendo interceptar el fruto derribado, pre-limpiarlo antes de la industria y almacenarlo realizando una labor de recolección continua de forma integral del árbol. El gran reto consiste en desarrollar un mecanismo eficiente que se adapte

	forma continua. ▪ Adaptación de la máquina a las irregularidades del árbol tradicional.	a las morfologías de plantaciones tradicionales, al terreno y que pueda realizar trayectorias de trabajo alrededor de los árboles para mejorar su capacidad de trabajo, consiguiendo altos porcentajes de derribo e interceptación de frutos.
LÍNEA 2 Cosechadora de olivar intensivo basada en vibrador de troncos	▪ Incorporación de tecnologías para la agricultura de precisión. ▪ Alto porcentaje de derribo de frutos. ▪ Reducido daño al fruto. ▪ Manejo y limpieza del fruto de forma continua. ▪ Adaptación a suelos con pendiente y de difícil tránsito. ▪ Aplicación al olivar intensivo y de mesa. ▪ Alta capacidad de trabajo.	No existen sistemas que realizan la recolección del olivar intensivo de manera continua, siendo el vibrador con paraguas el sistema más avanzado. Otros cultivos han conseguido afrontar el reto mediante plataformas autopropulsadas con vibrador de troncos que se desplazan de forma paralela a ambos lados de la fila de árboles (uno de estos equipos se encarga de la vibración del tronco, mientras que el otro realiza la recepción del fruto derribado y su almacenamiento). Se pretende desarrollar sistemas similares con sistemas autopropulsados que posibiliten la recolección en continuo y permitan incorporar nuevas tecnologías para optimizar el proceso.
LÍNEA3 Sistemas y materiales de agarre para los vibradores de troncos	▪ Parametrizar las operaciones del vibrador y adaptación al tipo y tamaño de tronco a vibrar. ▪ Mejor transmisión de la vibración en el agarre. Mantener similares porcentajes de derribo que los convencionales. ▪ Aplicación al olivar de mesa y de almazara en cosecha temprana. ▪ Reducción de los daños al árbol por descortezado.	El olivar en épocas de recolección temprana representa problemas de daño al árbol por descortezado al aplicar la vibración y unos porcentajes de derribo muy bajos sin medios de derribo auxiliares. Se requieren avances en el diseño de las pinzas de agarre y el empleo de materiales de agarre. Paralelamente, es necesario controlar y automatizar determinadas operaciones del proceso como la detección de tronco, las presiones de apriete, la excentricidad, frecuencia de las masas del vibrador y el ajuste de la curvas de vibrado que optimicen el derribo.
LÍNEA 4 Equipos de aplicación de productos fitosanitarios a la copa	▪ Consecución de una alta cobertura y homogeneidad en las aplicaciones. ▪ Reducción de los volúmenes de caldo aplicados. ▪ Aumento de la eficiencia en el uso del caldo. ▪ Reducción de las pérdidas de producto por deriva. ▪ Capacidad para transitar por pendientes moderadas-altas. ▪ Facilidad de transporte y almacenamiento. ▪ Reducción de la potencia requerida en el tractor para su accionamiento.	Los equipos de aplicación de fitosanitarios a la copa utilizados en olivar tradicional e intensivo son muy ineficientes en el uso del caldo, o bien porque la pulverización no puede ser controlada, en el caso de los pulverizadores de pistolas, o bien porque el equipo no está adaptado a las particularidades del cultivo, como pasa con el atomizador. Es, por tanto, necesario adaptar estos equipos a las dificultades intrínsecas del olivar, como son los amplios anchos de calle, grandes volúmens de copa y amplia variedad en las formas de los árboles. En este sentido, la mejora de los equipos de aplicación permitirá, por un lado, reducir las dosis aplicadas, con el consiguiente ahorro en producto y combustible y, por otro, permitirá la reducción de los riesgos medioambientales inherentes a la aplicación.
Linea 5 Equipos para optimizar la aplicación de herbicidas al suelo, control y manejo de	▪ Mejorar el manejo de las cubiertas vegetales en olivar ▪ Reducir el impacto ambiental del uso de herbidas ▪ Aumentar la proteccion del suelo y reducir la erosión ▪ Mejorar la capacidad de trabajo en	El manejo de las cubiertas vegetales en olivar presenta aún muchas deficiencias relativas a que en la mayoría de las ocasiones la maquinaria utilizada no ha estado diseñada para tales fines. Las desbrozadoras utilizadas, en su mayoría, son adaptaciones de máquinas forestales que producen un excesivo picado de los restos

cubiertas vegetales	sistemas sostenibles ▪ Reducir el riesgo de trabajo en pendiente	vegetales y las barras de tratamiento aplican a todo terreno sin tener en cuenta la especial forma de aparición de malas hierbas en rodales. Por tanto se ha perseguido desarrollar soluciones combinadas que permitan reducir la velocidad de degradación de las hierbas y la demanda de potencia y que realicen tratamientos herbicidas sitioespecíficos sólo donde aparece flora.
LÍNEA 6 Adaptación por poda de los árboles a los prototipos de recolección y evaluación de la deriva de los productos agroquímicos aplicados en pulverización	▪ Incremento de la eficiencia y de la facilidad de recolección respecto a los sistemas de poda tradicionales. ▪ Poda adaptada a la recolección con cosechadoras integrales. ▪ Introducción de poda mecánica que permita reducir el coste de poda. ▪ Conseguir un protocolo de evaluación de la deriva producida por los atomizadores en olivar. ▪ Adaptar la norma ISO 22866 a las condiciones particulares del olivar. ▪ Determinar la deriva producida por un atomizador convencional en olivar tradicional.	Actualmente, la estructura del olivar tradicional está pensada para su recolección manual, debido a que estos árboles fueron formados para facilitar el alcance del fruto desde el suelo. En el caso del olivar intensivo, ya está adaptado a la recolección mecánica con vibradores de troncos, pero en numerosas ocasiones no se ha tenido en cuenta la ncesidad de disponer estructuras bajo la copa para recibir el fruto. Por estos motivos, se requiere una adaptación de la poda en ambas tipologías de olivar, que permita el trabajo de nuevas cosechadoras integrales. En cuanto a la deriva, es la mayor fuente de pérdidas de producto fitosanitario en las apliicaciones realizadas a la copa de los árboles Esta dificultad aumenta cuando la separación entre árboles es grande, junto con formas irregulares de la copa, como ocurre en olivar tradicional. La determinación de una metodología que permita cuantificar estas pérdidas supondrá una importante mejora de cara a desarrollar sistemas más eficientes.

3. Resultados y Discusión

Durante el concurso participaron 33 empresas, de las cuales 15 fueron seleccionadas para la fase de pre-prototipado y 11 para la de prototipado. Para la fase de **prototipado** se desarrollaron 13 pre-prototipos (Tabla 2*).* Durante la **fase de pruebas** los prototipos fueron ensayados en varias plantaciones de olivar tradicional e intensivo con resultados satisfactorios para todas las líneas, que denotan la viabilidad de algunas soluciones y la necesidad de mejoras o modificaciones en otras:

LÍNEA 1: Las cosechadoras obtuvieron eficiencias de derribo medias del 77 % en recolección temprana, y 81 % en recolección tardía, superando en muchos casos el 90 %. La interceptación representó un aspecto de mejora, al conseguir 70% recolectado de la producción con respecto a otros prototipos previos con mayor potencial de interceptación, debiendo ampliar los sistemas de recepción y combinarlos con las restricciones para el transporte en carretera. Los daños ocasionados al árbol son similares a los ocasionados habitualmente por la recolección con vibrador de troncos y vareo complementario. La sectorización de módulos de derribo (UCO-Moresil) aumentó el tiempo de contacto con la copa. Por otro lado, cabezales de sacudida con mayor periodo de desarrollo (UCO-Maqtec), tuvieron una gran robustez en su comportamiento en su uso continuado y un comportamiento global satisfactorio. Las capacidades de trabajo, en torno 0,24 ha/h y dos operarios, muestran el potencial competitivo de esta tecnología como alternativa a las existentes. Sin embargo, la introducción de estas máquinas innovadoras en un cultivo con una filosofía tan tradicional, sigue siendo un reto en el convencimiento del agricultor en aras a la adaptación del árbol para mejorar la eficiencia con la copa y otro para los fabricantes deben optimizar un producto comercial.

LÍNEA 2: Las cosechadoras de olivar intensivo, consiguieron derribar entre el 85 % y 93 % de la producción, e interceptar el 78 % del fruto derribado, siendo posible y necesario mejorar este aspecto. La introducción de robótica (UCO-MC2-Isotrol) mostró un adelanto en la futura recolección sin necesidad de personal, aunque la gran carga electrónica tuvo algunos problemas en su uso continuado que requieren de mayor desarrollo en este aspecto. El uso de un único vehículo para la realización del derribo y gestión de fruto (caso UCO-Tecniagri) se mostró como una alternativa conceptual prometedora, aunque requiere mayor desarrollo en el ámbito de la interceptación del fruto derribado mediante lonas desplegables para su uso continuado. El concepto de una máquina cabalgante autopropulsada con vibrador (UCO-Gascón) consiguió resultados prometedores para una recolección semicontinua, aunque requiere de simplificaciones importantes para su actuación comercial en el ámbito de la configuración de su chasis. En este caso, un prototipo concebido en la primera fase del convenio (UCO-Duvison) ha conseguido trabajar de manera continuada en una campaña, aunque su falta de adaptación al transporte en carretera provocó su exclusión en la fase.

LÍNEA 3: Se han producido números avances en el ámbito de la automatización de las pinzas en cuanto a la detección, agarre y curvas de vibrado. La introducción de sistemas de control avanzado en la vibración de las pinzas (caso UCO-MC2-Isotrol) ha mostrado el alto potencial de la adaptación de diferentes curvas acordes a los requerimientos del árbol (fuerza de retención, peso de fruto, tamaño de tronco, volumen de copa, etc.). Las pinzas desarrolladas alcanzaron niveles de aceleraciones en ramas adecuados para el desprendimiento de fruto (300 - 360 m s^{-2} en olivar adulto). La detección y agarre automático del tronco ha mostrado una mejora de la capacidad de trabajo de la máquina en un 27,3 % (caso UCO-Tecniagri), debido a la simplificación de operaciones que deben realizarse desde el puesto de control y toma de decisiones en el tipo de vibrado a realizar. Los avances en la geometría y diseño de pinzas han supuesto avances en la corrección de las órbitas de vibración y paralelismo de la cogida al tronco, aunque se requieren esfuerzos en otros casos para evitar el descortezado. El estudio de un material de agarre por el que circula el propio aceite del sistema hidráulico (caso UCO-Crispe) ha mostrado una mejor adaptación al tronco que otros sistemas comerciales, aunque su optimización para uso prolongado no se ha conseguido.

LÍNEA 4: los atomizadores desarrollados demostraron mejorar sustancialmente la eficiencia de aplicación de los atomizadores comerciales, puesto que aumentaron la cantidad de producto que quedaba retenido en la copa. A nivel de cobertura de la superficie foliar, también presentaron muy buenos resultados en cuanto a porcentaje de cobertura y homogeneidad de la misma. Estos datos permiten prever posibles reducciones en las dosis de producto aplicadas manteniendo constantes los niveles de producto que llegan a la hoja. En cuanto a la transitabilidad y maniobrabilidad de los mismos, resulta muy adecuada en los sistemas de plantación tradicional e intensiva. Demostraron también una gran capacidad de plegado de sus estructuras, especialmente significativa en el equipo de Atasa, con lo que el transporte por carretera y el almacenamiento resultan facilitados. En conjunto, se puede aseverar que los equipos cumplen con los requisitos impuestos desde el pliego técnico de prescripciones. El equipo de Atasa demostró un buen desempeño en el sistema intensivo, el de Máñez y Lozano mejoró de forma muy sustancial al equipo convencional en el sistema de cultivo tradicional, y del de Osuna Sevillano alcanzó resultados muy favorables en ambos sistemas de plantación. Los equipos fueron sometidos a pruebas de rusticidad, con trabajo continuo durante periodos de una semana, en condiciones reales de trabajo, y demostraron estar preparados para su comercialización, tras mejoras poco importantes que ya se les han realizado.

Tabla 2. Soluciones aportadas tras la fase de prototipado.

LÍNEA	Prototipos		
1			
	Moresil. *Sacudidor de copa modular sobre cuatro ruedas directrices*	***Maqtec****. Sacudidor de copa oscilatorio sobre dos ruedas nivelantes*	
2			
	Gascón *Cosechadora cabalgante con vibrador y posibilidad de plegado*	***Isotrol Mc-2.*** *Robot autopropulsado sobre cadenas con vibrador y plataforma receptora*	***Tecniagri.*** *Cosechadora con vibrador y lona desplegable sobre cadenas*
3			
	Crispe *Vibrador con dos puntos, agarre paralelo, posicionado de tronco y material de agarre deformable*	***Tecniagri.*** *Vibrador de dos puntos con detección, agarre y vibrado automático*	***Isotrol Mc-2.*** *Vibrador con tres puntos, detección de tronco, curva de vibrado y sistema para compensación de par*
4			
	Atasa*. Atomizador con ventilador centrífugo y difusores*	***Máñez y Lozano.*** *Atomizador con dos ventiladores axiales en una estructura tipo torre*	***Osuna-Sevillano*** *Atomizador con seis ventiladores axiales laterales*
5	***Atasa y Osuna Sevillano****. Sistema combinado de desbrozadora de restos vegetales de gran ancho de trabajo y barra de tratamientos con detección de hierbas en tiempo real*		

LÍNEA 5: Los nuevos sistemas de desbroce desarrollados han demostrado su capacidad para reducir la demanda de potencia y aumentar el ancho de trabajo, que se ha visto incrementado en casi el doble respecto a los modelos comerciales en ambos prototipos, lo que a su vez mejora la estabilidad de los equipos y su capacidad de trabajo en pendiente. Además se ha demostrado como a la par que se reduce la potencia se puede mejorar el proceso de desbroce aumentando el periodo de persistencia de los restos sobre el suelo que son cortados y no picados, aumentando la protección del suelo frente a la erosión. Por otra parte el desarrollo de barras de tratamiento que cuentan con sensores multiespectrales capaces de discriminar, en tiempo real, la existencia de hierba o no y de realizar tratamientos sitio-específcos ha demostrado que se puede reducir el consumo de herbicida en olivar en cifras que varían en función de la incidencia de hierbas, pero que pueden oscilar entre el 20 y 50%. Además, se ha demostrado la alta efectividad en detectar rodales de hierbas consiguiendo discriminar en más de un 90% la aparición de flora con una superficie superior a 50x50 cm. Fruto de estos desarrollos ya se cuenta con un modelo comercial, ya que la empresa ATASA ha incluido la barra de tratamientos desarrollada dentro de este proyecto dentro de su catálogo comercial.

LÍNEA 6: En cuanto a los sistemas de poda, se ha conseguido establecer tres tipos de poda: Tradicional, adaptada a los sacudidores de copa y poda mecánica. Todo ello sin encontrar diferencias a nivel productivo. Sin embargo, la poda adaptada a los sacudidores de copa ha registrado una menor proporción de fruto en la zona interior de la copa, inaccesible a los sacudidores de copa, permitiendo obtener una mayor eficiencia de cosecha. En cuanto a la poda mecánica, no se ha observado una disminución de la producción, aunque en futuros ensayos se requiere combinar esta técnica con un adecuado nivel de renovación de ramas principales. En cuanto al peso de restos eliminado durante la poda a cada árbol, la poda adaptada ha mostrado una mayor intensidad, aunque la cantidad de ramas eliminadas por año ha sido menor, siendo la frecuencia de poda anual. La poda tradicional y mecanizada se han aplicado con una frecuencia bianual, aunque han mostrado comportamientos diferentes en función de la variedad (Hojiblanca o Picual).

En general, las modificaciones realizadas en algunos prototipos tras la última **fase de pruebas**, han supuesto mejoras importantes en la mayoría de los prototipos con eficiencias de derribo y recogida más altas, mayor maniobrabilidad, transitabilidad y robustez de ciertos mecanismos. No obstante, a pesar de los avances realizados, el tiempo de ejecución del proyecto, dos años, ha sido corto y es necesario continuar con el ensayo, validación y mejora de los prototipos para continuar con un desarrollo adecuado al mercado con una fuerte implicación por los fabricantes donde la Universidad puede representar un apoyo científico-técnico clave en el proceso. Este objetivo comercial ya se ha visto materializado en ciertos prototipos como ya se ha comentado.

Otros resultados derivados de este convenio, como ejemplo de introducción de innovación y desarrollo, han sido la publicación de artículos científicos, artículos de difusión, jornadas de trasferencia, congresos internacionales y nacionales, estancias internacionales del personal investigador, relaciones con organismos internacionales, mejora de la productividad e innovación en el sector industrial, generación de empleo en las empresas del sector, publicación de patentes y modelos de utilidad, etc. Estos indicadores muestran la repercusión positiva que ha supuesto el convenio, junto con los reconocimientos y premios que ha recibido y el haber sido presentado como modelo de éxito. Por ello, ha permitido la solicitud al Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de un nuevo convenio, El Innolivar: “Innovación y Tecnología para un olivar sostenible”, con la colaboración de la Interprofesionales de Aceite de Oliva Español (IAOE) y de la Aceituna de Mesa (Interaceituna), que se espera tenga inicio en breve. Constará de cuatro áreas de trabajo desarrolladas en doce líneas de prototipado:

1. Desarrollo y mejora de la mecanización y recolección de aceituna de almazara;
2. Actuaciones de industria, calidad y trazabilidad
3. Biotecnología
4. Mejora de la mecanización, recolección y seguimiento en aceituna de mesa

4. Conclusiones

El convenio Mecaolivar ha permitido un aumento de la capacidad de I+D+i de la UCO y ha fomentado la competitividad en el sector de la maquinaria para el olivar en un ecosistema de innovación a través de un partenariado público-privado para la modernización y competitividad del sector. El modelo de CPP, ha permitido plasmar conocimiento previo del equipo de investigación en soluciones reales mediante prototipos pre-comerciales, con un nuevo enfoque que permite apoyar la innovación privada a partir del encargo de un comprador público. De esta forma, la innovación viene dirigida desde la demanda (el sector público/administración) en lugar de desde la oferta, como suele suceder cuando las empresas procuran introducir nuevos productos y servicios en el mercado.

Sin embargo, se requiere una alta cofinanciación, entre el 20 y el 30%, que el organismo comprador debe asumir, y una organización administrativa, jurídica y económica de las universidades diferente a la que se enfrenta en proyectos convencionales de investigación, lo que supone una dificultad añadida. Además, estos convenios no están pensados para avanzar en investigación, sino para aplicarla en soluciones precomerciales, buscando que después lleguen al mercado y así logar que se recupere la inversión pública, lo que junto con la evaluación técnica previa, es un requisito necesario para su financiación.

A pesar de estos inconvenientes, Mecaolivar ha generado resultados muy positivos. Los avances y las soluciones en tecnificación e innovación conseguidos dotarán al olivar de cierto impulso a su rentabilidad y a la aparición de nuevas ideas y soluciones. Invirtiendo en mecanización y en la optimización de procesos se logrará una mayor eficiencia. La transferencia de tecnología y conocimiento, puesta al servicio del entorno rural, mejorará su competitividad, las condiciones de seguridad de su trabajo y esto se traducirá en mejor calidad de vida y el arraigo de población al medio rural.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida al Ministerio de Economía, Industria y Competitividad a través de fondos FEDER y el apoyo económico de la Interprofesional del Aceite de Oliva Español y de los fabricantes, organizaciones agrarias y agricultores que ha colaborado en el desarrollo del convenio y de las actividades.

Bibliografía

AEMO (Asociación española de municipios del olivo). 2012. Aproximación a los costes del cultivo del olivo. Último acceso 7-02-2017, disponible en: http://www.aemo.es/get.php?pathext=descargas/Costes_AEMO.pdf

AICA (Agencia de Información y Control Alimentaria). 2017. Último acceso 7-02-2017, disponible en: https://servicio.magrama.gob.es/InformacionMercado_Aica/InfMercadosAceituna_BalanceAceituna.aao

COI (Consejo Oleícola Internacional) 2016. Última acceso 6-02-2017, disponible en: http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/132-world-table-olive-figures

ESYRCE. 2015. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos análisis de las plantaciones de olivar en España. Ministerio de agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Último acceso 30-01-2017 Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/espana2015web_tcm7-401244.pdf

Sistema automatizado de asistencia al operario en la recolección del olivar intensivo con vibradores de troncos

Jose T. Colmenero-Martinez[1], Sergio Bayano-Tejero[1], Gregorio L. Blanco-Roldán[1], Francisco J. Castillo-Ruiz[1], Rafael R. Sola-Guirado[1], S. Castro-Garcia[1], David Ceular-Ortiz[1], Jesús A. Gil-Ribes[1].

[1]G.I. AGR 126 "Mecanización y Tecnología Rural". E.T.S.I. Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Edificio Leonardo Da Vinci, Ctra. Nacional IV, km. 396, 14014 Córdoba. E-mails: JTCM g32comaj@uco.es; SBT p52bates@uco.es; GLBR ir3blrog@uco.es; FJCR g62caruf@uco.es; RRSG ir2sogur@uco.es; SCG ir1casgs@uco.es; DCO p62ceord@uco.es;JAGR gilribes@uco.es.

Resumen

El uso de vibradores de troncos está muy extendido en la recolección de olivar, siendo la principal forma de derribo del fruto. Los componentes del vibrador han evolucionado en las últimas décadas a nivel mecánico, hidráulico y de control. Sin embargo, los movimientos de la máquina dependen del operario, siendo su pericia un factor crítico en cuestiones como el nivel de daños causados por los sistemas de agarre, los parámetros de funcionamiento del vibrador, la frecuencia o el tiempo de vibración. El objetivo de este trabajo ha sido desarrollar un sistema automático de recolección, con el fin de reducir la responsabilidad del operario en la realización de dicho proceso. Para ello se ha implementado sobre un vibrador frontal acoplado a un tractor, un sistema automático de reconocimiento de troncos mediante un sensor de infrarrojo a través de un algoritmo de control y una interfaz de visualización y pilotaje. El sistema se ha ensayado en laboratorio. Se relacionaron las variables que influyen en el sensor y en el ciclo de trabajo de un vibrador como son: el color, el material, el diámetro y la localización del tronco en el espacio. Se constató la fiabilidad del sistema con un 91 % de casos de éxito en la cogida del tronco. El sistema desarrollado baja la carga de trabajo del operario, reduciendo la influencia del factor humano en la recolección.

Palabras clave: mecanización, detección de tronco, capacidad de trabajo, tecnificar.

Automated operator assistancesystem for intensive olive harvesting with trunk shakers

Abstract

Trunk shakers are widespread for olive harvesting, being the main system for fruit detachment. The components of the trunk shaker in the last decades have evolved at mechanical, hydraulic and control level. However, the machine accuracy depends on the operator. His expertise is a key factor for issues such as trunk debarking caused by grabbing systems, shaking parameters or on foot operators safety. The objective of this work has been to develop an automatic harvesting system, in order to reduce the operator influence on the process. Thus, an automatic system for trunk detection through an infrared sensor has been implemented on the trunk shaker head hitched to a tractor. An algorithm and a visualization interface for trunk shaker guidance has been developed. The automatic system has been tested in laboratory and field conditions. Influence of some variables on trunk detection was assessed. Evaluated variables were colour, material, diameter and target location within sensor field of vision. The success rate of the automatic system was 91% for trunk grabbing. The developed system reduce the operator influence on the trunk shaker grabbing success, reducing the human factor influence on the harvesting process.

Keywords: automatic trunk shaker guidance, trunk detection, effective field capacity, make more technical.

1. Introducción

El olivar intensivo, con árboles de un tronco, densidad entre 180 y 800 plantas por hectárea, se extiende en 2 174 076 ha en el mundo (COI, 2015), representando aproximadamente el 21.8% de la superficie total. Las plantaciones en nuevas zonas con mayor disponibilidad de agua y mejores condiciones edafoclimáticas (Fernandez-Escobar et al., 2013) han permitido el desarrollo de este tipo de olivar preparado para su recolección mecanizada con vibradores de troncos, sin embargo, los sistemas de recolección actuales para el olivar intensivo presentan un nivel reducido de automatización de operaciones. Siendo propicio, por la morfología del cultivo, desarrollar un sistema automático de recolección con vibradores de troncos, ya que presentan una poda adaptada, con un único tronco erguido, despejado de ramas bajeras y con ramas secundarias verticales. Sabiendo que la respuesta principal del olivo a la vibración forzada cambia en función de la arquitectura del árbol (Castro-Garcia et al., 2008), ajustando los parámetros de vibración para facilitar la transmisión de la aceleración al fruto (Jimenez-Jimenez et al., 2015) localizando la producción en la parte media-alta de la copa (Castillo-Ruiz et al., 2015). A pesar de que el pedúnculo es una estructura claramente diferente de la rama en la que se inserta (Torregrosa et al., 2014), se pueden alcanzar altas eficiencias de derribo del fruto en sistemas autónomos de recolección por vibración, facilitándola mediante poda anual moderada e intensiva (Tombesi et al., 2002).

En la actualidad, la recolección mecanizada de este tipo de olivar se realiza principalmente con vibradores de troncos acompañados por vareo manual y derribo sobre fardos o sobre el suelo previamente preparado (Gil-Ribes et al., 2008). Aunque se están introduciendo otros sistemas de recolección en olivar intensivo como los sacudidores de copa, que aplican directamente la vibración sobre las ramas productivas, (Sola-Guirado et al., 2014). es recomendable reemplazar labores manuales con recolección mecánica (Fergurson, 2010). Aunque gran parte de las operaciones están mecanizadas, no existe un sistema de recolección autónomo de apoyo al operario, siendo ineludible avanzar en el diseño de un robot inteligente con capacidades perceptivas similares a las humanas (De-An et al., 2011).

El objetivo de este estudio es desarrollar un sistema automatizado de asistencia al operario para producir el derribo de fruto montado sobre un vibrador de troncos, con el fin de reducir la responsabilidad del operario en el proceso. Este sistema se diseña para mantener o aumentar la capacidad de trabajo, eliminando la manipulación manual en el posicionamiento y funcionamiento de la cosechadora, reduciendo los fallos del sistema y ejecutando una tarea de forma homogénea, de manera que no influya el cansancio del operario en el agarre del tronco.

2. Materiales y Métodos

El prototipo consta de una parte mecánica compuesta por el tractor, el equipo mecánico-hidráulico y el vibrador y otra parte electrónica que conforma el sistema de automatización (Figura 1) compuesto por el hardware y software.

Se utilizó un vibrador de troncos comercial de tipo orbital con agarre tipo tijera (Tecniagri Agricola y Forestal SL, modelo Órbita 450), acoplado en la parte frontal de un tractor (John Deere, 6420, Moline, IL., USA), con una apertura de brazos de 0.45 m, diseñado para trabajar en olivar intensivo. El equipo soporte del vibrador es de tipo pantográfico y está dotado de los grados de libertad necesarios para desplazar la cabeza vibradora en los tres ejes coordenados.

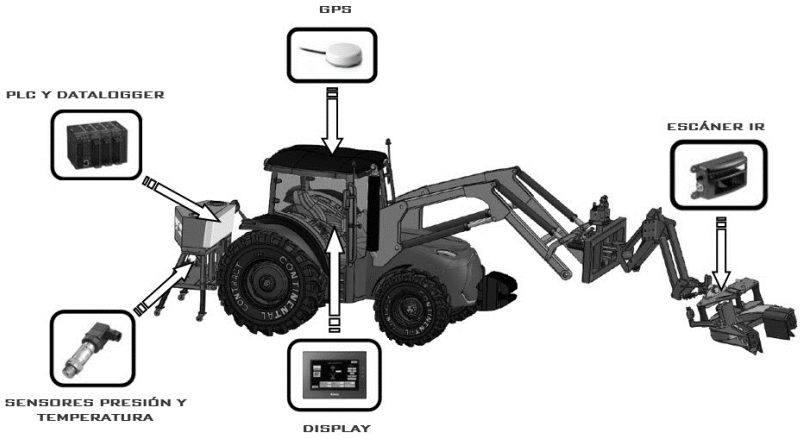


Figura 1. Representación de los elementos del sistema de automatización

2.1 Sistema de automatización

Se utilizó un *Programmable Logic Controller* (PLC) modular (Panasonic, FP7, Japón) que ejecuta el algoritmo de control diseñado para el reconocimiento de tronco mediante el escáner led. Presenta comunicación por puerto RS-232 y la posibilidad de añadir diferentes módulos para ampliar las entradas, salidas y protocolos de comunicación en función de las necesidades. La interacción con el prototipo se realizó a través de una pantalla táctil de 7" (Kinco, MT4414T, China) con comunicación por puerto serie y programación mediante *software* propietario.

El prototipo además está dotado de sensores de presión y temperatura del aceite hidráulico que permiten controlar los movimientos y emitir avisos por exceso de temperatura en la instalación.

Para el registro de cada uno de los sensores instalados se ha empleado un *datalogger* con almacenamiento en tarjeta *Secure Digital* (SD) conectado al PLC por puerto RS232.

Para el reconocimiento de tronco se empleó un escáner led por tecnología infrarroja (Pepperl-fuchs, OMD8000-R2100-R2-2V15, Alemania) con comunicación por puerto RS-232 y rango de medición de 0,2 a 8 m. Este sistema realiza una medición continua en dos dimensiones (2D) (Barawid et al., 2007). El escáner IR dispone de 11 Light Emitting Diode (LED) que detectan objetos en un cono de apertura de 88º con una amplitud de punto de 0.55 m a 4 m según las especificaciones técnicas. El rango de medida del escáner LED es de 0.2 a 8 m en función de la reflectividad del material a medir.

La reflexión del haz del láser varía dependiendo del color y de la estructura de la superficie sobre la que incide. Se analizó cómo influyen estos parámetros dentro del área de detección del escáner, en el radio de acción del vibrador. Inicialmente se probó un material plano, de color blanco, en un area de entre 0.10 y 1.70 m, ya que es el rango de medida donde puede alcanzar el pantógrafo al tronco. El escáner tiene una frecuencia de muestreo de 50 Hz. El número de led que impactan en el tronco en distancias por debajo de 1 m fluctúa bastante y hace difícil mantener una medida estable en el tiempo del objeto al escáner, aunque sí proporciona medidas correctas. A continuación se repitió el proceso utilizando un trozo de tronco de olivo dentro de la misma superficie de acción del escáner obteniéndose la misma superficie de detección.

Ya que la medida de distancia al objeto obtenida por cada led es la hipotenusa de un triángulo rectángulo, para obtener la distancia perpendicular se realizó la conversión de las medidas captadas por el escáner mediante la relación trigonométrica, a excepción del led central.

2.2 Lógica de control

Una vez establecida la zona de influencia del vibrador (Figura 2) se estableció un algoritmo de cálculo, para el posicionamiento de la pinza vibradora alojando el tronco entre las mordazas.

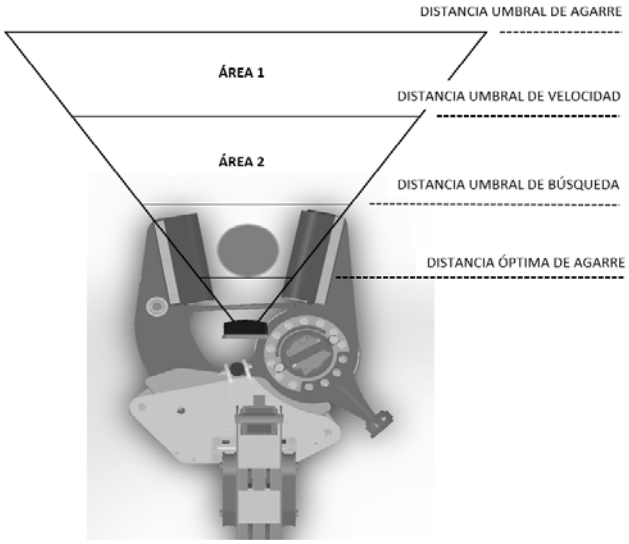


Figura 2. Esquema de zonas de trabajo y distancias utilizadas

La zona de influencia del vibrador se dividió en dos áreas cuyos límites se establecen en base a la distancia óptima de agarre (DOA) a 0.1 m, la distancia umbral de búsqueda (DUB) a 0.35 m, la distancia umbral de velocidad (DUV) a 1 m y la distancia umbral de agarre (DUA) a 1.7 m:

- Área 1: Cuando el tronco se encuentra localizado en este área se dotó al prototipo de una velocidad de movimientos mayor. Además las medidas del escáner son estables en el tiempo y permite centrar mediante las mediciones del led central del escaner.
- Área 2: cuando el tronco se encuentra en esta zona el centrado se realiza a una velocidad inferior para aumentar la precisión y poder introducir el tronco entre las mordazas sin rozar las mismas y evitar el descortezado. El centrado lo realiza sin tomar medidas, sólo identificando el grupo de led que impactan en el tronco y centrando con respecto al que ocupa la posición central del grupo.

El operario al ejecutar la orden de inicio del automatismo se realiza la apertura completa de la pinza y un escaneo para obtener las mediciones de cada uno de los 11 LED que incorpora el escáner. Mediante comparación sucesiva de la medida de cada LED se obtiene finalmente el LED que registra la distancia mínima, el cual es llamado led de distancia mínima (LDM).

Se han limitado mediante programación las medidas realizadas por el escáner al límite máximo de extensión del pantógrafo por lo que si al comienzo del funcionamiento automático, el tronco a detectar estuviera más lejos de este límite no sería detectado. Esto evita que el pantógrafo realice toda la secuencia y no logre realizar el agarre al no alcanzar físicamente el tronco.

Una vez comprobada la distancia mínima al tronco, se realiza el centrado del pantógrafo en función del LED seleccionado como central en el *display (LED 6)*. Para ello si el LDM es mayor que el led central (LC) el pantógrafo gira a la izquierda y si es menor gira a la derecha. En el momento que ambos coinciden (LC=LDM) el pantógrafo se detiene y realiza el avance hasta la entrada en el área de centrado 2. Si durante este avance el escáner detecta que se ha descentrado vuelve a realizar un nuevo proceso de centrado.

Una vez el tronco está dentro del área 2 se realiza un nuevo centrado mucho más preciso. Para ello no evalúa la distancia sino el número total de led que impactan en el tronco y su disposición u orden en el escáner (1-11). A continuación realiza otro avance hasta llegar a la distancia óptima de agarre

Una vez situado el pantógrafo en la distancia óptima de agarre se realiza la cogida del tronco cerrando la pinza y automáticamente comienza la secuencia de vibración predeterminada. Cuando dicha secuencia termina la pinza abre y el pantógrafo regresa a una posición totalmente recogida.

2.3 Ensayos

Para evaluar el rendimiento del sistema y clasificarlo se utilizó una matriz de confusión (Bac et al., 2013), tomando dos variables dicotómicas para identificar cada intento de alcanzar el punto fijado para el agarre de la pinza. Casos posibles:

Verdadero-positivo (VP): el sensor detecta el tronco y éste es cogido adecuadamente.

Verdadero-negativo 1 (VN1): el sensor detecta el tronco pero el tiempo empleado en el agarre excede de 60 s.

Verdadero-negativo 2 (VN2): el sensor detecta el tronco pero el operario debe detener el agarre debido a una mala ejecución del sistema.

Falso (F): el sensor no detecta el tronco.

Se comprobó el funcionamiento del algoritmo de control para dos rangos de diámetro de tronco: menos de 0.2 m y de 0.2 a 0.3 m, y distintas posiciones del tronco respecto al vibrador, las cuales se establecierón en función de tres radios con centro en el punto de giro del pantógrafo y dos ángulos con respecto al eje Y con centro de referencia el punto de giro del pantógrafo (Figura 3).

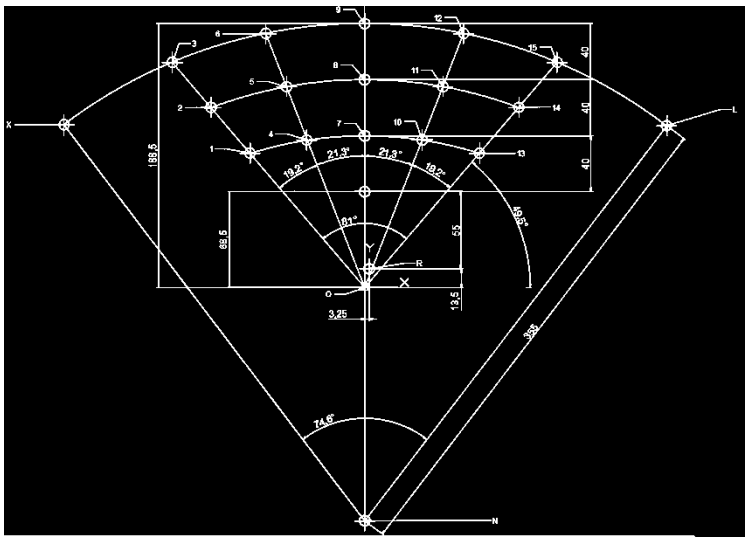


Figura 3. Plano de trabajo del ensayo en laboratorio

3. Resultados y Discusión

Evaluando el porcentage de acierto en las diferentes localizaciones del tronco en el área de trabajo del escáner (Figura 4) durante el ensayo de laboratorio observando un ratio de éxito del 91%. Sin

embargo en ángulos inferiores a 21.3^{o} y distancias superiores a 1.35 m el ratio de éxito se incrementa hasta el 96.7 %.

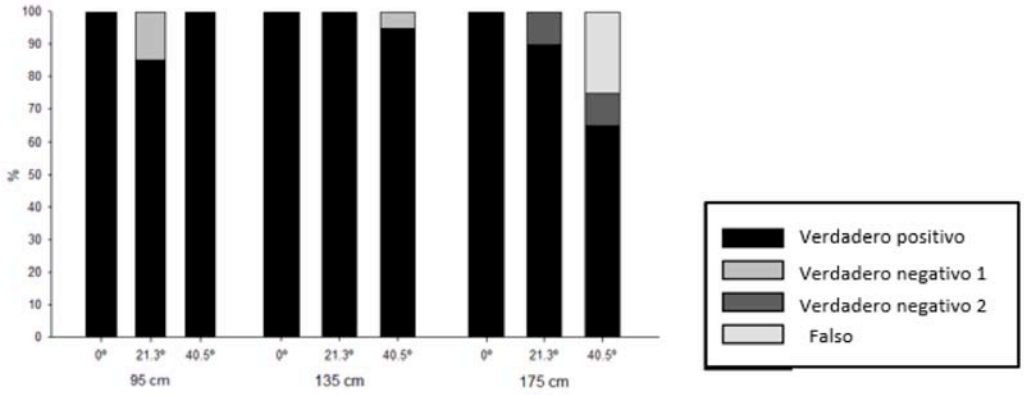


Figura 4. Porcentaje de cada caso registrado en función de la distancia y la angulación

En la Figura 5 se puede observar un histograma de tiempos empleado en realizar las cogidas limitando a los primeros 20 s. Esta limitación de tiempo se justifica debido a que el sistema debe mejorar la capacidad de recolección de los sistemas manuales. El tiempo medio empleado en realizar una cogida con éxito es de 7.8 ± 2.9 s.

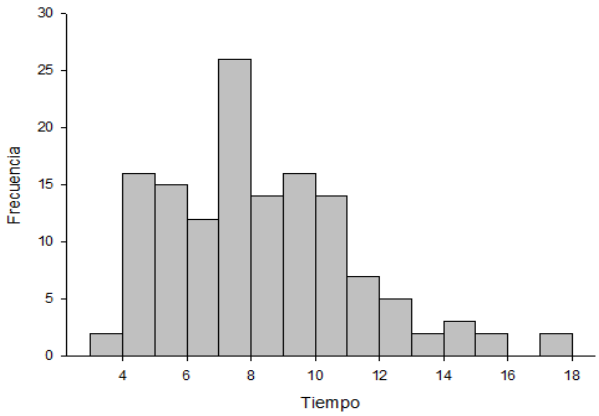


Figura 5. Histograma de tiempos empleados en las cogidas del tronco s/árbol

En el análisis del algoritmo de control del sistema se han relacionado los tres parámetros que pueden afectar a la capacidad de trabajo del sistema: ángulo, distancia y diámetro de tronco.

En primer lugar se ha analizado la influencia del diámetro de tronco con respecto al tiempo empleado en realizar la cogida del tronco, no observándose en el análisis diferencias significativas, por lo tanto el tamaño del tronco no afecta al tiempo en realizar la cogida del mismo.

En segundo lugar se realizó un análisis relacionando la angulación y la distancia a la que está localizado el tronco, con respecto al tiempo empleado en las cogidas del mismo pudiendo afirmar que existen diferencias significativas (Figura 6).

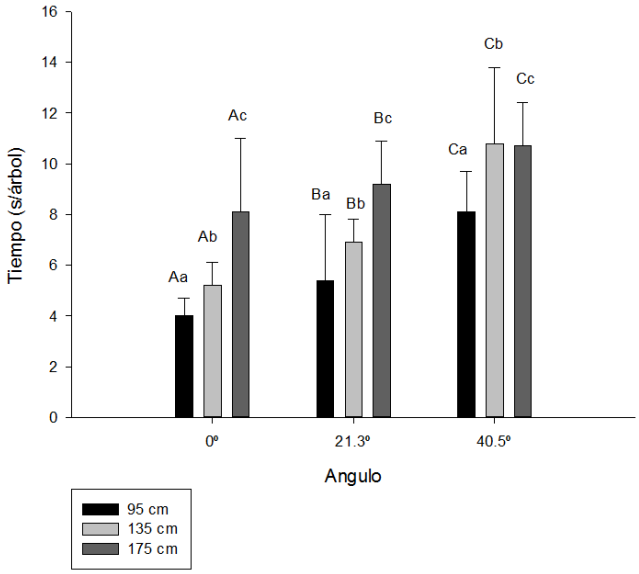


Figura 6. Influencia de la distancia y la angulación en el tiempo empleado en las cogidas al tronco. Diferentes letras indican diferencias significativas (ρ<0.05), test de Scheffe.

En la actualidad, el vibrador de troncos suele estar manejado íntegramente por un operario que actúa sobre todas las variables (Gil-Ribes et al., 2008). Sin embargo existen más métodos de cosecha para nuevas tipologías de olivar basadas en cosechadoras comerciales (Ravetti & Robb, 2010), y en desarrollo en función de la continuidad de la copa (Rayo et al., 2013), siendo necesario limitar el vigor en plantaciones intensivas (Tombesi & Farinelli, 2016) para realizar una recolección mecanizada.

El empleo de un escáner IR puede ser de gran ayuda en cuestiones como descortezado, o la mejora de la capacidad de trabajo, perfeccionando el funcionamiento del vibrador y reduciendo el error humano evitando las tareas repetitivas. La inclusión de un sistema robotizado para el control de los movimientos de un vibrador de troncos también puede incluirse en cosechadoras para olivar, reduciendo de forma importante la carga de trabajo del operario y simplificando el cuadro de control de estas máquinas, donde las observaciones, juicios y operaciones repetidas conducen a pérdidas de tiempo y de combustible (Zheng et al., 2012).

4. Conclusiones

Tras evaluar los cuatros casos que se pueden dar en el funcionamiento del sistema, se observa un alto ratio de casos verdaderos positivos en las cogidas simuladas en taller, y algo superior en campo, lo que indica la viabilidad del sistema en condiciones de trabajo reales.

Un factor muy importante en el rendimiento del sistema de recolección es el tiempo empleado en las tareas de reconocimiento (posicionamiento, aproximación y agarre). El sistema presenta una media, en laboratorio, de 7.8 ± 2.9 segundos en los casos verdaderos positivos, alcanzando valores en campo de 3 ± 2 segundos en las posiciones más favorables. El sistema proporciona avisos en el estacionamiento del vehículo en la posición adecuada para un correcto agarre, aporta precisión en los movimientos de posicionamiento de la pinza y normaliza la vibración.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida al Ministerio de Economía, Industria y competitividad a través de fondos FEDER. Además, agradecen la confianza y el apoyo económico de la Interprofesional del Aceite de Oliva Español en el convenio de Compra Pública Precomercial Mecaolivar y a la empresa Tecniagri Agrícola y Forestal S. L. que participó en dicho proyecto.

Bibliografía

Bac C. W., Hemming J. and Van Henten E. J. 2013. Robust pixel-based classification of obstacles for robotic harvesting of sweet-pepper. *Computers and Electronics in Agriculture* 96: 148-162.

Barawid O. C., Mizushima A., Ishii K., and Noguchi N. 2007. Development of an autonomous navigation system using a two-dimensional laser scanner in an orchard application. *Biosystems Engineering* 96(2): 139-149.

Castillo-Ruiz F. J., Jiménez-Jiménez F., Blanco-Roldán G. L., Sola-Guirado R. R., Agüera-Vega J., and Castro-Garcia S. 2015. Analysis of fruit and oil quantity and quality distribution in high-density olive trees in order to improve the mechanical harvesting process. S*panish Journal of Agricultural Research* 13(2): 0209.

Castro-García S., Blanco-Roldán G. L., Gil-Ribes J. A., and Agüera-Vega J. 2008. Dynamic analysis of olive trees in intensive orchards under forced vibration. *Trees* 22(6): 795-802.

COI (Consejo Oleícola Internacional), 2015. Estudio internacional sobre costes de producción del aceite de oliva. (acceso el 8-02-2017). http://www.internationaloliveoil.org/documents/index/1815-international-olive-oil-production-costs-study?lang=en_US

De-An Z., Jidong L., Wei J., Ying Z., and Yu, C. 2011. Design and control of an apple harvesting robot. *Biosystems engineering* 110(2): 112-122.

Ferguson L., Rosa U. A., Castro-Garcia S., Lee S. M., Guinard J. X., Burns J. and Glozer K. 2010. Mechanical harvesting of California table and oil olives. *Advances in Horticultural Science* 53-63.

Fernandez Escobar R., de la Rosa R., Leon L., Gomez J.A., Testi F., Orgaz M., Gil-Ribes J.A., Quesada-Moraga E., Trapero A. 2013. Evolution and sustainability of the olive production systems. Options Méditerranéennes, A, no. 106, Present and future of the Mediterranean olive sector.

Gil-Ribes J., López-Giméne, F. J., Blanco-Roldán G. L. and Castro S. 2008. Mecanización. El cultivo del olivo. BARRANCO D., FERNÁNDEZ ESCOBAR R., RALLO L.(eds),. 435-505. Madrid, España. Mundiprensa.

Kester C., Griepentrog H. W., Hörner R., and Tuncer Z. 2013. A survey of future farm automation–a descriptive analysis of survey responses. *In Precision agriculture'13* (pp. 785-792). Wageningen Academic Publishers.

Rallo L., Barranco D., Castro-García S., Connor D. J., Gómez-del-Campo M., and Rallo P. 2013. High-density olive plantations. *Hortic Rev*, 41, 303-384.

Ravetti L., and Robb S. 2010. Continuous mechanical harvesting in modern Australian olive growing systems. *Advances in Horticultural Science*, 71-77.

Rosa U. A., Rosenstock T. S., Choi H., Pursell D., Gliever C. J., Brown P. H. and Upadhyaya S. K. 2011. Yield monitoring system for pistachios. *Transactions of the ASABE*. 54(5): 1555-1567.

Sola-Guirado R. R., Castro-García S., Blanco-Roldán G. L., Jiménez-Jiménez F., Castillo-Ruiz F. J., and Gil-Ribes J. A. 2014. Traditional olive tree response to oil olive harvesting technologies. *biosystems engineering*, 118, 186-193.

Tombesi A., Boco M., Pilli M., and Farinelli D. 2000. Influence of canopy density on efficiency of trunk shaker on olive mechanical harvesting. In IV International Symposium on Olive Growing 586 (pp. 291-294).

Tombesi S., and Farinelli D. 2016. Trunk Constriction Effects on Vegetative Vigour and Yield Efficiency in Olive Tree (Olea europaea L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(6), 1667-1680.

Torregrosa A., Albert F., Aleixos N., Ortiz C., and Blasco J. 2014. Analysis of the detachment of citrus fruits by vibration using artificial vision. *Biosystems Engineering,* 119, 1-12.

Zheng Y., Liu J., Wang D. and Yang, R. 2012. Laser scanning measurements on trees for logging harvesting operations. *Sensors*, 12(7), 9273-9285.

Alternativas al uso del atomizador convencional en olivar, PARTE 1: desarrollo de nuevos equipos especialmente concebidos para la reducción de las pérdidas de productos fitosanitarios

Jesús A. Gil-Ribes[1], Antonio Miranda-Fuentes[1], Andrés Cuenca-Cuenca[1], Alberto Godoy-Nieto[1], J. Llorens[2], E. J. González-Sánchez[1], Gregorio L. Blanco-Roldán[1]

[1] Departamento de Ingeniería Rural, Edificio Leonardo da Vinci, Campus de Rabanales, Ctra. Nacional IV, km. 396, 14014, Córdoba, España. Email: Antonio.Miranda@uco.es.

[2] Departamento de Ingeniería Agroforestal. Grupo de Investigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión, Universidad de Lleida - Centro Agrotecnio, Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España.

Resumen

Las nuevas directrices de racionalización de los tratamientos fitosanitarios obligan a los olivareros a adaptar las dosis aplicadas a las necesidades reales que se les presentan. Aunque el agricultor se encuentra cada día más concienciado y el gasto de fitosanitarios se encuentra controlado, la aplicación apropiada de estos productos es fundamental para que no exista una incidencia alta de las plagas y enfermedades. Esta circunstancia contrasta con la baja eficiencia que presenta el atomizador comercial, por lo que la Universidad de Córdoba (UCO), junto con empresas del sector y el apoyo de la Interprofesional del Aceite de Oliva Español y del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, desarrollaron nuevos equipos para disminuir las pérdidas de producto y hacer que aumente la cobertura de la superficie foliar.

Los equipos se desarrollaron durante 2 años por parte de las empresas ganadoras de un concurso público en base a unos requisitos técnicos impuestos por la UCO, cuya base era la de reducir las pérdidas de producto y mejorar la eficiencia. Las tres máquinas desarrolladas fueron: I) Un equipo con ventilador centrífugo y seis difusores montados sobre brazos con movimiento independiente para copiar la forma de la copa de los árboles, II) Un atomizador con 6 pequeños ventiladores laterales de flujo axial accionados por motores hidráulicos y montados sobre estructuras laterales móviles, y III) Un pulverizador con doble ventilador axial montado en una estructura tipo torre para canalizar el flujo de aire y boquillas montadas en grupos de tres. Cada equipo cumplió con los requisitos impuestos en el pliego de una forma completamente distinta.

Después de su recepción, los prototipos fueron caracterizados y calibrados en condiciones de laboratorio, donde se llevó a cabo la inspección de los mismos de acuerdo al RD 1702/2011 y se determinó el caudal de aire de cada uno en función del régimen de la toma de fuerza. También se comprobó el mecanismo de adaptación a la forma de la copa. Los resultados de laboratorio fueron completamente satisfactorios y permitieron la prueba de los equipos en condiciones de campo.

Palabras clave: atomizadores, prototipos, diseño, desarrollo, innovación.

Alternatives to commercial airblast sprayer use in olive, PART 1: development of new sprayers specially designed to reduce the plant protection product losses

Abstract

The new guidelines on pesticide application rationalization make necessary to adapt the applied doses to the real needs. Although farmers are getting increasingly aware of the pesticide risks and their use is controlled, the appropriate application of these products is key to prevent crops from suffering a high incidence of pests and diseases. As this circumstance contrasts with the low efficiency of the conventional airblast sprayer, the University of Cordoba (UCO), along with three machinery manufacturers and with the support of the Spanish Olive Oil Interprofessionals and the Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness, developed three new sprayers to reduce the product losses and to make the leaf surface coverage to increase.

The sprayers were developed in two years by the companies that won the public tendering for accomplishing some technical requirements imposed by the UCO, whose basis was to reduce the product loss and to improve the efficiency. The three machines developed were: I) A sprayer with a centrifugal fan and six air spouts mounted on structures with independent movement to copy the canopy shape, II) A sprayer with six small-sized lateral fans with axial flow driven by hydraulic engines and mounted on lateral mobile structures, and III) A sprayer with double axial fan mounted on a tower-like structure with lateral mobile deflectors that funnel the airflow towards the tree crown with nozzles grouped in packs of three. Each sprayer accomplished the requirements imposed in a different way.

After their reception, the prototypes were characterized and calibrated in laboratory conditions, where they were inspected according to RD 1702/2011, and their air flow rate for each PTO speed was determined. The mechanism of adaptation to the tree shape was also checked. The results of the laboratory tests were completely satisfactory and they allowed for the test of the sprayers in field conditions.

Keywords: airblast sprayers, prototypes, design, development, innovation.

1. Introducción

Las nuevas directrices europeas en materia de aplicación de productos fitosanitarios (PF) han producido una revolución en la situación de los tratamientos. De un estado inicial de bajo grado de control y uso indiscriminado de plaguicidas se ha evolucionado hacia una nueva situación en la que se habla de inspección de equipos, ajuste de la dosis y estrategias de control integrado, términos desconocidos hace unos años. El cambio comenzó con la Directiva 128/2009 (Parlamento Europeo, 2009) de Uso Sostenible de plaguicidas, que se transpuso progresivamente a los marcos jurídicos de los diferentes países miembros. En el caso de España, surgieron los Reales Decretos 1702/2011 y 1311/2012 sobre inspección de equipos en uso y uso sostenible de fitosanitarios. La orientación de las nuevas leyes es la de ahorrar producto en la medida de lo posible, y esto pasa por racionalizar los tratamientos.

Muchos son los avances que distintos autores venían haciendo en materia de optimización de las dosis aplicadas, especialmente en cultivos arbóreos, por la complejidad del ajuste sobre objetivos tridimensionales, y no planos como en el caso de los cultivos herbáceos. Así, términos como Tree Row Volume (TRV, Sutton y Unrath, 1984) o Leaf Wall Area (LWA, Morgan, 1981) se han hecho populares a la hora de dosificar los PF en toda Europa, llegando incluso a incluirse en sus etiquetas en países como Suiza o Bélgica (Frießleben et al., 2007). No obstante, una buena dosificación no garantizará la eficacia del tratamiento si el producto aplicado no acaba depositado sobre las hojas, por lo que la maquinaria de aplicación presenta una gran importancia en el buen uso de los PF.

El equipo normalmente empleado en olivar, el atomizador, presenta graves problemas de eficiencia en el uso del caldo, y esta circunstancia se agrava en los cultivos de tipo tradicional, con grandes árboles y copas irregulares (Holownicki et al., 2000), como ocurre en el caso del olivar. Se han propuesto, como alternativas a este equipo, túneles de pulverización, que reducen drásticamente las pérdidas de producto por captar el que escapa de la copa y recircularlo (Jamar et al., 2010). No obstante, este tipo de soluciones parecen poco adecuadas para los olivos intensivos y tradicionales por ser difícil técnicamente y desde el punto de vista de la practicidad construir un equipo que envuelva la copa completamente (100 m^3 de volumen de copa en el caso de los árboles tradicionales, Miranda-Fuentes et al., 2015). No obstante, existen otras vías encaminadas a la consecución de la mejora de la eficiencia de la aplicación, como es la de acercar los elementos de aplicación a la vegetación (Moltó et al., 2000). El objetivo de la Parte I del presente trabajo es describir el desarrollo de nuevos atomizadores especialmente adaptados a las condiciones particulares del olivar tradicional e intensivo, y aportar resultados sobre su calibración de laboratorio, previa a su trabajo en campo.

2. Materiales y Métodos

2.1. Requisitos de los equipos de aplicación

Los técnicos de la Universidad de Córdoba (UCO) en colaboración con agricultores cualificados y técnicos, empresas del sector y los dirigentes de la Interprofesional del Aceite de Oliva Español (IAOE), desarrollaron un pliego de prescripciones técnicas que los prototipos debían cumplir. Así, en su desarrollo no solo se buscó la mejora en la eficiencia de la aplicación, sino que se atendió a diferentes parámetros relacionados con su facilidad de operación, los requisitos de potencia para su accionamiento o la seguridad del aplicador, entre otros (Fig. 1).

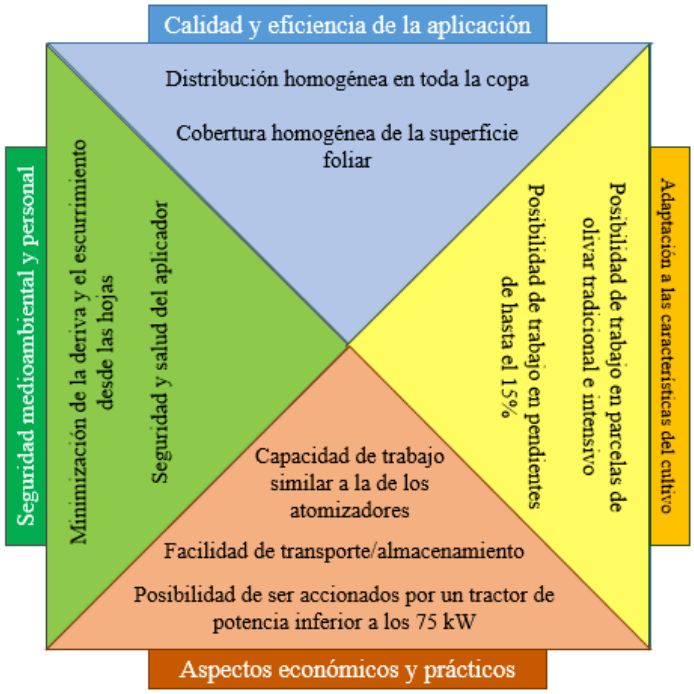


Figura 1. Requisitos exigibles a los equipos desarrollados

Los requisitos fueron publicados en la página web del proyecto, además del pliego de prescripciones técnicas del mismo, para su adecuada difusión.

2.2. Elección de las empresas participantes

El buen desarrollo del proyecto exigía una pre-selección de cinco empresas para exponer las ideas con las que alcanzar los objetivos impuestos en el pliego de prescripciones técnicas, después de acreditar su solvencia técnica y económica. Tras la selección de las propuestas por parte de los técnicos de la UCO, las empresas tuvieron un periodo de 3 meses en el que desarrollar sus ideas en forma de proyectos técnicos de ejecución, incluyendo planos de detalle, previsión de actividades e hitos, inventario de componentes y presupuesto. En este proceso, las empresas pre-seleccionadas contaron con el apoyo constante del equipo del proyecto para resolver sus dudas técnicas y administrativas, además de su asesoramiento para mejora de las propuestas iniciales. Al final del proceso, se realizó la selección definitiva de las 3 empresas participantes en el proceso, en base al resultado final del proyecto, el realismo del mismo y el grado de cumplimiento esperado sobre el pliego de prescripciones técnicas.

2.3. Desarrollo de los equipos

El desarrollo de los equipos tuvo lugar entre los años 2014 y 2015, finalizando en diciembre del último año. Se llevó a cabo en dos etapas conocidas como pre-prototipado, donde se desarrollaron las ideas iniciales, como se explica en el punto 2.2, y prototipado, donde las empresas pusieron en práctica los desarrollos propuestos. La estructura del proyecto la marcaron las fechas de certificación y pago de las unidades de obra completadas. Se fijaron fechas en las que la UCO procedía a realizar el pago de todas las unidades de obra que se hubieran ejecutado apropiadamente, para lo que la empresa debía contar con el informe favorable del técnico UCO encargado de su supervisión. Esta etapa incluía también pruebas iniciales de desarrollo por parte de las empresas y estudios científicos aplicados por parte de la UCO a petición de éstas, como ensayos de determinación de la precisión de sensores ultrasónicos para aproximar los elementos de aplicación a la copa (Gamarra-Diezma et al., 2015).

2.4. Recepción de los equipos, inventario de componentes y calibración de laboratorio

Cuando la empresa determinó que los equipos estaban listos para su entrega, se procedió a la recepción de éstos por parte de la UCO. Lo primero que los técnicos hicieron fue realizar un inventario exhaustivo de cada uno de los componentes, incluyéndolos en fichas de registro e identificando sus características de funcionamiento y sus especificaciones técnicas, de acuerdo a la información dispuesta por el fabricante.

Terminado el inventario, se procedió a la calibración de laboratorio de los mismos. Ésta constó de dos partes: determinación de la precisión del sistema de aproximación a copa (Fig. 2a) y aforo del caudal de aire que cada equipo aportaba en función del régimen de la toma de fuerza (Fig. 2b). En el primer caso se optó por emplear una cinta métrica para determinar la distancia a la que quedaban los elementos de aplicación de un obstáculo introducido a distintas distancias y a su comparación con la distancia programada por el fabricante. En el segundo se optó por la utilización de un anemómetro de mano (Omega HF81, Omega Engineering, Manchester, RU) para la determinación de la velocidad del aire en la aspiración del ventilador, en diferentes puntos de la misma, para determinar el caudal volumétrico de aire expelido.

3. Resultados y Discusión

A continuación se detallan las principales características de cada uno de los prototipos desarrollados.

3.1. Prototipo P1: equipo con ventilador centrífugo y difusores individuales

El prototipo P1 (Fig. 3) fue desarrollado por la empresa Asesores y Técnicas Agrícolas SA (Atasa, Alcantarilla, Murcia, España) y su diseño se basó un ventilador centrífugo de doble rotor con difusores de salida del aire montados sobre brazos extensibles, que se mueven de acuerdo a la señal de un sensor ultrasónico de tipo analógico (mic+600/IU/TC, Intertronic Internacional S.L., Paterna, Valencia, España) que va montado sobre el mismo brazo. Este sensor tiene, a su vez, la capacidad de controlar la pulverización de un grupo de tres boquillas de cono hueco que van montadas formando, junto con el sensor y el difusor, una unidad de pulverización.

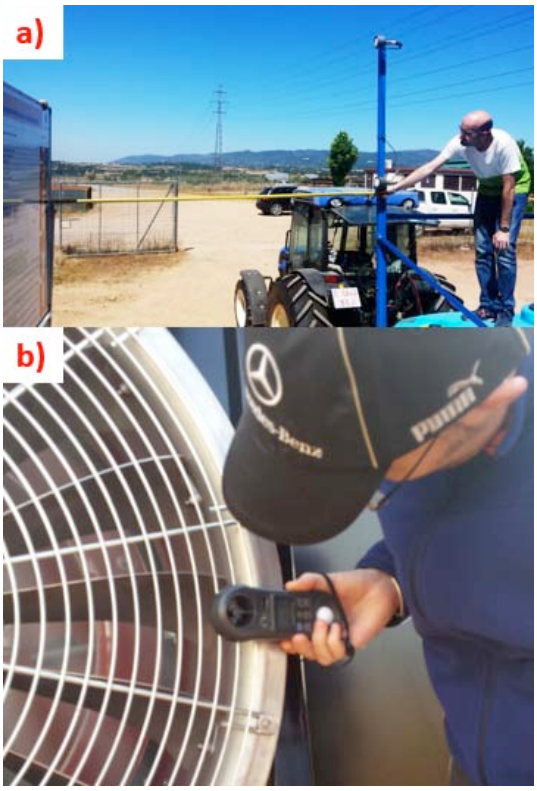


Fig. 2a. Comprobación de la precisión de los sistemas de acercamiento a copa. b. Aforo del caudal de aire expelido.

Como características adicionales de este prototipo, cabe destacar su capacidad de plegado, que hace que la estructura trasera se abata sobre sí misma (Fig. 4a), facilitando enormemente su transporte y almacenamiento, así como su maniobra por la parcela hasta la zona de tratamiento. Otra ventaja son las placas electrónicas de diseño específico para las necesidades a cubrir, y el depurado sistema de decisión integrado para conseguir una gran precisión en el acercamiento de los elementos pulverizadores a la copa, incluso en árboles de geometría muy compleja (Fig. 4b).

3.2. Prototipo P2: equipo con ventiladores laterales de accionamiento hidráulico

El prototipo P2 (Fig. 5) fue desarrollado por Osuna Sevillano S.L. (Jauja, Córdoba, España), y su fundamento es el de sustituir el ventilador central de flujo axial del atomizador convencional por seis ventiladores laterales, también de flujo axial, pero de tamaño reducido y accionamiento hidráulico (Fig. 5a). El fundamento de este equipo es el de conseguir un elevado caudal de aire sin que sea necesario aumentar notablemente la velocidad del mismo, como sí ocurre en los atomizadores convencionales, por tener una sección única de impulsión. Los ventiladores, en cuya periferia se disponen las boquillas, van montados sobre dos secciones móviles que se acercan y alejan de la copa en función de la señal de un sensor ultrasónico central de tipo analógico (3RG6014-3AD00-PF, Pepperl+Fuchs, Mannheim, Germany). Éste, a su vez, controla también la pulverización de la sección central en altura. Las secciones superior e inferior son controladas por sensores ultrasónicos pero de tipo digital, sin que éstos tengan control alguno sobre el movimiento de las estructuras laterales.

El equipo consta de dos modos de trabajo, uno con adaptación a la copa y otro completamente plegado para trabajar en el sistema de cultivo intensivo (Fig. 5b).

Fig. 3. Prototipo P1 fabricado por Atasa, con ventilador centrífugo y difusores individuales montados sobre brazos móviles.

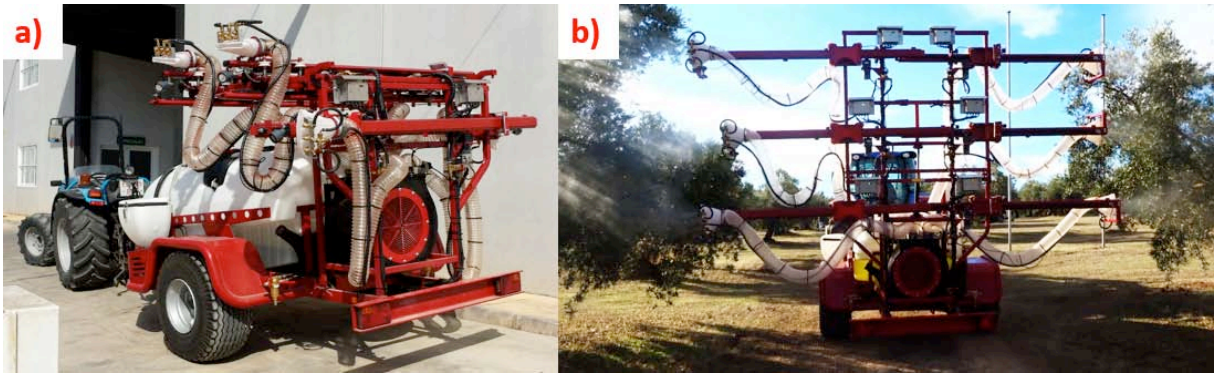


Fig. 4a. Sistema de plegado del equipo. b. Adaptación de las unidades de aplicación a la forma de un olivo de tipo tradicional.

El equipo dispone, asimismo, de una central hidráulica con un sistema refrigerador del aceite, con lo que puede trabajar durante largos periodos sin que haya problemas por sobrecalentamiento del fluido de accionamiento hidráulico. El encargado de controlar el movimiento de los brazos es un autómata programable que gestiona todas las salidas hacia actuadores y electroválvulas.

3.3. Prototipo P3: equipo con doble ventilador axial sobre estructura tipo torre.

El prototipo P3 (Fig. 7) es el más parecido a los equipos convencionales, salvo por la inclusión de un segundo ventilador sobre una estructura tipo torre con cuatro secciones laterales que poseen la capacidad de salir de la estructura central, copiando la forma de la copa en base a las lecturas de cuatro sensores ultrasónicos analógicos (mic+600/IU/TC, Intertronic Internacional S.L.). Este equipo aporta una gran estabilidad, ya que tiene un doble eje tándem que hace que pueda transitar por terrenos muy complicados para un equipo normal. Las boquillas se sitúan en grupos de 3 (Fig. 8a), habiendo un total de 48 boquillas que se pueden abrir y cerrar individualmente. El equipo consta, asimismo, de un sistema de regulación completamente automático (Fig. 8b) que auto-regula la presión de pulverización en base al ancho de trabajo, velocidad y volumen de caldo deseado.

Fig. 5. Prototipo P2 fabricado por Osuna Sevillano, con ventiladores laterales montados sobre estructuras móviles.

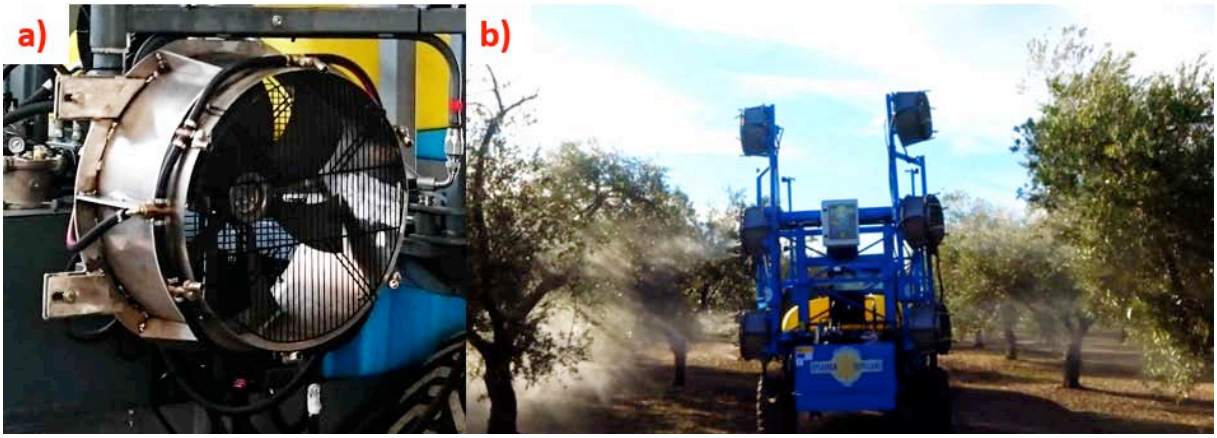


Fig. 6a. Ventilador lateral del prototipo P2. b. Equipo trabajando en un olivar intensivo con marco estrecho.

Aunque el equipo no dispone de un sistema de plegado como tal, su transporte y almacenamiento son posibles, y presenta la ventaja de aumentar la capacidad de trabajo como consecuencia del mayor tamaño de su depósito, de 4800 L, en lugar de los habituales de 2000-2200 L.

3.4. Resultados de la calibración de laboratorio de los equipos.

El inventario de componentes reflejó que los equipos incluían cuantos elementos fueron descritos en la memoria de los fabricantes, y que éstos presentaban las características necesarias para adaptarse a las necesidades de trabajo impuestas. En cuanto a la adaptación a la forma de los obstáculos interpuestos, funcionó de forma muy precisa, sin que la resolución de la metodología de medida pusiera de manifiesto errores.

Fig. 7. Prototipo P3 fabricado por Máñez y Lozano, con ventiladores axiales montados en una estructura tipo torre.

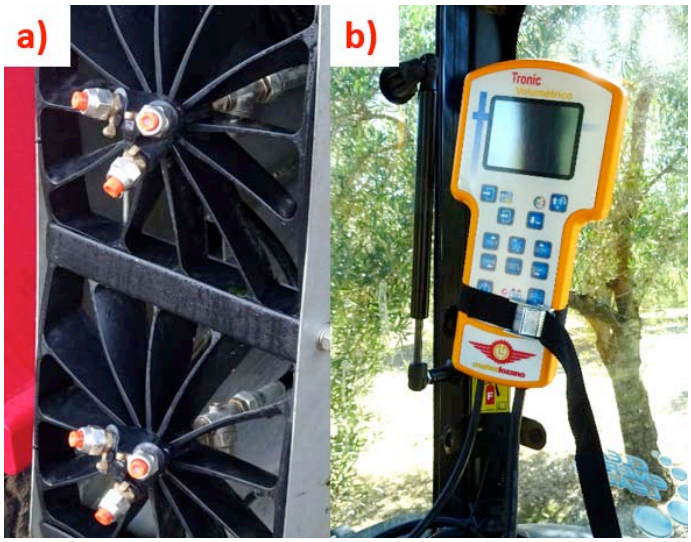


Fig. 8a. Grupos de boquillas del prototipo P3. b. Mando del sistema de regulación automático del equipo.

Los resultados del aforo de los caudales de aire de los equipos se muestran en la Fig. 9. Como se puede apreciar, excepto por el equipo P1, cuyo ventilador centrífugo genera altas velocidades del aire con bajos caudales, los prototipos superan al atomizador convencional en todo el rango de regímenes de giro de la toma de fuerza ensayados. Esta circunstancia es de gran importancia en olivar puesto que los grandes volúmenes de copa requieren de altos caudales de aire que sean suficientes para cubrir totalmente la copa. La superioridad de los prototipos hace que se pueda trabajar a menor régimen de revoluciones para igualar el caudal aportado por el atomizador convencional.

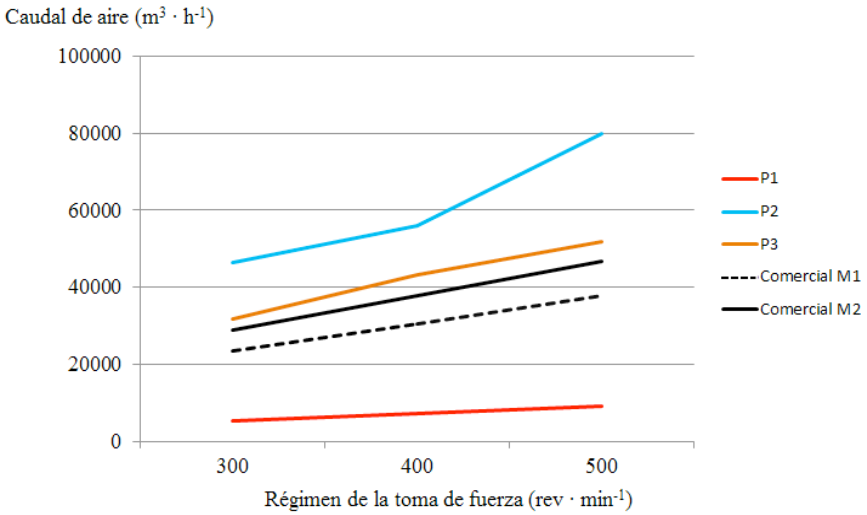


Fig. 9. Caudales de aire de los distintos equipos junto a un atomizador comercial en su primera (M1) y segunda (M2) velocidad del ventilador.

4. Conclusiones

Se llevó a cabo el desarrollo de nuevos equipos de aplicación de fitosanitarios especialmente concebidos para trabajar en las condiciones particulares del olivar tradicional. El marco de desarrollo, la colaboración público-privada, demostró ser muy ágil, permitiendo además la asistencia constante y el ensayo de componentes individuales con la rigurosidad del método científico. Los equipos desarrollados son muy diferentes en su concepción, pero los tres presentan características muy interesantes desde el punto de vista del diseño y la utilidad. El aforo de los prototipos demostró que, salvo el equipo P1 por su ventilador centrífugo, los nuevos equipos superan los caudales de aire del convencional de forma sustancial, permitiendo reducciones en los regímenes de accionamiento necesarios.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida al Ministerio de Economía, Industria y competitividad a través de fondos FEDER. Además, agradecen la confianza y el apoyo económico de la Interprofesional del Aceite de Oliva Español (IAOE) en el convenio de Compra Publica Precomercial Mecaolivar.

Bibliografía

Frießleben, R., Roßlenbroich, H.-J., Elbert, A., 2007. Dose expression in plant protection product field testing in high crops: need for harmonization. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 60, 85–96.

Gamarra-Diezma, J.L., Miranda-Fuentes, A., Llorens, J., Cuenca, A., Blanco-Roldán, G.L., Rodríguez-Lizana, A., 2015. Testing Accuracy of Long-Range Ultrasonic Sensors for Olive Tree Canopy Measurements. *Sensors* (Basel). 15, 2902–2919.

Holownicki, R., Doruchowski, G., Godyn, A., Swiechowski, W., 2000. Variation of spray deposit and loss with air-jet directions applied in orchards. *J. Agric. Eng. Res*. 77, 129–136.

Jamar, L., Mostade, O., Huyghebaert, B., Pigeon, O., Lateur, M., 2010. Comparative performance of recycling tunnel and conventional sprayers using standard and drift-mitigating nozzles in dwarf apple orchards. *Crop Prot.* 29, 561–566.

Miranda-Fuentes, A., Llorens, J., Gamarra-Diezma, J.L., Gil-Ribes, J.A., Gil, E., 2015. Towards an optimized method of olive tree crown volume measurement. *Sensors* 15, 3671–3687.

Moltó, E., Martín, B., Gutiérrez, A., 2000. Design and testing of an automatic machine for spraying at a constant distance from the tree canopy. *J. Agric. Eng. Res*. 77, 379–384.

Morgan, N., 1981. Minimizing pesticide waste in orchard spraying. *Outlook Agri*. 10, 342–344.

Parliament, E., 2009. European Directive 2009/128/EC for the Sustainable Use of Pesticides.

Sutton, T.B., Unrath, C.R., 1984. Evaluation of the Tree-Row-Volume concept with density adjustments in relation to spray deposits in apple orchards. *Plant Dis.* 68, 480–484

Alternativas al uso del atomizador convencional en olivar, PARTE 2: ensayo de nuevos equipos especialmente concebidos para la reducción de las pérdidas de productos fitosanitarios

Antonio Miranda-Fuentes[1], Andrés Cuenca-Cuenca[1], Alberto Godoy-Nieto[1], J. Llorens[2], E. J. González-Sánchez[1], Gregorio L. Blanco-Roldán[1], Jesús A. Gil-Ribes[1]

[1] Departamento de Ingeniería Rural, Edificio Leonardo da Vinci, Campus de Rabanales, Ctra. Nacional IV, km. 396, 14014, Córdoba, España. Email: Antonio.Miranda@uco.es.

[2] Departamento de Ingeniería Agroforestal. Grupo de Investigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión, Universidad de Lleida - Centro Agrotecnio, Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España.

Resumen

Las nuevas directrices de racionalización de los tratamientos fitosanitarios obligan a los olivareros a adaptar las dosis aplicadas a las necesidades reales que se les presentan. Aunque el agricultor se encuentra cada día más concienciado y el gasto de fitosanitarios se encuentra controlado, la aplicación apropiada de estos productos es fundamental para que no exista una incidencia alta de las plagas y enfermedades. Esta circunstancia contrasta con la baja eficiencia que presenta el atomizador comercial, por lo que la Universidad de Córdoba junto con empresas del sector desarrollaron nuevos equipos para disminuir las pérdidas de producto y hacer que aumente la cobertura de la superficie foliar.

Se ensayaron en condiciones reales de campo tres prototipos contra un atomizador convencional en los sistemas de plantación tradicional e intensivo, pulverizando un total de 6 árboles con todos los equipos. Se aplicó el colorante alimenticio E-102 (tartracina) para determinar el depósito sobre colectores de papel de filtro situados en 16 zonas de muestreo por toda la copa. También se evaluó la cobertura mediante la utilización de papel hidrosensible colocado en las mismas zonas. Para ajustar el volumen de caldo a aplicar, se estimaron los volúmenes de copa de los árboles y se pulverizó a razón de 0.12 $L \cdot m^{-3}$. El caudal de aire de cada equipo también fue adaptado, según sus particularidades, al volumen de copa.

Los resultados del estudio muestran que los tres prototipos mejoran al atomizador convencional en el sistema de cultivo intensivo, incrementando el depósito de producto hasta en un 133%, con incrementos medios de cobertura de hasta el 100% respecto al equipo comercial. En el sistema de cultivo tradicional, se consiguen incrementos en el depósito que alcanzan el 98%, con incrementos de cobertura del 70%. Estos valores indican que los volúmenes de caldo se pueden reducir en el campo mediante el uso de equipos más eficientes, aumentando la sostenibilidad en el uso de los agroquímicos.

Palabras clave: atomizadores, prototipos, ensayo, deposición, cobertura.

Alternatives to commercial airblast sprayer use in olive, PART 2: field testing of new sprayers specially designed to reduce the plant protection product losses

Abstract

The new guidelines on pesticide application rationalization make necessary to adapt the applied doses to the real needs. Although farmers are getting increasingly aware of the pesticide risks and their use is controlled, the appropriate application of these products is key to prevent crops from suffering a high incidence of pests and diseases. As this circumstance contrasts with the low efficiency of the conventional airblast sprayer, the University of Cordoba (UCO), along with three machinery manufacturers and with the support of the Spanish Olive Oil Interprofessionals and the Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness, developed three new sprayers to reduce the product losses and to make the leaf surface coverage to increase.

Three prototypes were tested in real field conditions against a commercial airblast sprayer, in traditional and intensive olive plantation systems. A total of 6 trees were sprayed with a mix including food dye E-102 (tartrazine) as a tracer, to assess the spray deposit on filter paper collectors set in 16 sampling positions throughout the canopy. The spray covered was also evaluated through the use of water sensitive paper collectors, placed in the same positions. In order to adjust the spray volume to be applied, the trees' crown volume was estimated and the spray volume was adjusted with the specific spray volume of 0.12 L m^{-3}. The airflow rate of each sprayer was also adapted to the canopy volume.

The results of the study showed that the prototypes improved the performance of the commercial equipment in the intensive olive trees, increasing the spray deposit up to 133%, with a mean coverage increase up to 100% with respect to the conventional sprayer. In the traditional orchard, deposit increase rises to 98%, with a mean coverage increment of 70%. These values indicate that the spray volume can be reduced in field conditions through the use of more efficient sprayers, increasing the sustainability in the use of plant protection products.

Keywords: airblast sprayers, prototypes, field testing, spray deposition, spray coverage.

1. Introducción

Las nuevas directrices europeas en materia de aplicación de productos fitosanitarios (PF) han producido una revolución en la situación de los tratamientos. De un estado inicial de bajo grado de control y uso indiscriminado de plaguicidas se ha evolucionado hacia una nueva situación en la que se habla de inspección de equipos, ajuste de la dosis y estrategias de control integrado, términos desconocidos hace unos años. El cambio comenzó con la Directiva 128/2009 (Parlamento Europeo, 2009) de Uso Sostenible de plaguicidas, que se transpuso progresivamente a los marcos jurídicos de los diferentes países miembros. En el caso de España, surgieron los Reales Decretos 1702/2011 y 1311/2012 sobre inspección de equipos en uso y uso sostenible de fitosanitarios. La orientación de las nuevas leyes es la de ahorrar producto en la medida de lo posible, y esto pasa por racionalizar los tratamientos.

Muchos son los avances que distintos autores venían haciendo en materia de optimización de las dosis aplicadas, especialmente en cultivos arbóreos, por la complejidad del ajuste sobre objetivos tridimensionales, y no planos como en el caso de los cultivos herbáceos. Así, términos como Tree Row Volume (TRV, Sutton y Unrath, 1984) o Leaf Wall Area (LWA, Morgan, 1981) se han hecho populares a la hora de dosificar los PF en toda Europa, llegando incluso a incluirse en sus etiquetas en países como Suiza o Bélgica (Frießleben et al., 2007). No obstante, una buena dosificación no garantizará la eficacia del tratamiento si el producto aplicado no acaba depositado sobre las hojas, por lo que la maquinaria de aplicación presenta una gran importancia en el buen uso de los PF.

El equipo normalmente empleado en olivar, el atomizador, presenta graves problemas de eficiencia en el uso del caldo, y esta circunstancia se agrava en los cultivos de tipo tradicional, con grandes árboles y copas irregulares (Holownicki et al., 2000), como ocurre en el caso del olivar. Por este motivo, la Universidad de Córdoba (UCO) junto con el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (MINEICO) y el apoyo del sector del aceite desarrollaron tres prototipos de atomizador especialmente adaptados a las condiciones particulares del olivar tradicional e intensivo. El principal propósito de estas máquinas es aumentar la eficiencia en el uso del caldo pulverizado, y el fundamento en el que se basan es en acercar los elementos aplicadores a la copa de los árboles para reducir el tiempo de exposición de las gotas a la acción del viento. Una vez calibrados en condiciones de laboratorio, los prototipos debían ser evaluados en condiciones de campo.

2. Materiales y Métodos

2.1. Finca de ensayo y caracterización de la vegetación.

Los ensayos se llevaron a cabo en dos parcelas pertenecientes a la misma finca comercial, "Fuente la Rosa", situada en el término municipal de La Rambla, en Córdoba, España. Las coordenadas de la

casa-cortijo de la finca son: 37.715 N; -4.811 O. Esta finca resultó ser especialmente apropiada para probar los equipos porque disponía de parcelas de olivar tradicional e intensivo. El olivar tradicional, de variedad 'Hojiblanca', presentaba árboles plantados al tresbolillo, a 12 x 10 m, con una densidad de 107 árboles por ha. El sistema intensivo, disponía de árboles de variedad 'Picual' con un marco de plantación real a 7 x 7 m.

Para caracterizar la vegetación se empleó el método del 'Mean Vector' (Miranda-Fuentes et al., 2015), que consiste en medir la distancia entre el centro del árbol y los puntos más externos de la copa en 8 direcciones separadas 45º entre sí (Fig. 1). La media aritmética de las 8 medidas tomadas, el vector medio o 'MV', permite la estimación del volumen de copa mediante las Ecuaciones 1 y 2 para árboles tradicionales e intensivos, respectivamente:

$$V_C = 47.364 \times MV - 56.666 \quad (1)$$

$$V_C = 28.405 \times MV - 32.951 \quad (2)$$

Donde MV es el vector medio expresado en m, y V_C es el volumen de copa, en m^3. Se caracterizaron un total de 6 árboles, 3 por sistema de cultivo.

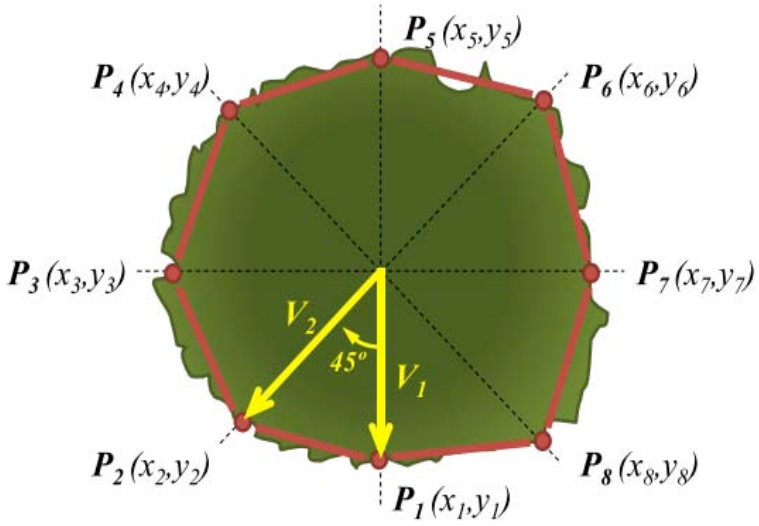


Figura 1. Medida de los vectores necesarios para la obtención del MV.

2.2. Equipos de pulverización y parámetros de trabajo.

En el ensayo se emplearon los 3 prototipos de pulverizador hidráulico de chorro transportado desarrollados en el proyecto Mecaolivar y un atomizador convencional (Fig. 2a), como los comúnmente empleados en olivar. El prototipo P1 (Fig. 2b) presenta un ventilador centrífugo y 6 difusores laterales, montados sobre brazos móviles que se adaptan a la forma de la copa, según las lecturas de sensores ultrasónicos montados sobre los mismos. El prototipo P2 (Fig. 2c) consta de 6 ventiladores laterales de tamaño reducido y accionamiento hidráulico, montados sobre 2 estructuras móviles que los acercan y alejan de la copa. Por último, el prototipo P3 (Fig. 2d) consta de 2 ventiladores montados sobre una estructura tipo torre con 4 secciones móviles que dirigen la corriente de aire hacia la copa.

Los parámetros de trabajo se encuentran resumidos en la tabla 1. Cabe destacar que estos parámetros fueron optimizados para el atomizador convencional. Así, el volumen aplicado fue de

0.12 L por m-3 de volumen de copa, volumen específico obtenido para el equipo convencional (Miranda-Fuentes et al., 2016).

Tabla 1. Parámetros de trabajo del ensayo de equipos.

	Sistema de cultivo							
	Intensivo				Tradicional			
Parámetro	P1	P2	P3	Conv.	P1	P2	P3	Conv.
Color de boquilla Albuz ATR	Rojo	Amarillo	Amarillo	Verde	Azul	Rojo	Rojo	Azul
Número de boquillas abiertas	18 (2 x 9)	36 (2 x 18)	34 (2 x 17)	14 (2 x 7)	18 (2 x 9)	36 (2 x 18)	34 (2 x 17)	14 (2 x 7)
Presión (bar)	13	11	13	13	9	7	8	14
Caudal de caldo ($L \cdot min^{-1}$)	39.06	38.52	39.78	39.06	58.32	58.32	58.82	55.86
Volumen de caldo ($L \cdot ha^{-1}$)	578.7	585.1	580.7	583.0	1136.1	1170.3	1164.8	1151.8
Velocidad de avance ($km \cdot h^{-1}$)	4.05	3.95	4.11	4.02	3.08	2.99	3.03	2.91
Régimen t.d.f. (rpm)	540	500	450	520	500	400	350	420
Caudal de aire ($m^3 \cdot s^{-1}$)	2.8	12.7	12.7	12.7	2.7	11.1	11.1	11.1

Figura 2. Atomizadores empleados en el estudio: a. Atomizador convencional. b. Prototipo P1. c. Prototipo P2. d. Prototipo P3.

2.3. Diseño experimental y sistema de muestreo. Realización de los ensayos.

Los 6 árboles caracterizados se monitorizaron en 16 zonas de muestreo, distribuidas en 3 alturas y 4 sectores, con 2 profundidades en la altura intermedia (Fig. 3). En cada zona de muestreo se coloca un papel de filtro de 10 x 10 cm, para determinar el depósito de trazador, y 2 papeles hidrosensibles de 76 x 26 mm para evaluar los parámetros de cobertura, uno coincidiendo con el haz y otro con el envés de la hoja. El trazador empleado en los ensayos fue el colorante alimentario E-102 (tartracina), a una concentración en depósito de 8 g L-1. Previa y posteriormente a la pulverización con cada equipo, se tomó una muestra del contenido del depósito, para conocer su concentración exacta.

Durante el transcurso del ensayo se determinó la velocidad real de avance del tractor con una cinta métrica y un cronómetro. Una vez secadas las muestras, se almacenaron en condiciones de oscuridad para evitar la fotodegradación del trazador.

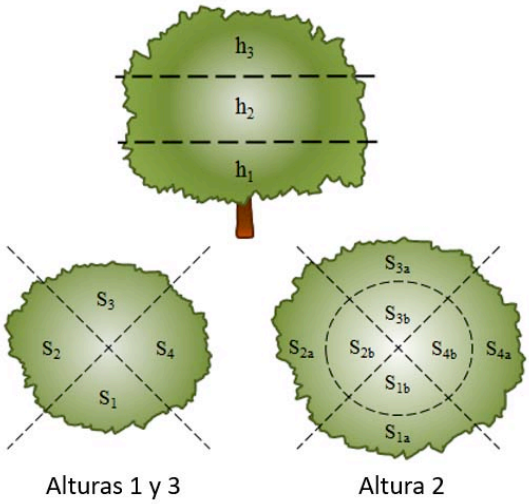


Figura 3. Sistema de muestreo en la copa de los árboles.

2.4. Análisis de las muestras, determinación de los parámetros y análisis estadístico.

Las muestras se analizaron en el laboratorio. Para las muestras de deposición, los papeles de filtro se introdujeron en bolsas con 100 mL de agua destilada, agitándolas durante un tiempo de 60 s para conseguir su completo lavado. A continuación fueron introducidas en placas de 96 pocillos y su concentración fue determinada en un espectrofotómetro (Synergy HTX, Biotek, Winooski, Bermont, EEUU). A partir de este parámetro, la deposición, d (µg cm-2) fue determinada, conociendo la superficie del colector y el volumen de agua de lavado.

En cuanto a los papeles hidrosensibles, fueron escaneados a alta resolución (600 ppp) y analizados con el software libre ImageJ. A partir de los datos obtenidos, se determinaron el porcentaje de cobertura (%) y el número de impactos por unidad de superficie (cm-2).

En cuanto al análisis estadístico de los datos, se llevó a cabo con SPSS Statistics v22 (IBM, Armonk, NY, USA), y se comprobó el cumplimiento de los requisitos de normalidad y homocedasticidad de los residuos de los mismos. Los datos de cobertura debieron ser sometidos a una transformación de tipo arcoseno. A continuación se llevó a cabo un análisis de la varianza (ANOVA) con un test LSD.

3. Resultados y Discusión

A continuación se detallan las principales resultados obtenidos de los ensayos de los prototipos.

3.1. Caracterización de la vegetación

Los árboles fueron caracterizados obteniéndose un valor promedio de MV de 2.37 m en el olivar intensivo, lo cual generó un volumen de 34.31 m3, y un MV promedio de 3.29 m, generando un volumen medio de 99.16 m3.

3.2. Depósito de trazador

El depósito de trazador conseguido por los diferentes equipos viene representado en la Fig. 4.

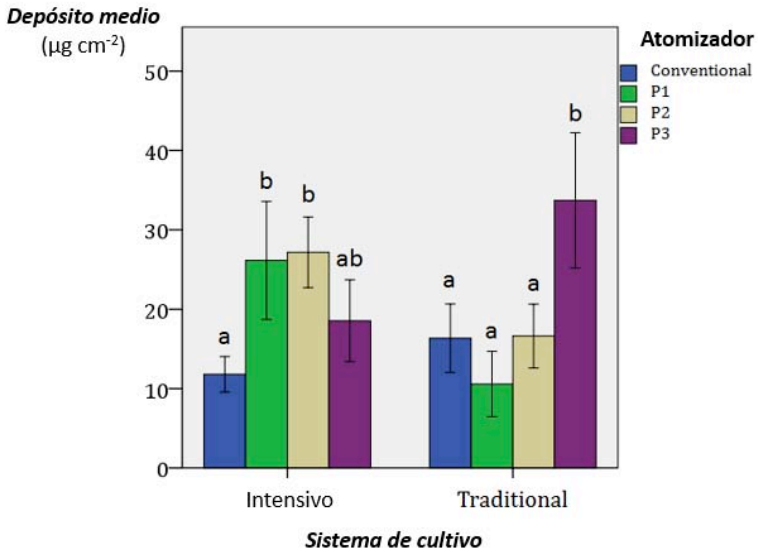


Figura 4. Depósito por unidad de superficie para cada equipo de aplicación y tipo de olivar.

Como puede apreciarse, los equipos tuvieron un desempeño muy distinto en los diferentes sistemas de cultivo estudiados. Así, mientras el atomizador convencional generó resultados similares en ambos, los prototipos P1 y P2 ofrecieron un depósito mayor en el sistema de cultivo intensivo, mientras que P3 se desempeñó mejor en el sistema tradicional. En comparación con el equipo de referencia en olivar intensivo, los valores de los 3 prototipos resultaron superiores, si bien solo P1 y P2 los mejoraron de forma significativa ($p < 10\text{-}3$). Así, los valores medios de depósito obtenidos en los equipos P1 y P2, muy similares, suponen incrementos del depósito alcanzado por el atomizador convencional del 125% y 130%, respectivamente. P3 queda situado en una posición intermedia, como puede observarse en la figura 4, con un incremento medio del 58%. En el sistema de cultivo tradicional, cambia la situación, situándose P3 muy por encima del resto, y consiguiendo el mayor depósito medio alcanzado en el ensayo. El depósito de P3 es un 205% el del atomizador comercial (incremento del 105%). En esta segunda prueba, el equipo P2 obtiene resultados muy similares al atomizador, pero P1 queda por debajo, aun sin presentar diferencias significativas con aquel, pero con un valor medio del 75%. Esta circunstancia puede explicarse por el sistema neumático de P1, que podría no ser suficiente para cubrir toda la superficie foliar de los árboles tradicionales, que tenían un volumen de copa muy elevado, lo que hacía necesario contar con caudales mayores de aire.

3.3. Cobertura e impactos

Los resultados de los equipos para porcentaje de cobertura y número de impactos vienen recogidos en la Fig. 5.

El porcentaje de cobertura siguió un patrón similar al depósito de trazador. Como puede verse, el atomizador convencional se comportó de forma muy similar en ambos sistemas de cultivo, pero los distintos equipos repitieron las tendencias de los resultados de depósito. Así, en el sistema intensivo, la distribución de resultados de los equipos P1 y P2 resultó estar por encima de la del equipo comercial, aunque de forma más evidente en el caso de P2. Una vez más, P3 tuvo un desempeño similar en este sistema de cultivo. En el caso del cultivo tradicional, volvió a ponerse de manifiesto que P3 es el equipo que mejores resultados consigue en este sistema, con un incremento de cobertura del 70% respecto al atomizador común (38% de P3 vs 22% del equipo convencional). En este apartado, P2 volvió a presentar valores similares a los de referencia y P1 volvió a evidenciar sus carencias en este sistema de cultivo.

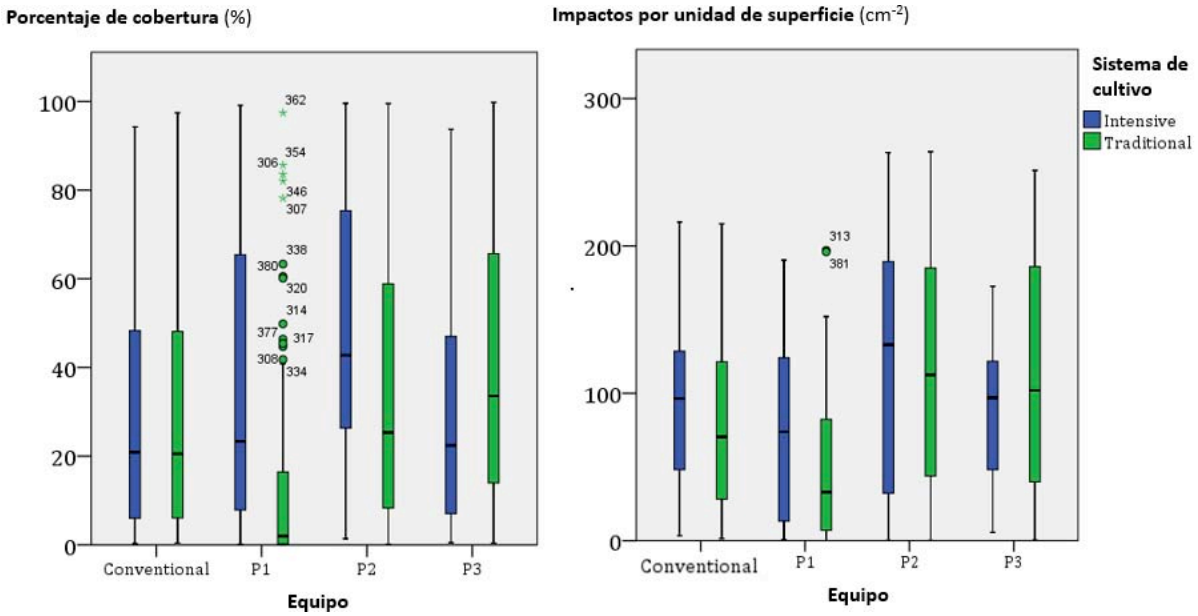


Figura 5. Cobertura y número de impactos para los diferentes equipos ensayados en los dos sistemas de cultivo.

En cuanto a los valores de impactos por unidad de superficie, las tendencias fueron similares, salvo por el hecho de que P1 consiguió menos impactos que el equipo convencional. P2 consiguió, en este apartado, los mejores resultados para los dos sistemas de cultivo, y P1, los más bajos.

No obstante, hay que tener en cuenta que los resultados aquí descritos se han obtenido sin configurar los parámetros de trabajo de los nuevos prototipos en su forma óptima, estableciendo por el contrario los mejores para el atomizador convencional. Queda mucho margen de mejora, pero a la vista de estos resultados los equipos desarrollados presentan un gran potencial para aumentar la eficiencia de la aplicación de fitosanitarios a la copa de los árboles, con lo que se podrían reducir las dosis de producto aplicadas y, por tanto, el riesgo de contaminación medioambiental, haciendo de los tratamientos fitosanitarios una herramienta útil a la par que segura y necesaria para asegurar la rentabilidad de los cultivos.

4. Conclusiones

Se llevó a cabo la prueba de tres atomizadores desarrollados en condiciones reales de trabajo en campo para comparar la calidad de su aplicación con la de un equipo comercial. En el ensayo se adaptaron los parámetros de trabajo para alcanzar el óptimo del atomizador convencional, y se mantuvieron constantes en los prototipos. De los ensayos se desprende que cada equipo presenta un diferente grado de adaptación a los dos sistemas de cultivo estudiados, pero que generalmente mejoran al atomizador comercial en ambos, consiguiendo importantes incrementos de producto en la copa de los árboles. Así, P1 aporta un buen desempeño en el olivar intensivo, mientras que P3 lo hace en olivar tradicional. P2 mostró ser el equipo más polivalente, ya que mejora al equipo comercial en los dos sistemas, aunque resulta muy superior en intensivo. Estos desarrollos pueden suponer un primer paso para optimizar la aplicación de fitosanitarios en condiciones de campo, permitiendo reducir los riesgos inherentes a la aplicación.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida al Ministerio de Economía, Industria y competitividad a través de fondos FEDER. Además, agradecen la confianza y el apoyo económico de la Interprofesional del Aceite de Oliva Español (IAOE) en el convenio de Compra Publica Precomercial Mecaolivar.

Bibliografía

Frießleben, R., Roßlenbroich, H.-J., Elbert, A., 2007. Dose expression in plant protection product field testing in high crops: need for harmonization. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 60, 85–96.

Holownicki, R., Doruchowski, G., Godyn, A., Swiechowski, W., 2000. Variation of spray deposit and loss with air-jet directions applied in orchards. *J. Agric. Eng. Res.* 77, 129–136.

Miranda-Fuentes, A., Llorens, J., Gamarra-Diezma, J.L., Gil-Ribes, J.A., Gil, E., 2015. Towards an optimized method of olive tree crown volume measurement. *Sensors* 15, 3671–3687.

Miranda-Fuentes, A., Llorens, J., Rodriguez-Lizana, A., Cuenca, A., Gil, E., Blanco-Roldán, G.L., Gil-Ribes, J.A., 2016. Assessing the optimal liquid volume to be sprayed on isolated olive trees according to their canopy volume. *Sci. Total Environ*. 568, 296–305.

Morgan, N., 1981. Minimizing pesticide waste in orchard spraying. Outlook Agri. 10, 342–344.

Parliament, E., 2009. European Directive 2009/128/EC for the Sustainable Use of Pesticides.

Sutton, T.B., Unrath, C.R., 1984. Evaluation of the Tree-Row-Volume concept with density adjustments in relation to spray deposits in apple orchards. *Plant Dis.* 68, 480–484.

Análisis del desprendimiento de la naranja por sistemas sacudidores de copa para su recolección mecanizada

Sergio Castro-García[1], Gregorio Lorenzo Blanco-Roldán[1], Rafael Rubén Sola-Guirado[1], Jesús Antonio Gil-Ribes[1]

[1] Dpto. Ingeniería Rural. E.T.S. Ingeniería Agronómica y de Montes. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Ed. Leonardo de Vinci, Ctra. N-IVa, km 396. 14071, Córdoba. scastro@uco.es, ir3blrog@uco.es, ruben.sola.trabajo@gmail.com, gilribes@uco.es

Resumen

La recolección mecanizada de la naranja puede realizarse por medio de la aplicación de una vibración forzada al árbol que genere el desprendimiento de sus frutos. Entre los métodos disponibles, los sistemas sacudidores de copa presentan la ventaja de trabajar de forma continua, con varas que penetran en la copa del árbol y generan un movimiento de baja frecuencia y alta amplitud. Conocer el proceso de desprendimiento forzado de los frutos puede contribuir a hacer más eficaces y eficientes estas cosechadoras. En el derribo de los frutos se emplearon tres cosechadoras basadas en sacudidores de copa. La medida del proceso de desprendimiento se utilizó tres sensores de aceleración triaxial con registro de datos. Aunque los frutos adquirieron la frecuencia de sacudida de la máquina (4,1-4,9 Hz) los valores de aceleración resultante en el fruto dependieron de la interacción del sistema árbol-máquina. El proceso de desprendimiento de los frutos condicionó la velocidad máquina (<3 km/h), tanto por la necesidad de completar un número elevados de ciclos (entre 7,0 y 26,5 ciclos), como por el reducido tiempo de caída libre del fruto sin impactos (0,28 s) y por la limitación de un tiempo excesivo de sacudida que incremente los daños al árbol. La calidad de la fruta estuvo comprometida por la importancia de los impactos recibidos después de desprendimiento (524,4 ms^{-2}). El diseño y uso de una estructura de recogida de frutos derribados y el empleo de material de acolchado resultan fundamentares para reducir los daños ocasionados a los frutos.

Palabras clave: desprendimiento fruto, sacudidor de copa, recolección mecanizada, cítricos, aceleración, vibración

Analysis of orange detachment process with mechanical harvesting with canopy shakers

Abstract

Mechanized harvesting of citrus is based on a forced vibration applied to the tree to detach its fruits. Among the available vibration technologies, the canopy contact shakers can achieve a continue harvesting process with rods exploring the tree canopy and generating a low frequency and high amplitude movement. The analysis of the fruit detachment process under force vibration can contribute to make these harvesters more efficient and efficiency. Three canopy shakers were tested in field conditions to detach fruits. The measure of the detachment process was used three triaxial acceleration sensors with data recording. Although the fruits acquired the shaking frequency of the machine (4.1-4.9 Hz) the values of resultant acceleration on fruits depended on the interaction of the tree-machine system. The fruit detachment process conditioned the machine speed (<3 km/h), required a high number of cycles (between 7.0 and 26.5), and lasted a short time without impacts (0.28 s). The quality of the fruit was compromised by the importance of the impacts received after detachment process (524.4 ms^{-2}). The design and use of a catch frame and soft padding material are fundamental to reduce the damages caused to the fruits.

Keywords: fruit detachment, canopy shaker, mechanical harvesting, citrus, acceleration, vibration

1. Introducción

La producción de naranja en España representa algo más del 50% de la superficie y producción de la UE, siendo el sexto productor a nivel mundial (FAOSTAT, 2014). El principal destino de la producción de cítricos en España es el consumo en fresco, con cerca de 5,4 millones de toneladas, seguido de la trasformación industrial con aproximadamente de 1,4 millones de toneladas (MAPAMA, 2015). El cultivo de cítricos se caracteriza por una elevada volatilidad tanto en los precios pagados al agricultor como en la disponibilidad de mano de obra para recoger la cosecha, lo que hacen que las explotaciones estén destinadas prioritariamente al mercado en fresco con orientación exportadora. Sin embargo, la transformación industrial toma importancia en aquellos años cuando el precio del producto es reducido e incluso compromete la rentabilidad de las explotaciones por los elevados costes de producción.

La recolección de cítricos se hace fundamentalmente por medios manuales. El coste de la recolección manual de naranja para fresco en el sur de España se sitúa entre 0,045-0,05 €/kg (Junta de Andalucía, 2014), con valores superiores a Florida para plantaciones productivas para industria (Brown, 2005). La recolección mecanizada de cítricos con destino industria podría proporcionar una reducción de los costes de recolección en un 50% e incrementar la productividad de la mano de obra hasta en 10 veces según (Roka y Hyman, 2012). Sin embargo, la incorporación de la recolección mecanizada en el sector no termina de suceder. Además de los obstáculos descritos por estos autores para la adopción de la recolección mecanizada de cítricos para industria en Florida, en España se suman que las plantaciones tienen orientación a fresco, y debe recogerse a mano, las parcelas son más pequeñas, y los árboles no están adaptados, tanto en marco como en formación a la recolección mecanizada.

Entre los sistemas de recolección mecanizada empleados en cítricos destacan los sistemas sacudidores de copa, los cuales proporcionan una vibración aplicada a las zonas fructíferas de los árboles de forma continua lo que permite una mayor precisión en la operación que otros sistemas (Whitney y Sumner, 1977). Los sistemas sacudidores de copa pueden adaptar su configuración a lo largo de la campaña para adaptarse a las características de los frutos y gran parte de su éxito depende de la experiencia del operador y de la adaptación de la plantación (Savary et al., 2010). En California y en España la adaptación de los sistemas sacudidores de copa a diferentes cultivos está permitiendo la introducción de estas máquinas en cultivos tradicionales cosechados a mano como la es aceituna de mesa (Ferguson y Castro Garcia, 2014) o la aceituna para aceite (Sola-Guirado et al., 2016). El empleo de estas máquinas en diversos cultivos mejoraría su rentabilidad y posibilita su disponibilidad para mejorar la mecanización de las explotaciones de cítricos. En el caso que los sistemas sacudidores de copa están incorporados en máquinas autopropulsadas, se facilita su trabajo si la plantación dispone de árboles en línea, calles anchas y copas continuas (Roka et al., 2014).

Aunque el empleo de los sistemas sacudidores de copa se destina para futa de transformación industrial su empleo tendría interés en aquellas ocasiones que pudiera hacerse una primera recolección manual del fruto de mayor calidad y fácil de recoger, con destino al mercado en fresco y una posterior recolección mecanizada del resto de frutos, menores y complicados de recoger, para su transformación industrial. Esto podría reducir el coste de la recolección y la logística de mercado en fresco (transportes, manipulación y generación de destríos) permitiendo a las explotaciones mantener su doble aptitud según el momento del año.

Actualmente, los principales criterios para el diseño y mejora de los sistemas sacudidores de copa son generar un mínimo daño al árbol y alcanzar la máxima eficiencia de recolección (Gupta et al., 2015). Ambos criterios de diseño suelen ser opuestos de alcanzar en la recolección mecanizada, como ocurre en cítricos, olivar u otros cultivos, siendo necesario la determinación de los parámetros de trabajo de las máquinas para las condiciones de trabajo específicas. El objetivo de este trabajo es analizar el proceso de desprendimiento de naranjas con sistemas sacudidores de copa en condiciones de campo. La medida en el dominio del tiempo y de la frecuencia del proceso de

desprendimiento del fruto contribuye a la mejora del diseño y manejo de los sistemas sacudidores de copa, así como contribuir a limitar los daños a los frutos y al árbol en los procesos de recolección mecanizada.

2. Materiales y Métodos

Los ensayos de desprendimiento de naranja con sacudidor de copa se realizaron durante la época de recolección de *Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. "Valencia", desde el 20 de mayo al 2 de junio de 2016, en el momento de recolección donde la floración estaba terminando, durante el cuajado del nuevo fruto (peso menor 1 g) y antes de la caída natural de fruta de junio (Tabla 1). Los árboles estuvieron formados en setos anchos, plantados en caballón de altura 0,4 m y en calles anchas que permitieron el trabajo de los sacudidores de copa. Se realizaron 5 medidas en 4 parcelas de ensayo. La fuerza de retención de los frutos (FRF) se determinó con 40 frutos repartidos en ambas caras de las filas de árboles. Se empleó un dinamómetro (Mecmesin, CGF) adaptado al ensayo de tracción de la fruta y se registró el valor máximo durante el proceso de desprendimiento (Figura 1). El peso unitario de los frutos se determinó tomando muestras (mínimo 70 frutos) de los frutos en copa antes y después del paso de la máquina, así como una muestra de los frutos desprendidos.

Figura 1. Medida de la fuerza de desprendimiento del fruto con dinamómetro.

Tabla 1. Características de las parcelas de ensayo con sacudidores de copa.

	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
Distancia entre filas de árboles (m)	8	7	7	7
Distancia entre árboles de fila (m)	4	3	3	4
Altura del árbol (m)	3,9	4,5	3,5	4,5
Ancho del árbol (m)	3,8	4,6	3,6	4,5
Árboles / ha	288	440	440	330
Producción (kg/ha)	37600	33500	21200	22900
Peso unitario de los frutos (g)	169	198	199	267
Fuerza de retención del fruto (N)	60	72	70	87
Fecha de plantación	2005	2007	2007	2005

Los ensayos de desprendimiento de frutos se realizaron con tres sistemas sacudidores de copa arrastrados y accionados por un tractor, destinados a la recolección mecanizada de cítricos. La primera máquina fue un sacudidor de copa (SC-1) presente en la explotación y con el que se realiza la recolección mecanizada habitualmente (Oxbo, 3210) y otros dos prototipos pre-comerciales procedentes del CPP Mecaolivar (ver agradecimientos) y adaptados a la recolección mecanizada de cítricos (Figura 2) fabricados en colaboración de la Universidad de Córdoba junto con las empresas

Maqtec S.L. (SC-2) y Moresil S.L. (SC-3). Las características más importantes de las máquinas se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de los sacudidores de copa (SC) empleados en los ensayos de recolección de la naranja.

	SC-1	SC-2	SC-3
Velocidad de avance (km/h)	1,5	1,0	1,0
Módulos de sacudida	6	1	4
Número de varas	288	156	120
Longitud vara (m)	1,82	0,6	1,82
Amplitud de la oscilación (m)	0,22	0,22	0,10
Plataforma de recogia	No	Si	Si
Parcelas de ensayo	1-2- 4	3	3

Figura 2. Sacudidores de copa empleados es los ensayos de recolección mecanizada. Izquierda: SC-1: Oxbo 3210; Centro: SC-2: Prototipo Mediolive (UCO-Maqtec); Derecha: SC-3: Prototipo Samolive (UCO-Moresil).

Los parámetros de funcionamiento de las máquinas fueron regulados en ensayos previos de campo. La determinación de los parámetros de la vibración de la máquina se realizó sin árbol, midiendo las características de la vibración en el extremo de la vara. Se empleó un acelerómetro triaxial basado en sensor MEMS (Gulf Coast Data Concepts LLC, X200-4) con rango ±200 g, resolución de 16 bits, sensibilidad 0,06 m s^{-2} y frecuencia de muestreo 400 Hz. El análisis de la vibración se realizó con el software NVGate v8.0. El análisis FFT de 401 líneas se realizó en el dominio de la frecuencia con 80% de solape entre bloques de datos, con un promedio lineal de 1024 datos por bloque, en el rango de 0-156,2 Hz y resolución espectral de 0,3905 Hz.

La medida y análisis de la vibración en los frutos se realizó insertando un acelerómetro triaxial, descrito anteriormente, por la parte inferior del fruto en la copa, momentos antes de su derribo con la máquina. En la parte inferior del fruto se realizó un orificio de diámetro 20 mm hasta una profundidad de 80 mm, eliminando la parte del fruto. En la interior se colocó el sensor, con un peso de 48 g protegido con una funda de caucho de 10 g (Figura 3). Al añadir el sensor se incrementó el peso del fruto aproximadamente en 10%, pero no sin alterar la unión del fruto con el pedúnculo. Para evitar la separación del sensor se fijó con cinta adhesiva. Los frutos ensayados fueron seleccionados en ambas caras de los árboles en las zonas exteriores de la copa, entre 1 y 2,1 m de altura, donde se aseguraba un buen contacto con las varas de sacudida. Las máquinas ensayadas fueron capaces de desprender más del 90% de los frutos exteriores de la copa del árbol accesibles a las varas. En total, se realizaron la medida y análisis de 73 frutos, correspondientes a 32, 23 y 18 frutos con las máquinas SC-1, SC-2 y SC-3, respectivamente.

El movimiento del fruto durante la sacudida de la copa fruto fue registrado con una resolución temporal de 2,5 ms por el sensor de aceleración en los tres ejes de medida. La aceleración de la gravedad en el eje vertical fue descartada durante el análisis. Durante el proceso de movimiento del fruto en la copa del árbol se analizó el tiempo de sacudida y se identificó el proceso de

desprendimiento del fruto. La frecuencia principal de movimiento del fruto fue determinada en el tiempo antes de su desprendimiento. La aceleración resultante fue calcula como la suma vectorial de los valores en cada eje de medida (Castro-Garcia et al., 2017). En el proceso de sacudida fue determinado el valor RMS de la aceleración resultante en 1,5 s antes de desprendimiento, o en el periodo de mayor aceleración si el fruto no fue deprendido ($Acc_{RMS\ antes}$). Antes y después del desprendimiento, se promediaron los cinco últimos y primeros valores máximos de aceleración resultante. El promedio de los últimos cinco valores máximos de aceleración resultante antes de desprendimiento ($Acc_{max\ antes)}$ midió el proceso transitorio de contacto de la vara con la rama o el fruto. Por otra parte, el promedio de los primeros cinco valores máximos de aceleración resultante después de desprendimiento ($Acc_{max\ después}$) representó el proceso de interacción del fruto desprendido con las ramas, otros frutos, varas, suelo o estructura de recogida.

Figura 3. Colocación del sensor de aceleración en el interior del fruto antes de su desprendimiento mecánico.

3. Resultados

El análisis del proceso de desprendimiento con sacudidores de copa se ha realizado con un total de 73 frutos medidos empleando 3 sistemas sacudidores de copa. Aunque todos los frutos analizados estuvieron accesibles a las varas de sacudida, el 10,8% (8 frutos) no fueron derribados por las máquinas (Tabla 3).

Tabla 3. Distribución de frutos instrumentalizados y su desprendimiento según la parcela de ensayo y máquina.

Parcela	Sacudior de copa	Frutos		
		Desprendidos	No desprendidos	Total
1	SC-1	12	0	12
2	SC-1	7	1	8
3	SC-2	22	1	23
3	SC-3	14	4	18
4	SC-1	10	2	12

Los valores medios de FRF registrados en las parcelas 1, 2 y 3, se distribuyeron bajo una distribución normal y estuvieron en el rango de 62 a 72 N, sin diferencias significativas entre ellas (ANOVA, Post hoc Tukey, $p<0,05$). Sin embargo, la parcela 4 mostró un elevador valor de FRF con valor medio de 87 N. El valor de FRF para el percentil 90 de la parcela 4 se situó en un valor de 114 N, siendo superior a los valores del resto de parcelas, con valores de 83, 94 y 92 N, respectivamente.

El sensor de aceleración registró el movimiento del fruto en el árbol durante el proceso de sacudida por la máquina. La Figura 4 muestra un ejemplo de una señal temporal de un eje horizontal en el fruto. Antes de desprendimiento, el fruto presentó una oscilación forzada con valores de aceleración

elevados ($Acc_{RMS\ antes}$) y movimiento cercano a la frecuencia de funcionamiento de la máquina. Durante este tiempo se registró valores puntuales de aceleración ($Acc_{max\ antes}$) correspondientes a impactos de las varas, ramas u otros frutos con el fruto medido. El proceso de desprendimiento del fruto se registró como un evento repentino, que interrumpió el movimiento oscilatorio del fruto, quedando libre y reduciendo drásticamente los valores de aceleración. Posteriormente, el fruto en caída libre, con una elevada velocidad inicial (estimada en 4 m/s, con simplificaciones de caída vertical y sin rozamiento), interactuó con el sistema de sacudida de la máquina, con la copa del árbol, cayendo sobre el suelo o sobre el catch frame, generando eventos con elevados valores puntuales de aceleración ($Acc_{max\ después}$).

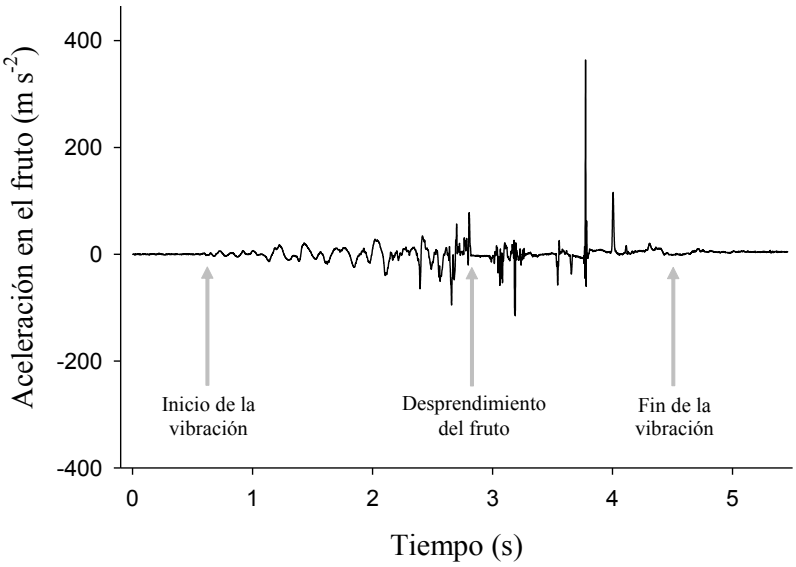


Figura 4. Ejemplo de señal temporal de aceleración durante el proceso de sacudida, desprendimiento y caída del fruto con el sacudidor de copa.

El análisis temporal del proceso de desprendimiento de los frutos se muestra en la Tabla 4. A pesar de las diferencias en FRF y peso unitario de los frutos, no se encontraron diferencias significativas (ANOVA, Post hoc Tukey, $p<0,05$) en los tiempos estudiados según las parcelas de ensayo, por tanto, los resultados se agruparon por máquina. El SC-3 mostró un mayor valor medio del tiempo de vibración antes del desprendimiento del fruto (5,75 s) respecto a las otras máquinas (ANOVA, Post hoc Tukey, $p<0,05$). Sin embargo, los valores de tiempo después de desprendimiento del fruto, tanto sin contacto como interaccionando con la copa y la maquina o suelo, no presentaron diferencias significativas entre máquinas.

Tabla 4. Análisis temporal del proceso de desprendimiento de la naranja con sistemas sacudidores de copa.

	SC-1 (n=29)	SC-2 (n=22)	SC-3 (n=14)
Antes de desprendimiento	2,39 (1,53) a	1,45 (0,87) a	5,75 (4,66) b
Tiempo del fruto en vuelo	0,34 (0,22) a	0,21 (0,10) a	0,26 (0,18) a
Después de desprendimiento	1,16 (0,65) a	1,08 (0,56) a	1,71 (1,93) a
Duración total	3,98 (1,78) a	2,70 (0,94) a	7,76 (5,77) b

Los tres sistemas sacudidores de copa presentaron diferencias significativas (ANOVA, Post hoc Tukey, $p<0,05$) respecto a los valores medios de frecuencia de la vibración empleada para la vibración de la copa (Tabla 5). Los valores medios empleados en las tres máquinas estuvieron comprendidos entre 4,1 y 4,9 Hz. Las maquinas presentaron una gran estabilidad en los valores frecuencia de sacudida, con coeficientes de variación menores al 10%.

Tabla 5. Análisis de la vibración en los frutos antes y después del desprendimiento con sistemas sacudidores de copa.

	SC-1 (n=29)	SC-2 (n=18)	SC-3 (n=16)
Frecuencia de vibración (Hz)	4,1 (0,3) a	4,9 (0,3) b	4,6 (0,4) c
Aceleración (m s^{-2})			
$Acc_{RMS\ antes}$	51,3 (31,2) a	60,4 (28,6) b	38,8 (13,7) a
$Acc_{max\ después}$	449,8 (226,3) a	409,6 (203,0) a	307,6 (150,1) a
$Acc_{max\ antes}$	548,1 (197,2) a	549,8 (217,0) a	453,2 (237,8) a

Los valores mostrados son media y desviación típica en paréntesis (). Valores en la misma fila seguidos por la misma letra indican que no existen diferencias significativas (p < 0,05 HSD Duncan's test).

Los valores de frecuencia y aceleración en los frutos no mostraron una relación lineal significativa (Coef. Pearson 0,096, sig= 0,457, n=62). Los valores $Acc_{RMS\ antes}$ fueron superiores en el SC-2 al resto de máquinas (ANOVA, Post hoc Tukey, p<0,05) con un valor medio de 60,4 m s^{-2}. Los valores máximos registrados antes y después del evento de desprendimiento fueron valores importantes durante la sacudida de los frutos. Los valores de $Acc_{max\ antes}$ y $Acc_{max\ después}$ no presentaron diferencias significativas entre máquinas (ANOVA, Post hoc Tukey, p<0,05). Sin embargo, los valores medios $Acc_{max\ después}$ fueron superiores a los valores medios $Acc_{max\ antes}$ (Prueba T Student, sig=0,000).

3. Discusión

Los sistemas sacudidores de copa pueden llegar a deprender del 90-95% de la fruta madura cuando utilizan los parámetros adecuados de vibración, disponen de un conductor con experiencia y realizan un adecuado acceso de las varas a la copa del árbol (Roka et al., 2014). Los resultados de campo fueron obtenidos de frutos situados en zonas accesibles a las varas y con máquinas con los adecuados parámetros de sacudida, por lo que era de esperar un alto derribo de frutos. El porcentaje de fruta desprendida varió desde valores cercanos al 90%, para las parcelas con menor valor medio de FRF, hasta valores de 83% en la parcela 4 con un valor medio de FRF más elevado. Para valores elevados de FRF cercanos a 102 N, Whitney (1999) reportó similares valores de derribos del 80%, cuando las varas que penetran en la copa más allá de la línea del tronco. Posteriormente, Peterson (1998) trabajando con la misma variedad y sacudidores de copa obtiene con FRF de 120-138 N valores de porcentajes de derribo comprendidos entre 89 y 91 %.

Alcanzar un resultado satisfactorio en la recolección mecanizada de cítricos se enfrenta a que los frutos en la copa presentan una elevada variabilidad, tanto en su distribución en la copa del árbol (Whitney y Wheaton, 1984) cómo en sus parámetros externos (Sánchez et al., 2013). Además, los árboles tienen una elevada variabilidad tanto en las propiedades de sus ramas secundarias o fructíferas (Gupta et al., 2015), así como en los valores de producción y valores entre diferentes campañas (Moreno et al., 2015). La elevada variabilidad en los datos registrados en los frutos medidos en la copa muestra la complejidad del movimiento del fruto y la gran cantidad de parámetros que están implicados en el proceso de desprendimiento (Torregrosa et al., 2014). Respecto a los valores de FRF, los resultados de campo mostraron que, para un mismo momento de medida, los datos se distribuirse bajo una distribución normal, donde el valor medio puede ser importante para definir la velocidad máxima de la máquina (Burns et al., 2005), pero los valores FRF situados en los percentiles más altos pueden limitar la eficiencia del desprendimiento en los últimos frutos sin derribar.

Los valores de FRF no suelen ser un limitante para alcanzar valores elevados de eficiencia de derribo en naranja con sacudidores de copa, no siendo habitual el empleo de favorecedores de abscisión para el trabajo de estas máquinas (Sanders, 2005). De hecho, el desarrollo de los agentes de abscisión tuvo como principal objetivo mejorar la eficiencia de derribo de frutos de los vibradores de troncos, donde su empleo si es recomendable. Para los sacudidores de copa, los valores de FRF de los frutos influye principalmente en la capacidad de trabajo de la máquina y por tanto en su velocidad de

desplazamiento, con el objetivo de encontrar la mejor relación entre eficiencia de derribo y los daños ocasionados al árbol (Burns et al., 2005; Torregrosa et al., 2009).

El tiempo de vibración con sacudidores de copa puede prolongarse al reducir la velocidad de la máquina y al emplear varas de mayor longitud que aumente el contacto de la maquina con el árbol. Mateev y Kostadinov (2004) desarrollaron un modelo probabilístico para explicar el proceso de desprendimiento de cerezas por vibración. Estos autores aproximaron que la cantidad de fruto no desprendido por la vibración disminuía exponencialmente cuando el tiempo de vibración se incrementaba. Aunque es posible incrementar el derribo de frutos aumentando el tiempo de sacudida, no parece adecuado intentar alcanzar un 100% de eficiencia de derribo, si el tiempo es limitado por la necesidad de aumentar la capacidad de trabajo de la máquina y limitar los daños al árbol. El desprendimiento de cítricos por vibración suele presentar un valor de techo máximo al que se aproxima cuando el tiempo de vibración se prolonga y, por tanto, repetir los procesos de vibración no suelen ser efectivos (Ortiz y Torregrosa, 2013).

El tiempo necesario para que los frutos alcancen el desprendimiento desde el inicio de la vibración ha resultado desde un valor medio mínimo de 1,45 s hasta un valor máximo medio de 5,75 s. Considerando estos tiempos y los valores de frecuencia de la sacudida en cada máquina, el desprendimiento medio del fruto implicó realizar entre 7,0 y 26,5 ciclos antes de desprendimiento. En ensayos de laboratorio con sacudida controlada, Torregrosa et al., (2014) desprendieron naranja Valencia desde 4,4 a 15,6 ciclos. Estos autores señalan que al aumentar la amplitud disminuye el número de ciclos necesarios. Los resultados obtenidos con la medida de los frutos en copa muestran como al desplazarse la máquina el proceso de sacudida es creciente en amplitud hasta el desprendimiento del fruto (Figura 4). Este resultado explica que se requiera en condiciones reales de campo un mayor número de ciclos antes de desprendimiento que en condiciones laboratorio al requerir alcanzar los parámetros de la vibración necesarios. Sin embargo, los frutos no derribados en campo registraron un elevado número de ciclos sin producir su desprendimiento. Es conocido que el desprendimiento en cítricos está fuertemente influenciado por las fuerzas axiales en el pedúnculo y que tiene poco efecto la aplicación de cargas repetidas para desprender el fruto por fatiga del material (Alper y Foux, 1976). Así, el tiempo de vibración o el número de ciclos debe ir acompañado de los parámetros de vibración adecuados para que sean efectivos (Lenker y Hedden, 1968; Ortiz y Torregrosa, 2013).

El proceso de desprendimiento de la naranja con sacudidores de copa se produce de forma muy rápida y permite a la máquina realizar la operación en continúo a una elevada velocidad de desplazamiento. Shamshiri et al., (2013) establecen como valores normales de trabajo una velocidad de 1,8 km/h. El número de ciclos necesarios hasta desprendimiento de los frutos indicarían que si se trabaja a una frecuencia habitual de 4,5 Hz (Peterson, 1998), y con un tambor de varas que penetre 1,4 m en la copa, es difícil superar de 3 km/h en el desplazamiento de la máquina sin reducir la eficiencia de derribo de frutos. En ensayos de campo con el sistema de sacudida SC-1, Burns et al., (2005) demostró que al aumentar la velocidad hasta 3,2 km/h se redujo la eficiencia de derribo de frutos respecto velocidades de 2,4 y 1,6 km/h. Por ello, se aconseja emplea un agente de abscisión que permita que incrementar la velocidad de la máquina sin comprometer los valores de eficiencia de derribo de frutos.

Los frutos desprendidos mostraron valores medios de frecuencia y $Acc_{RMS\ antes}$ influenciados según la configuración de la máquina y de su interacción con la copa del árbol. Aunque la frecuencia de sacudida se transmitió con poca variación desde la máquina al fruto, no fue similar para los valores $Acc_{RMS\ antes}$. Al igual que ocurre con los vibradores de troncos, sería de esperar que la aceleración producida en el fruto esté relacionada con la frecuencia de la maquina (Castro-Garcia et al., 2015). Sin embargo, durante el movimiento del fruto provocado por la máquina, la frecuencia de sacudida no estuvo correlacionada con la aceleración producida en el fruto. Para alcanzar un elevado valor de $Acc_{RMS\ antes}$ en fruto se requiere un aumento de la frecuencia de sacudida y de una buena transmisión de la vibración de la máquina al fruto (Sola-Guirado et al., 2014). De hecho, en la máquina SC-3

aunque el valor medio de frecuencia de sacudida fue más elevado al SC-1, la $Acc_{RMS\ antes}$ son de valor medio similares. La transmisión de la vibración (aceleración y amplitud) desde la maquina al fruto se podría mejorar a través de compresión de la copa por parte del sistema de sacudida y por el aumento de la densidad de varas que actúan con la copa, para garantizar que todos los frutos reciben similar vibración. Sin embargo, ambos parámetros son causa de los daños ocasionados al árbol y a los frutos.

Después del desprendimiento, los tiempos de vuelo y parada de los frutos fueron similares entre máquinas. El fruto desprendido estuvo un tiempo medio de 0,28 s en vuelo hasta interactuar con las varas, ramas, otros frutos, suelo o la estructura de recogía. Este tiempo es importante para poder interceptar el fruto antes de que ocurran impactos de gran magnitud, para diseñar las estructuras de recogida y para preservar la calidad del fruto (Ortiz et al., 2011). El fruto empleó mayor tiempo para desprenderse por la vibración (2,82s) que en detenerse tras el desprendimiento (1,25s). Sin embargo, durante el tiempo tras desprendimiento los valores de $Acc_{max\ después}$ fueron superiores a $Acc_{max\ antes}$ mostrando la importancia de la interacción del fruto con la copa para generar impactos en los frutos, de la densidad e interacción de las varas del sistema sacudidor) y de interceptar el fruto en su caída libre con estructuras elevadas para reducir el impacto.

4. Conclusiones

Los frutos localizados en la zona de contacto con un sistema sacudir de copa mostraron un movimiento complejo durante su recolección. Aunque los frutos adquirieron la frecuencia de sacudida de la máquina, los valores de aceleración resultante en el fruto dependieron de la interacción del sistema copa-máquina. El rápido proceso de desprendimiento de los frutos condiciona la velocidad máquina, tanto por la necesidad de completar un número elevados de ciclos, como por el reducido tiempo de caída del fruto y la limitación de un excesivo tiempo de sacudida que incremente los daños al árbol. La calidad de la fruta se ve comprometida por la importancia de los impactos recibidos después de desprendimiento. El diseño y uso de una estructura de recogida de frutos derribados y el empleo de material de acolchado son fundamentares para reducir los daños ocasionados a los frutos.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del Proyecto de Investigación RTA2014-00025-C05-03 concedido por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y cofinanciado con fondos europeos FEDER. Además, los prototipos sacudidores de copa proceden del Convenio CPP MECAOLIVAR establecido entre la Universidad de Córdoba y el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España y cofinanciado por fondos europeos FEDER.

Bibliografía

Alper, Y. and A. Foux. 1976. Strength Properties of Orange Fruit-Stem Joints. *Transactions of the ASAE*, 19(3): 412-416.

Brown, G. K. 2005. New Mechanical Harvesters for the Florida Citrus Juice Industry. *HortTechnology*, 15(1): 69-72.

Burns, J. K., R. S. Buker Iii, and F. M. Roka. 2005. Mechanical harvesting capacity in sweet orange is increased with an abscission agent. *HortTechnology*, 15(4): 758-765.

Castro-Garcia, S., G. L. Blanco-Roldán, L. Ferguson, E. J. González-Sánchez, and J. A. Gil-Ribes. 2017. Frequency response of late-season 'Valencia' orange to selective harvesting by vibration for juice industry. *Biosystems Engineering*, 155: 77-83.

Castro-Garcia, S., F. J. Castillo-Ruiz, F. Jimenez-Jimenez, J. A. Gil-Ribes and G. L. Blanco-Roldan. 2015. Suitability of spanish 'manzanilla' table olive orchards for trunk shaker harvesting. *Biosystems Engineerin*g, 129: 388-395.

FAOSTAT. 2014. División de Estadística, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (Acceso 20 abril 2017.) www.fao.org/faostat/es/#home.

Ferguson, L. and S. Castro Garcia. 2014. Transformation of an Ancient Crop: Preparing California 'Manzanillo' Table Olives for Mechanical Harvesting. *Horttechnology*, 24(3): 274-280.

Gupta, S. K., R. Ehsani, and N. H. Kim. 2015. Optimization of a citrus canopy shaker harvesting system: Properties y modeling of tree limbs. *Transactions of the ASABE*, 58(4): 971-985.

Junta de Andalucía. 2015. Observatorio de precios y mercados. Conserjería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. (Acceso 18 abril 2017) www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio.

Lenker, D. H. and S. L. Hedden. 1968. Optimum shaking action for citrus harvesting. *Transactions of the ASABE*, 11(3): 347-348.

MAPAMA. 2015. Estadísticas agrarias: Agricultura. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (Acceso 24 abril 2017) www.mapama.gob.es/es/estadistica.

Mateev, L. and G. Kostadinov. 2004. Probabilistic model of fruit removal during vibratory morello harvesting. *Biosystems Engineering*, 87(4): 425-435.

Moreno, R., A. Torregrosa, E. Moltó, and P. Chueca. 2015. Effect of harvesting with a trunk shaker and an abscission chemical on fruit detachment and defoliation of citrus grown under Mediterranean conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(1).

Ortiz, C. and A. Torregrosa. 2013. Determining adequate vibration frequency, amplitude, and time for mechanical harvesting of fresh mandarins. *Transactions of the ASABE*, 56(1): 15-22.

Ortiz, C., J. Blasco, S. Balasch, and A. Torregrosa. 2011. Shock absorbing surfaces for collecting fruit during the mechanical harvesting of citrus. *Biosystems Engineering*, 110(1): 2-9.

Peterson, D.L. 1998. Mechanical harvester for process oranges. Ap*plied Engineering in Agricu*lture, 14(5): 455-458.

Roka, F. M. and B. R. Hyman. 2012. Mechanical harvesting of sweet oranges for juice processing, *Acta Horticulturae*, pp. 241-244.

Roka, F.M., R. J. Ehsani, S.H. Futch, and B. R. Hyman. 2014. Citrus mechanical harvesting systems - Continuous canopy shakers. http://edis.ifas.ufl.edu. Food and Economic Resources Department, UF/IFAS Extension, Florida.

Sánchez, M.-T., M.-J. De la Haba, I. Serrano, and D. Pérez-Marín. 2013. Application of NIRS for Nondestructive Measurement of Quality Parameters in Intact Oranges During On-Tree Ripening and at Harvest. *Food Analytical Methods*, 6(3): 826-837.

Sanders, K.F., 2005. Orange harvesting systems review. Biosystems Engineering, 90(2): 115-125.

Savary, S. K. J. U., R. Ehsani, J. K. Schueller, and B. P. Rajaraman. 2010. Simulation study of citrus tree canopy motion during harvesting using a canopy shaker. *Transactions of the ASABE*, 53(5): 1373-1381.

Shamshiri, R., R. Ehsani, J. M. Maja, and F. M. Roka. 2013. Determining machine efficiency parameters for a citrus canopy shaker using yield monitor data. *Applied Engineering in Agriculture*, 29(1): 33-41.

Sola-Guirado, R. R., S. Castro-García, G. L. Blanco-Roldán, F. Jiménez-Jiménez, F. J. Castillo-Ruiz, and J. A. Gil-Ribes. 2014. Traditional olive tree response to oil olive harvesting technologies. *Biosystems Engineering*, 118(1): 186-193.

Sola-Guirado, R. R., F. Jimenez-Jimenez, G. L. Blanco-Roldan, S. Castro-Garcia, F. J. Castillo-Ruiz, and J. A. Gil Ribes. 2016. Vibration parameters assessment to develop a continuous lateral canopy shaker for mechanical harvesting of traditional olive trees. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(2).

Torregrosa, A., F. Albert, N. Aleixos, C. Ortiz, and J. Blasco. 2014. Analysis of the detachment of citrus fruits by vibration using artificial vision. *Biosystems Engineering*, 119(0): 1-12.

Torregrosa, A., E. Ortí, B. Martín, J. Gil, and C. Ortiz. 2009. Mechanical harvesting of oranges and mandarins in Spain. *Biosystems Engineering*, 104(1): 18-24.

Whitney, J. D. and H. R. Sumner. 1977. Mechanical removal of fruit from citrus trees. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 2: 407-412.

Whitney, J. D. and T. A. Wheaton. 1984. Tree spacing affects citrus fruit distribution and yield. *Porc. Fla. State Hort. Soc.*, 97.

Whitney, J. D., 1999. Field test results with mechanical harvesting equipment in Florida oranges. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(3): 205-210.

Desarrollo y ensayo de prototipos de cosechadora basadas en sacudidores de copa para cítricos de industria

Rafael R. Sola-Guirado[1], Sergio Castro-García[1], Gregorio L. Blanco-Roldán[1], Jesús A. Gil-Ribes[1]

[1] Dpto. Ingeniería Rural. E.T.S. Ingeniería Agronómica y de Montes. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Ed. Leonardo de Vinci, Ctra. N-IVa, km 396. 14071, Córdoba. ruben.sola.trabajo@gmail.com, scastro@uco.es, ir3blrog@uco.es, gilribes@uco.es

Resumen

El desarrollo de la recolección mecanizada de cítricos con destino a industria ha estado limitado por el posible daño que se puede producir a los árboles y a la fruta, por la reducida eficiencia que han mostrado los sistemas de recolección y por la necesidad de plantaciones adaptadas. El desarrollo de una cosechadora, y su entrada en el sector, podría facilitarse si fuese capaz de cosechar diferentes cultivos, ampliando sus horas de trabajo al año y adaptando o mejorando las plantaciones. El objetivo de este trabajo es evaluar dos prototipos de cosechadoras basados en sistemas sacudidores de copa laterales para trabajar con naranja en plantación intensiva. Las máquinas fueron arrastradas y accionadas por un tractor, trabajando en cada lado del árbol a una velocidad de desplazamiento de 1 km/h y con una frecuencia de sacudida entre 4 y 5 Hz. Los prototipos fueron capaces de derribar prácticamente la totalidad de la naranja situada en el volumen de copa sacudido, permitiendo derribar el 70% de la fruta del árbol. La vibración no se transmitió a otras zonas del árbol, cayendo menos del 5% de fruta al suelo en el lado opuesto de la máquina. Los daños de mayor importancia en el árbol se originaron en el contacto de la plataforma de recolección con el tronco. Los daños en los frutos fueron producidos por la caída desde la copa a la máquina y por la iteración con las varas de la máquina.

Palabras clave: Recolección mecanizada, sacudidor de copa, daño árbol, daño fruta, naranja

Developing and testing of canopy shaker harvester prototypes for juice oranges

Abstract

The development of mechanical harvesting for juice oranges has been limited by multiple obstacles. Among these problems are the damage to the tree which can produce a yield reduction in the subsequent season, existing orchards and trees poorly adapted for mechanical harvesting and, in Spain, multi-use orchards which harvest oranges for fresh fruit or juice markets depending on the current season's market prices. The development of a harvester, and its introduction in citrus sector, could be promoted if it were able to harvest different crops, expanding its working hours per year and adapting or improving plantations. The objective of this work is to evaluate two prototypes of harvesters based on lateral canopy contact technology to harvest orange in intensive plantation. The machines were tractor-drawn, working on each side of the tree with a ground speed of 1 km/h and 4-5 Hz of shaking frequency. The prototypes removed almost all the fruits located into interaction machine and canopy, allowing to detach 70% of the tree fruit. The vibration was not transmitted to other side of the tree, with less than 5% of fruit falling to the ground on the opposite side of the machine. The more important damage to the tree were originated from the contact of the catch frame and the tree trunk. The damage to fruit was caused by falling from the canopy to the machine and by the mutual interaction between rod machinery and tree canopy.

Keywords: mechanical harvesting, canopy shaker, tree damage, fruit damage, orange

1. Introducción

La recolección de cítricos se hace fundamentalmente por medios manuales. Sin embargo, la incorporación de la recolección mecanizada en cítricos orientada a su procesado en industria podría proporcionar una reducción de los costes de recolección en un 50% e incrementar la productividad de la mano de obra hasta en 10 veces (Roka y Hyman, 2012). Existen diversos obstáculos para la

adopción de la recolección mecanizada de cítricos para industria en Florida basados en la eficiencia de estas máquinas y su nivel de daños. Además, de estos, en España se suman que las plantaciones tienen orientación al mercado en fresco, las parcelas son más pequeñas, y los árboles no están adaptados, tanto en marco como en formación a la recolección mecanizada.

Aunque el empleo de cosechadoras para cítricos puede utilizarse para fruta con destino la transformación industrial, su empleo tendría interés en aquellas ocasiones que pudiera hacerse una primera recolección manual del fruto de mayor calidad y fácil de recoger, con destino al mercado en fresco y una posterior recolección mecanizada del resto de frutos, menores y complicados de recoger, para su transformación industrial. Esto podría reducir el coste de la recolección y la logística de mercado en fresco (transportes, manipulación y generación de destríos) permitiendo a las explotaciones mantener su doble aptitud según el momento del año y el precio de mercado.

El Grupo de Investigación AGR 126 “Mecanización y Tecnología Rural” de la Universidad de Córdoba ha desarrollado en el marco del convenio Mecaolivar dos prototipos pre-comerciales cosechadoras con sacudidor de copa lateral durante 2014 y 2015 en cooperación con las empresas Moresil S.L. y Maqtec S.L. para la recolección del olivar tradicional. (Sola-Guirado et al. 2016). Los prototipos han sido diseñados para trabajar con un tractor de media potencia y arrastradas, tienen sistemas de estabilización que permiten que se adapten al terreno, con un peso reducido (cercano a los 5.000 kg) y permiten el ajuste de los parámetros de trabajo. Ambos prototipos han sido probados en olivar con un resultado satisfactorio, con elevados porcentajes de derribo de frutos y bajos daños en los árboles.

Al igual que la cosecha del girasol se realiza con un cabezal específico y una regulación precisa de la cosechadora de cereal, este trabajo tiene el objetivo de ampliar el uso de los prototipos de cosechadoras de olivar para poder emplearse en cítricos. El objetivo del presente trabajo es el desarrollo en paralelo al olivar de una cosechadora capaz de derribar, interceptar, limpiar y descargar los cítricos, y evaluar la aptitud del trabajo con una única cosechadora lateral. La posibilidad de desarrollar un módulo específico (estructura de recogida, limpieza y descarga) para la cosechadora para cítricos puede proporcionar la oportunidad de disponer cosechadoras para cítricos con destino industria, a pesar de ser un sector aún minoritario, donde se mejore la calidad de la fruta y se reduzcan los daños al árbol.

2. Materiales y Métodos

Los prototipos de cosechadoras usados para este trabajo partieron de un estado inicial diseñado para trabajar en olivar tradicional alrededor de grandes copas de los árboles y amplios marcos de plantación (Figura 1), pero para su trabajo en la plantación intensiva de cítricos con árboles formando un seto ancho, fue necesario realizar una serie de modificaciones (Figura 2). Las principales adaptaciones de los prototipos fueron la corrección de la trayectoria de la máquina mediante la corrección de los ejes y la barra de tiro, la modificación de la estructura de recogida de fruto para trabajar con árboles con caballón y adaptación de las escamas de contacto con el tronco; y la incorporación de sistemas de control y visión para el trabajo en línea a un nivel cercano al suelo.

Figura 1. Estado inicial de los prototipos procedentes del convenio Mecaolivar para recolección de olivar tradicional. Izquierda: Samolive, desarrollado por UCO-Moresil. Derecha: Mediolive, desarrollado por UCO-Maqtec.

Figura 2. Adaptación de los sacudidores de copa para recolección mecanizada de cítricos.

El trabajo de las maquinas en campo requirió del ajuste de los parámetros de funcionamiento. La determinación de los parámetros de la vibración de la máquina se realizó sin árbol, midiendo las características de la vibración en la base y en el extremo de las varas de sacudida. Se empleó un acelerómetro triaxial basado en sensor MEMS (Gulf Coast Data Concepts LLC, X200-4,) con rango ±200 g, resolución de 16 bits, sensibilidad 0,06 m s-2 y frecuencia de muestreo 400 Hz. El análisis de la vibración se realizó con el software NVGate v8.0. El análisis FFT de 401 líneas se realizó en el dominio de la frecuencia con 80% de solape entre bloques de datos, con un promedio lineal de 1.024 datos por bloque, en el rango de 0-156,2 Hz y resolución espectral de 0,3905 Hz.

Los ensayos de recolección se realizaron en una parcela comercial de cítricos de 10 años con destino a industria de Citrus sinensis (L.) Osbeck cv. “Valencia”, en el T.M. de Hornachuelos (Córdoba), en la última semana de mayo de 2016. La plantación disponía de un marco de plantación de 7x3 m, en caballón de 0,4 m altura, volumen de copa de 15.600 m^3/ha, altura de árboles 3,5 m, ancho del seto de 3,6 m y ramas bajeras a 0,2 m del suelo. Los frutos tuvieron un peso medio de 199 g y una fuerza de retención media en el árbol de 70 N. La parcela tuvo una producción media de 21.120 kg/ha y con presencia de frutos inmaduros de bajo tamaño (<1g).

La realización de los ensayos se desarrolló en una fila de 54 árboles por cada máquina, trabajando en una cara del árbol y a continuación por la otra cara, con una velocidad de 1 km/h. El vaciado y pesado de los frutos sobre la máquina se realizó cada 9 árboles en el lado de la fila con mayor producción y cada 18 árboles en el lado con menor producción. En total se realizaron 9 repeticiones del ensayo por máquina. En cada repetición se determinaron los frutos derribados por la máquina, pero no interceptados por la estructura de recogida, en el mismo lado donde trabajaba la máquina,

los frutos pisados por la máquina y las hojas y brotes derribados, tanto en la maquina como en el suelo. Sobre los mismos árboles, pero en el lado opuesto, se determinó por conteo visual los frutos caídos. Así mismo, se determinaron los frutos derribados pero no recogidos y los frutos dañados por la máquina.

La evaluación de los daños ocasionados en los árboles por la máquina se realizó por su identificación y clasificación en 3 categorías (Figura 3). Daño leve: descortezado o rotura poco importante de la que el árbol puede recuperarse fácilmente; daño moderado: rotura o descortezado importante que afecta de forma localizada a una rama de mediano tamaño que puede afectar la producción siguiente; daño grave: daño severo en una rama o tronco que afecta a la productividad del árbol y que podría requerir actuación por poda manual.

Figura 3. Evaluación del daño ocasionado por los sacudidores en los árboles. Izquierda: daño leve. Centro: daño moderado. Derecha: daño grave.

La evaluación de los daños en la fruta se realizó por la toma de muestras durante el proceso de recolección. La primera muestra se tomó antes del paso de la máquina por medio de recolección manual. La segunda muestra se tomó sobre los frutos derribados por la máquina pero no interceptados. Finalmente, la tercera muestra sobre los frutos que quedaron en la copa del árbol tras el paso de la máquina. Cada muestra fue de aproximadamente 100 frutos, los cuales fueron contados, pesados y almacenados en laboratorio en una temperatura aproximada de 24-26 °C y una humedad relativa media comprendida entre 40- 50%. Cada muestra fue pesada, contabilizados y retirados los frutos podridos cada 3-4 días por un plazo de 18-20 días.

3. Resultados y Discusión

La determinación de los parámetros de vibración de las maquinas se realizó tomando las medidas en el tambor de varas (en el interior del tambor o al comienzo de la vara) y en extremo de la vara. La regulación de la vibración se realizó por el ajuste del caudal de los motores de sacudida para obtener un valor de frecuencia cercana a 4,5 Hz (Figura 4), recomendada para este tipo de máquinas (Peterson, 1998). Los resultados de la vibración se resumen en la Tabla 1. Las diferencias entre los mecanismos de sacudida, el material y la longitud de las varas generaron valores de aceleración diferentes. Aunque los valores de la vibración registrados en vacío no son los valores de vibración que la máquina aplica al árbol para el derribo de los frutos, los resultaron ofrecieron valores útiles para realizar el ajuste de cada máquina. El prototipo Mediolive presentó los valores de aceleración y

desplazamiento más elevados en el extremo de las varas, incluso con menor frecuencia de vibración. La flexibilidad de las varas en la sacudida produjo una amplificación de la vibración. Esta amplificación del movimiento será amortiguada por la copa del árbol, esto puede favorecer el derribo de frutos, pero puede ocasionar más daños por rotura de brotes.

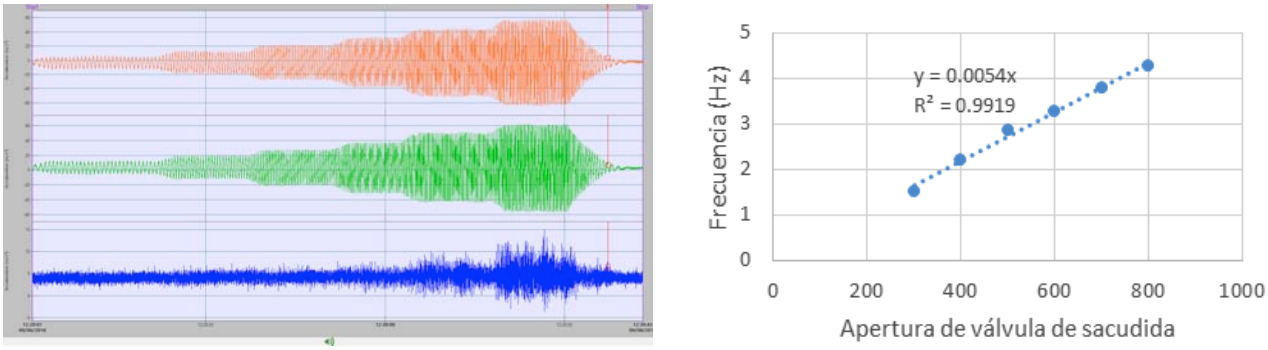


Figura 4. Señal temporal de aceleración en el extremo de la vara en la cosechadora Samolive (izquierda) y ajuste de la frecuencia de sacudida por la regulación del caudal a los motores (derecha).

Tabla 1. Parámetros de la vibración medidos en vacío en la base y extremo de las varas de sacudida y empleados en los ensayos de recolección mecanizada.

Cosechadora	Frecuencia (Hz)	Aceleración RMS (m/s^2)		Desplazamiento (mm)	
		Base	Extremo	Base	Extremo
Samolive	4,7	56,2	67,5	218	220
Mediolive	4,3	26,1	161,3	101	313

Los prototipos fueron capaces de sacudir el volumen de copa en contacto con las varas derribando prácticamente todo el fruto contenido en ese volumen. Similar resultado fue descrito Roka et al. (2014) trabajando con sacudidores de copa comerciales. Se pudo confirmar que la vibración de la copa no se transmitió a otras zonas del árbol. Por tanto, solo se derribó el fruto de la copa sacudida, quedando sin derribar el fruto entre copas de árboles donde la máquina no accedió y el fruto interior de la copa del árbol (Figura 5).

Figura 5. Fruto sin derribar localizado entre las copas de árboles de una misma fila (izquierda) y en el interior de la copa (derecha).

En la parcela de ensayo se determinó que la cara Este de los árboles produjo el 68% de los frutos, mientras que la cara Oeste el 32%. Sin embargo, los valores registrados de fuerza de retención de los frutos al árbol fueron similares entre ambas caras (64 y 78 N, respectivamente). Los resultados de ambas máquinas se muestran en la Tabla 2. La diferencia en producción entre ambos lados afectó a la cantidad de fruto derribado, derribando mayor porcentaje de fruto en la cara con mayor producción. Se obtuvieron porcentajes de derribo de fruto mayores para el prototipo Samolive (74.5%) que para el prototipo Mediolive (61.2%).

Los prototipos trabajaron con una estructura muy simple para interceptar los frutos derribados y almacenarlos en la misma máquina, con la pretensión de futuras mejoras en la gestión del fruto interceptado en base a los resultados obtenidos. En el caso de Samolive, un 13,9% de la fruta derribada cayó al suelo. De esa fruta derribada pero no recogida, prácticamente 2/3 cayeron en la misma línea de la máquina y podría ser cosechada si se realizaran las modificaciones necesarias. Sin embargo, el prototipo Mediolive tuvo menos de un 10% de fruto derribado y no recogido, aunque la cantidad de fruta caída en ambos lados del árbol fue similar. Así, esta configuración cerrada de la máquina, junto con el empleo de deflectores verticales para el fruto cosechado redujo la cantidad de fruto derribado y no cosechado, aunque el sistema de derribo produce mayores proyecciones al otro lado del árbol.

Tabla 2. Eficiencia de la recolección de los prototipos con respecto a la producción de la cara del árbol y el total

	Cara Este		Cara Oeste		Árbol Completo	
	Samolive	Mediolive	Samolive	Mediolive	Samolive	Mediolive
Fruto Derribado (%)	80,1	62,9	63,6	57,2	74,5	61,2
Fruto Interceptado (%)	66,3	55,1	49,5	47,2	60,6	52,5
Fruto Caído al suelo (%)	13,8	7,8	14,1	10,0	13,9	8,7
En la misma fila	8,9	4,5	10,6	5,5	9,5	4,9
En la fila opuesta	4,9	3,3	3,5	4,5	4,4	3,8

A pesar, del requerimiento de un posterior apure manual de los frutos que quedan sobre los árboles, estas máquinas han demostrado ser capaces de derribar mecánicamente cerca del 70% de la producción del árbol en la primera prueba de campo realizada. A diferencia de otros sacudidores laterales, los prototipos presentan la gran la ventaja del empleo de estructuras de recolección que permiten interceptar gran parte de los frutos derribados. Sin embargo, ello conlleva mayores dificultades en la penetración de la copa de las varas, sacudida de las ramas bajeras, así como una reducción de la capacidad de trabajo por la dificultad de mantener un contacto adecuado con el tronco a la menor altura posible. Respecto, a la fruta proyectada en la fila de árboles contraria donde trabaja la máquina, en ambos casos se situó en valores menores al 5% de la producción (1.050 kg/ha). Este valor podría reducirse empleando medidas preventivas como estructuras que se acerquen más o se adaptaran mejor a los troncos de los árboles (con el riesgo de producir daños en los mismos) o lo hicieran de forma automatizada, o con medidas correctoras como sistemas de barrido en la rueda del tractor y sacudidor para evitar que se pisen los frutos al pasar por la calle opuesta. Ambos sistemas, representan la posibilidad de interceptar el fruto derribado en caras opuestas, mediante el uso de dos máquinas gemelas, aunque se requeriría estudiar su potencial y comportamiento.

El empleo de los sacudidores de copa ha generado un reducido nivel de daño en los árboles, tanto por la rotura de brotes, caída de hojas y frutos inmaduros, descortezado de ramas o del tronco, con un valor de 2 y 3 daños visibles por árbol en ramas principales y secundarias. La mayor parte de los daños fueron leves, tales que los árboles se podrían recuperar en el mismo año para alcanzar una buena producción al año siguiente. Estos daños, aunque pequeños, son indicativos para hacer tratamientos fitosanitarios después de la recolección mecanizada que limite la aparición de enfermedades. Los daños moderados fueron más importantes en el prototipo Samolive, resultado de

intentar una mayor penetración del sistema de sacudida en la copa del árbol para derribar más fruto. En cualquier caso, en ambas máquinas, los daños graves fueron muy limitados, incluso en la primera vez que se emplear los prototipos en una plantación. Por otra parte, hubieron algunos daños de mayor importancia debido a los daños por descortezado del tronco con la estructura de interceptación de fruto (Tabla 3). Este daño fue causado por tres razones principales, las cuales pueden mejorarse o paliar sus efectos: inexperiencia del conductor en el manejo de la máquina; la falta de automatización en contacto del tronco y suelo; así como la limitación de la penetración del sacudidor para conseguir mayores niveles de derribo.

Tabla 3. Promedio de los daños producidos por árbol y por la rotura de ramas y caída de hojas al emplear diferentes sacudidores de copa.

	Samolive	Mediolive
Daños generados al árbol (numeró /árbol)		
Leve	3,2	2,5
Moderado	1,2	0,3
Grave	0,1	0,0
Rotura de ramas y hojas		
Por árbol (g/árbol)	2.641	4.715
Por fruto derribado(g/kg de fruta derribada)	73	172

La caída de ramas, hojas y brotes (Figura 6) fueron más importantes en el prototipo Mediolive, principalmente como resultado de los elevados valores de aceleración y amplitud alcanzados en los extremos flexibles de las varas, mientras que en el prototipo Samolive los daños ocasionados fueron más reducidos. Con los resultados obtenidos se ha determinado que la generación de daños ha variado, en peso de producto fresco, desde un 7,3% para el prototipo Samolive a un 17,2% en el prototipo Mediolive. Estos daños deberían evaluarse a largo plazo para conocer si tienen resultado en el estado vegetativo de la plantación o son causa de reducción de producción o favorece la entrada de enfermedades o plagas. Spann y Danyluk (2010) destacan el coste económico que las hojas y los brotes puede suponer en la recolección y en el transporte, por lo que su reducción es un factor importante a tener en cuenta. Sin embargo, la optimización de los parámetros de recolección para su reducción es difícil pues influyen factores como la regulación de la misma maquina (amplitud y aceleración de la sacudida, tipo de varas, freno del tambor…), de las condiciones de trabajo (velocidad de avance, inclinación del tambor de varas, ciclos automáticos de sacudida…) e incluso de las condiciones fisiológicas del árbol.

Figura 6. Rotura de ramas, hojas y brotes los prototipos sacudidores de copa durante la recolección mecanizada

La calidad de la fruta cosechada fue elevada, siendo muy reducidos o prácticamente nulos los frutos rotos o dañados que cayeron sobre la estructura de recogida para ambos prototipos. La disposición de una plataforma para interceptar los frutos y el empleo de materiales que reduzcan la energía absorbida en los impactos resultaron fundamentales para reducir los daños en los frutos (Ortiz, et al., 2011). En ambos prototipos, al disponer de estructuras de recogida protegieron a los frutos de las roturas, tanto por el impacto con el suelo como por atropello de la máquina, reduciendo considerablemente la cantidad de frutos con roturas o mutilaciones de la piel. Sin embargo, los frutos derribados pero no interceptados por la plataforma se obtuvieron rotos y mutilados por atropello de la máquina. Los prototipos no dispusieron de un sistema que impidiese pisar la fruta derribada, y resultaría necesario porque hasta un 5% del fruto derribado cae en la fila contraria (Tabla 4). Los daños en frutos estuvieron más condicionados por la caída de los mismos fuera de la estructura y su impacto, en el caso del prototipo Samolive, mientras que en el prototipo Mediolive, el daño ocasionado al fruto fue muy reducido y la causa principal de rotura fue el contacto de los frutos con los extremos de las varas flexibles (Figura 7). Aunque el daño por las varas fue muy característico, su importancia fue muy limitada.

Tabla 4. Frutos rotos o mutilados sobre el suelo después del paso de la máquina.

	Samolive	Mediolive
Numero de frutos rotos o mutilados por árbol	5,3	2,5
Porcentaje de frutos que pudren en laboratorio (%)		
Recolección manual	3,0	3,0
Derribado y recogido por la máquina	2,3	3,8
En el árbol después de la recolección	2,8	19,2

Figura 7. Daños en los frutos derribados fuera de la estructura de recogida (izquierda), en la estructura de recogida (centro) y frutos que quedan en el árbol tras la recolección con el prototipo sacudidor Mediolive.

Normalmente, al aplicar una recolección más agresiva con el árbol se obtienen un mayor derribo de frutos, pero también se generan más daños sobe el árbol y sobre los mismos frutos (Tablas 3 y 4). Destaca los valores alcanzados con Samolive, equipada con un número menor de varas metálica, dejando los frutos en el árbol después de la recolección apenas sin golpes o impactos. Sin embargo, el prototipo Mediolive ocasionó golpes en los frutos que no fueron derribados. Esta diferencia de valor explicada en parte, porque el prototipo Mediolive derribó de forma muy eficiente todo el fruto que era capaz de alcanzar con las varas, dejando intacto el fruto interior de la copa del árbol donde las varas no accedían. Ese fruto interior quedó intacto sin golpes.

La adaptación de los prototipos de sacudidores de copa desde olivar a cítricos ha resultado prometedora y abre la posibilidad ampliar las horas de trabajo de las máquinas, pasando de la campaña de la aceituna (septiembre-marzo) a la campaña de cítricos. Los resultados obtenidos están limitados a las pruebas se han realizado en una única finca, en una campaña con poca producción y con conductores sin experiencia. Sin embargo, un proceso de mejora y adaptación de los prototipos permitiría su empleo comercial en la recolección de cítricos con destino industria. El nivel de producción de los árboles, el control del volumen de copa de los árboles ha resultado determinante

en la eficiencia de recolección de las máquinas. Asimismo, las estructuras de recogida deben perfeccionarse para reducir la cantidad de fruto caído al suelo e interferir lo mínimo posible con las ramas bajeras y troncos, aunque debe simultanearse con una poda adaptada a la altura de dichas estructuras. Los daños generados en el árbol y a los frutos fueron limitados pero susceptibles de reducirse. La reducción de los daños en los frutos es imprescindible y debe pasar por optimizar las superficies de interceptación y ajustar los sistemas de derribo para evitar proyecciones de fruto hacia el otro lado del árbol.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del Proyecto de Investigación RTA2014-00025-C05-03 concedido por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y cofinanciado con fondos europeos FEDER. Los prototipos sacudidores de copa proceden del Convenio CPP MECAOLIVAR establecido entre la Universidad de Córdoba y el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España y cofinanciado por fondos europeos FEDER. Asimismo, los autores agradecen a Cítricos del Andévalo S.L. el apoyo y financiación recibida para realizar las modificaciones de los prototipos.

Bibliografía

Ortiz, C., J. Blasco, S. Balasch, and A. Torregrosa. 2011. Shock absorbing surfaces for collecting fruit during the mechanical harvesting of citrus. *Biosystems Engineering*, 110(1): 2-9.

Peterson, D. L. 1998. Mechanical harvester for process oranges*. Applied Engineering in Agriculture*, 14(5): 455-458.

Roka, F. M. and B. R. Hyman. 2012. Mechanical harvesting of sweet oranges for juice processing, *Acta Horticulturae*, 965: 241-244.

Roka, F. M., R. J. Ehsani, S. H. Futch, and B. R. Hyman. 2014. Citrus mechanical harvesting systems - Continuous canopy shakers. Florida: Food and Economic Resources Department, UF/IFAS Extension.

Sola-Guirado, R. R., J. A. Gil-Ribes, S. Castro-García, F. J. Castillo-Ruiz, and G. L. Blanco-Roldán. 2016. Olive harvester based on canopy shaker to traditional trees. In Proceedings of the *4th Conference on Agricultural and Biosystems Engineering*. 26-29 June, Aarhus, Denmark.

Spann, T. M. and M. D. Danyluk. 2010. Mechanical harvesting increases leaf and stem debris in loads of mechanically harvested citrus fruit. *HortScience*, 45(8): 1297-1300.

Desarrollo y análisis de costes del uso de un sistema aéreo no tripulado para aplicaciones de ultra-bajo volumen

Jorge Martínez[1], Pablo Agüera-Requena[2], Juan Agüera-Vega[3], Manuel Pérez-Ruiz[1]

[1]Dpto. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos, Universidad de Sevilla, Ctra. Sevilla-Utrera Km 1 Sevilla 41013. martinezj@us.es; manuelperez@us.es.

[2]Dronsap división especializada en servicios de drones para la agricultura de la empresa Agrosap. C/ Diseño, Local 2, 41927 Mairena del Aljarafe (Sevilla). pablo@agrosap.es

[3]Dpto. de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, Campus Rabanales 14014 Córdoba. jaguera@uco.es.

Resumen

El uso de una plataforma aérea equipada con un sistema de aplicación permite realizar trabajos sobre objetivos más pequeños y de forma más precisa que las aplicaciones áreas convencionales. Esto implica ahorros considerables en insumos si se decide aplicar únicamente en las zonas afectadas, generando aplicaciones eficientes y pudiendo contribuir a evitar riesgos como la exposición de los operarios a los pesticidas durante los tratamientos. En este contexto, este trabajo tiene como objetivo el diseño y desarrollo de un sistema aplicador capaz de ser montado en un dron para la aplicación de un producto agroquímico, así como un análisis de los costes de aplicación. Una vez desarrollado el equipo y comprobada su respuesta y correcto funcionamiento en vuelo, se procedió al análisis económico de la aplicación en condiciones reales de campo. Para ello se estableció como escenario de trabajo una parcela de olivar intensivo, sobre la que se estudiaron diferentes patrones y rutas de vuelo, aplicando en forma de bajo volumen un producto fitosanitario comercial. En estos ensayos se han tenido en cuenta parámetros como la cantidad de producto aplicado, el rendimiento horario, el coste y el periodo de amortización de los equipos, etc., comparándolos posteriormente con los de un equipo convencional de aplicación. Los primeros resultados obtenidos tras el análisis apuntan a que no existe gran diferencia en los costes de aplicación entre la realizada mediante la plataforma aérea y el equipo convencional. Se espera que las conclusiones de este trabajo sirvan como base para un debate acerca de la legislación existente, en la que este tipo de trabajos, que pueden resultar beneficiosos en casos concretos, puedan ser realizados en condiciones de seguridad operacional y jurídica.

Palabras clave: fitosanitario, dron, pulverizador, análisis económico, agricultura de precisión

Development and cost analysis of an unmanned aerial system for ultra-low volume applications

Abstract

The use of an small-unmanned aerial platform retrofitted with a spraying system allows to realize applications on smaller targets and in a more precise way compared with conventional aerial applications. These accurate applications imply significant savings in inputs if chemicals are applied only in affected areas, and can contribute to avoid risks such as the exposure of operators to pesticides during treatments. In this context, this work aims at the design and development of an applicator system capable of being mounted on an unmanned aerial vehicle for the application of an agrochemical and the subsequent analysis of the application costs. Once the equipment was developed and verified its response during the flight, the economic analysis of the application was carried out under real field conditions. For this purpose, a high-density olive orchard was established as a work scenario, on which different patterns and flight paths were studied, applying a low volume of a commercial phytosanitary product. These tests have taken into account parameters such as the quantity of product applied, the time performance, the cost, equipment depreciation, etc., comparing them with those of a conventional spraying equipment. The first results obtained indicate that there is no great difference in the application costs between the one realized by the aerial platform and the conventional equipment. It is hoped that the conclusions of this work will serve as a basis for debate about the existing legislation, in which this type of aerial works, which can be beneficial in specific cases, can be carried out under safe and legal conditions.

Keywords: Agrochemical, UAV, sprayer, economic analysis, precision agriculture

1. Introducción

La prevención en la aparición de insectos y otros vectores de enfermedades juega un papel crucial en el manejo de plagas actual. Si bien existe una amplia preocupación por las consecuencias ambientales negativas que pueden derivar de la aplicación de pesticidas, herbicidas y otros fitosanitarios en forma líquida (Panneton et al., 2005), la pulverización sigue siendo la forma más común para su aplicación debido a su bajo coste y su eficiencia (Giles et al., 2008). Los implementos y tecnologías utilizados para este tipo de aplicaciones han permanecido relativamente sin cambios significativos durante los últimos años. Esto ha dejado margen para investigar en mejoras en la pulverización de precisión, buscando un cambio en la forma en que se aplican estos productos fitosanitarios. De este modo, pese a que el uso de los pulverizadores hidráulicos e hidroneumáticos como implementos junto al tractor agrícola está indiscutiblemente implantado en aplicaciones convencionales de herbicidas, pesticidas y plaguicidas, la tecnología dron en los últimos años ha demostrado su utilidad en agricultura y control de vectores no sólo para la observación y detección, sino también para el manejo de cargas útiles, incluida la aplicación de agroquímicos (Giles et al., 2015). Las tareas de aplicación de estos inputs mediante drones presentan un reto técnico considerable, en el que el comportamiento de la carga de pago resulta muy diferente y la demanda de potencia es significativamente mayor si se comparan con las habituales tareas de captación de información mediante sensores o cámaras. En este tipo de aplicaciones, los drones del tipo multi-rotor presentan una serie de ventajas frente a los de ala fija o las avionetas utilizadas en los tratamientos aéreos, como son su flexibilidad y maniobrabilidad en patrones de vuelo complejos, la no necesidad de contar con una amplia zona para el aterrizaje/despegue y la posibilidad de realizar vuelos estacionarios sobre puntos determinados del terreno (Zhang et al., 2016). Además de estas facilidades en el desarrollo del vuelo, la reducción en la exposición a los productos químicos y la capacidad de aplicar atendiendo a la variabilidad espacial y temporal en una parcela hacen que la aplicación con drones resulte atractiva desde el punto de vista de la agricultura de precisión. Desarrollos previos con este tipo de sistemas de vuelo remoto destinados a tareas agrícolas como el realizado por Huang et al. (2009); la investigación sobre el uso de implementos específicos para ser montados en drones como el atomizador electrostático rotativo realizado por Ru et al. (2011) o el estudio sobre las posibilidades de coordinar una flota de pequeños multi-rotores para realizar este tipo de tareas realizado por Wang et al. (2013), evidencian un aspecto relevante que se ha tenido en cuenta para la realización del presente trabajo: la utilización de drones en tareas de aplicaciones líquidas cobra sentido cuando éstas son con dosis de ultra-bajo volumen. Este tipo de aplicaciones han sido consideradas claves en la protección vegetal de precisión desde sus inicios, ya que han demostrado que consiguen que un mayor porcentaje de la sustancia química aplicada sea recogida por la superficie objetivo que con la pulverización convencional (Bals, 1970). Pese a ello, presentan retos técnicos sobre la aplicación, como pueden ser el tamaño relativamente grande de las gotas en las boquillas comerciales, el alto precio de éstas o la dificultad en el cálculo de la dosis de materia activa a aplicar (Wen et al., 2016).

Basándonos en estas premisas se ha desarrollado el presente trabajo con el objetivo de desarrollar un sistema de pulverización modular de bajo coste, capaz de ser adaptado a una plataforma aérea comercial y de realizar aplicaciones de ultra-bajo volumen. Además, se ha realizado un análisis comparativo de los costes económicos de realizar una aplicación con esta plataforma frente a una aplicación convencional con atomizador, poniendo como ejemplo el tratamiento con un producto fitosanitario comercial que actúa como cebo para la mosca del olivo (*Bactrocera oleae*).

2. Materiales y Métodos

2.1 Plataforma de Vuelo

Para albergar el sistema capaz de aplicar el tratamiento fitosanitario ensayado se evaluaron en una fase inicial diferentes plataformas en base a los criterios de autonomía, capacidad de carga, etc., seleccionando de entre ellas el modelo de dron comercial DJI s1000+ (DJI, Shenzhen, China). Este

modelo de octocóptero permite el despegue/aterrizaje vertical (*Vertical Take-Off and Landing o VTOL*) y tiene una masa en vacío cercana a los 6 kg. Este UAV está equipado con ocho motores eléctricos *brushless* alimentados por una batería de 20 amperios de intensidad, y puede realizar vuelos siendo pilotado de forma remota mediante una emisora de radiofrecuencia, o bien de forma autónoma, combinando su georreferenciación mediante su receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) y su sistema de navegación y generación de rutas en base a puntos de paso predefinidos o *waypoints*. Un sistema de telemetría ad-hoc compuesto por un radio-módem montado a bordo del dron y una estación receptora en tierra permite obtener información en tiempo real acerca de parámetros del vuelo (altura respecto al suelo, velocidades horizontal y vertical, posición del dron respecto a sus 6 grados de libertad, etc.), mientras que un sistema de video analógico permite obtener imágenes en tiempo real desde el punto de vista del equipo (*first person view* o FPV) y visualizarlas en un dispositivo móvil. La carga de pago máxima que permite incorporar el equipo es de 5 kg, no siendo posible superar en cualquier caso los 11 kg de masa total al despegue. La autonomía del equipo montando el sistema aplicador que se describe a continuación ha sido medida en varios vuelos con la carga máxima, estableciéndose una autonomía media de vuelo de 14 minutos.

2.2 Sistema Aplicador ATHOS

Se diseñó y construyó un sistema de aplicación para ser montado en la plataforma aérea seleccionada, atendiendo a las limitaciones en la carga de pago y con el objetivo de utilizar materiales de bajo coste (ver Figura 1).

Figura 1. (izq.) Sistema pulverizador desarrollado. (der.) Equipo ATHOS de aplicación montado a bordo del dron

Cinco elementos constituyen el conjunto aplicador: la estructura de soporte, el depósito para alojar el producto fitosanitario, el brazo o barra porta boquillas, el conjunto de conducciones y bomba que forman el sistema hidráulico y el sistema de control eléctrico de pulverización. El depósito, situado en la parte inferior del dron, cuenta con una capacidad de 4 L; la barra porta boquillas se diseñó a partir de un perfil de aluminio, permitiendo montar 4 boquillas con una separación de 25 cm entre ellas. Tanto la estructura de montaje y acoplamiento con el dron, como el resto de piezas del armazón, fueron diseñadas y fabricadas mediante impresión 3D. También se diseñó un pequeño brazo para montar una única boquilla central para realizar micro-aplicaciones. Para las conducciones se seleccionaron tubos de PVC transparente de 0.6 mm de diámetro interior, mientras que una pequeña bomba eléctrica alimentada de forma independiente con una tensión de 12V era la encargada de la impulsión en el circuito alcanzando una presión de funcionamiento máxima de 2.5 bar. El sistema de control de pulverización permite accionar la bomba y variar su régimen giro de forma remota desde la emisora de control del dron, además de posibilitar la aplicación autónoma en zonas específicas mediante coordenadas preestablecidas gracias a la interconexión con el sistema electrónico y el equipo GNSS. Se llevaron a cabo ensayos de laboratorio para determinar el caudal medio de cada boquilla cuando se establecía el máximo régimen de giro de la bomba recogiendo la

cantidad de agua en probetas independientes (ver Figura 2). Además, se realizaron ensayos para determinar las curvas de descarga de batería respecto al peso y al tiempo, que consistieron en ir tomando medidas manuales en base a la telemetría recibida (en este caso el voltaje de carga de la batería).

Figura 2. Ensayo de medición de caudales de las boquillas del sistema ATHOS.

2.3 Ensayos de campo

Para validar el correcto funcionamiento de la tecnología desarrollada, se estableció como escenario de ensayos una parcela de olivar intensivo (marco de plantación de 5x7 m) situada en la Hacienda La Boticaria (37.299313, -5.398910). En ella se realizaron vuelos con diferentes rutas pre-programadas (en línea recta, vuelos siguiendo un patrón rectangular, etc.), diferentes patrones de aplicación y velocidades de avance distintas, ensayándose tratamientos a 2, 3 y 4 m/s de velocidad de avance horizontal a una altura de 1 metro sobre las copas de los árboles (figura 3). El producto fitosanitario comercial elegido para estos primeros ensayos de aplicación sobre olivar fue el Spintor 480SC, que actúa como cebo para la mosca del olivo (*Bactrocera oleae*) de la firma DOW AgroSciences. Para este insecticida, cuya materia activa y composición es Spinosad al 0.024%, se recomienda una dosis de aplicación de entre 0.25-0.5 l/ha para ser aplicado en bandas cubriendo un 25% de la superficie total, y siendo diluido en una proporción de 1:10, lo que permite que con un depósito del sistema pulverizador desarrollado ATHOS se realice un tratamiento para una hectárea. Consideramos relevante señalar que en estos primeros ensayos no se tenía como objetivo el evaluar la calidad de la aplicación, sino que constituían una primera prueba de la integración de los componentes en el sistema de vuelo y del correcto funcionamiento de éste.

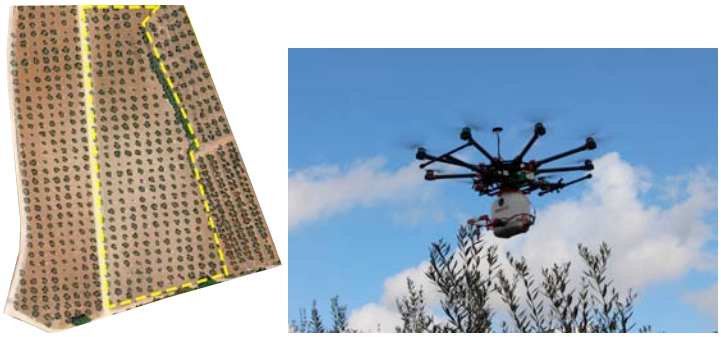


Figura 3. (Izquierda) Zona de ensayo en olivar intensivo. (Derecha) Aplicación a ultra-bajo volumen utilizando el sistema ATHOS con una única boquilla

2.4 Valoración económica

Teniendo en cuenta parámetros como la cantidad de producto aplicado, el rendimiento horario del equipo de pulverización, el coste y periodo de amortización de los equipos, etc., se ha realizado el estudio comparativo respecto al mismo tipo de tarea si se emplea la plataforma aérea o un equipo convencional de aplicación. Respecto a la evaluación económica de la aplicación utilizando equipos convencionales de aplicación localizada de cebo para mosca, los cálculos se han basado en las

consideraciones técnicas propuestas por ASABE y el MAGRAMA, recogidas por Boto et al. (2004). En ellas se analizan los costes de operaciones agrícolas recogiendo: i) los costes fijos de amortización, intereses, alojamiento de la maquinaria, seguros e impuestos; ii) los costes variables, que incluyen combustibles, lubricantes, desgaste de los neumáticos, costes globales de reparaciones y mantenimiento, y mano de obra del tractorista; y iii) el coste total horario de la operación, sumando el del tractor y el del implemento. Para la evaluación económica de la aplicación, se estableció un escenario teórico de trabajo sobre una parcela de olivar intensivo similar a la descrita en la Sección 2.3, con un marco de plantación de 5 x 7 m, con un número de árboles por hectárea de unos 285 aproximadamente. En ella, se plantea un tratamiento a ultra-bajo volumen, en el que ambos equipos (tanto el conjunto del tractor-implemento como el dron) deben recorrer el 50 % de la superficie (ver Figura 4).

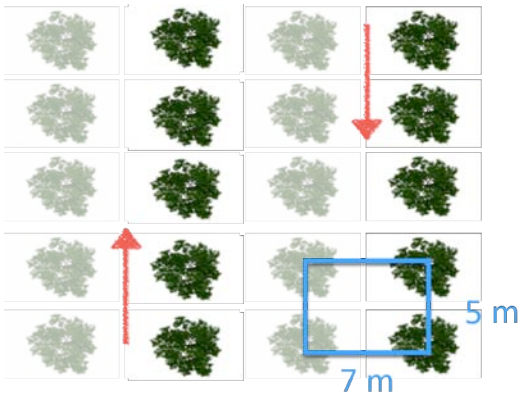


Figura 4. Patrón de aplicación en el marco de trabajo propuesto y Marco de plantación de olivar intensivo.

Para el cálculo de los costes de aplicación, el estudio económico comparativo se realiza sobre la base de un tractor con las características recogidas en la tabla 1 a continuación y el sistema ATHOS descrito anteriormente.

Tabla 1. Características del tractor empleado en la valoración económica

Potencia Nominal	78 kW
Potencia máx. TDF	70 kW
Valor de Adquisición	30000 €
Horas de Utilización Anual	1000 h/año
Periodo de Vida Útil	12 años
Horas de actividad durante vida útil	12000 h

A partir de los resultados preliminares de los ensayos de campo y conociendo los costes de diseño y desarrollo, se realiza la valoración económica del equipo ATHOS basada en datos empíricos y realizando la comparación con el análisis anterior, ya que todavía no se han encontrado estudios ni bibliografía relevantes al respecto.

3. Resultados y Discusión

En este apartado se presentan los resultados obtenidos con respecto al desarrollo del sistema aplicador y a la evaluación económica comparativa de los costes llevada a cabo entre el sistema ATHOS y una aplicación convencional (Pulverizador hidroneumático).

3.1 Desarrollo del sistema aplicador ATHOS

Una vez se integraron los componentes del sistema aplicador, la mayor complejidad en el desarrollo de la plataforma era la necesidad de conseguir un vuelo estable y nivelado. Para ello se debieron realizar una serie de ajustes respecto a la situación del centro de gravedad y la compensación del peso, teniendo en cuenta factores como el posible "oleaje" del líquido dentro del depósito durante el vuelo y la disminución progresiva del peso del conjunto a medida que se realiza la operación. Se observó que el primero de estos factores limita la velocidad de avance máxima y la maniobrabilidad del conjunto, mientras que el segundo afecta a la curva de descarga de la batería y a la potencia desarrollada por los motores. Para evitar ambos, se calcularon las variaciones del centro de gravedad del sistema durante el vuelo, y se construyó el soporte del depósito de forma que éste se situase lo más cercano posible a la estructura, evitando de esta forma balanceos en el aire que pudiesen provocar alteraciones en el vuelo.

Respecto al sistema aplicador, los caudales de cada una de las boquillas fueron ensayados en laboratorio, recogiendo las muestras en probetas y obteniendo un caudal medio de 0.22 L/min para cada una de ellas al máximo régimen de giro de la bomba. Los resultados de los ensayos de descarga de la batería y evolución del peso respecto al tiempo se muestran en la figura 5.

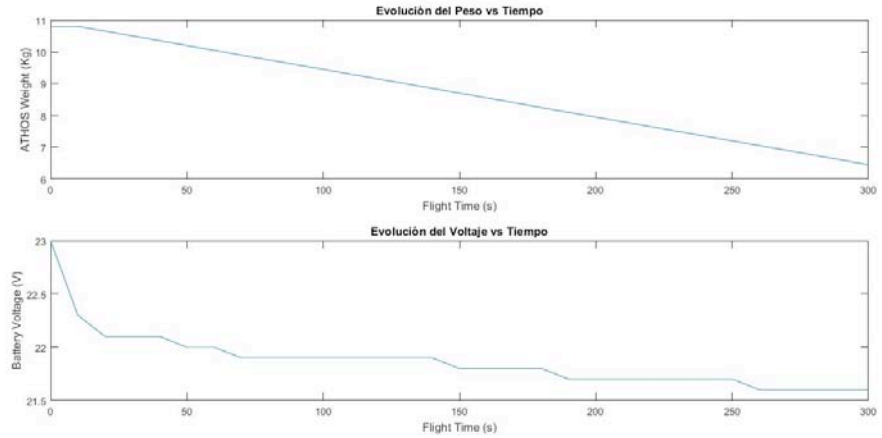


Figura 5. Curvas de evolución del peso (arriba) y el voltaje de carga de la batería (abajo) respecto al tiempo.

De las dos evoluciones temporales anteriores se desprende que el momento de máxima masa (correspondiente al despegue y los primeros segundos de vuelo) se corresponde con la demanda máxima de potencia por parte de los motores y por tanto con el descenso más acusado en el voltaje de carga de la batería. Además, ambas gráficas ponen de manifiesto que una vez consumido todo el producto fitosanitario (sobre los 5 minutos o 300 segundos), el peso total del conjunto se estabiliza en los cerca de 6 kg, mientras que el voltaje de la baría aún es de 21.8 V. Esta carga de la batería aún permite realizar hasta 10 minutos más de vuelo aproximadamente (se han creado avisos mediante software para cuando el voltaje de la batería es menor de 17 V), con lo que, si el equipo se hubiese alejado del operador una gran distancia, aún se dispondría de tiempo para el regreso y un aterrizaje en condiciones de seguridad.

3.2 Evaluación económica

Una vez definidas las máquinas que realizan las diferentes operaciones y sus capacidades, se puede abordar la previsión de costes de utilización. En primer lugar, se realiza la evaluación económica del conjunto tractor e implemento, para la que se toman los siguientes criterios: se evaluarán por un lado los Costes fijos (CF), entre los que se incluyen la amortización (mediante un procedimiento "combinado" en el que se consideran simultáneamente la obsolescencia y el desgaste de la máquina), los intereses, el coste del alojamiento y los seguros e impuestos aplicables al conjunto. Por otro lado, se calculan los Costes Variables(CV), entre los que se incluyen el consumo de combustibles y lubricantes, el desgaste de las cubiertas de las ruedas neumáticas, los costes globales de

reparaciones y mantenimiento (CRM) y mano de obra del maquinista y auxiliar en su caso. Finalmente se calcularán los Costes Totales horarios de la Operación, resultantes de la suma del Coste horario del Tractor y Coste horario de la Maquina.

Respecto a los Costes Fijos, se presentan a continuación las partidas evaluadas de amortización del equipo, intereses, alojamiento e impuestos.

- Respecto a la amortización o depreciación del tractor, se emplea la expresión (1) para el cálculo del valor neto al final del periodo de explotación; la expresión (2) se emplea para el valor del equipo de aplicación al final de su periodo de explotación.

$$V_N = V_a \cdot 0.68 \cdot 0.92^N \quad (1)$$

$$V_N = V_a \cdot 0.56 \cdot 0.885^N \quad (2)$$

  Una vez calculados los valores netos tanto para el tractor como el implemento, el cálculo del coste de amortización se realiza mediante la expresión (3), obteniendo un valor de depreciación anual de 1874.97 €/año.

$$CA_c = \frac{V_0 - V_N}{N} = \frac{30000 - 7500.39}{12} = 1874.97 \frac{€}{año}\ (Tractor) \quad (3)$$

  De la misma forma se calcula el coste de amortización para el implemento obteniendo una depreciación anual de 632.66 €/año.
- El coste de interés (intereses a la inversión), representa el coste de oportunidad aplicado sobre el valor de la máquina. Para su cálculo, se valora el capital contabilizado de la máquina, calculando la mitad de la suma del valor inicial de la máquina y del valor neto al finalizar el periodo de explotación, obteniendo un valor de capital contabilizado de 18750 €/año. Para obtener la tasa de interés neto, se calcula la diferencia entre el interés comercial (0.06) y la inflación (0.03), obteniendo un 0.03 o 3% de interés neto.
  El coste de interés total obtenido del producto del capital contabilizado y el interés es de 562,51 €/año.
- Para el coste de alojamiento anual se estima en un % del coste de adquisición del tractor o bien el coste anual real, que podría ser el arrendamiento de una cochera o habitáculo para el tractor. En este caso se ha fijado en un 0.75% del precio de adquisición, siendo el coste de alojamiento de 225 €/año.
- De la misma forma se calcula el coste anual en seguros y otros impuestos, como un porcentaje del valor de adquisición del 0.75%, obteniendo un coste de 225 €/año.

El total de costes fijos anual, entendido como el sumatorio de todos los anteriores, es de 3520.14 €/año. Como se había fijado 1000 horas de trabajo anuales, el coste horario es de 3.52 €/hora.
En lo que respecta a los Costes Variables, se desglosan de la siguiente manera:

- Respecto al consumo de combustible, se calcula mediante el producto del consumo horario (l/h) y el precio del gasóleo (€/l). Para el cálculo del consumo horario se estima la potencia de trabajo media (un 60% de la potencia máxima) y el consumo específico. Tomando un precio del combustible de 0.80 €/l, el consumo resulta un coste de 10.29 €/h.
- El consumo de lubricante se extrae de la ficha técnica del tractor, valorándose en este caso en 0.21 €/h. El de aceite del sistema hidráulico se establece en 0.30 €/h.
- El coste de desgaste de las ruedas, se calcula considerando que el tractor tiene tracción a las 4 ruedas, y que hay que cambiarlas a las 4000 horas, con un coste de 600 €/ud. Se obtiene de este cálculo un coste de 0.6 €/h.
- Para los costes de reparación y mantenimiento, tomaremos el coste anual medio (CRMmedio), calculándolo respecto del valor de adquisición, para cada año. De esta forma, obtenemos que el CRM total en los 12 años de vida útil representa un 43.2% del valor de compra inicial, obteniendo un CRMmedio anual de 1080 €/año o 1.08 €/h.

Respecto al coste de mano de obra del tractorista, se estima un coste de 10 €/h, incluyendo sueldo y Seguridad Social. La tabla 2 a continuación resume el total de los costes desglosados expuestos anteriormente.

Tabla 2. Resumen de Costes Tractor + Implemento

Costes Fijos Tractor + Implemento	Coste Amortización Tractor	1874.97 €/año
	Coste Amortización Pulverizador	632.66 €/año
	Coste de Interés	562.51 €/año
	Coste de Alojamiento	225 €/año
	Coste Seguros, Tasas, Impuestos	225 €/año
	TOTAL DE COSTES FIJOS por año	3520.14 €/año
	TOTAL DE COSTES FIJOS por hora	**3.52 €/h**
Costes Variables	Consumo de Combustible	10.29 €/h
	Consumo de Lubricante	0.21 €/h
	Consumo Aceite Hidráulico	0.30 €/h
	Desgaste Ruedas	0.6 €/h
	Reparación/Mantenimiento	1.08 €/h
	TOTAL COSTES VARIABLES por hora	**12.48 €/h**
Mano de Obra	**Tractorista (sueldo + SS)**	**10 €/h**
TOTAL DE COSTES APLICACIÓN TRACTOR CONVENCIONAL		**26 €/h**

El total de los costes de la aplicación convencional empleando tractor e implemento y sumando los Costes Fijos, los Costes Variables y los costes de operación es de **26 €/h** aproximadamente.

Respecto al sistema ATHOS, se establece un periodo de vida útil de 5 años, con un número de horas de vuelo de 100 horas al año. Los Costes Fijos de este tipo de sistema se recogen en la tabla 3 a continuación.

Tabla 3. Costes Fijos del sistema ATHOS desarrollado

Declarar Operador Empresa/Autónomo	300 €
Licencia de piloto teórico/práctico/médico	900 €
Seguro del dron	200 €/año
Equipo de vuelo + Emisora	4000 €
Equipo de Pulverización	2500 €
4 Baterías	700 €
TOTAL DE COSTES FIJOS por hora	**12.3 €/h**

Nótese que no se incluyen costes de alojamiento en los costes fijos, por el menor tamaño del equipo, aunque en el caso de que se desarrollase una flota de equipos aéreos los autores consideran que sí se deberían incluir.

En los Costes Variables del sistema ATHOS se incluyen los costes de reparación y mantenimiento, con un valor de 150 €/año (1.50 €/h) y el coste del piloto fijado en 20 €/h. El coste total medio por hora del ATHOS será por tanto de **33.80 €/h.**

Respecto a la superficie tratada por hora o rendimiento horario, éste se estima mediante el producto del ancho de trabajo (en metros) por la velocidad de avance (en kilómetros/hora), dividido entre 10. En el escenario antes descrito, el ancho de trabajo será de 14 metros (7 metros de separación entre filas, tratamiento en el 50 % de ellas) y la velocidad de avance la fijamos para ambos equipos en 10 km/h, con lo que obtenemos un rendimiento horario teórico de 14.7 ha/h.

En el caso del tractor, el rendimiento efectivo o real se puede estimar multiplicando el rendimiento teórico por un factor de 0.8, obteniendo un valor de 11.76 ha/h, lo que implica que la labor de aplicación en una hectárea puede ser realizada en **5.1 min.**

Por otro lado, para el sistema ATHOS, el factor del rendimiento real o efectivo se puede aumentar a 0.9, ya que los giros y la maniobrabilidad en campo son mucho más rápidos y permiten no perder tanto tiempo en ellos. De esta forma, se obtendría un rendimiento real de 13.3 ha/h, o de **4.5 min/ha**. Se debe tener en cuenta que la velocidad de 10 km/h fijada para el estudio podría ser aumentada en el caso del ATHOS hasta casi el doble, con lo que el tiempo estimado en realizar una aplicación en una hectárea se reduciría.

4. Conclusiones

Se ha realizado de forma satisfactoria el diseño y construcción de un modelo de pulverizador hidráulico de bajo coste (ATHOS), capaz de ser montado a bordo de una plataforma aérea y de realizar aplicaciones específicas de ultra-bajo volumen. Este equipo monta un depósito con carga máxima de 5 litros, y ha sido testeado en campo respecto a su comportamiento en vuelo y su viabilidad para realizar este tipo de aplicaciones, utilizando un producto comercial de cebo para la mosca del olivo. Además, se ha realizado un primer análisis comparativo de los costes de aplicación utilizando un equipo convencional (tractor+implemento) y el sistema ATHOS desarrollado. Las siguientes conclusiones pueden ser extraídas del presente trabajo:

- Los primeros resultados obtenidos tras el análisis apuntan a que no existe gran diferencia en los costes de aplicación entre la realizada mediante la plataforma aérea y el equipo convencional (33.80 €/ha frente a los 26 €/ha respectivamente). El análisis de los costes del equipo desarrollado se ha realizado en base a estimaciones por experiencia propia del equipo, ya que no existen todavía estudios económicos de este tipo de aplicaciones realizados por otros autores. Se espera que con la mayor adopción de este tipo de tecnologías en el futuro cercano, se realicen un mayor número de estudios al respecto.
- Se ha calculado que la capacidad en hectáreas por hora de un equipo como el ATHOS sería mayor que la de un equipo convencional, debido a que se pueden realizar tratamientos a mayor velocidad de avance y con mayor maniobrabilidad. El grupo de investigación pretende en posteriores trabajos evaluar la calidad y eficacia de este tipo de aplicaciones con esta y otras materias activas en distintos cultivos.
- El uso de equipos como el ATHOS puede representar una alternativa a la aplicación tradicional, pudiéndose realizar aplicaciones específicas en coordenadas concretas (parches de mala hierba, focos de enfermedades, etc.) sin que el operario entre en contacto con materias activas que podrían ser tóxicas y evitando la compactación del terreno debido al paso de tractores.
- Este nuevo paradigma en las aplicaciones aéreas localizadas, que pueden resultar beneficiosas en casos concretos, debe buscar que estas puedan ser realizadas en condiciones de seguridad operacional y jurídica. Esto debe motivar una revisión en la legislación vigente, que actualmente las equipara a aplicaciones con equipos de vuelo mucho más grandes (avionetas) que pueden generar problemática ambiental mucho más grave que el de los drones de pequeño tamaño.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado dentro de las actuaciones del acuerdo entre la Univ. de Sevilla y la empresa Dow AgroSciences. Nuestro más sincero agradecimento a todos los técnicos y colaboradores de esta empresa que han participado en este trabajo.

Bibliografía

Bals E. J. 1970. The principles of and new developments in ultra low volume spraying. *Proceedings of the Fifth British Insecticide and Fungicide Conference*, 17th to 20th November, 1969, the Hotel Metropole, Brighton, England , , Vol. 1 , pp. 189-193.

Boto, J.A.; Pastrana, P.; Suárez de Cepeda, M. 2004. *Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. ISBN 84-491-0635-4*

Giles, D.K., Akesson, N.B., Yates, W.E. 2008. Pesticide application technology: research and development and the growth of the industry. *Trans. ASABE* 51, 397–403.

Giles D., Billing R., 2015, Deployment and performance of a uav for crop spraying, *Chemical Engineering Transactions*, 44, 307-312 DOI: 10.3303/CET1544052

Huang Y., Hoffmann, W.C., Lan, Y., Wu, W., Fritz, B.K. 2009. Development of a spray system for an unmanned aerial vehicle platform. *Appl. Eng. in Ag*., 25, 803-809.

Panneton, B., Lacasse, B., Piché, M. 2005. Effect of air-jet configuration on spray coverage in vineyards. *Biosyst. Eng*. 90, 173–184.

Ru Y., Zhou, H., Fan, Q., Wu, X. 2011. Design and investigation of ultra-low volume centrifugal spraying system on aerial plant protection. Paper No. 11-10663, American Society of Agricultural and Biological Engineers. Presented at Louisville, KY USA.

Wang Z, Lan, Y., Hoffmann, W.C., Wang, Y., Zheng, Y. 2013. Low altitude and multiple helicopter formation in precision agriculture. Paper No. 13-1618681, American Society of Agricultural and Biological Engineers. Presented at Kansas City, MO, USA.

Wen, Sheng; Lan, Yubin; Zhang, Jiantao∗; Li, Shenghua; Zhang, Haiyan; Xing, Hang. 2016. Analysis and experiment on atomization characteristics of ultra-low-volume swirl nozzle for agricultural unmanned aviation vehicle. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, Volume 32, Number 20, 1 October, pp. 85-93(9)

Zhang P, Deng L, Lyu Q, He S L, Yi S L, Liu Y D, et al. 2016. Effects of citrus tree-shape and spraying height of small unmanned aerial vehicle on droplet distribution. *Int J Agric & Biol Eng*, 9(4): 45—52.

Avaliação de equipamentos portáteis para a colheita de azeitona

António F. Bento Dias[1], Anacleto Pinheiro[2], José O. Peça[3], Mário Figueira[4], Luis Boteta[5]

[1,2,3]Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Instituto de Investigação e Formação Avançada, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal. adias@evora.pt; pinheiro@evora.pt; jmop@evora.pt

[4]Direção Regional de Agricultura e Pescas do Alentejo, Direção de Serviços de Desenvolvimento Agroalimentar e Rural, Divisão de Apoio à Produção, Quinta da Malagueira, Apartado83, 7006-553, Évora

[5]Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, Quinta da Saúde, Apartado 354, 7801-904 Beja

Resumo

A colheita é a tarefa que tem mais incidência nos custos de produção de azeitona. A utilização de vibradores montados em trator agrícola ou de máquinas cavalgantes de colheita em contínuo permitem reduzir os custos de colheita. Estas soluções não são aplicáveis nas pequenas explorações familiares, nem nos olivais intensivos jovens na fase de entrada em produção.

Existe uma grande diversidade de equipamentos portáteis que permitem auxiliar o olivicultor na colheita da azeitona, nomeadamente: vibradores acionados com motor de explosão e varejadores acionados eletricamente. Para aumentar o conhecimento sobre a utilização destes equipamentos, efetuou-se um ensaio com um varejador portátil e um vibrador portátil, num olival superintensivo localizado na Herdade dos Lameirões – Safara – Moura. Para cada equipamento foi definida uma equipa de trabalho, constituída pelo operador do equipamento e por operadores auxiliares. Estes procediam à movimentação dos panais para recolha de azeitona e faziam a descarga da azeitona para caixas. Os operadores auxiliares do vibrador procediam ainda ao esgotamento da azeitona que permanecia nas árvores após a vibração. Quantificou-se a massa de azeitona colhida por árvore, o tempo de trabalho por árvore e o tempo gasto na remoção manual da azeitona.

Verificou-se que o tempo de trabalho do vibrador em cada árvore é inferior ao do varejador. No entanto são necessários operadores auxiliares para retirarem manualmente da árvore a azeitona que o vibrador não destaca. A utilização de vibrador + varejador evitará a necessidade da remoção manual, principalmente em variedades onde o destaque dos frutos é mais difícil.

Palavras-chave: vibrador, varejador, tempo de destaque

Evaluation of hand-held equipments for olive harvesting

Abstract

Olive harvesting is the task with the most influence in olive production costs. The use of tractor mounted trunk shakers or continuous canopy shaking machines allows to decrease harvesting costs. These solutions are not aplicable in smaller farms and also in young intensive olive orchards at the beginning of bearing activity. Olive growers have a lot of different hand held machines in the market. The most widespread are branch shakers and electic combs.

In order to improve knowledge about the use of this kind of machines, a trial with a branch shaker and a electric comb was made at the super high density olive orchard of Herdade dos Lameirões – Safara – Moura.

Each machine have an operator and three assistants to move the nets and discharge fruits to boxes. The assistants make hand harvest of the remaining fruits after branch shaking.

Time spend with each machine by tree, time needed to harvest the remaining fruits and the mass of olives per tree were registered.

Electric comb require more time per tree but the branch shaker need complementary hand harvest to remove all the fruits from the tree. This process is not necessary with the adoption of branch shaking followed by the use of the electric. This is is particullary usefull in olive varieties with higher fruit detachment force.

Keywords: branch shaker; electric comb; time of detachment

1.Introdução

A colheita é a tarefa que tem mais incidência nos custos de produção de azeitona. A única solução para ultrapassar esta limitação está na redução da utilização de mão-de-obra. Deste modo, tem-se verificado um aumento da mecanização da colheita, principalmente com a utilização de vibradores montados em trator agrícola conjuntamente com um sistema de receção de azeitona, vulgarmente conhecido por "apara-frutos" (Figura 1).

Figura 1 – Conjunto tractor com vibrador e "apara-frutos"

No olival superintensivo a colheita é realizada com máquinas cavalgantes automotrizes que permitem a realização da colheita em contínuo, sendo aconselhável a sua instalação em parcelas de dimensão superior a 15 ha (Tous, 2010).
Para as pequenas explorações familiares, bem como para os olivais intensivos jovens na fase de entrada em produção existe uma grande diversidade de modelos de equipamentos portáteis que permitem auxiliar o olivicultor na colheita da azeitona. Destacam-se dois tipos de equipamento: os vibradores portáteis acionados com motor de explosão e os varejadores portáteis acionados eletricamente. Segundo Abdeen et al. (2006) a utilização de equipamentos portáteis permite aumentar a massa de azeitona destacada cerca de 4 a 5 vezes relativamente à colheita exclusivamente manual. A dimensão das árvores condiciona o tempo de derrube da azeitona (Dias et al., 1998), visto ser necessário percorrer toda a copa para destacar a azeitona. O tipo de equipamento condiciona a eficiência de destaque. Yousefi et al. (2010) verificaram que o vibrador portátil tem uma eficiência de colheita significativamente inferior ao varejador pneumático, embora a massa de azeitona destacada por hora seja superior.
De modo a contribuir para o aumento do conhecimento sobre a utilização de equipamentos portáteis na colheita de azeitona, efetuou-se um ensaio de avaliação do desempenho de um varejador portátil e de um vibrador portátil.

2. Material e Métodos

2.1 Olival

A colheita de azeitona foi realizada em Novembro de 2007 e em Novembro de 2008 num olival superintensivo localizado na Herdade dos Lameirões – Safara – Moura (38º 04'N 7º 16'W). Trata-se de uma parcela de olival instalada em Março de 2002 para avaliar o comportamento produtivo de algumas de variedades portuguesas nesta forma de condução. O olival foi plantado em blocos

casualizados com três repetições. O olival tem duas densidades de plantação: D1 - 1850 árvores por hectare (4m×1.35m) and D2 - 1250 árvores por hectare (4m × 2m) e sete variedades, 'Azeiteira', 'Cobrançosa', 'Cordovil de Serpa', 'Galega vulgar', 'Redondil', 'Verdeal Alentejana' e 'Arbequina'), num total de 36 blocos com três linhas cada. Cada bloco tem 40 m de comprimento, ao qual correspondem 29 árvores por linha na densidade D1 e 20 árvores por linha na densidade D2. Para avaliação da produção foram aleatoriamente selecionadas 10 árvores em cada talhão.

2.2 Equipamentos utilizados

Utilizaram-se os seguintes equipamentos portáteis para colheita de azeitona: vibrador portátil Sthill SP 400 (figura 2) e varejador portátil Pellenc Olivium 600 (Figura 3).

Figura 2 – Vibrador portátil com motor de explosão

O vibrador Sthill 400 é acionado por um motor de explosão de 1,9kW de potência máxima e pesa cerca de 13 kg. Este transmite movimento alternado a uma vara de alumínio, que dispõe de um gancho na extremidade para fixação às pernadas das árvores.
O varejador Pellenc Olivium 600 é constituído por uma vara de fibra carbono em cuja extremidade de encontra um motor elétrico de 380 W de potência máxima que aciona o mecanismo de derrube, que pesa cerca de 2,5 kg. O movimento alternado das pequenas varetas de fibra de carbono do mecanismo de derrube destaca a azeitona. A corrente elétrica para acionamento do motor é fornecida por uma bateria de lítio com cerca de 5kg, transportada pelo operador (Figura 3).

2.3 Metodologia

Foram definidos os seguintes tratamentos: T1 – destaque da azeitona com varejador; T2 – destaque da azeitona com vibrador + destaque manual complementar para esgotar a azeitona que permaneceu nas árvores após a vibração; T3 - destaque da azeitona com vibrador + destaque complementar com varejador para esgotar azeitona que permaneceu nas árvores após a vibração.
Para cada equipamento foi definida uma equipa de trabalho, constituída pelo operador do equipamento e por quatro operadores auxiliares. Cada equipa de trabalho procedeu à colheita de azeitona em parcelas separadas de modo a colher azeitona das diversas variedades.
Os operadores auxiliares procediam à movimentação dos panais para recolha de azeitona e faziam a descarga da azeitona colhida por árvore para caixas de plástico. Os operadores auxiliares no tratamento 2 (T2) procediam ainda ao esgotamento da azeitona que permanecia na árvore após a vibração (figura 4).

Figura 3 – Varejador portátil com acionamento elétrico

Figura 4 – Operadores auxiliares do vibrador portátil na remoção manual da azeitona da árvore após a vibração

Para cada árvore com produção quantificaram-se os seguintes parâmetros:

- massa de azeitona colhida por árvore;
- tempo gasto por cada equipamento por árvore;
- tempo gasto na remoção manual da azeitona.
- nº de pessoas envolvidas na remoção manual da azeitona por árvore (apenas em 2008).

Foi feita a análise de variância (ANOVA), utilizando o programa SPSS 22. Sempre que a análise de variância revelou diferenças significativas, foi feito o teste de separação de médias de Duncan para um nível de significância de 5%.

3. Resultados e discussão

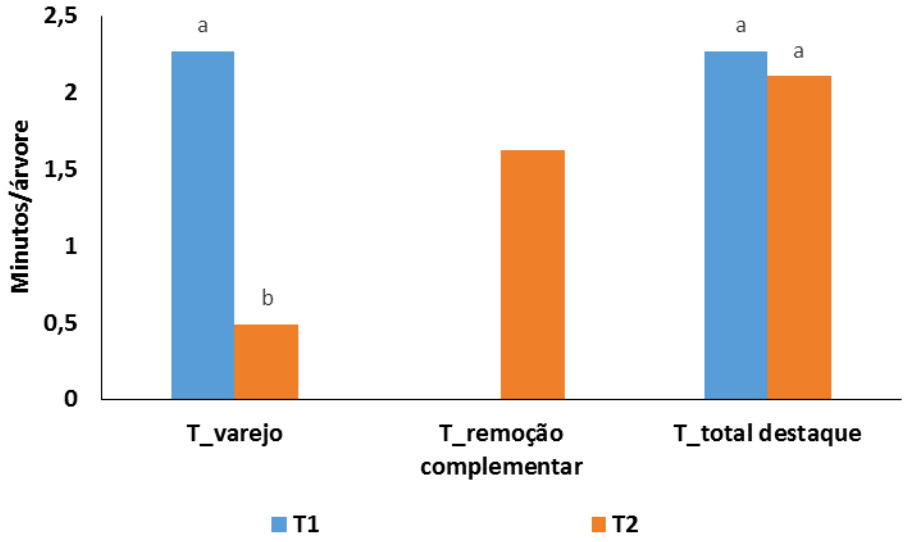
Na tabela 1 indica-se o nº de árvores colhidas em cada ano por equipamento de colheita, bem como a produção média de azeitona das árvores colhidas. Em 2007 não se verificaram diferenças significativas na produção média de azeitona por árvore. Em 2008, verificou-se que a produção das árvores que foram colhidas com vibrador e varejador era significativamente superior à das árvores colhidas com apenas um equipamento.

Tabela 1 – Caracterização do ensaio de colheita

	Nº árvores colhidas		Produção média azeitona/árvore (kg)	
Tratamento	2007	2008	2007	2008
T1 (Varejador)	117	60	4,76[a]	3,08[b]
T2 (Vibrador)	121	80	4,65[a]	3,69[b]
T3 (Vibrador + varejador)		31		5,91[a]

3.1 Campanha de colheita de 2007

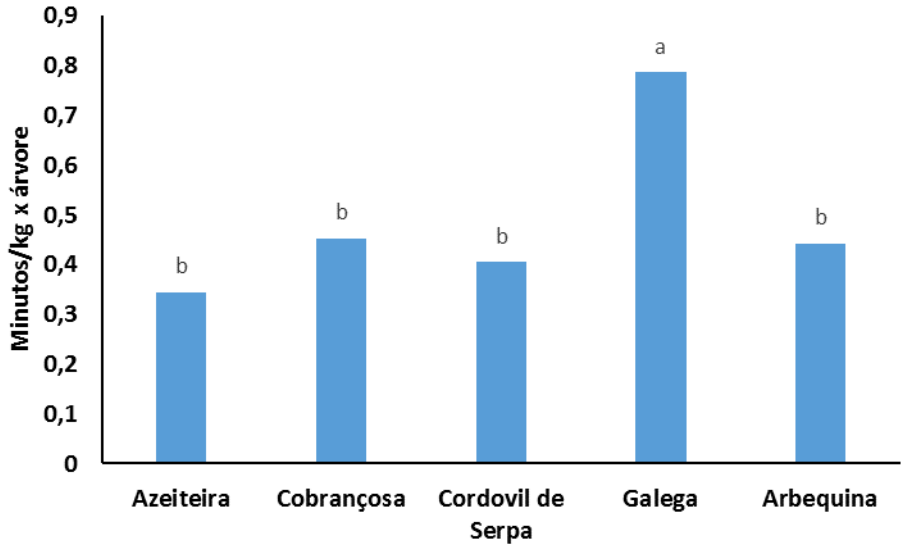
Na figura 5 mostram-se os tempos gastos em média em cada tratamento no destaque da azeitona, na campanha de 2007. No tratamento 1 (varejador) foi necessário despender um período de tempo significativamente (P<0,05) superior ao do tratamento2 (vibrador), visto que é necessário circunscrever toda a copa para remover a azeitona da árvore. No entanto no tratamento 2 (T2) tem de se fazer a remoção manual da azeitona que permanece na árvore após a vibração. Embora se trate de uma fração da produção, como a tarefa é exclusivamente manual, requer mais tempo do que a vibração.
Em termos de tempo total de destaque por árvore não se verificaram diferenças significativas (P>0,1) entre os tratamentos.



Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si (P≤0,05)

Figura 5 – Tempo gasto em cada tratamento no derrube de azeitona, em 2007

Na figura 6 mostra-se o tempo gasto em média para destacar a azeitona da árvore em cada uma das variedades, no tratamento 1, em 2007. Verificaram-se diferenças significativas (P<0,05) no tempo requerido por cada variedade, tendo a variedade Galega necessitado de um período de tempo significativamente superior (P<0,05) ao das outras variedades. Tal poderá estar associado ao facto de se tratarem de árvores mais altas, com a azeitona distribuída por uma maior copa, o que requer mais tempo para destacar a azeitona.



Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si, segundo o teste de separação de médias de Duncan (P≤0,05)

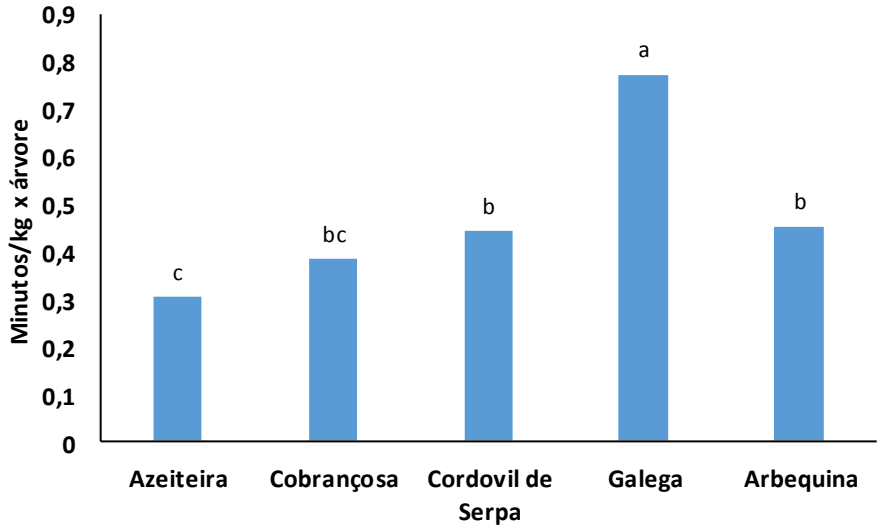
Figura 6 – Tempo gasto no destaque da azeitona por variedade, no tratamento 1, em 2007

Na figura 7 mostra-se o tempo gasto em média para destacar a azeitona da árvore por variedade, no tratamento 2, em 2007. Verificaram-se diferenças significativas (P<0,05) entre as variedades. A variedade Azeiteira foi a necessitou de menos tempo de destaque, diferindo significativamente (P<0,05) das restantes com exceção da Cobrançosa. Estas duas variedades são consideradas adequadas para a colheita com vibrador de tronco (Leitão et al.,1986), o que poderá justificar o resultado obtido. Na variedade Galega o tempo de destaque por árvore foi significativamente superior (P<0,05) ao das restantes variedades. Embora se trate de um equipamento diferente, em que apenas é necessário fixar o vibrador em 2 a 3 pernadas por árvore, o facto de se remover manualmente a azeitona remanescente, afeta o tempo total de destaque, principalmente quando há necessidade de subir às árvores. De referir ainda que a variedade Galega se caracteriza por ter uma eficiência de colheita por vibração inferior às outras variedades (Dias, 2006).

3.2 Campanha de colheita de 2008

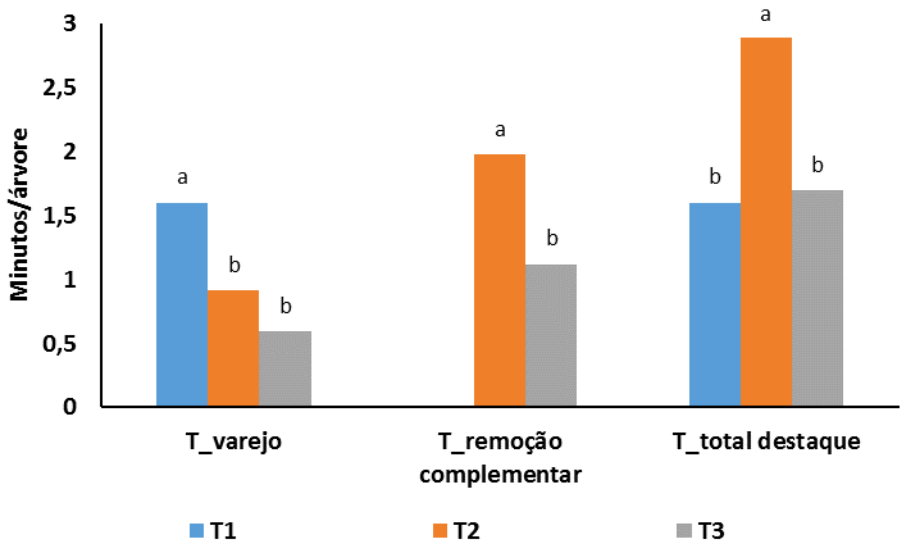
Na figura 8 mostram-se os tempos gastos em média por tratamento no destaque da azeitona, na campanha de 2008. Tal com em 2007, o tempo de varejo no tratamento 1 (varejador) foi significativamente superior (P<0,05) ao tempo gasto nos outros tratamentos, os quais não diferiram significativamente (P<0,05) entre si.

Conforme seria de esperar, o tempo de remoção complementar da azeitona que permaneceu na árvore foi significativamente inferior (P<0,05) no tratamento 3 (vibrador + varejador).



Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si, segundo o teste de separação de médias de Duncan (P≤0,05)

Figura 7 – Tempo gasto no destaque da azeitona por variedade, no tratamento 2, em 2007

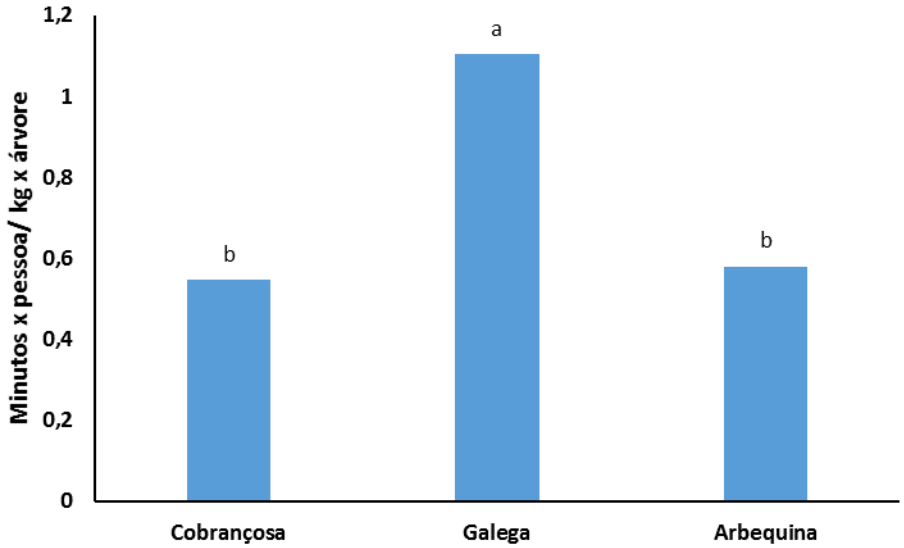


Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si (P≤0,05)

Figura 8 – Tempo gasto em cada tratamento no destaque da azeitona, em 2008

Em termos de tempo total de destaque por árvore verificaram-se diferenças significativas (P<0,05) entre os tratamentos, com o tratamento 2 (vibrador portátil) a registar um valor significativamente superior (P<0,05) aos outros tratamentos. Este resultado deve-se ao facto de em 2008, no tratamento 2, ter sido necessário gastar mais tempo quer no varejo, quer na remoção complementar, do que em 2007.

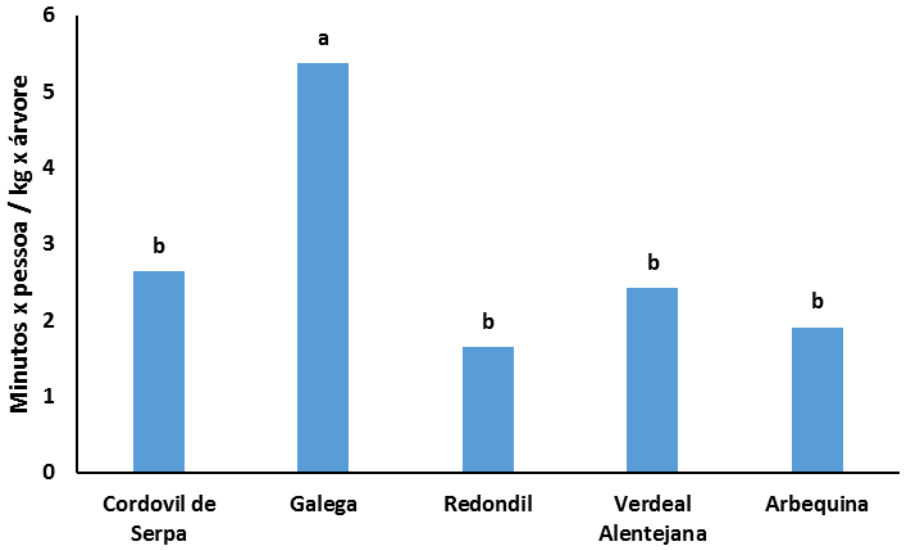
Verificaram-se diferenças significativas (P<0,05) no tempo gasto para destacar a azeitona da árvore por variedade, no tratamento 1, em 2008 (Figura 9). Tal como em 2007, a variedade Galega voltou a necessitar de mais tempo de destaque diferindo significativamente (P<0,05) das outras variedades.



Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si, segundo o teste de separação de médias de Duncan (P≤0,05)

Figura 9 – Tempo gasto no destaque da azeitona por variedade, no tratamento 1, em 2008

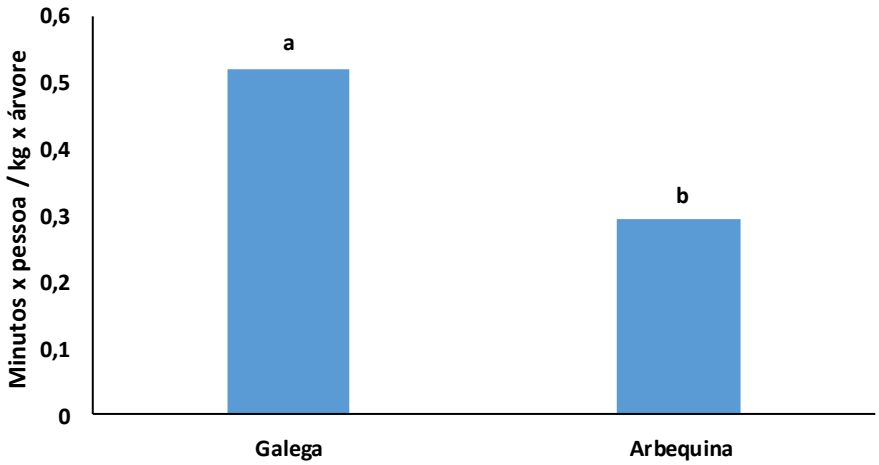
A figura 10 mostra o tempo gasto em média em 2008, para destacar a azeitona da árvore por variedade, no tratamento 2 (vibrador portátil+ remoção manual). De forma análoga ao que ocorreu em 2007, apenas a variedade Galega diferiu significativamente (P<0,05) das restantes variedades.



Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si, segundo o teste de separação de médias de Duncan (P≤0,05)

Figura 10 – Tempo gasto no destaque da azeitona no tratamento 2, por variedade, em 2008

A figura 11 mostra o tempo gasto em média em 2008, para destacar a azeitona da árvore por variedade, no tratamento 2 (vibrador portátil+ varejador portátil). A variedade Galega necessitou de um tempo de destaque significativamente superior (P<0,05) ao da variedade Arbequina, tal como se tinha verificado nos outros tratamentos.



Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si (P≤0,05)

Figura 11 – Tempo gasto no destaque da azeitona no tratamento 3, por variedade, em 2008

Ao analisar as figuras 9, 10 e 11 verifica-se que o tempo de destaque no tratamento 2 (figura 8) é claramente superior ao dos outros tratamentos. Tal deve-se ao facto de no tratamento 2 a execução da remoção manual da azeitona das árvores ser realizada por várias pessoas, enquanto nos outros tratamentos apenas o operador do equipamento é que realiza o destaque da azeitona.

4. Conclusões

A vantagem na utilização do vibrador portátil está na rapidez com que destaca a maior parte da azeitona das árvores. A decisão de destacar manualmente a azeitona remanescente é penalizadora da capacidade de trabalho. O olivicultor poderá decidir se pretende colher mais árvores por dia ou esgotar a totalidade da azeitona existente em cada árvore. A utilização de vibrador + varejador permitirá ultrapassar a limitação da remoção manual, principalmente em variedades como a Galega que se caracterizam por maior dificuldade de destaque.
Além da capacidade de destaque o olivicultor deve ter em consideração o investimento bem como o peso dos equipamentos. Este aspeto deve ser tomado em consideração na gestão da mão-de-obra utilizada.

Agradecimentos

À Direção Regional de Agricultura e Pescas do Alentejo pela disponibilização do campo de ensaio e pela sua manutenção. Ao Centro Operativo e Tecnológico do Regadio pela gestão da rega e colaboração na manutenção do ensaio e recolha de dados.

À memória dos Engenheiros Agrónomos António Maria Garcia, Luis Santos e Isaías Piçarra pelo seu envolvimento na instalação e manutenção deste campo de ensaio.

Bibliografia

Abdeen, M., Jibara, G., Dubla, E., Dragotta, A. and Famiani, F. 2006. Use of hand-held machines for olive harvesting of cultivars Sorani and Zeiti in Syria. In *Proceedings Olive Biotech 2006-Second International Seminar Biotechnology and Quality of Olive Tree Products Around the Mediterranean Basin*, Vol. II: 185-188., Marsala-Mazara Del Vallo, Italy.

Dias, A.B. 2006. A mecanização da poda do olival. Contribuição da máquina de podar de discos. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora.

Leitão, F., Potes, M.F., Calado, M.L., Almeida, F.J. 1986. *Descrição de 22 Variedades de Oliveira Cultivadas em Portugal*, Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação, Direção Geral de Planeamento e Agricultura, Lisboa.

Tous, J. 2011. Olive production systems and mechanization. *Acta Hort.* 924, 169-184, doi: 10.17660/ActaHortic.2011.924.22.

Yousefi, Z., Almassi, M., Zeinanloo, A. A. , Moghadasi, R. , Khorshidi, M.B. 2010. A comparative study of olive removal techniques and their effects on harvest productivity. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.8 (1):240-243.

Análisis del aclareo mecánico de mandarinas a través de los videos de desprendimiento en laboratorio

Coral Ortiz[1], Enrique Ortí[1], Sebastià Balasch[2], Bernardo Martin-Gorriz[3], Antonio Torregrosa[1]

[1] Universitat Politècnica de València, Dpto. Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Cno. Vera s/n, 46022 Valencia. cortiz@dmta.upv.es

[2] Universitat Politècnica de València, Dpto. de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad. Cno. Vera s/n, 46022 Valencia

[3]Universidad Politécnica de Cartagena, Área de Ingeniería Agroforestal, Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena

Resumen

El aclareo de mandarinas es una tarea que se realiza habitualmente de forma manual, con la finalidad de conseguir calibres de frutos mayores. El coste de esta labor, que en algunas ocasiones debe realizarse en varias pasadas, incrementa altamente los costes de cultivo.

En este trabajo se ha abordado el estudio del aclareo mecánico, mediante un dispositivo de vibrado de ramas en laboratorio con el objetivo de estudiar las combinaciones de frecuencia de vibrado y duración de la vibración en el porcentaje de desprendimiento.

Se seleccionaron 25 ramas de la variedad 'Clemenrubi', con un número de frutos comprendido entre 3 y 10, y un diámetro medio de 30,7 mm. Se empleó un dispositivo de vibrado de ramas en laboratorio tipo biela-manivela, con una carrera de 0,06 m y frecuencias de 9,3 Hz, 14,1 Hz y 18,1 Hz. El vibrado de las ramas se grabó con una cámara de alta velocidad a 300 fotogramas por segundo.

En el caso de la frecuencia menor el porcentaje de desprendimiento fue 50 %. Utilizando la frecuencia intermedia el porcentaje de derribo estuvo comprendido entre el 60 % y 70 %. Para la frecuencia mayor se obtuvo un 100 % de desprendimiento, en 8 segundos de vibración.

En el caso de la frecuencia intermedia la mayoría de los frutos se desprendieron entre los segundos 1 y 2, y en el caso de la frecuencia mayor antes del primer segundo.

Para simular un árbol completo se calculó un porcentaje de desprendimiento corregido para cada frecuencia. Para las tres frecuencias el porcentaje de desprendimiento acumulado evoluciona cuadráticamente respecto al tiempo, con un R^2 mayor de 97 % en todos los casos. Se comprobó cómo el incremento en el desprendimiento acumulado de frutos a través del tiempo es mayor a mayores frecuencias, sobre todo durante los primeros instantes; esa diferencia en el incremento acumulado entre frecuencias va claramente aminorándose a medida que avanza el tiempo de vibración.

Usando la frecuencia de vibrado intermedia, en torno a 14 Hz, con tiempos de vibrado de 1,3 segundos, el porcentaje de desprendimiento obtenido fue del 35 %, valor similar al logrado en los ensayos previos realizados en campo.

Palabras clave: citrus, vibration, frequency**.**

Mandarin mechanical thinning assessment using laboratory video recording

Abstract

Mandarin thinning for fresh market is a task that growers do in some varieties because small fruits are rejected by markets. Thinning is done by hand, increasing labor cost and raising total crop production costs.

In this research study mechanical thinning of mandarin branches has been assessed using a vibratory laboratory device in order to obtain the combination of frequency and time to detach an adequate percentage of fruitlets. Twenty five branches from 'Clemenrubi' variety were selected with a number of small fruits between 3 and 10, and an average branch diameter of 30.7 mm. A laboratory unidirectional vibratory device was used to vibrate the mandarin branches with an amplitude of 0.06 m and frequencies of 9.3 Hz, 14.1 Hz and

18.1 Hz. A high-speed color video camera was used to record the branch movements at 300 photographs per second.

For the highest frequency the detachment percentage was 50 %, for the medium vibration frequency it was 60-70 % and for the highest frequency it was 100 %, in 8 seconds. However, using the medium frequency most of the fruits were detached before 2 seconds and using the highest frequency before 1 second.

In order to simulate a whole tree, the corrected removal percentage related to time was calculated, for each frequency studied. For the three frequencies the removal percentage was related to time, removal percentage grows quadratically according to time, with an R2 higher than 97 % in all the cases. This model confirmed that the increment ratio of the removal percentage according to time was influenced by the frequency.

Keywords: citrus, vibration, frequency.

1. Introducción

La operación de aclareo es la eliminación de flores o frutos de los árboles antes de la fecha de recolección (Valenzuela, 1992). Se considera útil para aumentar el rendimiento y el calibre de los frutos y favorecer la floración de la campaña siguiente (Ouma, 2012).

Existen diferentes métodos para aclarar: químicos, manuales y mecánicos.

Son muchos los trabajos realizados sobre aclareo químico. Sin embargo, estos trabajos se ven reducidos por la prohibición del uso de algunos productos.

En cítricos el aclareo de frutos no ha sido muy estudiado. Ortiz et al. (2016) estudiaron el aclareo mecánico en dos variedades de mandarinas ('Clemenrubí' y 'Clemenules') con un peine eléctrico y un vibrador de ramas de gasolina. Se consiguieron porcentajes de derribo entre 31 % y 57 %.

Actualmente en la Comunidad Valenciana, el aclareo manual de mandarinos es una operación habitual en ciertas variedades. Estas operaciones manuales se realizan en repetidas tandas y encarecen los costes de cultivos.

Por ello, se ha considerado la necesidad de estudiar el aclareo de mandarinos.

En el presente trabajo se abordó el estudio en laboratorio de vibrado mecánico de ramas de mandarino para aclareo.

2. Materiales y Métodos

2.1. Equipo de vibrado

Se utilizó un equipo de vibrado unidireccional de ramas (Figura 1). El movimiento rotatorio de accionamiento eléctrico es transformado en un movimiento lineal. Un convertidor de frecuencia se utiliza para variar la frecuencia de vibrado. La amplitud se puede fijar en un rango de 0,06 m a 0,180 m, fijando el vástago en los distintos orificios (A). La rama se coloca en una posición vertical hacia abajo sujeta por una abrazadera (B).

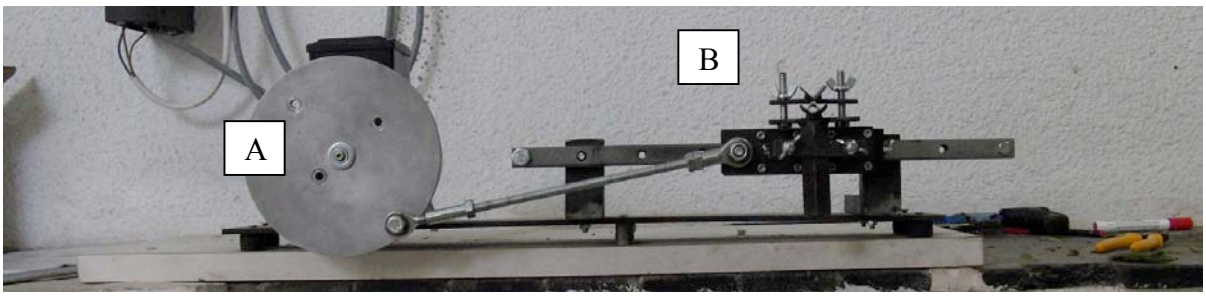


Figura 1. Dispositivo de vibrado de laboratorio.

Una cámara de alta velocidad (300 fotogramas/s) (Casio EXF1, www.exilim.com) se utilizó para grabar el movimiento de la rama y registrar la caída de los frutos.

Las frecuencias reales se midieron con un acelerómetro (Kistler 8763A500) y con las grabaciones de alta velocidad.

2.2. Material vegetal

Para el ensayo definitivo se utilizaron ramas de mandarinos de la variedad 'Clemenrubí' de una plantación situada en el Racó de Gaussa (Sagunto), sobre la que también se realizó un ensayo de aclareo en campo. Se seleccionaron 25 ramas de forma similar con un número de frutos entre 3 y 10, y tamaño medio de 30,7 mm de diámetro, peso medio 13,5 g y fuerza de desprendimiento media de 22,7 N, suponiendo un 62 % del calibre ecuatorial medio de los frutos en recolección y un 22,2 % del peso medio de los frutos en recolección.

2.3. Metodología

Basándonos en los resultados de los ensayos preliminares, para el ensayo definitivo se estableció una carrera de 0,06 m. Las frecuencias estudiadas 9,3 Hz, 14,1 Hz y 18,1 Hz.

Siguiendo la metodología empleada previamente por Ortiz y Torregrosa (2013), las películas de la caída de los frutos se utilizaron para calcular los tiempos y porcentajes de desprendimiento de los frutos, mediante la ecuación [1].

$$t_{ij} = \frac{(foto_d - foto_0)}{300} \quad [1]$$

t_{ij}= tiempo (s) de la fruta i de la rama j.
photo $_0$ fotograma cuando empieza el movimiento.
photo $_d$, fotograma cuando se desprende el fruto i.
Para poder determinar el porcentaje de desprendimiento en relación con el tiempo de vibrado, el número acumulado de frutos desprendido respecto del total fue calculado agrupando las ramas vibradas bajo la misma frecuencia (simulando un árbol con todas las ramas con las mismas condiciones), ecuación [2].

$$\%D(t) = \frac{\Sigma frutos\ desprendidos\ (t)}{Número\ total\ de\ frutos} \quad [2]$$

2.4. Metodología estadística

Se ha estudiado la evolución del porcentaje de derribo acumulado a lo largo del tiempo, para cada una de las tres frecuencias de vibrado, por medio de un modelo de regresión simple. La utilización de la raíz cuadrada del tiempo como variable explicativa, permite modelizar una influencia no lineal del tiempo de vibrado sobre el porcentaje de derribo de frutos.

3. Resultados y Discusión

En primer lugar se establecieron, a través de las películas de alta velocidad, los tiempos de derribo de los distintos frutos de cada rama y se calcularon los porcentajes de derribo acumulados por cada rama separada frente al tiempo en segundos. En las figuras 3, 4 y 5 se muestran el porcentaje acumulado para cada frecuencia 9,4 Hz, 14,3 Hz y 17,6 Hz respectivamente.

En el caso de la frecuencia menor (9,4 Hz) exceptuando la rama 6, en el resto de las ramas el porcentaje de derribo alcanzado por ramas fue inferior al 50 % en 8 segundos, figura 2. En la mayoría de las ramas el desprendimiento se acusa en torno al segundo 3.

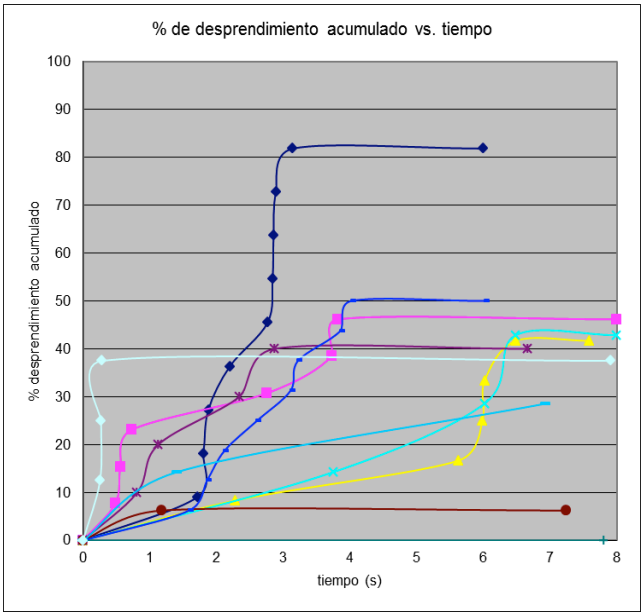


Figura 2. Porcentaje de desprendimiento acumulado por rama frente al tiempo en segundos para una carrera de 0,06 m y una frecuencia de 9,4 Hz.

En el caso de la frecuencia media (14,3 Hz) exceptuando las ramas 14 y 16, en el resto de las ramas el porcentaje de derribo alcanzado por estuvo entre 60 % y 70 % en 8 segundos, figura 3. En la mayoría de las ramas el desprendimiento se acusa entre los segundos 1 y 2.

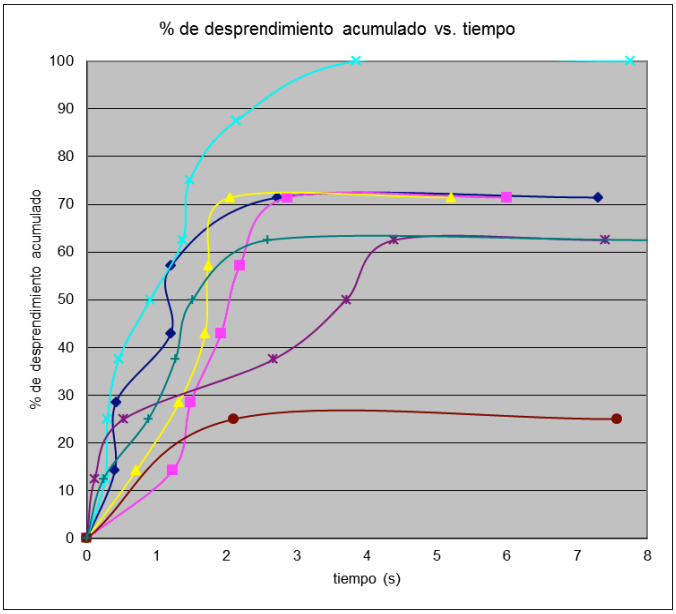


Figura 3. Porcentaje de desprendimiento acumulado por rama frente al tiempo en segundos para una carrera de 0,06 m y una frecuencia de 14,3 Hz.

En el caso de la frecuencia más alta estudiada (17,6 Hz) exceptuando la rama 1, que obtiene valores de derribo mucho menores, en el resto de las ramas el porcentaje de derribo alcanzado fue del 100 % en 8 segundos, figura 4. En la mayoría de las ramas el desprendimiento se acusa antes del primer segundo.

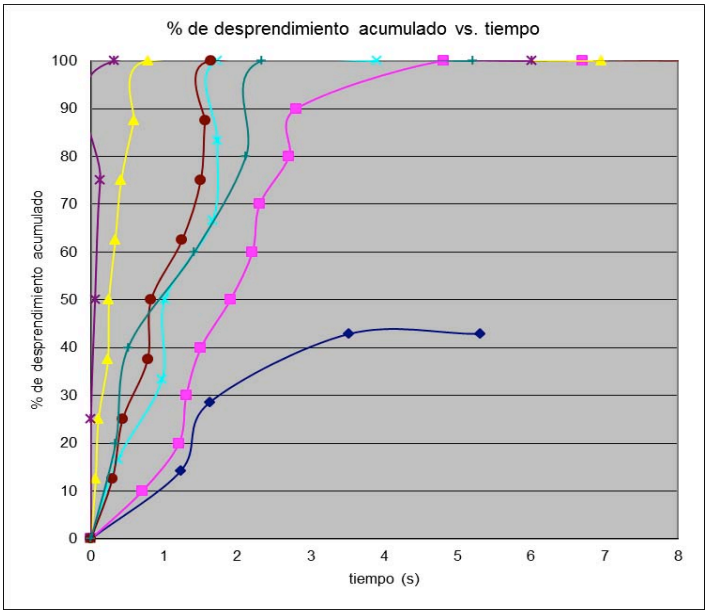


Figura 4. Porcentaje de desprendimiento acumulado por rama frente al tiempo en segundos para una carrera de 0,06 m y una frecuencia de 17,6 Hz.

Para simular lo que ocurriría en un árbol completo, y siguiendo la ecuación [2] se calculó el porcentaje de desprendimiento o derribo acumulado corregido respecto al tiempo, para cada frecuencia estudiada.

Con estos valores de desprendimiento para cada frecuencia se estableció el modelo que mejor ajusta la evolución del porcentaje de derribo frente al tiempo. En todos los casos el modelo de evolución fue el de raíz cuadrada del tiempo, es decir, el porcentaje de derribo se incrementa de forma cuadrática al avanzar el tiempo. Para las tres frecuencias el R2 del modelo fue mayor de 98 %.

En las figuras 5, 6 y 7 se muestran las curvas del modelo de la evolución del porcentaje de desprendimiento acumulado corregido respecto al tiempo, para las frecuencias de 9,4 Hz, 14,3 Hz y 17,6 Hz, respectivamente.

Como se puede observar para la frecuencia menor (9,4 Hz) el porcentaje derribado a los 4 segundos está en torno al 30%, figura 5. Sin embargo, con 4 segundos usando una frecuencia de 14,3 Hz se consiguen porcentajes del 60 %, figura 6. Y en el caso de la frecuencia máxima (17,6 Hz) solo con 3 segundos casi se ha desprendido el 100 %, figura 7.

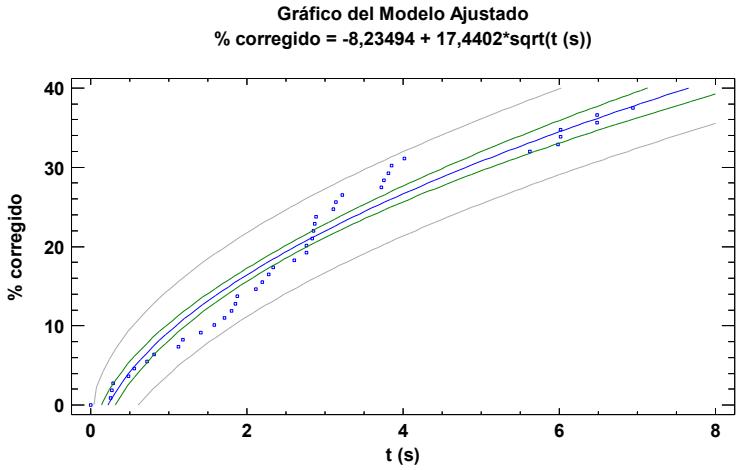


Figura 5. Modelo de evolución del porcentaje de desprendimiento acumulado corregido frente al tiempo en segundos para una carrera de 0,6 m y una frecuencia de 9,4 Hz.

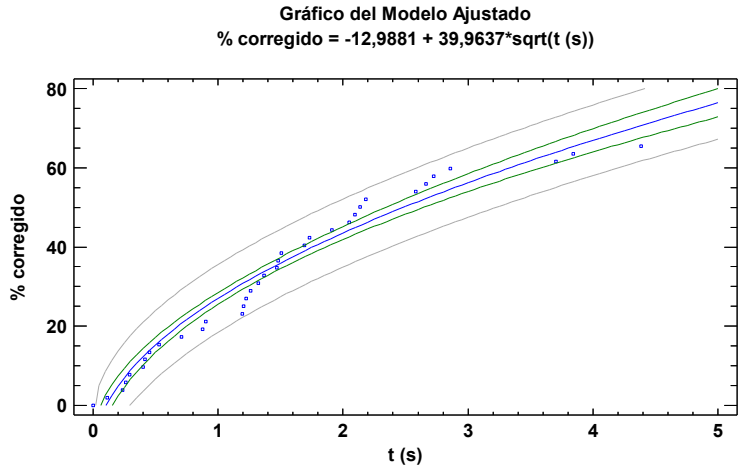


Figura 6. Modelo de evolución del porcentaje de desprendimiento acumulado corregido frente al tiempo en segundos para una carrera de 0,6 m y una frecuencia de 14,3 Hz.

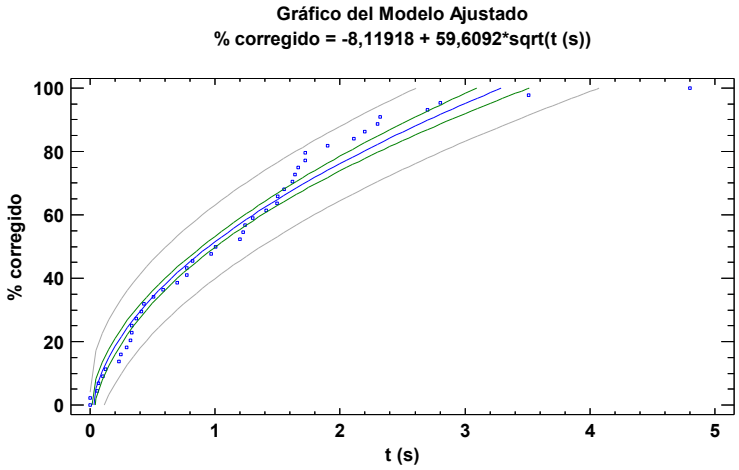


Figura 7. Modelo de evolución del porcentaje de desprendimiento acumulado corregido frente al tiempo en segundos para una carrera de 0,6 m y una frecuencia de 17,6 Hz.

Para conseguir porcentajes de derribo en torno a 25 % en el caso de la frecuencia mayor se debería vibrar menos de 1 segundo. Para la frecuencia media, un poco más de 1 segundo. Y para la frecuencia menor, entre 3 y 4 segundos. Para conseguir porcentajes de derribo en torno al 50 % en el caso de la frecuencia mayor se debería vibrar en torno a 1 segundo. Para la frecuencia media en torno a 2 segundos. Y para la frecuencia menor no se conseguiría en 8 segundos.

Los tiempos de vibrado utilizados en el ensayo de aclareo en campo, realizado con dos equipos de vibrado de ramas de gasolina, tienen una media de 1,13 s. Con frutos de la misma plantación en estado fenológico similar a los ensayados de laboratorio (15,5 g de peso y 31,8 mm de diámetro ecuatorial). Así mismo la frecuencia de vibrado oscila entre los valores de 8 Hz en el arranque y 4 Hz en el final, en torno a los 13-16 Hz en el período más estable, y una frecuencia máxima de 16 Hz. Como los tiempos de vibración fueron muy cortos, el período estable fue muy reducido.

Si comparamos los resultados de laboratorio con los obtenidos en ensayos previos de vibrado en campo (frecuencia en el período estable entre 13 Hz y 16 Hz y tiempos de vibrado medios de 1,3 s) se consiguen porcentajes de desprendimiento en laboratorio similares a los obtenidos en aclareo mecánico en campo, en torno a 35%.

Es importante tener en cuenta que cuando se realiza el vibrado en campo se aplica la vibración a una rama principal y el movimiento se transmite al resto de ramas. De esta manera, a las ramas alejadas del punto de aplicación de la vibración les puede llegar una amplitud diferente.

4. Conclusiones

El ensayo del vibrado de ramas en laboratorio, mediante un dispositivo mecánico unidireccional, se ha podido utilizar para estudiar, con condiciones definidas, las frecuencias y tiempos de desprendimiento de mandarinas en la operación de aclareo.

Para todas las frecuencias estudiadas, bajo las condiciones de trabajo utilizadas y simulando el comportamiento acumulado de las ramas al comportamiento de un árbol completo, el desprendimiento de los frutos se ajusta a un modelo de raíz cuadrada del tiempo. Es decir el porcentaje de derribo o desprendimiento evoluciona de forma cuadrática al avanzar el tiempo.

Para conseguir un porcentaje de derribo de frutos para aclareo en torno al 25 %, con una carrera de 0.06 m aplicada en la rama y para unas frecuencias de 18,1 Hz y 14,1 Hz se necesitan tiempos de

vibrado muy cortos. Un tiempo menor a 1 segundo y ligeramente mayor a 1 segundo, para las frecuencias mayor y media respectivamente.

Para conseguir un porcentaje de derribo de frutos para aclareo en torno al 25 %, con una carrera de 0,6 m aplicada en la rama y una frecuencia de 9,3 Hz se necesita un tiempo de vibrado entre 3 y 4 segundos.

Para las condiciones de los ensayos de campo, frecuencia entre 13 Hz y 16 Hz y tiempos de vibrado medios de 1,3 s, se consiguen porcentajes de desprendimiento en laboratorio similares a los obtenidos en aclareo mecánico en campo, en torno a 35%.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y fondos FEDER (Proyecto RTA2014-00025-C05-02).

Bibliografía

Ortiz, C., Martín-Gorriz, B., Ortí, E. And Torregrosa, A. 2016. An approach to mechanical thinning of mandarins.*ASABE Annual International Meeting*162457303.(doi:10.13031/aim.20162457303)
Ouma, G. 2012. Fruit thinning with specific reference to citrus species: A review. Agriculture and *Biology Journal of North America* 3(4): 175-191

Valenzuela, J.R.C . 1992. Regulating blue Berry (V. Ahei) crop Ph.D Dissertation, Mississippi, State University

La inspección obligatoria de equipos en uso de aplicación de fitosanitarios. Disposiciones legislativas y normas relacionadas. Un caos interpretativo

Juan A. Boto[1], Víctor Marcelo[1], Francisco Javier López[1], Pablo Pastrana[1], José B. Valenciano[1]

[1] Dpto. Ingeniería y Ciencias Agrarias, Avda. Portugal 41, 24071 León. Spain. jabotf@unileon.es, v.marcelo@unileon.es, fjlopd@gmail.com, ppass@unileon.es, joseb.valenciano@unileon.es

Resumen

La Directiva 2009/128/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas, pone en marcha las inspecciones periódicas obligatorias de los equipos en uso (para utilización profesional) en la Unión Europea. Las inspecciones comprobarán que los equipos de aplicación de plaguicidas cumplen los requisitos en el anexo II "Requisitos de salud y seguridad y de medio ambiente". Esta directiva ha sido transpuesta a la legislación española por el Real Decreto 1702/2011.

Esta Directiva presenta como antecedentes las Directivas, 2006/42/CE, que aborda el "marcado CE" como presunción para el cumplimiento de los "requisitos esenciales de seguridad y de salud relativos al diseño y la fabricación de las máquinas" y, 2009/127/CE, en lo que respecta a las máquinas para la aplicación de plaguicidas, ampliando los requisitos de seguridad y salud, en su caso, de los animales domésticos y de los bienes, así como, cuando sea aplicable, del medio ambiente. Para satisfación de los requisitos que figuran en las mencionadas Directivas (2006/42/CE y 2009/127/CE), existen, respectivamente, la norma armonizada ISO 4254-6 (2009) y, las ISO 16119 (2013).

La familia de normas ISO 16122 (2015) "Maquinaria agrícola y forestal. Inspección de pulverizadores en uso", que deberían ser la base de las inspecciones, por su falta de correspondencia con las normas ISO ya citadas y la falta de concreción y rigor técnico en su contenido, hacen que sea complicado el establecer una clara referencia de las inspecciones.

Palabras clave: directiva, máquinas, seguridad, medio ambiente, ITEAF.

Mandatory inspection of equipment in use of application of pesticides. Legislative provisions and related rules. Interpretive chaos

Abstract

Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council, by establishing a framework for Community action in order to achieve the sustainable use of pesticides, sets in motion the mandatory periodic inspections of the equipment in use (for professional use) in the European Union. Inspections will verify that the pesticide application equipment meets the requirements in annex II "Health and safety and environmental requirements". This directive has been transposed into Spanish law by the Royal Decree 1702/2011.

This directive has as precedents the directives, 2006/42/EC, that addresses the "CE marking" as assumption for compliance with "essential requirements for safety and health relating to design and the manufacture of machines" and, 2009/127/EC, with regard to machinery for pesticide application, extending the requirements of health and safety, where appropriate, as well as domestic animals and goods, and, when applicable, the environment. To meet the requirements contained in the above-mentioned Directive (2006/42/EC and 2009/127/EC), there are, respectively, the harmonised standard ISO 4254-6 (2009), and the ISO 16119 (2013).

The group of standards ISO 16122 (2015) "Agricultural and forestry machinery. Inspection of sprayers in use", which should be the basis of inspections, due to its divergence from the aforementioned ISO standards and the lack of specificity and technical rigor in their content, make it difficult to establish a clear reference in the inspections.

Keywords: directive, machines, safety, environment, WIS

1. Introducción

La Directiva 2009/128/CE, "por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas", pone en marcha las inspecciones periódicas obligatorias de los equipos en uso (para utilización profesional) en la Unión Europea. Según la Directiva, las inspecciones comprobarán que los equipos de aplicación de plaguicidas cumplen los requisitos pertinentes enumerados en su anexo II "Requisitos de salud y seguridad y de medio ambiente".

Como toda directiva, para su aplicación, debe transponerse a la legislación de los estados miembros. En el caso de España, se transpone y desarrolla, en el Real Decreto 1702/2011, "de inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios".

Como antecedentes, se pueden citar, las Directivas que establecen los requisitos exigibles a los equipos nuevos, de aplicación de fitosanitarios, para su comercialización (aunque su exigencia no implica un control o inspección obligatoria para su cumplimiento):

- La Directiva 2006/42/CE, conocida como "directiva de máquinas", que aborda el "marcado CE" común para todas las máquinas (de forma genérica) como presunción para el cumplimiento de los "requisitos esenciales de seguridad y de salud relativos al diseño y la fabricación de las máquinas".
- La Directiva 2009/127/CE, en lo que respecta exclusivamente a las máquinas para la aplicación de plaguicidas, ampliando los requisitos de seguridad y salud, en su caso, de los animales domésticos y de los bienes, así como, cuando sea aplicable, del medio ambiente.

A efectos de la Administración Pública, una forma de satisfacer los requisitos establecidos en la Directiva 2006/42/CE (presunción de conformidad), para los equipos de aplicación de fitosanitarios, se recoge en la Norma "armonizada" ISO 4254-6 "Maquinaria agrícola. Seguridad. Parte 6: Pulverizadores y distribuidores de fertilizantes líquidos". De igual forma, una forma de satisfacer los requisitos establecidos en la Directiva 2009/127/CE, se recoge en la familia de Normas ISO 16119 "Maquinaria agrícola y forestal. Requisitos medioambientales para pulverizadores".

Relacionadas con las inspecciones de equipo de aplicación de fitosanitarios en uso se dispone de la familia de Normas ISO 16122 "Maquinaria agrícola y forestal. Inspección de pulverizadores en uso".

En el caso de España, y en lo que se refiere al contenido del Real Decreto 1702/2011, aparte de transcribir los contenidos del artículo 8 de la Directiva 2009/128/CE, relacionados con la "Inspección de los equipos en uso", incluye diferentes aspectos relacionados con el desarrollo de las inspecciones de los que se podrían destacar los siguientes:

- El Ministerio de Agricultura es la autoridad competente para coordinar las actuaciones de inspección en todo el territorio nacional.
- Los equipos a inspeccionar deben estar registrados en el registro oficial "ROMA".
- Las Comunidades Autónomas (CCAA) son las que establecerán el programa de inspecciones en su ámbito territorial, debiendo designar un Órgano Competente responsable del control y aplicación del programa.
- Las inspecciones se llevarán a cabo por las ITEAFs (Estaciones de Inspección Técnica de Equipos de Aplicación de Productos Fitosanitarios) autorizados y controlados por los mencionados órganos competentes.
- El Ministerio, de acuerdo con las CCAA, ha elaborado un "Manual de Inspecciones", partiendo de los requisitos enunciados en el Anexo II de la Directiva 2009/128/CE y de las normas técnicas armonizadas, de acuerdo con el que se realizarán las inspecciones. El citado Manual puede ser consultado en la sede electrónica del Ministerio.

- Con las inspecciones, para entregar a los interesados, la ITEAF que realice la inspección, emitirá un certificado por cada uno de los equipos inspeccionados y un boletín de resultados que contemple cada uno de los elementos del equipo inspeccionados y los defectos, tanto leves como graves, encontrados en la misma.
- El resultado de la inspección será favorable cuando no se haya detectado ningún defecto grave. Se entenderá como defecto grave, cuando éste afecte severamente a la calidad de la distribución del producto, a la seguridad del operario o al medio ambiente, y tipificado como tal en el correspondiente Manual de Inspecciones.

2. Metodología

En base a lo expuesto, queda claro que el documento base para realizar las inspecciones es el "Manual de Inspecciones", que tiene que tener en cuenta los requisitos enunciados en el Anexo II de la Directiva 2009/128/CE y las normas técnicas armonizadas. También queda claro que en ese Manual deben quedar tipificados los "defectos graves" que tendrán como consecuencia el resultado de la inspección desfavorable.

En lo que se refiere a las normas técnicas armonizadas, la legislación incluye lo siguiente "se aceptará que los equipos de aplicación de plaguicidas que cumplan las normas armonizadas elaboradas según el artículo 20, apartado 1, cumplen los requisitos fundamentales de salud y seguridad, y del medio ambiente".

En lo que se refiere a los defectos graves, principal decisión a tomar en la inspección en cuanto que califica la inspección favorable o desfavorable, se indica que son aquellos que pueden afectar severamente a la calidad de la distribución del producto, a la seguridad del operario o al medio ambiente. Parece claro que la seguridad del operario y del medio ambiente pueden ponerse de manifiesto, respectivamente, por el contenido de las normas armonizadas ISO 4254-6 y las ISO 16119. Quedarían pendientes los defectos relacionados con "la calidad de distribución del producto", si bien cuando se analizan los contenidos de las Normas 16119 puede intuirse que, una seguridad relacionada con el medio ambiente, puede implicar la calidad de distribución del producto. De todos modos, no existen documentos (Normas ISO) con contenidos que informen sobre la satisfacción de los requisitos exigibles con otros equipos de aplicación de fitosanitarios que no sean "pulverizadores", como espolvoreadores, aplicadores de microgránulos y otros equipos de pueden hacer tratamientos que no se corresponden con pulverización.

Todo lo expuesto en este punto parece lógico a falta de valorar las Normas ISO 16122, de "Inspección de pulverizadores en uso". El contenido de estas normas debería constituir la base en la elaboración de los "Manuales de inspección", de los pulverizadores, y así ha sido en el caso de los Manuales elaborados en España. El problema surge cuando se cuestiona si el contenido de estas Normas, técnicas y de carácter internacional, se ajustan a lo especificado en el Anexo II de la Directiva 2009/128/CE, que figuran como requisitos que se deben cumplir con la inspección de los equipos, o incluso que sean coherentes o compatibles con las también mencionadas ISO 4254-6 y las ISO 16119.

3. Resultados y Discusión

Como ejemplo de lo expuesto en "Metodología", se van a valorar diferentes apartados teniendo en cuenta, los requisitos establecidos en el Anexo II de la Directiva 2009/128/CE (Anexo I del R.D 1702/2011), el contenido de las normas armonizadas, ISO 4254-6 (2009), ISO 16119 y ISO 16122.

3.1. Higiene y seguridad personal ante el posible contacto con productos tóxicos (figura 1):

- Requisito Anexo II. Genérico: La inspección de los equipos de aplicación de plaguicidas debe cubrir todos los aspectos importantes para conseguir un elevado nivel de seguridad y protección de la salud humana y del medio ambiente.

Figura 1. Depósitos de agua limpia (lavamanos) para equipos de aplicación de fitosanitarios (integrado e independiente).

- ISO 4254-6 (2009). Punto 5.10. Depósito de agua limpia. Los pulverizadores deben estar equipados con un depósito de agua limpia para el operador (por ejemplo, en el caso de que una persona haya entrado en contacto con productos químicos) y que tenga un volumen mínimo de 15 l. Este depósito debe estar completamente aislado del resto de las partes de la máquina y estar equipado con un grifo que pueda abrirse con facilidad sin utilizar herramientas ni sin tener que presionarlo continuamente.
- ISO 16122. No se contempla.

  Comentario. Desde el punto de vista de seguridad de las personas, pocos componentes pueden adquirir tanta importancia como un "un depósito con agua limpia para lavarse el operario" cuando se utilizan productos potencialmente tóxicos. Además, estos componentes pueden ser incorporados sin dificultad sobre cualquier equipo y la inversión que supone su instalación puede ser muy baja. No se ha contemplado en las normas 16122.

3.2. Seguridad personal ante un posible contacto con los componentes de transmisión de potencia (figura 2):

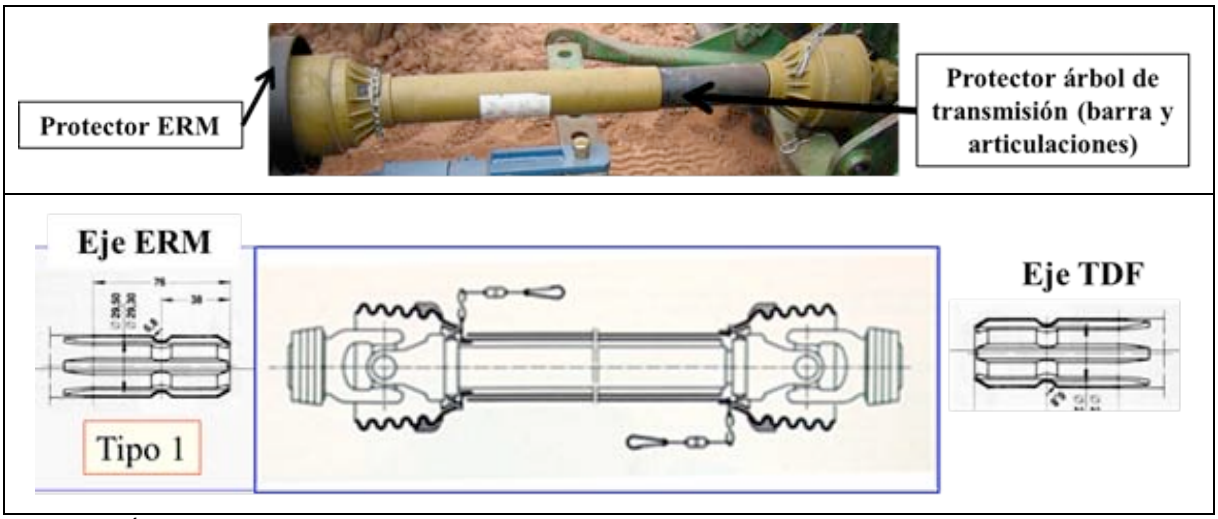


Figura 2. Árbol de transmisión y sus protecciones para la transmisión de potencia entre el eje TDF (Toma de Fuerza) del tractor y el eje ERM (Eje Receptor de la Máquina).

- Requisito Anexo II: Apartado 1) Elementos de transmisión de la fuerza (potencia). La carcasa protectora de la transmisión de la toma de fuerza y la protección de la conexión de la toma de fuerza estarán ajustadas y se encontrarán en buen estado, y los dispositivos de protección y cualquier parte de la transmisión que sean móviles o giratorias no estarán afectadas en su funcionamiento, de forma que se asegure la protección del operador.

- ISO 4254-6. No se incluye, por ser incluidos en la Norma EN 15811: *Maquinaria agrícola. Resguardos para partes móviles de transmisiones de potencia*.

- ISO 16122-1: Punto 5.3. Pre-inspección. Apartado 5.3.3. Elementos de la transmisión de potencia. El resguardo del eje cardán de toma de fuerza (TdF) y el resguardo del árbol de recepción de la máquina deben estar presentes y en buenas condiciones. Además:

  - las distintas partes del eje cardán, las juntas universales y los sistemas de bloqueo no deben estar excesivamente desgastados;
  - el resguardo del eje cardán de toma de fuerza debe estar en su sitio y no mostrar ni deformaciones ni grietas y
  - en el caso de resguardo no giratorio, el dispositivo de retención que impide el giro del resguardo del eje cardán de la toma de fuerza debe estar en su sitio y funcionar adecuadamente.

  Los dispositivos de protección y cualquier elemento giratorio de la transmisión deben funcionar correctamente. *El cumplimiento de este requisito se debe verificar mediante inspección.*

Comentario. Desde el punto de vista técnico se entiende que los términos utilizados en la ISO 16122 son incorrectos; no existen ejes cardán sino eje de toma de fuerza "TDF" (en el tractor) y Eje de recepción de la máquina "ERM" (en el equipo). Una junta universal es la articulación cardan. Para conector el movimiento giratorio entre dos ejes (TDF y ERM) se utilizan ejes articulados denominados habitualmente "árbol de transmisión".

3.3. Transferencia de producto comercial (o su mezcla diluida) al depósito general de almacenamiento del líquido fitosanitario (figura 3):

- Requisito Anexo II: Apartado 4) Tanque de líquido para pulverización. Los tanques para pulverización, incluidos el indicador de contenido del tanque, los dispositivos de llenado, los tamices y filtros, los sistemas de vaciado y aclarado y los dispositivos de mezcla, deben funcionar de forma que se reduzcan al mínimo los vertidos accidentales, distribuciones irregulares de la concentración, la exposición del operador y el volumen residual.

- ISO 4254-6: Punto 5.4 "Depósito de producto para pulverización". Apartado 5.4.2. Limitación de contacto con productos químicos. Para limitar el riesgo de exposición a productos químicos durante las tareas de llenado y limpieza:

  - se debe equipar al pulverizador con un incorporador de producto u otro dispositivo igual de efectivo;
  - como alternativa, se debe situar el orificio de llenado del depósito de producto de pulverización de forma que la altura desde el suelo o desde la plataforma no supere los 1300 mm, y de forma que el alcance en horizontal entre el borde del orificio y el borde exterior de cualquier parte del pulverizador que pudiera ser un obstáculo para el operador no sea mayor de 300 mm en la zona donde el operador se sitúa para realizar el llenado del depósito.

Figura 3. Depósito de transferencia de productos. Interior de un depósito con sistema de lavado de envases.

- ISO 16119-2, 3 y 4. Punto 5.1. Generalidades. Apartado 5.1.1.2. "Llenado" (del depósito): Los incorporadores de producto fitosanitario deben cumplir con la Norma ISO 21278-2
- ISO 16122 -2, 3 y 4. Punto 4.4 "Depósito(s) de líquido de pulverización":

  Apartado 4.4.3. "Incorporador de productos fitosanitarios":

  Si hay incorporador de productos fitosanitarios, este debe:

  - impedir la entrada de cualquier objeto que tenga un diámetro mayor de 20 mm en el interior del depósito del pulverizador *(el cumplimiento de este requisito se debe verificar mediante medición)*.

  - funcionar sin fugas *(el cumplimiento de este requisito se debe verificar mediante ensayo funcional)*.

  Apartado 4.4.8. "Dispositivo de limpieza de los recipientes de productos fitosanitarios":

  Si hay un dispositivo de limpieza de los envases de productos fitosanitarios debe funcionar correctamente *(el cumplimiento de este requisito se debe verificar mediante ensayo funcional)*.

Comentario. En las ISO 16122 este elemento se incluye dentro de los propios componentes del depósito general de almacenamiento, cuando es un depósito complementario. Lo de impedir la entrada de objetos con diámetro mayor 20 mm resulta extraño. También llama la atención que en dichas normas se incluya como un aparatado diferente (el 4.4.8.) el dispositivo de limpieza de los recipientes de productos fitosanitarios, cuando suele incorporarse en este depósito.

3.4. Los ventiladores en los equipos de aplicación de fitosanitarios (figura 4):

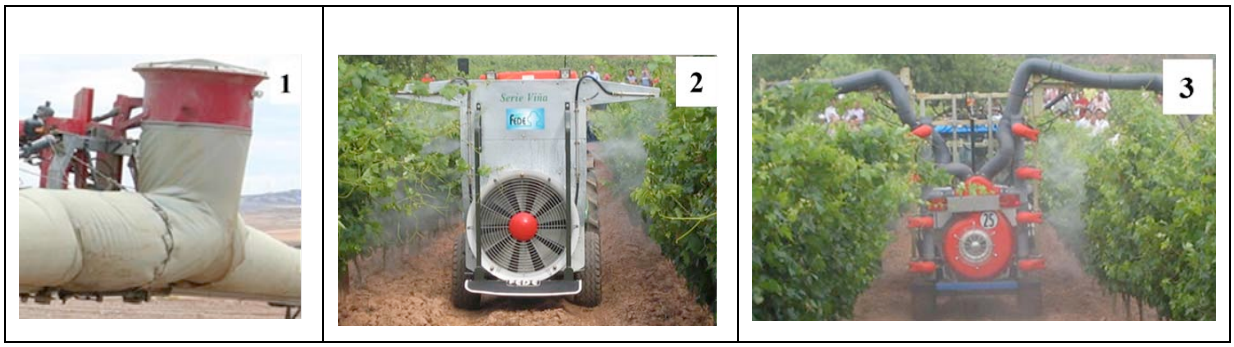


Figura 4. Ventiladores montados en los equipos de aplicación de fitosanitarios. 1. De flujo axial o helicoidal. Pulverizadores hidráulicos (de barras horizontales). 2. De flujo axial o helicoidal. Pulverizadores hidroneumáticos (para cultivos arbustivos y arbóreos). 3. De flujo radial o centrífugo. Pulverizadores hidroneumáticos o neumáticos (para cultivos arbustivos y arbóreos).

- Requisito Anexo II: Apartado 11) Sistema neumático (en caso de equipos de aplicación que lo incorporen). El sistema neumático debe encontrarse en buen estado y proporcionar un chorro de aire estable y fiable.

- ISO 4254-6 (2009): Punto 5.7. Ventilador. Si el pulverizador está equipado con un ventilador, se aplican los siguientes requisitos:

  - el ventilador se debe colocar o proteger de forma que el pulverizador no pueda aspirar o impulsar materiales extraños durante su funcionamiento que puedan herir al operador;

  - se debe prevenir el acceso al ventilador mediante resguardos fijos, que pueden ser una combinación de resguardos de malla cuyas aberturas cumplen los requisitos de la Norma ISO 13857:2008, tablas 1,3, 4 y 6;

  - cuando el accionamiento del ventilador no está controlado independientemente desde la bomba, debe ser posible desconectar el ventilador de la bomba desde el suelo o desde una plataforma.

- ISO 16119-3. Punto 1. Generalidades.

  Apartado 5.1.8. Regulación de caudal de aire y de líquido. Cuando exista un ventilador o varios), se debe poder desconectar de manera independiente al resto de elementos accionados de la máquina.

  Apartado 5.3.2. Distribución de aire (en su caso). El caudal de aire del ventilador (o ventiladores), medido conforme a la Norma ISO 9898, no se debe desviar más de un 10% respecto al caudal nominal especificado por el fabricante del pulverizador.

  En los pulverizadores con asistencia de aire para aplicaciones simétricas, el pulverizador debe estar diseñado de forma que el caudal de aire generado por el ventilador sea simétrico a la izquierda y derecha de la dirección de avance, velocidad y volumen de aire (conforme al apartado 5.2.3. de la Norma ISO 9898:2000). La desviación entre la izquierda y la derecha no debe ser superior al 25% medida conforme al capítulo 6 de la Norma ISO 9898:2000, con el pulverizador regulado de acuerdo a las instrucciones facilitadas por el fabricante del pulverizador.

- ISO 16122-1. Punto 5.3. Pre-inspección. Apartado 5.3.8. Sistema de aire.

  Sub-apartado 5.3.8.1. Generalidades
  En su caso, el sistema de aire (ventilador, carcasa, deflectores) debe estar en buenas condiciones e instalado de manera funcional. La inspección debe verificar en particular que;
  - no faltan paletas o que no están dañadas;
  - ningún elemento muestra deformación mecánica, desgaste excesivo o corrosión suficiente que interfiera en el funcionamiento seguro o produzca vibraciones significativas;
  - el resguardo que impide el acceso al ventilador está en su sitio

  El sistema de aire debe funcionar adecuadamente al régimen de trabajo nominal de la TdF, por ejemplo sin que se produzcan vibraciones debidas a un desequilibrio, sin que exista fricción entre la carcasa y el ventilador ni que las paletas estén mal orientadas. *El cumplimiento de este requisito se debe verificar mediante inspección.*

  Sub-apartado 5.3.8.2. Embrague

  Si el sistema de aire está provisto de un embrague que le permita desconectarse de otros elementos accionados del pulverizador, entonces éste debe funcionar adecuadamente. *El cumplimiento de este requisito se debe verificar mediante inspección.*

- ISO 16122-2 y 3 (Punto 4.10). En la ISO 16122-4 (Punto 4.9). Sistema de aire

  Apartados 4.10.1. (4.9.1). Desconexión

Si el sistema de aire se puede desconectar independientemente de otros elementos accionados del pulverizador entonces el sistema de desconexión debe funcionar. *El cumplimiento de este requisito se debe verificar mediante ensayo funcional.*

Apartados 4.10.2 (4.9.2). Regulación

Las paletas que dirigen el flujo de aire en el sistema de aire y en una carcasa adicional deben funcionar. *El cumplimiento de este requisito se debe verificar mediante inspección y ensayo funcional.*

Comentario. Personalmente me parece poco detallada e imprecisa la información sobre los ventiladores en las normas. No hace diferencias entre los de flujo axial y radial, aunque presentan formaciones y comportamiento distinto. Habla de embrague, sin especificar si se refiere al de los rodetes (embrague centrífugo) o se refiere al que pudiera llevar en la transmisión del movimiento hasta el rodete; en este caso, la mayoría de los sistemas neumáticos incorporan grupos de cambio en vez de embragues.

3.5. Retornos alternativos de las conducciones de las secciones de pulverización (figura 5)

Figura 5.Distribuidor de un pulverizador con 4 secciones o sectores de pulverización, con los mandos de las 4 válvulas de caudal (amarillo) para regular el retorno alternativo del líquido de las secciones de pulverización

- Requisito Anexo II. Apartado 5). Sistemas de medida y de regulación y control. "Contenido parcial": Los dispositivos de ajuste de la presión mantendrán una presión constante de trabajo con un número constante de revoluciones de la bomba, para garantizar que el caudal de aplicación sea estable.

- ISO 16122-2. Punto 4.8. Barra de pulverización.

  Apartado 4.8.8. Compensación de retornos
  La presión, medida a la entrada de cada sección de la barra o indicada por el manómetro del pulverizador 10 s después de que se haya cerrado una sección, no debe variar más del 10%, cuando las secciones se cierran una a una.
  Este requisito sólo se aplica a los pulverizadores provistos de válvulas de compensación que pueden ajustarse para que al cerrar una sección retorne hacia el depósito el mismo volumen de líquido que, de otra forma, saldría por las boquillas de una sección cuando la válvula está abierta *(el cumplimiento de este requisito se debe verificar mediante medición de acuerdo al apartado 5.9).*

- ISO 16122-3. Punto 4.9. Caída de presión.

  Apartado 4.9.2. Reflujo de compensación
  La presión, medida a la entrada de cada sección de la barra o indicada por el manómetro del pulverizador 10 s después de que se haya cerrado una sección, no debe variar más del 10%, cuando las secciones se cierran una a una.

Este requisito sólo se aplica a los pulverizadores provistos de dispositivos específicos para permitir el reflujo de compensación en el depósito *(el cumplimiento de este requisito se debe verificar mediante medición de acuerdo al apartado 5.8).*

- ISO 16122-4. Punto 4.8. Dispositivo de aplicación. Apartado 4.8.3. Barra de pulverización vertical. Sub-apartado 4.8.3.5 Compensación de retornos

  La presión, medida a la entrada de cada sección de la barra o indicada por el manómetro del pulverizador 10 s después de que se haya cerrado una sección, no debe variar más del 10%, cuando las secciones se cierran una a una.
  Este requisito sólo se aplica a los pulverizadores provistos de válvulas en las barras que pueden ajustarse para que al cerrarse retornen hacia el depósito el mismo volumen de líquido que de otra forma saldría a través de las boquillas de una sección cuando la válvula está abierta *(el cumplimiento de este requisito se debe verificar mediante medición de acuerdo al apartado 5.9).*

Comentario. Este aspecto se trata diferente en cada norma, tanto en lo que se refiere a apartados, redacción y conceptos, creando bastante confusión al respecto. Además, en estos apartados no se hace mención a que esta comprobación debe hacerse tras una regulación previa del equipo; puesto que la variación de las presiones depende, principalmente, de la regulación hecha en el distribuidor, previa a la utilización del equipo.

4. Conclusiones

Parecen claros los requisitos a cumplir, de forma obligatoria, fijados en al Anexo II de la Directiva 2009/128/CE (Anexo I del RD 1702/2011).

También queda claro que, para España, de acuerdo con lo especificado en el RD 1702/2011, debe disponerse de un manual de inspecciones que, entre otros, debe tipificar lo que son los defectos graves que van a dar como resultado las inspecciones desfavorables.

Un manual de inspecciones, desde mi punto de vista, debe ser un documento simple y claro que no deje ninguna duda a lo esencial exigible, recogido en los requisitos establecidos en la legislación vigente. No debe prestarse a diferentes interpretaciones.

La principal dificultad está en la elección del criterio de cómo elaborar el Manual de Inspecciones. Un criterio puede ser el ajustarse a lo reflejado en las Normas ISO (normalmente con equivalencia EN y UNE). Estas normas no son obligatorias y deberían servir como herramientas para elaborar el Manual de Inspecciones a fin de satisfacer los requisitos obligatorios.

Las normas ISO solo hacen referencia a los equipos de pulverización, cuando las inspecciones deben extenderse a todos los equipos de aplicación de fitosanitarios (por ejemplo, espolvoreadores, aplicadores de microgránulos, equipos para tratamientos de simientes o cosechas, etc).

Si el Manual de Inspecciones se realiza en base a las normas de inspección de pulverizadores en uso (ISO 16122) deberían hacerse diferentes manuales (que se ajusten a cada una de las partes de la Norma) con lo que puede complicar notablemente su empleo por parte de los inspectores.

El contenido de las normas ISO 16122, al menos las traducidas al castellano, presentan múltiples deficiencias (a pesar que en las partes 2, 3, y 4 la mayoría de los apartados son un “copia y pega”). Como se pone de manifiesto en los ejemplos analizados en el punto 3 “Resultados y Discusión”, no incluyen aspectos que entiendo son básicos para satisfacer los requisitos obligatorios, utiliza unos términos poco adecuados como denominaciones técnicas, es poco precisa en la valoración de algunos componentes o, trata de forma diferente idénticos aspectos en las distintas partes.

Posiblemente, desde la Unión Europea, se deberían establecer unos criterios más concretos a la hora de posibilitar la realización de un Manual de Inspecciones que facilite a los inspectores su función limitando las interpretaciones personales.

Bibliografía

Boto Fidalgo, J. A., López Díez, F. J. 1999. *La aplicación de fitosanitarios y fertilizantes*. León: Universidad de León.

Directiva 2006/42/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, *relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición)*. (DOUE de 9/6/2006).

Directiva 2009/127/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21/10/2009, *por la que se modifica la Directiva 2006/42/CE en lo que respecta a las máquinas para la aplicación de plaguicidas* (DOUE de 25/11/2009).

Directiva 2009/128/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21/10/2009, *por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas* (DOUE de 24/11/2009).

Real Decreto 1702/2011, de 18 de noviembre, *de inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de fitosanitarios*. (BOE del 8 de diciembre).

Norma ISO 4254-6 (2009):"*Maquinaria agrícola. Seguridad. Parte 6: Pulverizadores y distribuidores de fertilizantes líquidos*".

Normas ISO 16119 "*Maquinaria agrícola y forestal. Requisitos medioambientales para pulverizadores*":

- ISO 16119-1. Parte 1 (2013). *Generalidades*
- ISO 16119-2. Parte 2 (2013). *Pulverizadores de barras horizontales*
- ISO 16119-3. Parte 3 (2013). *Pulverizadores para cultivos arbustivos y arbóreos*
- ISO 16119-4. Parte 4 (2014). *Pulverizadores fijos y semi-móviles*

Normas ISO 16122 "Maquinaria agrícola y forestal. Inspección de pulverizadores en uso"

- ISO 16122-1. Parte 1 (2015). *Generalidades*
- ISO 16122-2. Parte 2 (2015). *Pulverizadores de barras horizontales*
- ISO 16122-3. Parte 3 (2015). *Pulverizadores para cultivos arbustivos y arbóreos*
- ISO 16122-4. Parte 4 (2015). *Pulverizadores fijos y semi-móviles*

Estudio de la turbulencia del aire y su efecto en la distribución de producto en carretillas adaptadas para tratamientos en invernaderos

Ramón Salcedo[1] , Jordi Llop[1] , Montse Gallart[1], Javier Campos[1], Paula Ortega[1], Emilio Gil[1]

[1] Universitat Politècnica de Catalunya, Departmento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología, Esteve Terradas 8, Campus del Baix Llobregat D4, 08860 Castelldefels, Barcelona, Spain. (uma.deab@upc.edu)

Resumen

El presente trabajo consistió en caracterizar las fluctuaciones que experimenta la corriente de aire producida por 4 carretillas pulverizadoras hidroneumáticas adaptadas a las aplicaciones de fitosanitarios en invernadero. Se utilizaron cuatro equipos: 1) un pulverizador manual (Carretillas Amate, Almería) con un generador de aire (Cifarelli SPA, Voghera, Italia), 2) mismo pulverizador con otro dispositivo (Stanley Black & Decker Inc., New Britain, UK), 3) una carretilla autopropulsada Unigreen (Maschio Gaspardo SpA, Campodarsego, Italia), 4) otro pulverizador autopropulsado Atom 120 (Sagevi, Vilassar de Dalt). A diferentes alturas y distancias de cada equipo, se determinaron la intensidad turbulenta *I* (%) y la energía cinética turbulenta *k* ($m^2.s^{-2}$). A continuación, se compararon los datos de variación de la velocidad con el perfil de distribución de líquido. Los datos obtenidos mostraron que, pese a cambiar el generador de aire, el comportamiento de las fluctuaciones del aire fueron similares entre 1 y 2. Por otro lado, no parece apreciarse un patrón paralelo entre la distribución de producto y las variaciones de la velocidad. Eso sugiere que, en general, las gotas salen con la suficiente energía como para vencer estas fluctuaciones de la corriente.

Palabras clave: pulverizador, corriente, velocidad, fluctuación, intensidad turbulenta, gotas.

Study of air turbulence and its effect on the distribution of product in equipment adapted for treatments in greenhouses

Abstract

The present work consisted to characterize the fluctuations of the airflow produced by 4 sprayers adapted to greenhouse phytosanitary applications. Four equipment were used: 1) a handheld trolley sprayer (Amate, Almería, Spain) with an air generator (Cifarelli SPA, Voghera, Italy), 2) same sprayer with another blower (Stanley Black & Decker Inc., New Britain, UK), 3) a self-propelled sprayer Unigreen (Maschio Gaspardo SpA, Campodarsego, Italy), 4) a self-propelled sprayer Atom 120 (Sagevi, Vilassar de Dalt, Spain). At different heights and distances of each equipment, the turbulent intensity *I* (%) and the kinetic turbulence energy *k* ($m^2.s^{-2}$) were determined. Then, the velocity variation data were compared to the liquid distribution profile. The obtained data showed that, in spite of changing the air generator, the behaviour of the air fluctuations were similar between 1 and 2. On the other hand, a parallel profile between product distribution and velocity variations does not seem to be appreciated. This suggests that, in general, the droplets go out with enough energy to overcome these fluctuations from the current.

Keywords: sprayer, current, velocity, fluctuation, turbulent intensity, droplets.

1. Introducción

Los parámetros asociados a la maquinaria tienen una influencia directa sobre la eficiencia de las aplicaciones de productos fitosanitarios. Entre estos factores se encuentran las boquillas (Balsari et al., 2017), la presión del fluido durante la aplicación (Višacki et al., 2016), la velocidad de avance (Lešnik et al., 2014) o el aire generado por el equipo (Salcedo et al., 2015).

El carácter del flujo del aire durante las aplicaciones afecta a la manera en que se moverán las gotas pulverizadas (Fox et al., 2008). Por esta razón, se han realizado muchos estudios sobre el campo de

velocidades de aire generado por los pulverizadores, así como el grado de la turbulencia de la corriente (Hetherington, 1997). En algunos de ellos han situado anemómetros a diferentes distancias y alturas respecto a la salida de aire y han medido las velocidades del aire en una posición estacionaria (García-Ramos et al., 2012), como primer paso para comprender el movimiento del aire durante el tratamiento. Aunque se sabe que esta medidas estacionarias deberían ser diferentes respecto al equipo del movimiento, se ha destacado que hay una estrecha relación entre las dos situaciones (De Moor et al., 2002). Los últimos ensayos incluyen también estudios de la intensidad turbulenta de las corrientes del aire (Salcedo et al., 2015), puesto que las variaciones turbulentas de la corriente también puede influir en las trayectorias de las gotas.

No obstante, la mayoría de estos estudios se han centrado en equipos pulverizadores para plantaciones de frutales y viñedos. Es interesante considerar otras situaciones, como los cultivos situados en el interior de los invernaderos. Este tipo de plantaciones adquiere gran importancia en el suroeste de Europa (EFSA, 2010). En ese sentido, Llop et al. (2015) caracterizó el comportamiento del aire de cuatro carretillas modificadas para realizar tratamientos fitosanitarios en invernaderos. Dicho estudio pretendía comparar el perfil de salida de aire de los equipos con la cantidad de producto recogido a una cierta distancia de los equipos.

El presente trabajo es una continuación de este análisis. En cada punto de medición del aire se calcularon las fluctuaciones que experimentaba la corriente. A continuación, se compararon estos datos turbulentos con la distribución de producto por alturas con el objetivo de valorar su influencia sobre las trayectorias de las gotas.

2. Metodología

Se utilizaron cuatro equipos: 1) una carretilla de pulverización arrastrada manualmente con barras verticales (Carretillas Amate, Almería) con un generador de aire (Cifarelli SPA, Voghera, Italia), 2) mismo pulverizador con otro dispositivo (Stanley Black & Decker Inc., New Britain, UK), 3) una carretilla autopropulsada Unigreen (Maschio Gaspardo SpA, Campodarsego, Italia) y 4) otro pulverizador autopropulsado Atom 120 (Sagevi, Vilassar de Dalt).

El trabajo se basó en ensayos realizados para analizar la corriente de aire generada por cada carretilla. En cada ensayo, se midieron las velocidades en las tres componentes del espacio, en distintas alturas y distancias de la salida de aire, mediante anemómetros 3D de ultrasonidos (Gill instruments, Hampshire, Reino Unido) durante un intervalo de 2 minutos para cada punto. La frecuencia de muestreo fue de 1 Hz, lo que equivalía a 120 valores por punto de medición. En los pulverizadores 1 y 2 se midieron las velocidades en 60 puntos distribuidos en tres líneas verticales y paralelas situadas a 0,2, 0,3 y 0,4 m de la salida de aire. Para el pulverizador 3 fue en 30 puntos repartidos en dos líneas verticales y paralelas colocadas a 0,3 y 0,4 m de la entrada. Finalmente, para la carretilla 4 se registraron las velocidades en 34 puntos en dos líneas verticales y paralelas colocadas a 0,3 y 0,4 m de la entrada. La distancia entre vertical entre puntos siempre fue de 0,1 m. Por cada máquina se ensayaron tres repeticiones.

De manera paralela, también se obtuvo el perfil de distribución de cada carretilla pulverizadora. Para ello se empleó un banco de distribución vertical (A.A.M.S. NV, Meldegem, Belgium) que medía el volumen recogido a distintas alturas. Las distancias a las que estaba el banco coincidían donde se midió la velocidad para cada equipo. Se hicieron tres repeticiones por equipo.

Para cada equipo, en cada punto de medición del aire se obtuvo la intensidad turbulenta *I* (%) y la energía cinética turbulenta *k* ($m^2.s^{-2}$). Estos dos parámetros se utilizan para cuantificar las variaciones de la velocidad y el grado de desviación respecto a la media para un punto en un intervalo dado de tiempo. Se obtienen de la siguiente forma:

$$I = (u'u'_x + u'u'_y + u'u'_z)/U \quad (1)$$

$$k = \frac{1}{2}(u'u'_x + u'u'_y + u'u'_z) \quad (2)$$

Donde $u'u'_x$, $u'u'_y$ y $u'u'_z$ ($m^2.s^{-2}$) son las desviaciones cuadráticas medias de la velocidad instantánea para cada componente respecto al módulo medio de la velocidad *U* ($m.s^{-1}$). Estas desviaciones son las diferencias entre la velocidad instantánea y *U* en un momento determinado para cada componente.

Por último, se compararon los datos de variación de la velocidad con el perfil de distribución de líquido.

3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis de turbulencia

A continuación, se exponen los valores medios calculados para el módulo de la velocidad, de la intensidad turbulenta y de la energía cinética a las diferentes distancias para cada equipo pulverizador (Tabla 1).

Tabla 1. Valores medios de I y k en función de las distancias a cada equipo.

	Pulverizador 1			**Pulverizador 2**			**Pulverizador 3**		**Pulverizador 4**	
Distancia (m) al equipo	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4
U ($m.s^{-1}$)	2,8	3,0	2,7	1,7	1,9	1,8	1,3	1,2	2,7	2,4
I (%)	22,5	21,6	23,2	21,9	21,8	23,4	35,7	38,4	35,7	38,3
k ($m^2.s^{-2}$)	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,9	0,7

Para el pulverizador 1 (Amate con generador Cifarelli), entre 0,2 y 0,4 m de distancia de la zona de salida del aire, la velocidad media era superior al pulverizador 2 (Amate con generador Black & Decker), entre 2,7 – 3,0 $m.s^{-1}$ frente a 1,7 – 1,9 $m.s^{-1}$. Sin embargo, las intensidades turbulentas eran muy similares. Esto se explica porque en el pulverizador 2, las desviaciones de la velocidad eran inferiores respecto al pulverizador 1, tal y como se observa al ver la energía cinética turbulenta media entre un equipo y otro (0,3 $m^2.s^{-2}$ para el pulverizador 1 y 0,1 $m^2.s^{-2}$ para el 2). Por tanto, al cambiar de generador del 1 al 2, se ha perdido velocidad pero el flujo es más estable.

El pulverizador 3 (Unigreen) presenta las velocidades medias más bajas de los cuatro equipos (1,2 – 1,3 $m.s^{-1}$), pero las intensidades eran más altas que para los pulverizadores 1 y 2. Las fluctuaciones eran más elevadas que en el caso 2 (0,2 frente a 0,1 $m^2.s^{-2}$). Eso quiere decir que las velocidades eran los suficientemente bajas como que para que, a partir de un cierto valor de las fluctuaciones, las intensidades fueran más de un 50% superiores a los equipos 1 y 2. Por tanto, con el pulverizador 3 se observó menor velocidad que en otros equipos y el flujo era más turbulento.

Por último, el pulverizador 4 (Sagevi) tenía mayor velocidad, hasta presentar valores próximos al prototipo 1 (2,4 – 2,7 $m.s^{-1}$). Sin embargo las fluctuaciones eran mayores (entre 0,7 y 0,9 frente a 0,3 $m^2.s^{-2}$), y en consecuencia su peso sobre la velocidad media. Por esa razón, las intensidades turbulentas son próximas al pulverizador 3. Por tanto, este equipo aumentaba la velocidad pero también el comportamiento turbulento del aire.

3.2 Turbulencia frente a distribución de líquido

En los equipos 1 y 2, las intensidades turbulentas variaban mucho con la altura (15 - 35% en el equipo 1 y 15 -35% para el prototipo 2) (Figura 1). No obstante, el perfil de distribución de producto iba aumentando con la altura, hasta llegar un límite y volvía a decrecer hasta desaparecer. Los puntos donde más volumen se recogió coincidía con las zonas de mayor velocidad, como se describen en Llop et al. (2015). No se aprecia que la variación turbulenta tenga una influencia sobre el volumen pulverizado entre 0,2 y 0,4 m.

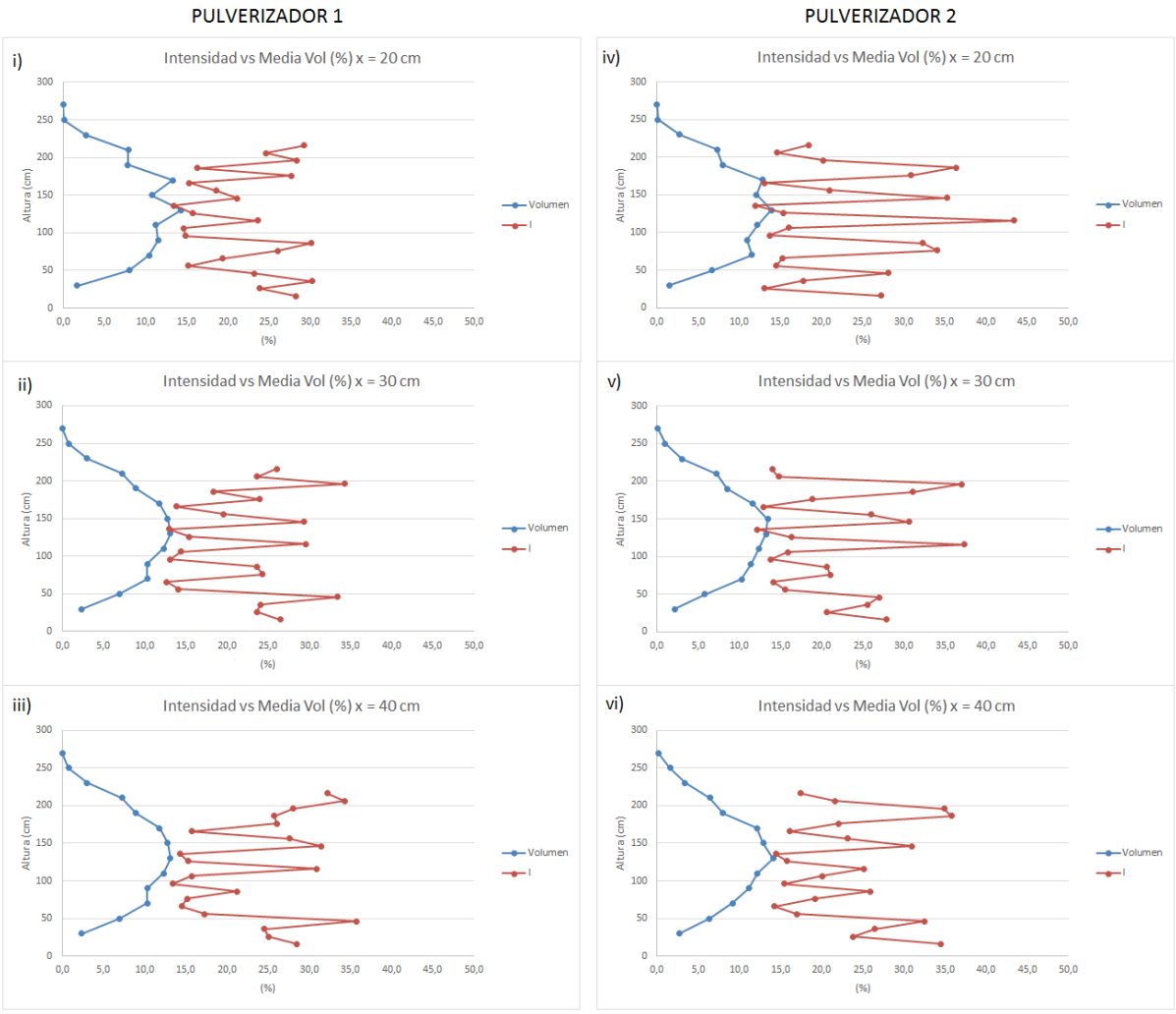


Figura 1. Relación entre porcentaje de producto recogido por alturas e intensidad turbulenta a 0,2 (i, iv), 0,3 (ii, v) y 0,4 m (iii, vi) de distancia de los equipos 1 y 2.El eje de abscisas hace referencia los valores en porcentaje tanto para el volumen como la intensidad turbulenta.

De manera similar, se comprobó lo mismo para los pulverizadores 3 y 4 (Figura 2). Aunque estos prototipos presentaban una mayor variación de la intensidad turbulenta, el perfil de captación de producto fue muy aproximado al de los dos equipos anteriores. Para el Pulverizador 4 (Figura 2iii, iv), la intensidad se tuvo que dividir en tres partes debido a las características geométricas de la máquina.

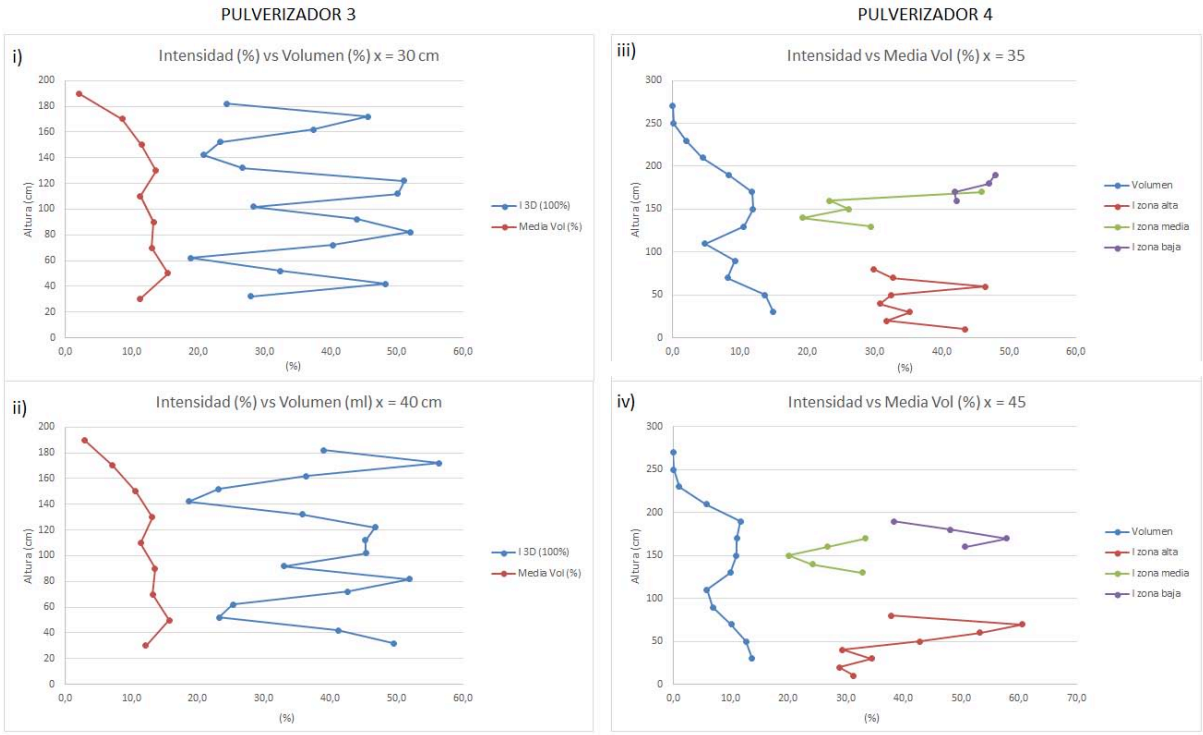


Figura 2. Relación entre porcentaje de producto recogido por alturas e intensidad turbulenta a 0,3 (i, iii) y 0,4 m (ii, iv) de distancia de los equipos 3 y 4. El eje de abscisas hace referencia los valores en porcentaje tanto para el volumen como la intensidad turbulenta.

4. Conclusiones

Los equipos estudiados presentaron un comportamiento turbulento diferente. En los pulverizadores 1 y 2, el carácter turbulento del aire se compensaba con un aumento o disminución de las fluctuaciones. Por otra parte, el equipo 4 presentó el carácter más turbulento de todos, ya que pese a presentar velocidades altas, las fluctuaciones eran lo bastante grandes como para presentar intensidades turbulentas similares al equipo 3, que tenía menor velocidad media. Esto demuestra la variabilidad turbulenta entre equipos y la importancia de caracterizar bien la salida del aire de los equipos.

En un primer análisis, no se observó que la turbulencia influyera de manera visible sobre la distribución de producto, aún en los equipos de mayor intensidad turbulenta. Eso sugiere que, hasta una distancia de 0,4 m de la salida del aire del equipo, hay otros factores más determinantes, como la presión a la que sale el líquido o el volumen de aplicación.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto AGVANCE (AGL2013-48297-C2-2-R) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

Bibliografía

Balsari, P., Gil, E., Marucco, P., van de Zande, J.C., Nuyttens, D., Herbst, A., Gallart, M. 2017. Field-crop-sprayer potential drift measured using test bench: Effects of boom height and nozzle type. *Biosystems Engineering* 154, 3-13.

De Moor, A., Langenakens, J., Jaeken, J. 2002. Dynamic air velocity measurements of air-assisted sprayers in relation to static measurements. *Aspect of Applied Biology* 66, 309-322.

EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), 2010. Scientific opinion on emissions of plant protection products from greenhouses and crops grown under cover : outline for a new guidance. *EFSA J*. 8, 1567-1610.

Fox, R.D, Derksen, R.C, Zhu, H, Brazee, R.D, Svensson, S.A. 2008. A history of air-blast sprayer development and future prospects. *T ASABE* 51(2): 405-410.

García Ramos, F.J, Vidal, M., Bone, A., Malon, H., Aguirre, J. 2012. Analysis of the air flow generated by an air-assisted sprayer equipped with two axial fans using a 3D sonic anemometer. *Sensors* 12(6): 7598-7613.

Hetherington, M.H. 1997. Measurement of the air flow characteristics of agricultural air carrier sprayer. Dissertation. Department of Agricultural Engineering, Michigan State University.

Lešnik, M., Stajnko, D., Vajs, S. 2014. Interactions between spray drift and sprayer travel speed in two different apple orchard training systems.vInternational *Journal of Environmental Sciences & Technology*, 12: 3017-3028.

Llop, J., Gil, E., Llorens, J., Gallart, M., Balsari, P. 2015. Influence of air-assistance on spray application for tomato plants in greenhouses. *Crop Protection*, 78, 293-301.

Salcedo, R., Garcera, C., Granell, R., Molto, E., Chueca, P. 2015. Description of the airflow produced by an air-assisted sprayer during pesticide applications to citrus. *Spanish Journal of Agricultural Research* 13(2), 0208.

Višacki, V., Sedlar, A., Gil, E., Bugarin, R., Turan, J., Janić, T., Burg, P. 2016. Effects of Sprayer Boom Height and Operating Pressure on the Spray Uniformity and Distribution Model Development. *Applied Engineering in Agriculture* 32(3), 341-346.

Estudio preliminar del efecto de la asistencia de aire en la pulverización de fitosanitarios en invernadero

Víctor J. Rincón[1], Julián Sánchez-Hermosilla[1], Francisco C. Páez[1], David Nuyttens[2], José Perez-Alonso[1]

[1] Universidad de Almería, Dpto. de Ingeniería, Ctra. Sacramento s/n, 04120 La Cañada de San Urbano, Almería

[2] Institute for Agricultural Fisheries Research (ILVO), Technology and Food Science Unit, Agricultural Engineering, Burg. Van Gansberghelaan 115, bus1, 9820 Merelbeke, Belgium

Resumen

La asistencia de aire es uno de los métodos empleados en diferentes cultivos para mejorar la pulverización de productos fitosanitarios optimizando la penetración y la deposición en el envés de las hojas debido a que la corriente de aire mueve la vegetación y transporta las gotas hacia el interior del cultivo. En este trabajo se realizó una evaluación preliminar del efecto de la asistencia de aire en la pulverización sobre un cultivo de tomate empleando boquillas de abanico. Se comparó una aplicación de referencia sin asistencia de aire con otras tres aplicaciones con asistencia de aire a tres velocidades diferentes (5, 10, y 15 m s^{-1}). La aplicación a 15 m s^{-1} proporcionó mayor deposición en el envés de las hojas y mejor penetración, aunque sin diferencias significativas con el resto de aplicaciones. Las pérdidas al suelo observadas fueron elevadas aunque se redujeron ligeramente al aumentar la velocidad de aire empleado. Debido a la ligera mejora observada en la deposición sobre el cultivo con el empleo del equipo de asistencia de aire se pone en duda si este tipo de equipo sería adecuado para pulverización de fitosanitarios en invernadero debido a su elevado coste. Aun así se deben realizar más estudios y debe complementarse estos resultados con ensayos llevados a cabo en condiciones de campo.

Palabras clave: barra vertical, velocidad de aire, plaguicidas, tomate, deposición

Preliminary study of air assistance effect on greenhouse pesticide spraying

Abstract

Air-assisted sprayers are used to improve pesticide spray application looking for an improvement on penetration and deposition on the underside of the leaves, because the air jet moves the leaves and helps the droplets transportation to the inner part of the crop row. A preliminary study of air-assisted effects on spaying with flat fan nozzles in a tomato crop was carried out. A reference spraying without air-assistance was compared with three air-assisted spraying at different air velocities (5, 10, y 15 m s^{-1}). The spraying at 15 m s^{-1} provided higher deposition on the underside of the leaves and better penetration but without statistical differences with the other two applications. Losses to ground were high in all sprayings but were slightly lower when increasing air velocity. Due to the slightly improvement observed on spray deposition when using air-assisted sprayer raises the doubt as if this kind of equipment is suitable for pesticide spraying on greenhouses because of the high cost. More tests must be done and should be complemented with field test.

Keywords: vertical spray boom, air velocity, pesticide, tomato, spray deposition.

1. Introducción

El fomento de la sostenibilidad, la seguridad alimentaria y la seguridad del trabajador son tres de los objetivos de la legislación que afecta a la producción agrícola actualmente. Por ello se persigue la reducción de la cantidad de productos fitosanitarios usados y su aplicación con métodos más eficientes (Parlamento Europeo - Directiva 2009/128/EC).

Los sistemas productivos intensivos como es el caso de los invernaderos del sureste Español producen, solo en Almería, 3,2 millones de toneladas de frutas y hortalizas (Cabera et al., 2015). Para

mantener los altos niveles de producción se debe de llevar a cabo un adecuado control fitosanitario, a través de programas de control biológico, control integrado o control químico, el cual sigue siendo ampliamente empleado en la zona. Mayoritariamente el control químico se lleva a cabo mediante pistolas o lanzas pulverizadoras a altas presiones y aplicando elevados volúmenes. Estas aplicaciones que se caracterizan por generar una distribución heterogénea en el dosel vegetal y elevadas pérdidas al suelo.

Las barras verticales de pulverización son la mejor alternativa actual para la aplicación de fitosanitarios en invernadero, ya sean montadas en carretillas manuales o en equipos autopropulsados, menos extendidos por su mayor coste (Balsari et al., 2012L; Guzmán et al., 2008; González R. et al., 2009). Estos equipos proporcionan mejor cobertura y penetración en el cultivo garantizando una distribución más uniforme (Sánchez-Hermosilla et al., 2011 y 2012; Llop et al., 2015a; Nuyttens et al., 2004). Se han llevado a cabo diversos estudios para establecer los parámetros operacionales óptimos, presión de trabajo, tipo de boquilla y volumen de aplicación (Sánchez-Hermosilla et al., 2003 y 2011; Nuyttens et al., 2004; Lee et al., 2000; Sánchez-Hermosilla et al., 2007; Braekmant et al., 2010; Van Os et al., 2005). Respecto al uso de asistencia de aire se ha visto que puede mejorar la penetración y la deposición en el envés (Derksen et al., 2010; Llop et al., 2015a y 2015b) aunque no existen demasiados trabajos para equipos de invernadero.

El objetivo de este trabajo es optimizar el uso de equipos de asistencia de aire evaluando la influencia de la velocidad del aire durante una pulverización en un cultivo de tomate en invernadero.

2. Materiales y Métodos

2.1. Equipo de aplicación

El equipo de pulverización empleado es un sistema autopropulsado que se desplaza por railes de aluminio. La estructura está equipada con dos barras verticales de pulverización y un sistema de asistencia de aire similar al Hardi Twin System (Nuyttens et al., 2007) (Figura 1). Las barras verticales estaban conectadas a un depósito de 100 litros y disponían de cuatro boquillas cada una separadas 0,50 m entre sí. Las pulverizaciones se llevaron a cabo a 600 kPa (aplicando por ambos lados de la línea de cultivo de forma consecutiva).

Figura 1. Imagen y esquema del equipo de pulverización y disposición del cultivo. 1: Fila de plantas, 2: Generador de aire, 3: Conducción de aire, 4: Estructura de aluminio, 5: Railes, 6: Barras verticales de pulverización, 7: Manguera, 8: Carrete para manguera

2.2. Diseño experimental

El ensayo se realizó en el Spray Tech Lab en ILVO (Merelbeke, Belgica). Se emplearon plantas de tomate (Lycopersicon esculentum Mill. – cv. Admiro) cultivadas en macetas con un índice de área foliar de 3.30, calculado en base al volumen de fila de plantas (PRV) (Sánchez-Hermosilla et al., 2013). Las plantas se situaron de forma paralela simulando una línea de cultivo pareada, en total se dispusieron 5 parejas de plantas. Cada par de plantas se separó 0,4 m y se seleccionaron como puntos de muestreo la segunda y la cuarta pareja de plantas. Cada punto de muestreo se dividió en 12 zonas (4 profundidades y 3 alturas) en las cuales se seleccionó una hoja y se colocó un papel de filtro (19,5 cm2) en al haz y otro en el envés (Schleicher & Schuell, type 751, Filter Service NV, Eupen, Belgica). Además se colocaron papeles de filtro en el suelo coincidente con las 4 profundidades de estudio para evaluar las pérdidas. Se realizaron 4 repeticiones de cada técnica, obteniendo finalmente 224 muestras.

Se probaron 4 técnicas de pulverización diferentes, empleando un trazador metálico diferente para cada una de ellas (Chelal®; BMS Micro-Nutrients NV, Bornem, Belgium) (Tabla 1). La pulverización de referencia se llevó a cabo con boquillas de abanico Albuz API 110 03 orientadas 15º hacia arriba sin asistencia de aire simulando una aplicación normal como es realizada por agricultores que usan equipos de barras verticales. Esta aplicación se comparó con otras tres aplicaciones con asistencia de aire a tres velocidades diferentes (5, 10, and 15 m s-1) medidas con un anemómetro en la salida de aire (Lechler Pocketwind – Lechler GmbH, Metzingen, Germany). El pulverizador se desplazó a 0,84 m s-1 proporcionando un volumen de aplicación de 1324 L ha-1.

Tabla 1. Características de las aplicaciones

Orientación boquilla[a]	Velocidad aire ($m\ s^{-1}$)	Caudal total ($L\ min^{-1}$)	Trazador	Velocidad desplazamiento ($m\ s^{-1}$)	Volumen de aplicación ($L\ ha^{-1}$)	Código Ensayo
15º up*	--	6,68	Zn	0,84	1324	A_15_0
Horizontal	5	6,68	Co	0,84	1324	A_H_5
Horizontal	10	6,68	Mn	0,84	1324	A_H_10
Horizontal	15	6,68	Mo	0,84	1324	A_H_15

*Aplicación referencia; [a]: Albuz API 110 03. Todos los test se realizaron con 4 boquillas y a 600kPa.

2.3. Análisis de la deposición

Se emplearon 4 trazadores diferentes (Zn, Co, Mn, Mo) en una concentración aproximada de 1,0 g L^{-1}. Al finalizar cada repetición las muestras eran introducidas en bolsas de plástico de cierre hermético. En el laboratorio se procedió a su lavado con ácido nítrico 0,16M (66%, Acros Organics, Geel, Belgium) y se midió la concentración de la solución con un equipo ICP (VISTA-PRO; Varian, Palo Alto, CA, USA). Para poder hacer comparables los datos se normalizó la concentración a 1,0 g L^{-1}.

El análisis estadístico de datos se realizó con SPSS v22.0 (SPSS Inc, and IBM Company, Chicago, IL, USA). Como los datos seguían una distribución normal y mostraban igualdad de varianzas se realizó un test ANOVA con una significación del 95% analizando las diferencias significativas con el test de Duncan.

3. Resultados y Discusión

3.1. Deposición total y pérdidas al suelo

En la Tabla 2 se muestra la deposición media normalizada sobre el cultivo, así como las pérdidas al suelo. No se encontraron diferencias significativas entre las aplicaciones, siendo la aplicación con

menor velocidad de aire la única que supera la aplicación de referencia, aunque con una uniformidad algo inferior.

La aplicación con menor velocidad de aire dio lugar a pérdidas al suelo un 26% mayor que la aplicación de referencia. Las dos aplicaciones a velocidad de aire superiores proporcionaron pérdidas inferiores, obteniendo con la aplicación a 15 m s^{-1} una pérdida un 20% inferior a la obtenida con la aplicación de referencia. Puede ocurrir que al aumentar la velocidad de aire las gotas sean transportadas más lejos impidiendo que caigan en vertical por efecto de la gravedad al perder su impulso inicial. Según esta hipótesis la deposición media sobre el cultivo debería aumentar, pero no lo hace, por lo que posiblemente las gotas llegan a atravesar la línea de cultivo.

Tabla 2.- Deposición normalizada (media ± SD) y coeficiente de variación (C.V.) de la deposición en el cultivo. Pérdidas al suelo (media ± SD) y C.V. de la deposición en el suelo.

Ensayo	Deposición		Pérdidas al suelo	
	Media (µL cm^{-2})	C.V. (%)	Media (µL cm^{-2})	C.V. (%)
A_15_0	2,44±1,40 a	57,77	3,26±1,81 a	55,78
A_H_5	2,57±1,74 a	67,83	4,13±2,42 a	58,82
A_H_10	2,35±1,48 a	63,16	3,15±1,37 a	43,71
A_H_15	2,23±1,18 a	53,01	2,59±1,21 a	46,96

Medias en la misma columna seguidas por la misma letra no difieren significativamente (P<0.05; Duncan test)

3.2. Deposición en haz y envés de la hoja

En cuanto a la deposición en el haz y en el envés de la hoja, en la Figura 2 se observa que en la parte superior de la hoja es mucho mayor que en la parte inferior en todas las aplicaciones. En el haz, la configuración con una menor velocidad de aire mejora ligeramente la deposición obtenida con la aplicación de referencia. En cambio, en el resto de aplicaciones conforme aumenta la velocidad del aire la deposición en el haz disminuye, esto se ve en parte compensado con el aumento de la deposición en el envés. Aunque no existen diferencias significativas entre ellas los valores más altos de deposición en el envés se obtienen con la aplicación a 15 m s-1 (A_H_15), un 26,31% mayor que la aplicación de referencia.

La función de la asistencia de aire es transportar la gota más lejos y mover la vegetación. Al aumentar la velocidad del aire aumenta la capacidad de mover la disposición original de las hojas, facilitando la deposición en el envés, por ello la deposición aumenta al emplear velocidades de aire más elevadas. El aumento de la deposición en el envés en presencia de asistencia de aire concuerda con los resultados obtenidos por Lee et al. (2000), aunque Llop et al. (2015b) observaron que al trabajar a una velocidad superior a 14 m s-1 no se mejoraba la deposición media sobre el cultivo.

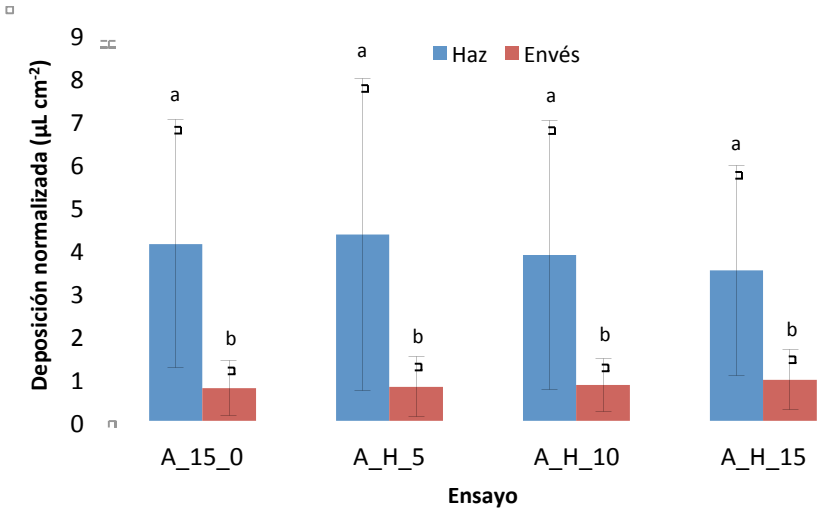


Figura 2.- Deposición normalizada (µL cm^{-2}) en el haz y envés de las hojas (media ± SD). Medias en el mismo grupo de la leyenda con la misma letra no difieren significativamente (P<0,05).

3.3. Deposición en profundidad

En la Figura 3 se observa la deposición en la parte externa e interna del cultivo. Como cabía esperar la deposición en el exterior es mayor que el interior. No se encontraron diferencias significativas entre las deposiciones en el interior de las distintas aplicaciones. En el exterior la aplicación con asistencia de aire a menor velocidad proporcionó el único valor más elevado (un 11%) que la aplicación de referencia.

Atendiendo a la relación entre la deposición obtenida en el interior y exterior del cultivo (Tabla 3), se observa que a pesar de que la aplicación de referencia fue la que más depositó en el interior, la aplicación A_H_15 obtiene un valor más alto, esto puede ser debido a la mayor uniformidad que presenta esta aplicación.

Por lo que se observa, emplear aire a 15 m s^{-1} mejora ligeramente la deposición en el envés y también proporcionalmente la penetración. Pero atendiendo a que las pérdidas al suelo en este test fueron las más pequeñas, cabe pensar que hubo otras pérdidas quizás debido a que las gotas atravesaban completamente la masa vegetal, pero no fue posible cuantificarlas.

Tabla 3.- Relación deposición interior-exterior (I/E) (%)

Código	I/E (%)
A_15_0	54,43
A_H_5	46,43
A_H_10	55,62
A_H_15	61,01

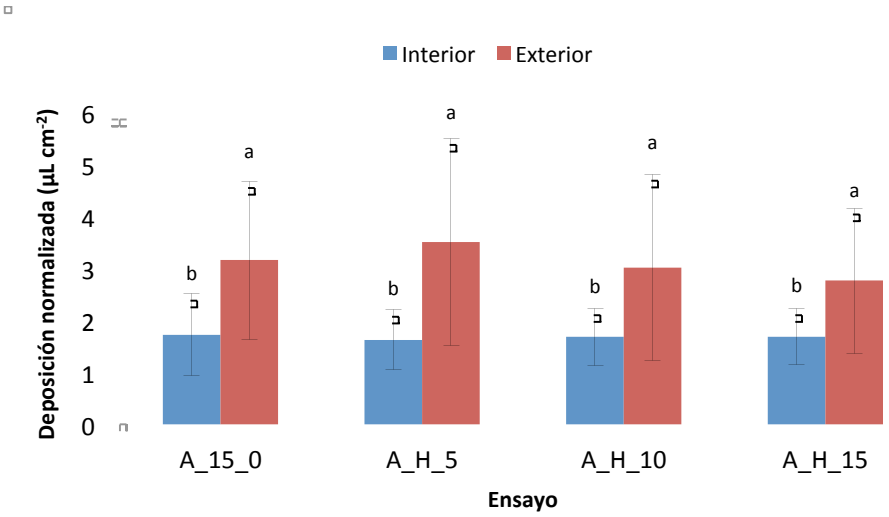


Figura 3.- Deposición normalizada (µL cm^{-2}) en el interior y exterior del cultivo (media ± SD). Medias en el mismo grupo de leyenda con la misma letra no difieren significativamente (P<0,05).

4. Conclusiones

Aunque no se encontraron diferencias significativas entre las aplicaciones, la única aplicación que consiguió mayor deposición a la obtenida con la aplicación de referencia, fue la que empleó la velocidad de aire más baja (5 m s^{-1}).

La utilización de aire a cualquier velocidad mejoró la deposición en el envés obteniendo los mejores resultados con la velocidad de aire más elevada (15 m s^{-1}), aunque sin diferencias significativas respecto al resto de aplicaciones. También, la velocidad de 15 m s^{-1} dio lugar a mejoras en el ratio de penetración.

Se ha visto que la utilización de aire puede ofrecer mejoras, pero al no encontrarse diferencias significativas con la aplicación de referencia surge la duda de si merece la pena hacer una inversión en un sistema de asistencia. Quizás este sistema de asistencia de aire no es el más adecuado para utilizar en cultivos de invernadero ya que estudios realizados con equipos dotados con salidas individuales parecen tener un mejor comportamiento (Llops et al., 2015b). Para futuros trabajo sería adecuado estudiar el efecto de la asistencia de aire con las boquillas inclinadas, ya que no fue posible estudiarlo en este trabajo.

Bibliografía

Balsari, P., G. Oggero, C. Bozzer, P. Marucco. 2012. An autonomous self-propelled sprayer for safer pesticide application in glasshouse. *Asp Appl Bio*. 114:197–204.

Braekman, P., D. Foque, W. Messens, M.C. van Labeke, J.G. Pieters, D. Nuyttens. 2010. Effect of spray application technique on spray deposition in greenhouse strawberries and tomatoes. *Pest Manag Sci.* 66(2):203–12.

Cabrera, A., D. Uclés, T. Agüera. 2015. Análisis de la Campaña Hortofrutícola de Almería 2014/2015. Fundación Cajamar.

Derksen, R.C., S.A. Miller, H.E. Ozkan, R.D. Fox. 2001. Spray deposition characteristics on tomatoes and disease management as influenced by droplet size, spray volume, and air-assistance. *ASAE Annual International Meeting*

González, R., F. Rodríguez, J. Sánchez-Hermosilla, J. García. 2009. Navigation techniques for mobile robots in greenhouses. *Appl Eng Agric.* 25(2):153–65.

Guzmán, J.L., F. Rodríguez, J. Sánchez-Hermosilla, M. Berenguel. 2008. Robust Pressure Control in a Mobile Robot for Spraying Tasks. *Trans ASABE* 51(2):715–27.

Lee, A.W., P.C.H. Miller, J.D. Power. 2000. The application of pesticide sprays to tomato crops. *Asp Appl Biol*. 57:383–90.

Llop, J., E. Gil, M. Gallart, F. Contador, M. Ercilla. 2015a. Spray distribution evaluation of different settings of a hand-held-trolley sprayer used in greenhouse tomato crops. *Pest Manag Sci.* 72(3):505–16.

Llop, J., E. Gil, J. Llorens, M. Gallart, P. Balsari. 2015b. Influence of air-assistance on spray application for tomato plants in greenhouses. *Crop Prot*. 78:293–301.

Nuyttens, D., D. Dekeyser, M. De Schampheleire, K. Baetens, B. Sonck. 2007. The effect of air support on droplet characteristics and spray drift. *Commun Agric Appl Biol Sci.* 72(2).

Nuyttens, D., S. Windey, B. Sonck. 2004. Optimisation of a vertical spray boom for greenhouse spray applications. *Biosyst Eng*. 89(4):417–23.

Parlamento Europeo. 2009. Directiva Europea 2009/128/EC para el uso sostenible de fitosanitarios. Bruselas (Bélgica), p. 71–86.

Sánchez-Hermosilla, J., R. Medina, J.C. Gázquez. 2003. Improvements in pesticide application in greenhouses. In: *VIIth Workshop in Spray Application Technique in Fruit Growing*. p. 54–61.

Sánchez-Hermosilla, J., F. Páez, V.J. Rincón, J. Pérez-Alonso. 2013. Volume application rate adapted to the canopy size in greenhouse tomato crops. *Sci Agric.* 70(6):390–6.

Sánchez-Hermosilla, J., V.J. Rincón, F. Páez, M. Fernández. 2012. Comparative spray deposits by manually pulled trolley sprayer and a spray gun in greenhouse tomato crops. *Crop Prot*. 31(1):119–24.

Sánchez-Hermosilla, J., V.J. Rincón, F. Páez, F. Agüera, F. Carvajal. 2011. Field evaluation of a self-propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground in greenhouse tomato crops. *Pest Manag Sci*. 67(8):942–7.

Sánchez-Hermosilla, J., A. Sánchez-Gimeno, F. Rodriguez, J.L. Guzmán. 2007. Influencia de la inclinación de las boquillas en tratamientos fitosanitarios en cultivos hortícolas en invernadero. In: *IV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de Agroingeniería* Albacete, España.

Van Os, E.A., J.M.G.P. Michielsen, F.J.M. Corver, J. V. Van Den Berg, M.A. Bruins, H.A.J. Porskamp. 2005. Reduction of spray pressure leads to less emission and better deposition of spray liquid at high-volume spraying in greenhouse tomato. *Acta Hortic*. 691:187–94.

Viabilidad técnica de un sistema sonar para estimación del tamaño de frutos

E. de Miguel[1], G.P. Moreda[2], M.A. Muñoz-García[2], J. Muñoz[2], P. Mishra[3], B. Diezma[2]

[1] Estudiante Máster Ingeniero Agrónomo. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España

[2] Dpto. Ingeniería Agroforestal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España; e-mail: guillermo.moreda@upm.es

[3] University of Strathclyde. Glasgow, U.K.

Resumen

Este trabajo trata del diseño y primeras pruebas con una versión simplificada de un futurible sistema ultrasónico con forma de anillo. Dos sensores de ultrasonido de diferente frecuencia, 220 kHz y 380 kHz, fueron instalados bajo diferentes ángulos y distancias respecto de un fruto central cuyo tamaño se desea conocer. Durante el proceso, encontramos varias dificultades. En primer lugar, el hecho de que el alcance y la frecuencia de los sensores de ultrasonido sean variables acopladas dificulta la futura realización práctica del anillo de ultrasonidos. En segundo lugar, a pesar de la notable separación en cuanto a frecuencia de funcionamiento de los dos sensores, unos de los ensayos realizados sugiere que hubo alguna interferencia entre ellos. El trabajo futuro con el sistema diseñado debería abordar la evaluación del grado de difusión difusa y especular en función de la longitud de onda en el aire de cada ultrasonido y la aspereza superficial del objeto medido.

Palabras clave: Fruto, sensor de rendimiento, tamaño, ultrasonido

Technical feasibility of a sonar system to estimate the size of fruits

Abstract

This work deals with the design and first tests of a simplified version of a futurable ultrasonic ring-shaped sensor system. Two ultrasound sensors of different frequency, 220 kHz and 380 kHz, were installed at different angles and distances around a central fruit sample whom size is to be measured. Several pitfalls were encountered. First, the fact that sensing range and frequency of the transducers are coupled hinders the future realization of the ring-shaped frame. Second, in spite of large frequency gap between the two sensors analyzed, one of the tests conducted suggests that some interference or 'cross-talk' occurred between the sensors. Future work with the designed system should address the assessment of diffuse and specular reflection mode fractions as a function of ultrasound wavelength and inspective sample surface roughness.

Keywords: Fruit, size, ultrasound, yield sensor

1. Introducción

Disponer de una medida del tamaño de un espécimen hortofrutícola dado (que por simplicidad vamos a denominar fruto, lo sea botánicamente o no) es interesante por diversas razones:

- En campo, en pre-cosecha, sirve para determinar, junto a otros parámetros, el momento óptimo de la recolección. Por ejemplo, Laing et al. (1995) desarrollaron un equipo portátil para medir el tamaño de limones en árbol. Dicho equipo tenía forma de trípode invertido, con un sensor de ultrasonido en la cartela de unión de las patas del trípode. Cuanto mayor era el calibre de un fruto, menos se deslizaba hacia la parte más estrecha o cartela, siendo calculada la distancia de 'encajamiento' del fruto en el trípode por medio del tiempo de propagación o vuelo (acrónimo inglés TOF).

- En el momento de la recolección, si se desea seguir una estrategia de manejo de agricultura de precisión, es necesario disponer de sensores de rendimiento. Estos son dispositivos embarcados en las cosechadoras que miden o contabilizan la cantidad de producto recolectado por unidad de tiempo. Aunque hasta la fecha el mayor grado de desarrollo de sensores de rendimiento corresponde a los gravimétricos para grano en cosechadoras de cereal, también existen diversos sensores de rendimiento para productos hortofrutícolas, como los descritos por Ehsani y Karimi (2010), algunos de ellos dimensionales o volumétricos.

- En postcosecha, las normas de comercialización y otras razones logístico-ingenieriles exigen y/o recomiendan que los frutos sean clasificados en grupos de tamaño homogéneo.

Habida cuenta del interés de poder medir el tamaño de un fruto, se planteó la posibilidad de desarrollar un nuevo sistema de medida del tamaño de frutos. Este sistema podría tener geometría circular, con múltiples puntos de vista, como el sistema sensor de anillo óptico ideado por Gall (1997), pero en vez de ledes (como la RAE ha aprobado la incorporación al castellano del acrónimo *LED* como *led*, la regla correspondiente conlleva que el plural sea *ledes*, no *leds*) y fototransistores utilizaría sensores de ultrasonido midiendo 'tiempo de vuelo', como el equipo de Laing et al. (1995). Como primera aproximación, se diseñó y construyó un sencillo sistema con solo dos sensores de ultrasonido, y es lo que aquí se describe.

En relación con la 'proyección' de ondas ultrasónicas sobre la superficie de un fruto, es importante mencionar que hay dos propiedades físicas de dicho fruto que influyen sobre el eco devuelto: la aspereza superficial y la firmeza. Desde el punto de vista de un haz de ultrasonido que incide sobre la superficie de un fruto intacto, yendo desde la superficie hacia el interior, la propiedad más externa sería la aspereza superficial, y la siguiente la firmeza.

La RAE define *ecolocalización* como la localización de un objeto mediante la reflexión de ondas sonoras, utilizada por especies animales como los murciélagos y los cetáceos y en los sistemas de sonar. Estudios de ecolocalización como el de Schmidt (1988) han encontrado evidencias de que los murciélagos pueden discriminar entre superficies de diferente aspereza. Por otra parte, en algunos trabajos se han obtenido buenos resultados a la hora de medir aspereza superficial con sensores de ultrasonido. Por ejemplo, Bozma y Kuc (1994) demostraron que las medidas de aspereza pueden ser empleadas para clasificar las superficies de un determinado entorno en lisas, moderadamente ásperas o rugosas y rugosas. Dichos autores identificaron dos parámetros del eco que varían con la aspereza superficial: la energía del eco y la duración del eco.

Lee y Cho (2013) implementaron un sistema para estimar la firmeza de la fruta sin contacto, utilizando ultrasonidos, partiendo de la hipótesis de que la intensidad del eco devuelto depende de la firmeza del fruto, una vez corregido el efecto perturbador del tamaño del fruto.

2. Materiales y Métodos

Se construyó una estructura de apoyo o 'base' en forma de cruz con perfiles UPN, a la que en una última fase se añadió un quinto brazo a 45° (por simetría, uno de los cuatro brazos originales de la cruz no era necesario, y no se utilizó). En el centro del sistema o 'centro de la cruz' se sitúa el portaobjeto o portamuestra. Por su parte, los dos sensores de ultrasonido se fijaron a unas

escuadras, como se muestra en la Fig. 1. Un primer escollo encontrado en la fase de diseño es que la frecuencia y el alcance de los sensores no son variables independientes.

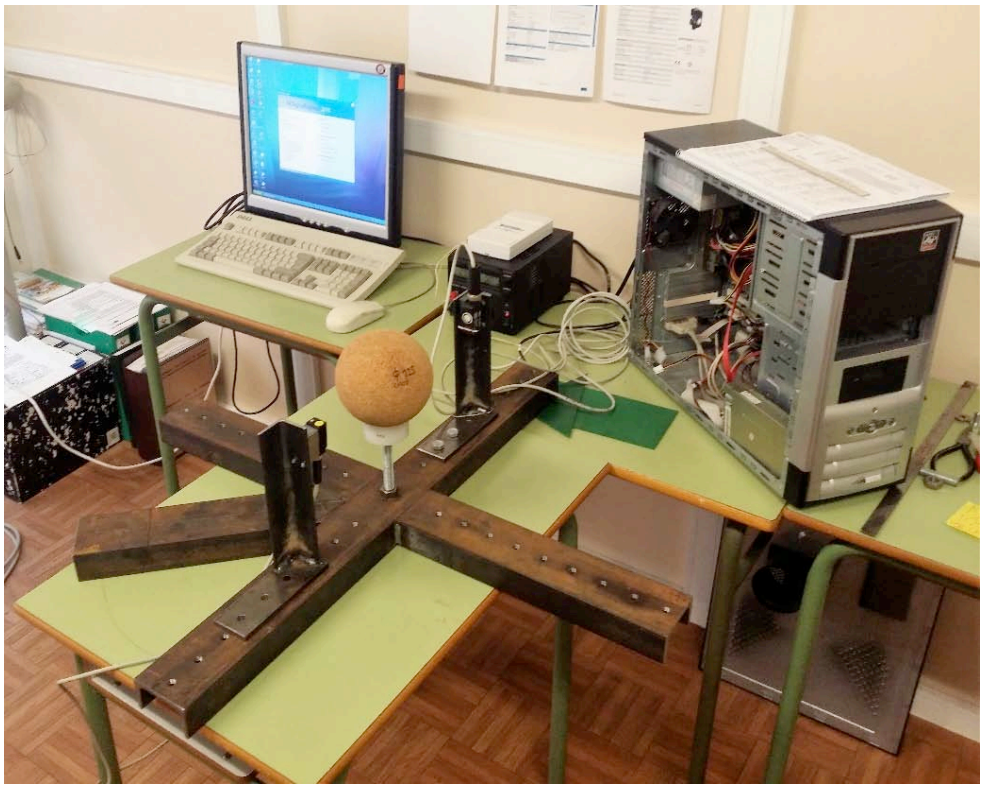


Figura 1. Sistema de medición de distancias diseñado. Se aprecian los dos sensores de ultrasonido 'en oposición' (180°), la F.A. (color negro), la tarjeta digitalizadora (color blanco) y el PC conectado a la tarjeta por USB, con el programa Signal Express instalado.

Los sensores seleccionados son de transductor reversible, es decir, emplean el mismo transductor como emisor y receptor (Fig. 2). Tras la emisión del haz ultrasónico, se espera un tiempo a que las vibraciones desaparezcan y se encuentre por tanto preparado para recibir el eco producido por el objetivo. Si no se esperara ese tiempo mínimo (tiempo de relajación) antes de conmutar a modo receptor, las vibraciones residuales podrían ser confundidas con el eco que queremos medir, lo que falsearía la medida. El tiempo de relajación se traduce en una distancia mínima (proporcional a dicho tiempo necesario para que desaparezcan las vibraciones residuales) a partir del cual el sensor mide con precisión.

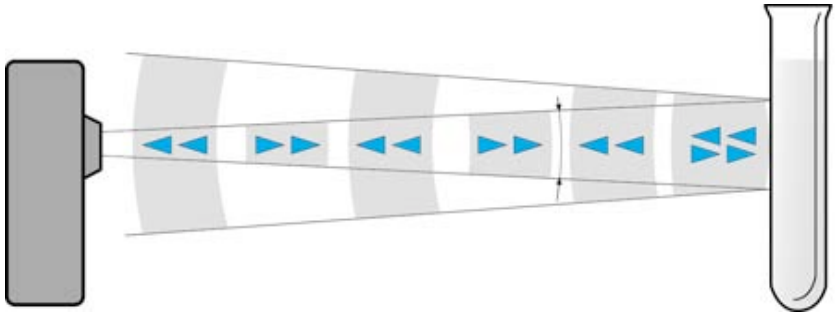


Figura 2. Representación 2D del cono de ondas ultrasónicas emitido y su reflexión especular, para un transductor reversible como los utilizados en este trabajo. Fuente: Baumer.

Las características de los sensores utilizados se incluyen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características básicas de los sensores de marca Baumer utilizados.

Sensor	Frecuencia ultrasónica (kHz)	Rango de medición (mm)	Señal de salida
UNDK20	380	20-200	V
U500	220	100-1000	V

Dos de los ensayos realizados fueron: Sensores 'en oposición', o a 180° (Fig. 1 y Fig. 3), y sensores en un mismo plano vertical (Fig. 4). En este último caso en vez de esferas se utilizaron superficies planas o 'láminas'.

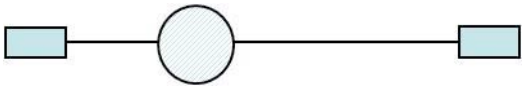


Figura 3. Sensores dispuestos a 180°.

Figura 4. Sensores dispuestos en un mismo plano vertical, para el estudio de posibles interferencias.

Los experimentos siguieron un diseño factorial. Una vez realizadas las mediciones con los sensores, y tomadas las correspondientes medidas de referencia, se calculó el error relativo correspondiente a la medida de la distancia total, Er_{DT}, eq. (1) como la diferencia relativa entre la distancia total estimada, DTE y la distancia total real, DTR.

$$Er_{DT}\ (\%) = [(DTE-DTR)/DTR]\cdot 100 \qquad (1)$$

La variable DTE corresponde a la suma de las distancias medidas por cada sensor desde él a la superficie del fruto contra la que incide el haz de ultrasonido emitido por el sensor, más el diámetro

del fruto (medido previamente con un pie de rey). La variable DTR es la distancia real o de referencia entre las caras activas de los sensores, obtenida a partir del número de taladros equiespaciados (Fig. 1) de los perfiles UPN.

3. Resultados y Discusión

La direccionalidad, es decir, la mayor o menor apertura del ángulo del cono de emisión, depende fundamentalmente de tres factores: el tamaño –área- de la superficie vibrante del transductor, su forma geométrica, y la frecuencia a la que vibra. Una direccionalidad alta es sinónimo de un cono estrecho, es decir, de pequeño ángulo de abertura en su vértice. Comparando un transductor ultrasónico de menor frecuencia con otro de mayor frecuencia, ambos con una superficie vibrante del mismo tamaño y forma, al primero le corresponden un alcance y un ángulo de cono en vértice mayores. Paradójicamente, en aplicaciones como los sensores de aparcamiento de los automóviles (Hikita, 2010), el alcance útil del sensor de menor frecuencia es menor que uno de mayor frecuencia, pero ello se debe al efecto perturbador de la reflexión contra el suelo.

Cuando un haz de ondas ultrasónicas incide sobre la superficie de un cuerpo sólido, una parte considerable de la energía incidente se refleja. A su vez, la fracción reflejada se distribuye en mayor o menor grado entre difusa y especular, dependiendo dicha distribución de la longitud de onda del ultrasonido empleado y de la aspereza superficial del cuerpo. Cuando el valor medio de la profundidad del microrelieve o aspereza es comparable a la longitud de onda, predomina la reflexión difusa. En sentido contrario, si vgr. en una aplicación de navegación de un robot equipado con sonar para evitar colisiones dentro de una habitación la longitud de onda del sonar es de varios mm, mayor que la profundidad media de aspereza de paramentos interiores, predominará la reflexión especular.

A partir de la expresión $c = \lambda \cdot f$, sustituyendo la velocidad de propagación c por su valor en el aire para el sonido y ultrasonido, 343 m/s aproximadamente para una temperatura del aire de 20 °C, y la frecuencia de cada uno de los dos sensores, se obtiene que la longitud de onda para el sensor de largo alcance (U500), cuya frecuencia es 220 kHz, es aproximadamente 1,6 mm, mientras que para el de corto alcance o alta frecuencia (UNDK20, 380 kHz), la longitud de onda es aproximadamente 0,9 mm.

Como se aprecia en la Fig. 5, para la mayor separación (P3) entre los sensores y la muestra se obtuvo un mal resultado para la esfera más pequeña, la de ϕ35 mm. Ello se debió a la detección en plano posterior del sensor de corto alcance (UNDK20) por parte del otro sensor (U500). Otro aspecto destacable en la Fig. 5 es la diferencia de resultados en la combinación P3-esfera de ϕ40 mm entre el corcho y la gomaespuma (menor error para la gomaespuma). Esta diferencia de comportamiento podría deberse a la diferente aspereza de ambos materiales, que afecta a la relación entre reflexión especular y difusa. En concreto, la menor aspereza superficial de la gomaespuma empleada conlleva una mayor relación reflexión especular/reflexión difusa en comparación con el corcho.

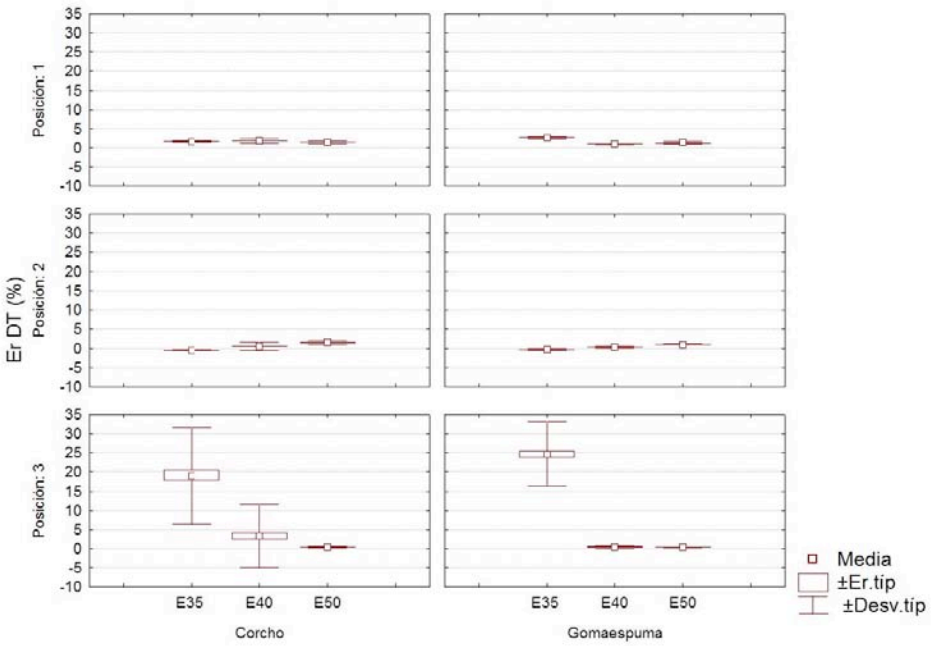


Figura 5. Error relativo (%) en la determinación de la Distancia Total, en función de la textura y posición, para las esferas pequeñas (Disposición 180°).

Respecto a posibles interferencias, comparando la combinación superficie plana –'lámina'- de corcho-sensor U500 en el caso de funcionamiento simultáneo de ambos sensores (Fig. 6) y funcionamiento por separado o no coincidente en el tiempo (Fig. 7), se observa que para las posiciones o distancias P1 y P3 la precisión es mayor (dispersión menor) cuando funcionan aisladamente que cuando coinciden temporalmente.

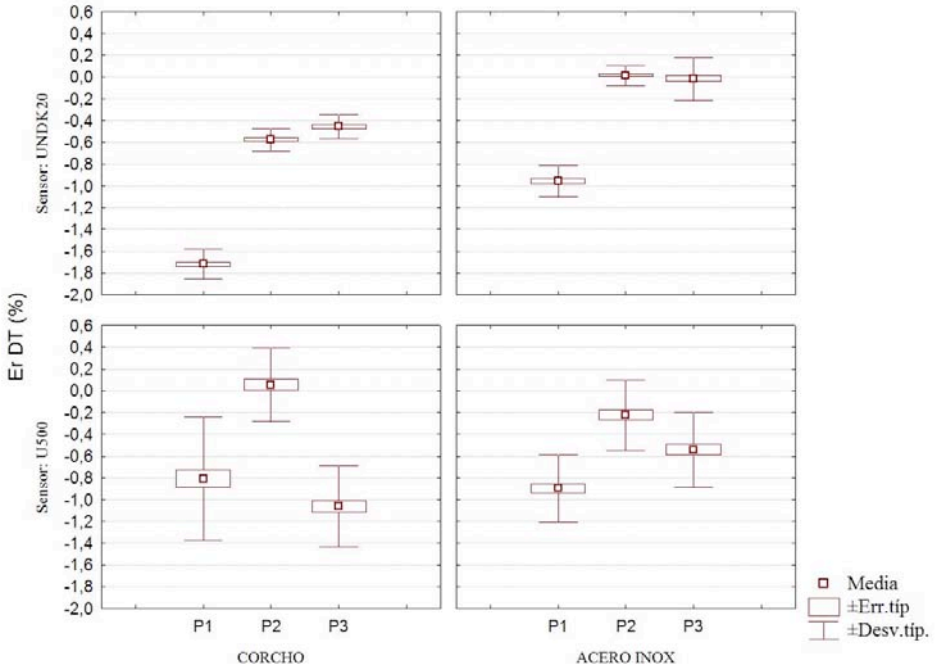


Figura 6. Error relativo (%) en la determinación de la Distancia Total, en función de la posición, material de la lámina y sensor, cuando los dos sensores están midiendo simultáneamente.

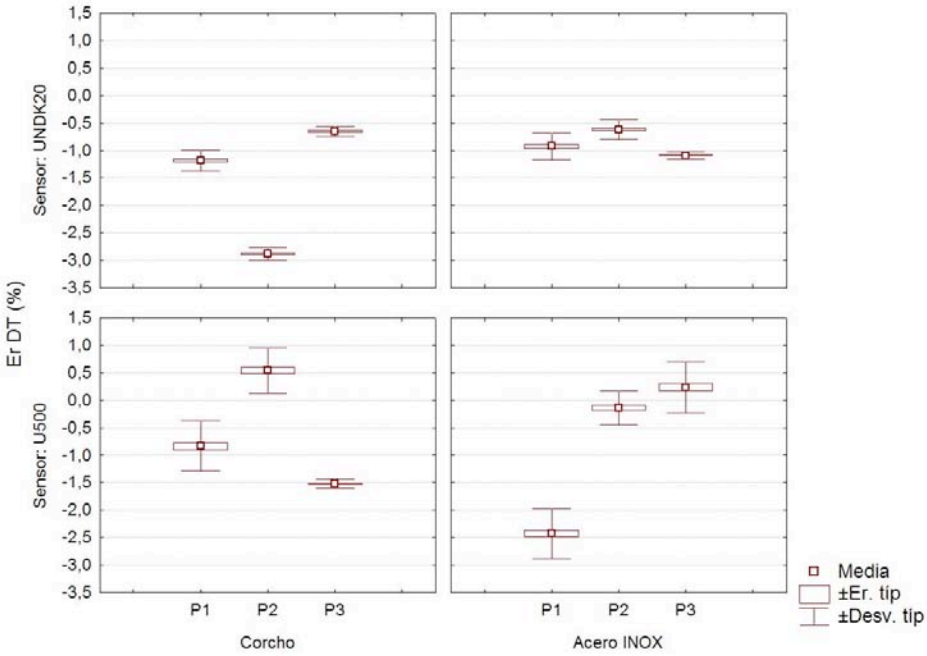


Figura 7. Error relativo (%) en la determinación de la Distancia Total, en función de la posición, material de la lámina y sensor, cuando los dos sensores están midiendo por separado.

Análogamente, para la combinación lámina de acero inoxidable-sensor UNDK20, concretamente para la separación o distancia P3, la precisión es mayor cuando la medición de uno y otro es diferida en el tiempo respecto a cuando coinciden en el tiempo.

4. Conclusiones

Se ha diseñado un sistema de medida de distancias que utiliza dos sensores de ultrasonido de diferente frecuencia. Algunas conclusiones que se pueden extraer del presente trabajo son:

- Un escollo importante de cara a la realización práctica de un futurible 'anillo de ultrasonidos' formado por transductores de diferente frecuencia es que esta y el alcance no son variables independientes.

- Aunque en el ensayo de detección de posibles interferencias entre ambos sensores se encontraron indicios en ese sentido, es necesario realizar más experimentos al respecto, por ejemplo probando con la disposición a 45°.

- El elevado error correspondiente a la disposición de sensores 'en oposición' (180°) cuando la esfera interpuesta entre ellos es de pequeño diámetro (35 mm) y los sensores se encuentran a gran distancia de ella (posición P3) se debe a que el sensor de mayor alcance detectó el plano posterior donde se encontraba el otro sensor.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al grupo de investigación LPF-TAGRALIA, por haber facilitado los fondos para la adquisición de los sensores.

Bibliografía

Bozma, O., Kuc, R. 1994. A physical model based analysis of heterogeneous environments using sonar ENDURA method. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 16(5): 497-506.

Ehsani, R. & Karimi, D. 2010. Yield monitors for Specialty Crops. *Landbauforschung Völkenrode*, Special Issue 340: 31-43.

Gall, H. 1997. A ring sensor system using a modified polar coordinate system to describe the shape of irregular objects. *Meas. Sci. Technol.* 8: 1228-35.

Hikita, M. 2010. An introduction to ultrasonic sensors for vehicle parking. Disponible en: http://www.newelectronics.co.uk/electronics-technology/an-introduction-to-ultrasonic-sensors-for-vehicle-parking/24966/ . Consultado por última vez el 2/5/2017.

Laing, A.; Smit, Q ; Mortimer, B.J.P.; Tapson, J. 1995. Ultrasonic Fruit Sizing Device. *J. South African Acoustics Institute*, 6: 60-65.

Lee, S., Cho, B.K. 2013. Evaluation of the firmness measurement of fruit by using a non-contact ultrasonic technique. *IEEE 8th Conf. on Industrial Electronics and Applications*: 1331-1336.

Schmidt, S. 1988. Evidence for a spectral basis of texture perception in bat sonar. *Nature*, 331(6157): 617-619.

Desempenho de um semeador adaptado para sementes pequenas

Arlindo Almeida[1], Manuel Rodrigues[1] José Rocha[2]

[1] Centro de Investigação da Montanha (CIMO), ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal. acfa@ipb.

[2] Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal.

Resumo

A sementeira mecânica de sementes pequenas (2.5 g – 7.6 g / 1000 grãos) nem sempre é executada com eficiência, quer pela reduzida quantidade de semente a aplicar por unidade de área (100 a 200 grãos por m^2), de uma semente já por si miúda, quer pela reduzida profundidade de sementeira, até 1 cm a 2 cm.

Com o objetivo de avaliar o desempenho do semeador Sola Trisem 194 neste tipo de sementeira foram realizados ensaios de campo com *Brassica Napus* L.

Foram medidos por cronometragem os tempos elementares de trabalho e calculadas a capacidade de trabalho e eficiência de campo, que agora se apresentam.

Palavras-chave: Sementeira, Sola Trisem 194, Capacidade de trabalho.

Performance of a seeder adapted for small seeds

Abstract

Mechanical sowing of small seeds (2.5 g - 7.6 g / 1000 grains) is not always performed efficiently, either by the small amount of seed to be applied per unit area (100 to 200 grains per m^2), seed already small by itself, or by the reduced depth of sowing, up to 1 cm to 2 cm.

In order to evaluate the performance of the Sola Trisem 194 seeder in this type of sowing, field trials were performed with *Brassica Napus* L.

The elementary work times were measured by a chronometer and evaluated the effective capacity and field efficiency, which are now presented.

Keywords: Seeding, Sola Trisem 194, Effective capacity.

1. Introdução

A sementeira mecânica de sementes pequenas nem sempre é efetuada da forma mais conveniente para uma boa distribuição no terreno e posterior germinação. É necessário colocar as sementes a pouca profundidade – 1 a 2 cm e que os órgãos de distribuição permitam dosear baixas quantidades de semente por unidade de área – 100 a 200 grãos por m^2.

O semeador em linhas Sola Trisem 194 foi testado em sementeira de *Brassica napus* L. com o objetivo de avaliar o trabalho realizado nas condições referidas.

Apresentam-se resultados de capacidade de trabalho, considerada como a área trabalhada por unidade de tempo.

2. Material e Métodos

Foi utilizado um semeador Sola Trisem 194 (Figura 1) com 22 linhas, uma largura de trabalho de 3 m, entrelinha de 0.136 m, capacidade da tremonha de 665 L e peso de 760 kg. É possível aumentar a entrelinha, mantendo a largura de trabalho, pelo bloqueio de linhas de sementeira.

Figura 1. O semeador em trabalho

Os órgãos de distribuição estão colocados sob a tremonha (Figura 2). Possuem cilindros canelados retos e cilindros dentados. Estão montados num eixo deslizante no sentido longitudinal. Este eixo recebe movimento de rotação de rodas que suportam o semeador quando em trabalho. A transmissão é conseguida por correntes e uma caixa de velocidades (Figura 3) que permite alterar a relação de transmissão rodas / eixo.

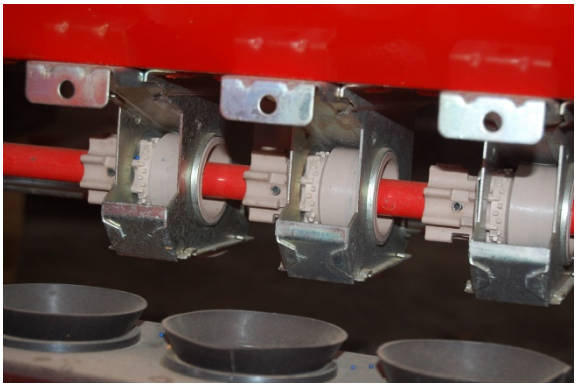


Figura 2. Órgãos de distribuição

A velocidade de rotação do eixo onde estão montados os órgãos de distribuição, assim como a escolha destes (cilindros canelados ou cilindros dentados) permite distribuir a quantidade de semente por unidade de área desejada. A seleção dos cilindros é feita deslizando longitudinalmente o eixo onde estão montados. A seleção adequada da velocidade de rotação do eixo é feita na caixa de velocidades.

Figura 3. Caixa de velocidades na transmissão roda motora / órgãos de distribuição

Este sistema de doseamento retira semente da tremonha colocando-a em tubos condutores qua a colocam no rego aberto pelos abridores de sulco (Culpin, C. 1986; Shipen *et al*, 1980).

Uma grade de dentes cobre a semente (Figura 4).

Riscadores permitem ao operador escolher adequadamente o espaçamento entre viagens, de cabeceira a cabeceira.

A profundidade de sementeira é regulável pela orientação ajustável dos abridores de sulco.

Figura 4. Tubos condutores e órgãos de enterramento

Os ensaios de campo foram realizados em dois locais no Concelho de Bragança coordenadas 41º49'N 6º43'W: Local 1 numa área de 70.5 m x 73.5 m (5181.5m^2); Local 2 com uma área de 70.0 m x 39.5 m (2765 m^2) (Figura 5).

Figura 5. Campo de ensaio

Estes locais têm declive 0% a 2%. A textura dos solos é argilo-arenosa.

É objetivo semear 4 kg.ha^{-1}. Foram escolhidos como órgãos de distribuição os cilindros dentados. A caixa de velocidades foi ajustada para a mais baixa rotação do eixo onde estão montados os órgãos de distribuição.

A profundidade de sementeira foi ajustada para 0.01 m a 0.02 m.

Para a avaliação do desempenho do semeador, foi medido por cronometragem o tempo total de trabalho, considerando dois tempos elementares de operação: tempo efetivo de sementeira e tempo de viragem nas cabeceiras das parcelas (Ortiz-Cañavate, 1989).

A capacidade de trabalho é avaliada pela ralação área/tempo em m^2.s^{-1} ou ha.h^{-1} (Ortiz-Cañavate, 1989).

Pelo comprimento da área de ensaio e pelo tempo médio efetivo de sementeira, obtém-se a velocidade de trabalho.

A eficiência de campo (E) expressa a relação entre o tempo efetivo de trabalho (sementeira neste caso) e o tempo total de trabalho atribuído á operação. É uma forma de medir o desempenho do equipamento. É expresso em valor decimal.

A eficiência de campo é avaliada pela Equação (1)

$$E = \frac{C}{VL} \quad (1)$$

Em que:

E = eficiência de campo;

C = capacidade de trabalho (m^2.s^{-1})

V = velocidade de trabalho (m. s^{-1})

L = largura de trabalho (m)

3. Resultados e Discussão

Tabela 1: Local 1 – Resultados de capacidade de trabalho, considerando as operações elementares

	Média	DP	CV	Min	Max	Total
Tempo efetivo de sementeira (minutos)	0,79	0,113	0,14	0,55	1,08	19,76
Tempo de viragem (minutos)	0,318	0,086	0,27	0,2	0,63	7,64
Tempo total (minutos)						**27,4**

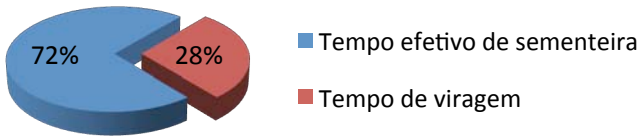


Figura 6. Local 1 – Tempo de operações elementares expressas em percentagem do tempo total

Velocidade média de sementeira: 1.49 $m.s^{-1}$ (5.4 $km.h^{-1}$)

Eficiência de campo: 0.71

Capacidade de trabalho: 3.15 $m^2.s^{-1}$ (1.13 $ha.h^{-1}$)

Tabela 2: Local 2 – Resultados de capacidade de trabalho, considerando as operações elementares

	Média	DP	CV	Min	Max	Total
Tempo efetivo de sementeira (minutos)	0,759	0,116	0,152	0,56	0,95	9,87
Tempo de viragem (minutos)	0,221	0,050	0,228	0,13	0,34	2,65
Tempo total (minutos)						**12,52**

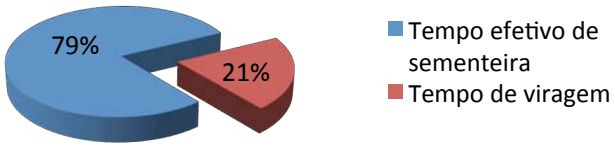


Figura 7. Local 2 – Tempo de operações elementares expressas em percentagem do tempo total

Velocidade média de sementeira: 1.54 $m.s^{-1}$ (5.5 $km.h^{-1}$)

Eficiência de campo: 0.80

Capacidade de trabalho: 3.62 $m^2.s^{-1}$ (1.33 $ha.h^{-1}$)

Verificou-se que foi conseguido o objetivo de semear 4 $kg.ha^{-1}$ à profundidade de 0.01 a 0.02 m.

4. Conclusões

A eficiência de campo – 0.71 a 0.80 e a velocidade de trabalho – 5.4 $km.h^{-1}$ a 5.5 km^{-1} estão no intervalo de valores de referência mencionados por Hunt (1983) e Ortiz-Cañavate (2012).

Durante o trabalho o semeador mostrou ser fiável: a quantidade de semente distribuída por unidade de área e a profundidade de sementeira mantiveram-se sem alterações durante o trabalho. Os procedimentos para os definir foram facilmente aplicados.

Estudos futuros são necessários com sementes diferentes, de calibre diferente, para uma melhor perceção do desempenho deste semeador.

Bibliografia

Culpin, C. 1986. *Farm Machinery*. 11th edition, Collins, London.

Hunt, D. 1983. *Farm Power and Machinery Management.* 8th edition, Iowa State University Press, Ames.

Ortiz-Cañavate J., Hernanz, J. L. 1989. *Tecnica de la Mecanizacion Agraria.* 3ª edición Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Ortiz-Cañavate, J. 2012. *Las Máquinas Agrícolas y su Aplicacción.* 7ª edición Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Shippen, J. M., Ellin, C. R. ; Clover, C. H. 1980. *Basic Farm Macchinery.* 3th edition, Pergamon Press, Oxford.

Área Temática:

Tecnologia da Produção Animal e Aquicultura

Tecnología de la Producción Animal y Acuicultura

Efecto del tipo de suelo del alojamiento sobre el cortisol en saliva de cerdos de cebo

Aranzazu Mateos[1], Alba Peláez[2], Eduardo de Mercado[3], Emilio Gómez[3], Ismael Ovejero[1].

[1] Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, Avda. Puerta de Hierro, 2-4. 28040 Madrid. España. a.mateos@upm.es; ismael.ovejero.rubio@upm.es.

[2] Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid. España. albapela@ucm.es.

[3] Centro de Pruebas de Porcino. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Ctra. Riaza – Toro s/n. 40353 Hontalbilla, Segovia. España. ita-merpened@itacyl.es; gomizqem@itacyl.es.

Resumen

El bienestar de los animales es una preocupación creciente en la producción intensiva de ganado porcino; en ella, los cerdos están expuestos a diversos factores estresantes entre los que se pueden encontrar las condiciones de alojamiento. La concentración de cortisol en saliva, que sigue un ritmo circadiano condicionado por la edad, es una variable utilizada para evaluar la respuesta de los animales a las situaciones de estrés.

El objetivo de este trabajo ha sido estudiar la influencia del tipo de suelo, en un alojamiento con enrejillado parcial, sobre los niveles de cortisol por la mañana y por la tarde de cerdos en cebo a dos pesos (y edades) diferentes (60 kg y 100 kg de peso vivo; 3,6 y 5,0 meses de edad, respectivamente).

Se han utilizado 144 cerdos (72 machos enteros y 72 hembras) alojados, con separación de sexos, en boxes (seis cerdos/box; 1,2 m^2/cerdo) con suelo parcialmente enrejillado (suelo continuo: 60 %; enrejillado: 40 %). Los suelos han sido de dos tipos: uno, suelo continuo de hormigón + enrejillado de hormigón (HH), y el otro, suelo continuo de resina epoxídica + enrejillado metálico (RM).

En los animales más jóvenes, los niveles de cortisol en saliva de la mañana fueron mayores que los de la tarde; en cambio, sucedió lo contrario para los animales de más edad. Los niveles de cortisol en saliva por la mañana y por la tarde fueron numéricamente mayores en los cerdos alojados sobre suelo RM que en los alojados sobre suelo HH, tanto a los 60 como a los 100 kg de peso vivo, pero las diferencias solo fueron significativas a los 60 kg para la determinación de la mañana (p = 0,0393). Además, en los animales alojados sobre suelo RM el ritmo circadiano fue más aplanado que en los alojados sobre suelo HH. Puede concluirse que el suelo RM resultó más estresante para los cerdos que el suelo HH.

Palabras clave: bienestar, suelo parcialmente enrejillado, porcino.

Effect of floor type on salivary cortisol of fattening pigs

Abstract

Animal welfare is a growing concern in intensive pig production; on this kind of production system, pigs are exposed to various stressors among which can be found the housing conditions. The salivary cortisol concentration, which follows a circadian rhythm conditioned by age, is a useful biomarker to evaluate the animals response to stress situations.

The aim of this work was to evaluate the effect of the floor type in a partially slatted floor facility, on the salivary cortisol concentrations, in the morning and in the afternoon, in fattening pigs, at two different weights (and ages): 60 kg and 100 kg of live weight (3.6 and 5.0 months of age, respectively).

144 pigs (72 entire males and 72 females) were used. Pigs were housed in 24 single-sex pens (6 pigs/pen; 1.2 m^2/pig) with partially slatted floor (60% continuous and 40 % slatted). The pens floors were of two types: one with concrete continuous floor and concrete slats (HH), and the other with concrete covered with epoxy resin continuous floor and metal slats (RM).

In younger animals, salivary cortisol concentrations in the morning were higher than in the afternoon; however, the opposite happens for older animals. Salivary cortisol levels in the morning and in the afternoon were numerically higher in pigs housed in RM floor than in HH floor, both at 60 and 100 kg live weight, but only significant differences were found for 60 kg live weight and morning sampling (p = 0.0393). In addition, in animals housed on RM soil the circadian rhythm was more flattened than in animals housed on HH floor. It could be concluded that RM floor was more stressful for pigs than HH floor.

Keywords: welfare, partially slatted floor, pig.

1. Introducción

El bienestar de los animales es una preocupación creciente en la producción intensiva de ganado porcino. En las modernas granjas de cebo, los animales se encuentran sometidos a numerosos factores estresantes, a menudo ligados al manejo que reciben y a las condiciones de alojamiento.

En situaciones de estrés, aumenta la actividad corticoadrenal de los cerdos y, consecuentemente, se incrementan las concentraciones circulantes de cortisol. Tradicionalmente, en los trabajos de investigación sobre el bienestar animal, se ha utilizado la concentración del cortisol sanguíneo como indicador de la respuesta al estrés; sin embargo, las necesarias captura y retención de los animales para la obtención de las muestras de sangre son, en sí mismas, importantes factores estresantes (Nyberg et al., 1988).

El cortisol presente en la saliva refleja la fracción libre (la activa biológicamente) del cortisol sanguíneo, y se ha demostrado que los niveles de cortisol en la saliva y en el plasma sanguíneo están bien correlacionados (Cook et al., 1996); además, la toma de muestras de saliva es un método no invasivo y, por tanto, no estresante para los animales. Por ello, la determinación del cortisol en saliva es un indicador de la respuesta al estrés de los cerdos cada vez más utilizado en los estudios relacionados con su bienestar.

Una de las condiciones de alojamiento que puede tener efecto sobre el bienestar de los cerdos es el tipo de suelo de los corrales (De Jong et al., 1998; Marin et al., 2005; Merlot et al., 2010). Por otra parte, los niveles basales de las concentraciones de cortisol en sangre y saliva muestran un ritmo circadiano (Evans et al., 1988; Ekkel et al., 1996; Ruis et al., 1997; Hillmann et al., 2008), generalmente con valores más elevados por la mañana que por la tarde o por la noche. Además, los incrementos de edad y de peso pueden influir sobre las concentraciones de cortisol (Ruis et al., 1997; De Jong et al., 2000; Hillmann et al., 2008).

En consecuencia, el objetivo de este trabajo ha sido estudiar la influencia del tipo de suelo de los corrales, en un alojamiento con enrejillado parcial, sobre la concentración de cortisol en saliva por la mañana y por la tarde de cerdos en cebo a dos pesos (y edades) diferentes.

2. Materiales y Métodos

2.1. Instalaciones

Este trabajo se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Bienestar Porcino (LBP) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid. El LBP cuenta con cuatro salas totalmente independientes para alojar los cerdos en cebo. Cada sala se compone de seis corrales o boxes. Los corrales tienen el suelo parcialmente enrejillado (60% de suelo continuo y 40% de suelo enrejillado) (Figura 1).

En la zona de suelo continuo se encuentra el comedero (tipo tolva holandesa), y en la zona de enrejillado, dos bebederos de cazoleta, aunque solo estuvo en uso el más próximo al comedero. Dos de las salas cuentan con suelo continuo de hormigón y enrejillado de hormigón (salas HH), y las otras dos, con suelo continuo recubierto de resina epoxídica y enrejillado metálico (salas RM) (Figuras 1, 2 y 3).

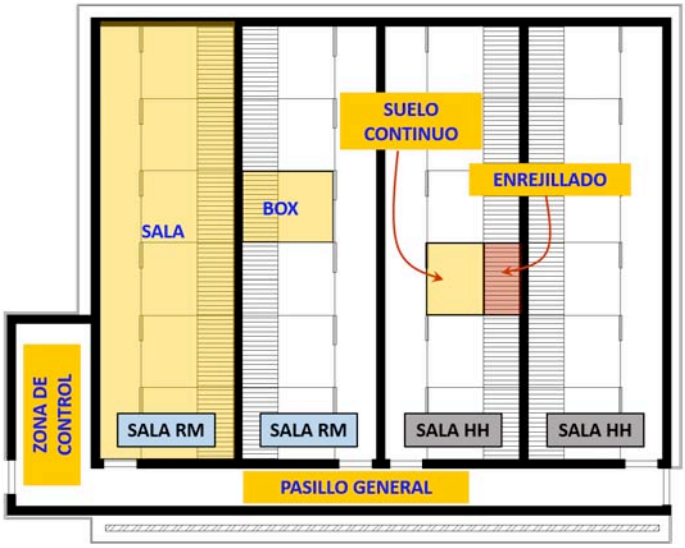


Figura 1. Croquis de las instalaciones de cebo del Laboratorio de Bienestar Porcino.

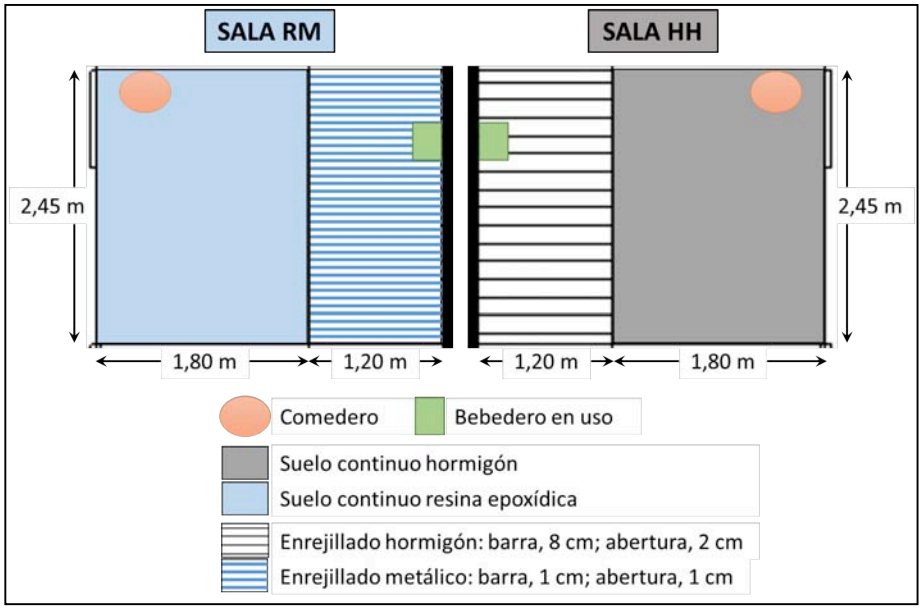


Figura 2. Croquis de los dos tipos de corrales: HH y RM.

(a) (b)

Figura 3. a) Suelo continuo de hormigón, enrejillado de hormigón (HH); b) suelo continuo recubierto de resina epoxídica, enrejillado metálico (RM).

Todas las salas cuentan con un sistema de ventilación por extracción bajo suelo, con la posibilidad de refrigerar el aire de entrada mediante paneles de refrigeración evaporativa en caso necesario.

2.2. Animales

Se han utilizado 144 cerdos (72 machos enteros y 72 hembras) cruzados Piétrain x (Large White x Landrace), que llegaron al LBP con un peso vivo medio de 19,2 kg. En cada sala, los animales fueron distribuidos por sexos (3 corrales de machos y 3 de hembras, al azar), a razón de 6 cerdos/box (1,2 m^2/cerdo). El cebo se prolongó durante 98 días, hasta que los cerdos alcanzaron un peso vivo medio de 111,9 kg.

Todos los animales fueron alimentados *ad líbitum* con piensos comerciales presentados en gránulo. El acceso al agua fue libre en todo momento.

La temperatura media diaria durante el cebo fue de 24,9 ± 1,3 °C. La rutina de manejo de los animales fue la misma a lo largo de todo el periodo experimental.

2.3. Toma de muestras y análisis de laboratorio

La toma de muestras de saliva se realizó a tres distintas edades de los animales. La primera, para determinar los niveles iniciales de cortisol y tener en cuenta la variabilidad individual al analizar los datos correspondientes a las edades posteriores, se llevó a cabo a los 2,5 meses de edad (peso vivo medio, 30 kg).

Posteriormente, se tomaron muestras de saliva cuando los cerdos tuvieron 3,6 y 5,0 meses de edad (con pesos vivos medios aproximados de 60 y 100 kg, respectivamente). En la Tabla 1 se indican los pesos vivos de los animales, según el tipo de suelo, en los momentos de toma de muestras de saliva.

En los tres días de muestreo, se realizaron tomas de muestras por la mañana (10.30-12.00 h) y por la tarde (16.30-18.00 h) a todos los animales excepto a los diez que la rechazaron. En todos los muestreos se siguió el mismo orden de las salas, y en cada sala, de los corrales.

Tabla 1. Pesos vivos (media ± desviación típica) de los animales, en kg, según el tipo de suelo para cada momento del ensayo.

	Edad	
	3,6 meses	**5,0 meses**
Todos	60,5 ± 6,4	100,8 ± 8,2
Tipo de suelo[1]		
HH	59,5 ± 6,1	99,7 ± 8,2
RM	61,6 ± 6,6	101,9 ± 8,0

[1] HH: suelo continuo de hormigón + enrejillado de hormigón; RM: suelo continuo de resina epoxídica + enrejillado metálico.

El procedimiento consistió en introducir una torunda de algodón en la boca del cerdo. Cada torunda fue exclusiva para cada animal. Se les dejó chuparla y masticarla durante 20 segundos. Una vez se extrajeron las torundas de la boca de los cerdos, se introdujeron en viales con doble fondo perforado (Salivette®cortisol, SARSTEDT, Nümbrecht, Alemania) y se centrifugaron durante 5 minutos a 2.500 rpm en una centrífuga portátil (EBA20 Hettich Zentrifugen, Tuttlingen, Alemania) para capturar la saliva en el fondo del vial (Figura 4). Las muestras así obtenidas se congelaron inmediatamente en hielo seco: desde la toma de la muestra hasta su total congelación en ningún caso se superaron los 30 minutos.

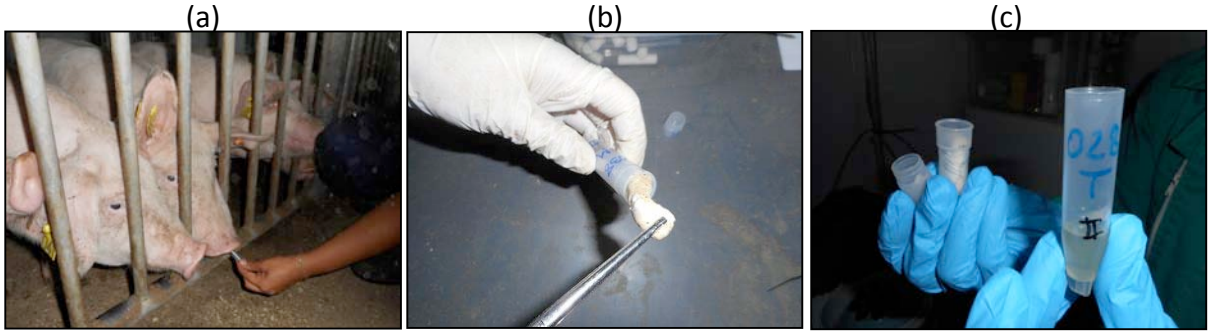


Figura 4. Procedimiento de toma de muestras de saliva: a) Animal impregnando de saliva la torunda de algodón. b) Introducción de la torunda en el vial para su posterior centrifugado. c) Muestra tras el centrifugado.

Los viales con las muestras de saliva congeladas se mantuvieron a -20 °C hasta su análisis, que se llevó a cabo en el laboratorio del Centro de Pruebas de Porcino del ITACyL (Hontalbilla, Segovia). Para la determinación de la concentración de cortisol se utilizó un kit ELISA de competición (Cortisol free in Saliva ELISA® DES6611, DEMEDITEC Diagnostics GmbH, Kiel-Wellsee, Alemania). La lectura de la absorbancia de los pocillos de las placas se llevó a cabo con un espectrofotómetro (Bio Tek ELx800, BioTek Instruments, Inc., Winooski, Vermont, Estados Unidos) a 450 nm.

2.4. Análisis estadísticos

El ensayo se ha diseñado como un experimento factorial, con estructura de *split-plot* (parcelas subdivididas); a las parcelas principales (salas) se les asignó el factor 'tipo de suelo', y a las parcelas secundarias (boxes), el factor 'sexo'.

Los datos de concentración de cortisol en saliva de las muestras tomadas mañana y tarde, cuando los animales tenían 3,6 y 5,0 meses de edad, se sometieron a análisis de covarianza según el modelo que incluía el 'tipo de suelo' y el 'sexo' como factores fijos, y el correspondiente (mañana o tarde, según el caso) nivel de cortisol a los 2,5 meses de edad (30 kg de peso vivo medio) como covariable, utilizando el procedimiento GLM del programa SAS (SAS Institute, 2002). Para cada factor, se utilizó el término de error adecuado.

Asimismo, se realizó una prueba *t* de medidas apareadas con las concentraciones de cortisol en saliva de mañana y de tarde para cada una de las edades de muestreo, utilizando el procedimiento UNIVARIATE del programa SAS (SAS Institute, 2002).

3. Resultados y Discusión

En esta comunicación se presentan los resultados correspondientes al factor 'tipo de suelo'.

Para todas las edades de muestreo, las concentraciones de cortisol en saliva de la mañana fueron significativamente distintas de las de la tarde: 2,5 meses de edad, $p < 0,0001$; 3,6 meses de edad, $p = 0,0046$; 5,0 meses de edad, $p = 0,0347$. Estos resultados son conformes con la existencia de un ritmo circadiano para los niveles de cortisol.

En la Tabla 2, aparecen los resultados correspondientes al momento en que los cerdos tenían 3,6 meses de edad y un peso vivo medio de, aproximadamente, 60 kg.

A los 3,6 meses, las concentraciones de cortisol en saliva de los cerdos alojados en el suelo RM fueron numéricamente mayores que las de los alojados en el suelo HH, tanto por la mañana como por la tarde, pero el efecto del tipo de suelo solo resultó significativo por la mañana, probablemente debido a la gran variabilidad de los datos de la tarde (véase el EEM, error estándar de la media). Para ambos tipos de suelo, los valores de cortisol en saliva fueron menores por la tarde que por la mañana, y el ritmo circadiano fue más marcado en el caso de los animales del suelo HH: en estos, el

valor medio de la tarde supuso el 80,6 % del de la mañana, mientras que en los del suelo RM, el 97,9%.

Tabla 2. Efectos del tipo de suelo sobre la concentración de cortisol en saliva[1] de los cerdos de 3,6 meses de edad (60 kg PV), en ng·mL^{-1}.

	N	Mañana	Tarde
Tipo de suelo2			
HH	65	8,28	6,68
RM	69	8,85	8,67
EEM		0,025	0,669
p		*0,0393*	*0,2789*

[1] Son medias de mínimos cuadrados.
[2] HH: suelo continuo de hormigón + enrejillado de hormigón; RM: suelo continuo de resina epoxídica + enrejillado metálico.
N: número de observaciones.
p: probabilidad (análisis de covarianza).
EEM: error estándar de la media.

En la Tabla 3 están reflejados los resultados para el momento en que los cerdos tenían 5,0 meses de edad y un peso vivo medio de, aproximadamente, 100 kg.

Tabla 3. Efectos del tipo de suelo sobre la concentración de cortisol en saliva[1] de los cerdos de 5,0 meses de edad (100 kg PV), en ng·mL^{-1}.

	N	Mañana	Tarde
Tipo de suelo[2]			
HH	65	7,86	8,87
RM	69	8,75	8,89
EEM		0,135	0,035
p		*0,1323*	*0,7540*

[1] Son medias de mínimos cuadrados.
[2] HH: suelo continuo de hormigón + enrejillado de hormigón; RM: suelo continuo de resina epoxídica + enrejillado metálico.
N: número de observaciones.
p: probabilidad (análisis de covarianza).
EEM: error estándar de la media.

Como a los 3,6 meses, a los 5,0 meses de edad, por la mañana y por la tarde, las concentraciones de cortisol en saliva de los cerdos alojados en el suelo RM fueron numéricamente mayores que las de los alojados en el suelo HH, pero en ningún caso las diferencias resultaron significativas. Contrariamente a lo observado a los 3,6 meses de edad, a los 5,0 meses los valores de cortisol en saliva fueron mayores por la tarde que por la mañana, aunque a esta última edad el ritmo circadiano también fue más acusado en el caso del suelo HH: para los cerdos alojados en este tipo de suelo, el valor medio de la tarde supuso el 112,8 % del de la mañana, mientras que para los alojados en el suelo RM, el 101,6 %.

Por otra parte, en ambos tipos de suelo, al aumentar la edad (y peso) de los animales, se produjo un incremento tanto del contenido en cortisol más elevado (el de la mañana a los 3,6 meses de edad y el de la tarde a los 5,0 meses) como del más bajo (el de la tarde a los 3,6 meses de edad y el de la mañana a los 5,0 meses).

El incremento del contenido en cortisol observado al aumentar la edad de 3,6 meses (aproximadamente, 15 semanas) a 5,0 meses (21 semanas) coincide en gran medida con lo

observado por Evans et al. (1988), en cerdas Yorkshire x Landrace, quienes encontraron niveles de cortisol en sangre mayores a las 12 y 24 semanas de edad que a las 16 y 20 semanas, y por Hillmann et al. (2008) en hembras y machos castrados entre 60 y 100 kg de peso vivo; no coincide, sin embargo con lo observado por Ruis et al. (1997), trabajando con hembras y machos castrados Great Yorkshire x (Great Yorkshire x Landrace), quienes señalan una disminución de la concentración basal de cortisol en saliva entre las 12 y las 24 semanas de edad, ni con la reducción gradual de dicha concentración entre las 15 y las 22 semanas apuntada por De Jong et al. (2000) utilizando también hembras y machos castrados Great Yorkshire x (Great Yorkshire x Landrace). Posiblemente, diferencias entre géneros (machos enteros, machos castrados, hembras) y entre tipos genéticos para el desarrollo del eje hipotalámico-hipofisario-adrenal puedan estar relacionadas con esta disparidad de resultados observados.

En nuestro trabajo, los niveles de cortisol en saliva fueron mayores por la mañana que por la tarde cuando los cerdos tenían 3,6 meses de edad (60 kg de peso vivo) y sucedió lo contrario cuando tenían 5,0 meses (100 kg PV). En otros estudios, el ritmo circadiano de los niveles basales de las concentraciones de cortisol en sangre y saliva conlleva generalmente valores más elevados por la mañana que por la tarde o por la noche (Evans et al., 1988; Ekkel et al., 1996); algunos autores observan incluso dos picos diarios de cortisol (De Leeuw y Ekkel, 2004; Hillmann et al., 2008), posiblemente debido a aplicar alimentación restringida con dos suministros de alimento al día. No obstante, los datos del trabajo de Ruis et al. (1997) apuntan a un retraso del pico de cortisol del ritmo circadiano al aumentar la edad de los animales, y Hillmann et al. (2008) señalan que los dos picos diarios que observaron ocurrieron a las 12.00 y a las 05.00 h cuando los cerdos pesaban 60 kg, entre las 12.00 y las 15.00 h y entre las 06.00 y las 09.00 cuando pesaban 80 kg, y a las 16.00 y a las 06.00 h cuando alcanzaron los 100 kg. Nuestros resultados parecen confirmar la tendencia al retraso, con el aumento de la edad de los animales, del pico de cortisol del ritmo circadiano que se desprende de los trabajos de Ruis et al. (1997) y Hillmann et al. (2008).

En nuestro estudio, a los 3,6 y a los 5,0 meses de edad (60 y 100 kg PV, respectivamente), los cerdos alojados en los corrales con suelo RM tuvieron concentraciones de cortisol en saliva numéricamente mayores que los alojados en el suelo HH, tanto por la mañana como por la tarde, si bien no siempre las diferencias fueron significativas; además, las variaciones de los niveles de cortisol entre mañana y tarde fueron más marcadas en el caso de los animales alojados en el suelo HH que en el de los alojados en el suelo RM. Si tenemos en cuenta que los niveles basales de cortisol en saliva más elevados van asociados con situaciones de estrés crónico (De Jonge et al., 1996; Wiepkema y Koolhaas, 1993) y que a menudo se han registrado ritmos circadianos más aplanados en dichas situaciones (De Jong et al., 2000), parece deducirse que, en las condiciones de nuestro trabajo (cebo en suelo con enrejillado parcial), el suelo RM fue más estresante para los animales que el suelo HH, probablemente porque un acabado impermeable del suelo continuo y un enrejillado metálico resultaron más resbaladizos que un suelo continuo poroso y un enrejillado de hormigón.

4. Conclusiones

En cebo sobre suelo parcialmente enrejillado, el acabado impermeable (resina epoxídica) del suelo continuo y el enrejillado metálico parecen más estresantes para los cerdos que el suelo continuo de hormigón y el enrejillado de hormigón.

Por otro lado, la evolución con la edad de los animales de su ritmo circadiano para el cortisol en saliva y la influencia de las situaciones estresantes sobre la forma de dicho ritmo hacen aconsejables los muestreos de saliva mañana y tarde para evaluar adecuadamente el estrés crónico sufrido por los cerdos.

Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias al proyecto INIA con código RTA2013-00090-C02-02.

Bibliografía

Cook, N.J., Schaefer, A.L., Lepage, P. and Morgan Jones, S. 1996. Salivary vs serum cortisol for the assessment of adrenal activity in swine. *Canadian Journal of Animal Science* 76: 329-335.

De Jong, I. C., Ekkel, E. D., Van De Burgwal, J. A., Lambooij, E., Korte, S. M., Ruis, M. A. W., Koolhaas, J. M. and H. J. Blokhuis. 1998. Effects of strawbedding on physiological responses to stressors and behavior in growing pigs. *Physiology & Behavior* 64(3): 303-310.

De Jong, I.C., Prelle, I.T., Van de Burgwal, J.A., Lambooij, E., Mechiel Korte, S., Blokhuis, H.J. and Koolhaas, J.M. 2000. Effects of environmental enrichment on behavioral responses to novelty, learning, and memory, and the circadian rhythm in cortisol in growing pigs. *Physiology & Behavior* 68: 571-578.

De Jonge, F.H., Bokkers, E.A.M.; Schouten, W.G.P. and Helmond, F.A. 1996. Rearing piglets in a poor environment: developmental aspects of social stress in pigs. *Physiology & Behavior* 60: 389-396.

De Leeuw, J.A. and Ekkel, E.D. 2004. Effects of feeding level and the presence of a foraging substrate on the behaviour and stress physiological response of individually housed gilts. *Applied Animal Behaviour Science* 86: 15-25.

Ekkel, E. D., Dieleman, S. J., Schouten, W. G. P., Portela, A., CornéLissen, G., Tielen, M. J. M. and Halberg, F. 1996. The circadian rhythm of cortisol in the saliva of young pigs. *Physiology & Behavior* 60(3) 985-989.

Evans, F. D., Christopherson, R. J., and Aherne, F. X. 1988. Development of the circadian rhythm of cortisol In the gilt from weaning until puberty. *Canadian Journal of Animal Science* 68: 1105-1111.

Hillmann, E., Schrader, L., Mayer, C. and Gygax, L. 2008. Effects of weight, temperature and behaviour on the circadian rhythm of salivary cortisol in growing pigs. *Animal* 2_3: 405-409.

Marin, A., Pozza, G., Candotti, P., Pasotto, M., Marisilo, E., Ragno, E., Rota Nodari, S. and Ravarotto, L. 2005. Determinazione del cortisolo salivare in suini sottoposti a tre diverse tipologie di pavimentazione con l'utilizzo di un sistema analítico in chemioluminiscenza. *Large Animals Review*, Anno 11, 3: 31-36.

Merlot, E., Thomas, F., Mounier, A.M., Dourmad, J.Y., Lebret, B. and Prunier, A. 2010. Influence de la race et du mode de logement sur la sécrétion de cortisol, l'immunite et la santé des porcs à l'engrais. Journees Recherche Porcine CE4: 21-26

Nyberg, L., Lundstrom, K., Edfors-Lilja, I. and Rundren, M. 1988. Effects of transport stress on concentrations of cortisol, corticosteroid-binding globulin and glucocorticoid receptors in pigs with different halothane genotypes. *Journal of Animal Science* 66: 1201-1211.

Ruis, M. A. W., Te Brake, J. H. A., Engel, B., Ekkel, E. D., Buist, W. G., Blokhuis, H. J. and Koolhaas, J. M. 1997. The circadian rhythm of salivary cortisol in growing pigs: effects of age, gender and stress. *Physiology & Behavior* 62(3): 623-630.

SAS Institute. 2002. SAS/STAT® User´s Guide, version 9. SAS Institute Inc. Cary, NC.

Wiepkema, P.R. and Koolhaas, J.M. 1993. Stress and animal welfare. *Animal Welfare*. 2: 195-218.

Influencia del sexo sobre el crecimiento de lechones destetados en condiciones reales de explotación

Carmen Muiños[1], Roberto Besteiro[2], Tamara Arango[3], Mª Dolores Fernández[4], M. Ramiro Rodríguez[5]

[1] Grupo de investigación GI-1720, Energía, Mecanización y Modelización Agroforestal, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Universitario s/n 27002 Lugo, carmen.muinos@rai.usc.es
[2] roberto.besteiro@rai.usc.es
[3] tamara.arango@rai.usc.es
[4] mdolores.fernandez@usc.es
[5] manuelramiro.rodriguez@usc.es

Resumen

Durante dos ciclos completos de transición de lechones a partir 21 días de edad se alojaron 50 hembras y 50 machos en dos corrales de una sala de una explotación comercial del noroeste peninsular. La comparación de medias mediante la prueba T de Student estudió el efecto del sexo sobre el crecimiento de los lechones, caracterizado por el peso medio semanal y la ganancia media diaria (GMD) de cada grupo. Además se caracterizó la evolución del crecimiento de los lechones así como el ambiente de la sala a través de mediciones de temperatura, humedad y concentraciones de CO_2 y NH_3.

Los ciclos se desarrollaron en condiciones ambientales adecuadas, con temperaturas y humedades relativas medias dentro de las recomendaciones de cría, y solamente entorno a un 8 y 6% de los valores diez-minutales de concentraciones de CO_2 y NH_3 por encima de los límites recomendados. En estas condiciones, no se observaron diferencias significativas entre ambos sexos para el peso ni para la GMD de los lechones en ninguno de los dos ciclos. Durante la primera semana post destete se produce una reducción de la velocidad de crecimiento (mayor en el caso de los machos) propiciada por el efecto del destete. Los resultados se adaptan a las curvas teóricas, con mayores velocidades de crecimiento en las últimas semanas del ciclo, pero por debajo de estas, probablemente por las condiciones adecuadas pero subóptimas que se presentan en la explotación. En cuanto a la evolución semanal del peso de los lechones, ésta sigue una curva de crecimiento parabólica, con un coeficiente de determinación de 0,997 para ambos sexos.

Palabras clave: ambiente, peso, hembra, macho, lechón, ganancia media diaria.

Influence of sex on the growth of weaned piglets under real operating conditions

Abstract

During two full cycles, 50 female piglets and 50 male piglets from 21 days were housed in two different pens of a commercial farm in the norwest of Spain. Independent t-test was used to compare the effect of gender on the piglet's growth. Growth is characterized by average body weight and average daily gain (ADG) of each group. In addition, it has been characterized the evolution growth of the piglets, as well as the room environment through temperature, humidity, CO_2 and NH_3 measurements.

Results show how cycles are under suitable environmental conditions. Average temperature and humidity are within recommended values. Only about 8 and 6% of the CO_2 and NH_3 concentrations are above recommended limits. Under these conditions, neither body weight nor ADG showed significant differences. During the first week post-weaning there is a decrease in the growth rate (greater for males) promoted by the weaning effect. Despite of results are adapted to the theoretical curves, with higher growth rates in the last weeks of cycle, the growth curves of this work in comparison to the theoretical curves are below due to the sub-optimal conditions of the farm. The evolution of the piglet's weight weekly fit perfectly to a parabolic growth curve with a coefficient of determination of 0,997 for male and female groups.

Keywords: environment, weight, female, male, piglet, average daily gain.

1. Introducción

Uno de los factores más importantes para la productividad de las explotaciones porcinas es el crecimiento de los animales caracterizado por su ganancia media diaria (GMD). El crecimiento de los lechones es el resultado de factores relacionados con el animal (genética, sexo, sanidad, etc), su dieta (cantidad, calidad, programa de alimentación, etc.) y el ambiente (clima, manejo, instalaciones, etc).

Aunque la mayor ganancia de peso de los animales se produce durante la etapa final, el cebo, el análisis de la fase de transición es de especial importancia ya que en su inicio, el destete, se produce uno de los momentos más estresantes en la vida del lechón. Son separados bruscamente de su fuente de alimento y confort y trasladados a otra nave diferente donde reciben únicamente pienso (Forcada et al., 2009), con cambios en su estado de salud, en el nivel y balance de nutrientes de la dieta, en la palatabilidad de los ingredientes, en las formas de presentación de la dieta, en el abastecimiento y calidad del agua y cambios en las prácticas ganaderas, que a su vez influyen en el consumo de alimento (Dong y Pluske, 2007). Todos estos cambios propician una disminución del crecimiento debido a la restricción de la ingesta de alimento mientras el lechón se aclimata a las nuevas condiciones ambientales y alimenticias (Le Dividich y Seve, 2000).

De los múltiples factores que afectan al crecimiento, el sexo de los animales es de gran importancia. Diversos estudios ponen su atención sobre el efecto del sexo sobre diferentes parámetros productivos (Castell and Strain, 1985; Borah et al., 2016; Sheikh et al., 2017), siendo de gran interés para todo el sector ganadero. La bibliografía arroja resultados contradictorios en cuanto a la influencia del sexo, posiblemente por la variedad de ensayos realizados en diferentes condiciones de alojamiento, edad, genética, etc. Numerosos autores apuntan hacia diferencias en los rendimientos de crecimiento entre machos y hembras durante el período de engorde-finalización. Así Morrison et al. (2009) y Morales et al. (2014) establecieron que machos inmunocastrados y machos castrados crecieron más rápido que las hembras a lo largo del ciclo. Otras referencias sin embargo no encontraron diferencias en los pesos finales entre machos y hembras a distintas edades de sacrificio (Borah et al., 2016). Tampoco Skorjanc et al. (2007) encontraron diferencias significativas en la GMD durante la etapa de lactación entre machos y hembras. Aunque la mayoría de los resultados se centran en el estudio de las últimas etapas de cebo, también es necesario prestar atención a la influencia del sexo en las primeras fases de cría.

En la fase de transición el lechón pasa de 5 e 20 kg de peso vivo en aproximadamente 6 semanas, lo cual va acompañado de una gran variación de los requerimientos climáticos. Las recomendaciones de temperatura para lechones en fase de transición van descendiendo desde 28 a 24 ºC en las dos primeras semanas (Jean Le Dividich y Herpin, 1994; Close y Stanier, 2010) y alrededor de 2–3ºC por semana en las siguientes hasta alcanzar la temperatura del alojamiento de cebo. Además de la temperatura, la calidad del aire es un parámetro de creciente interés, no solo por su efecto en el rendimiento productivo de los animales, sino también por los problemas ambientales y de bienestar animal que generan. La adaptación a estas condiciones cambiantes no siempre se consiguen en las explotaciones convencionales con gran precisión, por lo que, sería de gran utilidad para los ganaderos la obtención de resultados en condiciones de explotación convencional que, a veces, están alejadas de los ensayos realizados en condiciones controladas de laboratorio.

El objetivo del presente trabajo es analizar en condiciones reales de explotación, la influencia del sexo sobre el peso medio semanal y la GMD de lechones destetados con 21 días de edad, durante dos ciclos completos de transición de 40 días de duración. También se monitorizaron variables ambientales como la temperatura, humedad relativa y concentraciones de CO_2 y NH_3, con la finalidad de caracterizar el clima en el que fueron criados los animales.

2. Materiales y Métodos

Las mediciones se llevaron a cabo durante dos ciclos completos de transición en una sala de lechones destetados de una explotación comercial del noroeste peninsular. En cada ciclo de transición se seleccionaron dos lotes de lechones híbridos Largewhite x Landracede 50 hembras y 50 machos, destetados a las tres semanas. Estos se alojaron en dos corrales contiguos de una sala con capacidad total para 16 corrales, de 10 m2 cada uno, correspondiéndole a cada animal una superficie de 0.20 m2 (Figura 1).

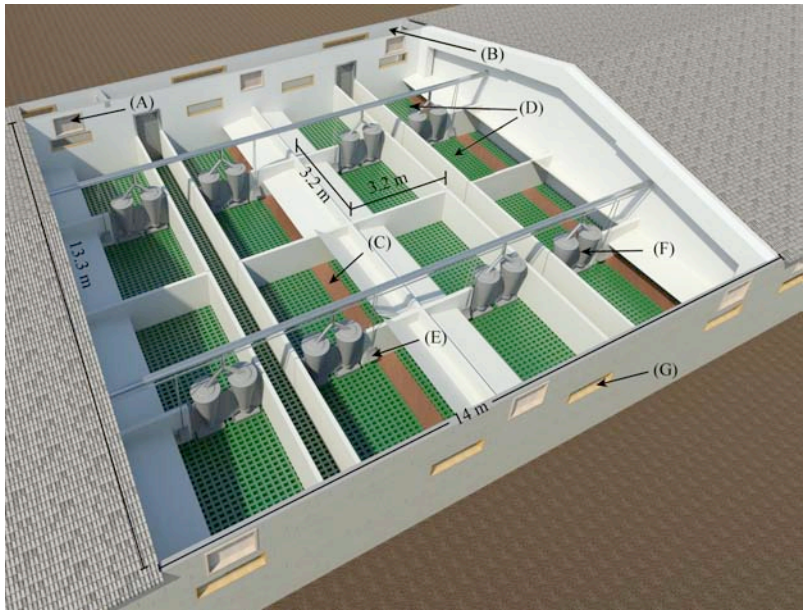


Figura 1: Sala de destete donde se realizaron las mediciones. (A) Entrada de aire (B) Corredor exterior (C) Placa calefactora (D) Corrales utilizados para machos y hembras (E) Bebedero (F) Comedero (G) Ventana

El sistema de ventilación de la sala estaba basado en un ventilador individual con una chimenea de 3 m de longitud. Los corrales, constituidos por separadores de PVC de 0.70 m de altura, tenían suelos totalmente emparrillados y una placa calefactora, de 1.95 m^2, bajo una cubierta de PVC a 0.70 m de altura. Los lechones fueron alimentados *ad libitum* con piensos compuestos proporcionados en una tolva húmeda doble compartida por dos corrales. La tolva se llenó diariamente a las 01:00, 08:00, 12:00, 16:00 y 20:00 h. Los cerdos fueron alimentados con una dieta lactoiniciadora (19,90% proteína bruta, 1,55% lisina, 2,54% fibra bruta, 6,30% contenido de grasa bruta) durante los cinco primeiros días post destete, una dieta pre-iniciación (20.11% proteína bruta, 1.48% lisina, 2.58% fibra bruta, 7,11% contenido de grasa bruta) de 6 a 20 días después del destete y una dieta de iniciación (18,70% proteína bruta, 1,35% lisina, 3,02% fibra bruta, 6,00% contenido de grasa bruta) desde el día 21 hasta el final del ciclo. El agua fue suministrada con un bebedor de chupete colocado cerca del alimentador.

Para mantener las necesidades ambientales de los animales, se asignó una temperatura de consigna para el sistema de climatización de 26ºC durante la primera semana, reduciéndose progresivamente al ritmo de 1ºC por semana. La sala estaba suficientemente iluminada de forman natural, por lo que la iluminación utilizada fue natural. Para controlar las condiciones ambientales reales se instalaron en la zona animal, a una altura de 30 cm: un sensor inteligente de temperatura/humedad (S-THB-M00x) con una precisión de 0,2ºC y +/- 2.5% respectivamente; un transmisor de CO_2 (HD37BTV.1 – Delta Ohm) con precisión de +/- 50 ppm y un sensor electroquímico de NH_3 (Murco MGS EC), todos ellos conectados a un colector de datos HOBO® FlexSmart H-22. Se tomaron mediciones diez-minutales de cada variable.

Los animales fueron pesados en pequeños grupos semanalmente obteniendo un total de 7 pesadas por ciclo. Posteriormente, se obtuvieron los pesos medios de cada grupo, así como la GMD de los

mismos por semanas. Finalmente, con el fin de analizar si el sexo es un factor que influye en el crecimiento durante la fase de transición, se llevó a cabo una prueba T de comparación de medias para muestras independientes, tanto con los pesos medios semanales de cada lote en cada ciclo como con las GMD de los mismos. Además se obtuvieron las curvas polinómicas de crecimiento de los animales y se compararon los resultados productivos con los indicados en la bibliografía de referencia.

3. Resultados y Discusión

3.1. Caracterización ambiental de los ciclos

La temperatura es la variable ambiental más importante en la cría de lechones, pues se debe aportar a los lechones un ambiente térmico óptimo para reducir los efectos del estrés post-destete y maximizar la curva potencial de crecimiento de los mismos. En este sentido, Forcada et al. (2009) establecieron diferentes recomendaciones de temperatura dependientes de la edad del animal, además de marcar las temperaturas críticas inferior y superior (TCI y TCS), y un rango de temperaturas óptimas inferior y superior (TOI-TOS). De acuerdo con esta clasificación, se observa en la Tabla 1, que durante los dos ciclos estudiados las condiciones térmicas de la sala se encuentran en todo momento dentro de un rango de temperaturas adecuadas, no sobrepasando en ningún momento las temperaturas críticas. Únicamente durante la segunda etapa del primer ciclo aparecen un 99,6% de las mediciones entre la temperatura óptima superior y la temperatura crítica superior, aunque sin llegar a superar nunca este último umbral. En general se puede afirmar que las temperaturas durante el ciclo 1 fueron ligeramente superiores a las del ciclo 2.

Tabla 1. Porcentajes de mediciones diezminutales de temperatura dentro de los rangos recomendados

		< TCI	**TCI-TOI**	**TOI-TOS**	**TOS-TCS**	**>TCS**
8-15 kg		*< 20*	*20-22*	*22-28*	*28-37*	*>37*
	Ciclo 1	0%	0%	62,4%	37,6%	0%
	Ciclo 2	0%	3,4%	96,5%	0,1%	0%
16-25 kg		*<15*	*15-17*	*17-26*	*26-35*	*>35*
	Ciclo 1	0%	0%	0,4%	99,6%	0%
	Ciclo 2	0%	0%	58,3%	41,7%	0%

* Adaptado de Forcada et al. (2009)

Las humedades relativas (HR) registraron también valores adecuados a las recomendaciones (Forcada et al., 2009), con un 90 y 80% de los valores diez-minutales en el rango de 50-70% de HR durante los ciclos 1 y 2 respectivamente. Además solamente el 0,6% de valores del ciclo 2 superan el 80% de HR. Sólo una HR muy baja, inferior al 40%, perjudica a los cerdos porque seca las mucosas, produce tos irritante y reduce la ingesta de alimentos. Por otro lado, una humedad relativa por encima del 80% presenta un efecto indirecto, porque agudiza los efectos de las temperaturas extremas.

En cuanto a la calidad del aire, el parámetro normalmente más utilizado es la concentración de CO_2. Este es producido principalmente durante la respiración de los animales (90% de la producción total de CO_2 (Pedersen et al., 2008), de manera que si no se produce una correcta renovación del aire del interior de los alojamientos, su concentración aumentaría hasta producir efectos nocivos. Según Forcada et al. (2009), para el cerdo se consideran como tóxicos los niveles de 35000 ppm, pero el

porcentaje de CO_2 nunca debería superar el 2000 ppm. La CIGR (International Commission of Agricultural and Biosystems Engeneering) recomienda una concentración máxima de 3000 ppm, lo que coincide con el valor sugerido por Lee et al. (2005).

Las concentraciones medias de CO_2 a lo largo del ciclo 1, evolucionan de manera constante, situándose en torno a las 1500 ppm. Lo mismo ocurre con las concentraciones mínimas. Sin embargo, las concentraciones máximas presentan mayores oscilaciones, llegando a alcanzar valores próximos a 2500 ppm. Por la contra, durante el ciclo 2, las concentraciones medias de CO_2 alcanzaron las 2000 ppm, con máximos puntuales de hasta 3000 ppm (2%), lo que parece estar relacionado con las menores temperaturas registradas en este ciclo, que implicaron menores tasas de ventilación que durante el ciclo 1, con la consecuente menor renovación del aire.

Finalmente las concentraciones medias de amoníaco en la sala durante el ciclo 1 se mantiene por debajo del nivel de 10 ppm recomendado por múltiples autores (Cargill et al., 2002; Forcada et al., 2009). En vista de que las concentraciones máximas sí superan dicho límite, se comprobó que solamente el 5,78% de los datos diez-minutales recogidos se encuentran por encima de 10 ppm. En el ciclo 2 también se obtienen concentraciones medias de amoníaco por debajo de 10 ppm, superando este valor sólo el 1,39% de los valores diez-minutales.

3.2. Influencia del sexo en el crecimiento

Los resultados de las pesadas realizadas a los animales se muestran en la tabla 2. A lo largo de los ciclos el número de animales de cada corral se va reduciendo, bien debido a la muerte, enfermedad o retraso en el crecimiento de los lechones. Durante el ciclo 1 se retiraron un total de 6 machos y 1 hembra mientras que 3 machos fueron retirados durante el ciclo 2. Esta reducción del número de animales fue tenida en consideración a la hora de calcular los diferentes parámetros productivos.

Tabla 2. Evolución del peso de los animales durante los ciclos estudiados.

Ciclo	Semanas Post-destete	Edad (días)	Peso (kg)	
			Hembras	Machos
1	0	21	6,49	6,75
	1	26	6,56	6,63
	2	33	8,17	8,08
	3	40	10,52	10,46
	4	47	13,37	13,49
	5	54	16,68	16,69
	6	61	19,32	19,90
2	0	21	6,72	7,32
	1	29	7,01	7,48
	2	36	8,55	8,95
	3	43	11,23	11,41
	4	50	14,54	14,91
	5	57	17,35	17,79
	6	59	19,07	19,41

La aplicación de la prueba T de comparación de medias, tanto con los pesos medios semanales de cada lote en cada ciclo como con las GMD no proporcionó diferencias significativas entre los pesos de machos y hembras durante la fase de transición. Las diferencias durante el destete fueron muy pequeñas tanto en peso como en ganancia del mismo a lo largo del ciclo. Este resultado concuerda con los estudios de Bruininx et al. (2001) o Dunshea et al. (2002) en lechones destetados, en los que

no encontraron diferencias en el crecimiento entre sexos. Díaz et al. (1990) tampoco encontraron diferencias significativas en la GMD entre cerdos castrados, enteros y hembras con pesos a partir de 32 kg de durante un período denominado de recría. Similares conclusiones obtuvieron Sheikh et al. (2017) en cerdos entre 20-50 kg de peso vivo. Skorjanc et al. (2007) tampoco detectaron diferente GMD entre machos y hembras en la etapa de lactación. Por el contrario, algunos autores sí apuntan hacia la existencia de diferencias en la velocidad de crecimiento, como encontraron Sterten et al. (2009) o Renaudeau et al. (2006) entre machos castrados y hembras en la etapa de cebo.

Por otro lado, en la Figura 2 se pueden observar ligeras diferencias al principio y al final del ciclo en la GMD de los lotes. Durante la primera semana post destete, coincidiendo con el periodo crítico de la fase del destete, entra dentro de la normalidad una reducción de la velocidad de crecimiento o incluso una pérdida de peso debido al estrés del destete. En esta semana las hembras presentaron un crecimiento ligeramente mayor a los machos (+13 *Vs* -24 g/día el ciclo 1, +58 *Vs* +20 g/día el ciclo 2). Esto apoya la hipótesis de Dunshea et al. (2002) según la cual las hembras y los lechones menos pesados soportan mejor el estrés del destete que los machos, ya que existen menos disputas sociales y se adaptan más rápidamente a las nuevas condiciones. También Bruininx et al. (2001) encontraron una mayor GMD de las hembras durante los primeros días post-destete, efecto que se diluye cuando se computa el período completo de transición.

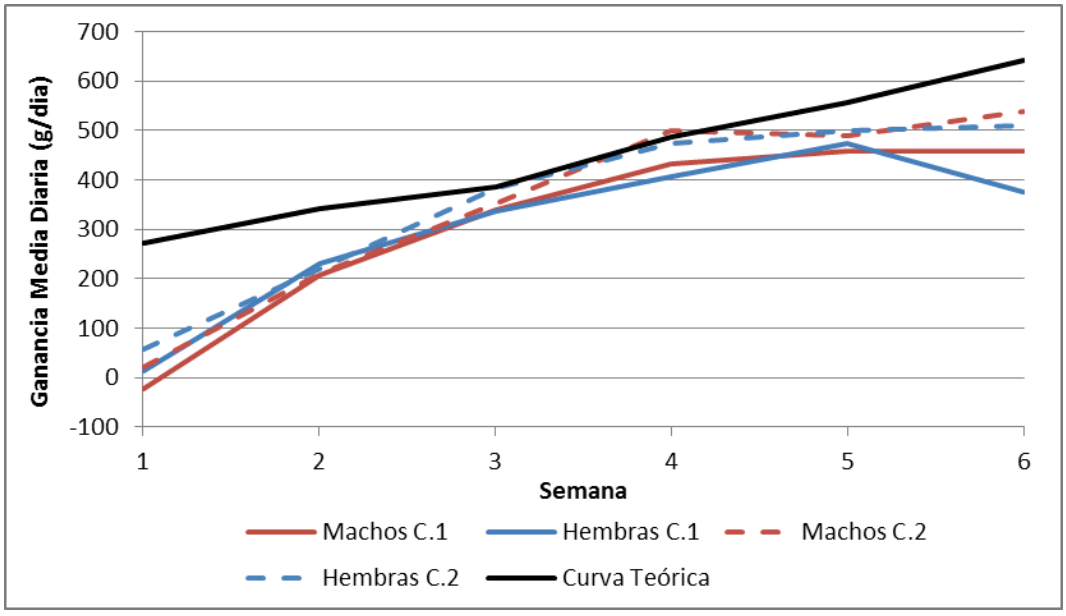


Figura 1. Curvas de crecimiento de los machos y las hembras en los dos ciclos analizados junto con la curva teórica de Aldaz (2002)

Las curvas de velocidad de crecimiento de los lechones durante ambos ciclos comparadas con la curva teórica de crecimiento propuesta por Aldaz (2002) presentan valores muy inferiores durante las dos primeras semanas, aproximándose a partir de la tercera a las velocidades de crecimiento teóricas. Durante el ciclo 1, la última semana de ciclo se redujo la GMD de las hembras, y aunque esta situación puede ser debida a múltiples aspectos, las temperaturas ligeramente elevadas de la segunda parte de ciclo junto a la mayor densidad de animales en ese corral, pueden estar detrás de este fenómeno. Además, durante ambos ciclo, la GMD tiende a estabilizarse durante las tres últimas semanas e valores próximos a los 400-500 g/día.

3.3. Caracterización del crecimiento de los lechones

A continuación, se ha obtenido la ecuación de la curva que describe la evolución del peso vivo medio de machos y hembras según su edad en días para ambos ciclos (Figuras 3 y 4). Múltiples autores han representado la evolución del crecimiento de los lechones a través de una curva exponencial (Vincek et al., 2012; Novák et al., 2014). Sin embargo, en el presente estudio se optó por emplear una ecuación polinómica por tratarse de la tendencia lineal que mejor se ajusta a los datos recogidos. NRC (1998) también describe la ganancia de magro mediante curvas polinómicas como una forma de estimación indirecta del incremento de peso.

Al igual que se deducía de la Figura 2, durante las dos primeras semanas post destete el incremento de peso ocurre de forma más lenta, lo cual coincide con el periodo crítico descrito por Dong y Pluske (2007). Una vez superado el estrés inicial que supone el destete, a partir de la tercera semana los animales aumentan de peso de forma más rápida, lo cual se puede apreciar en la mayor pendiente de la curva.

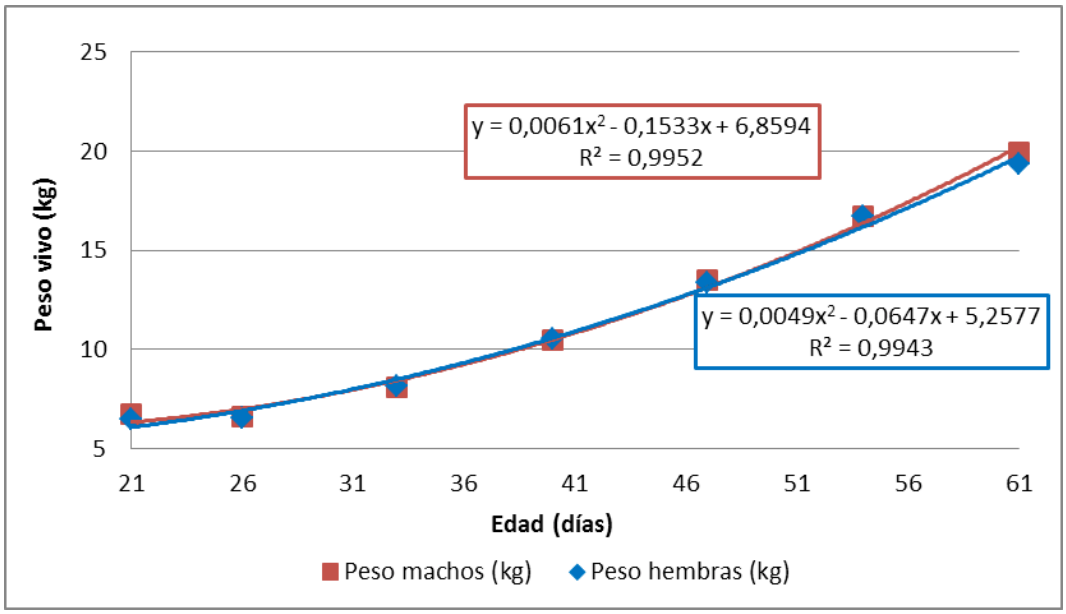


Figura 3. Curva de crecimiento de los lechones durante el ciclo 1

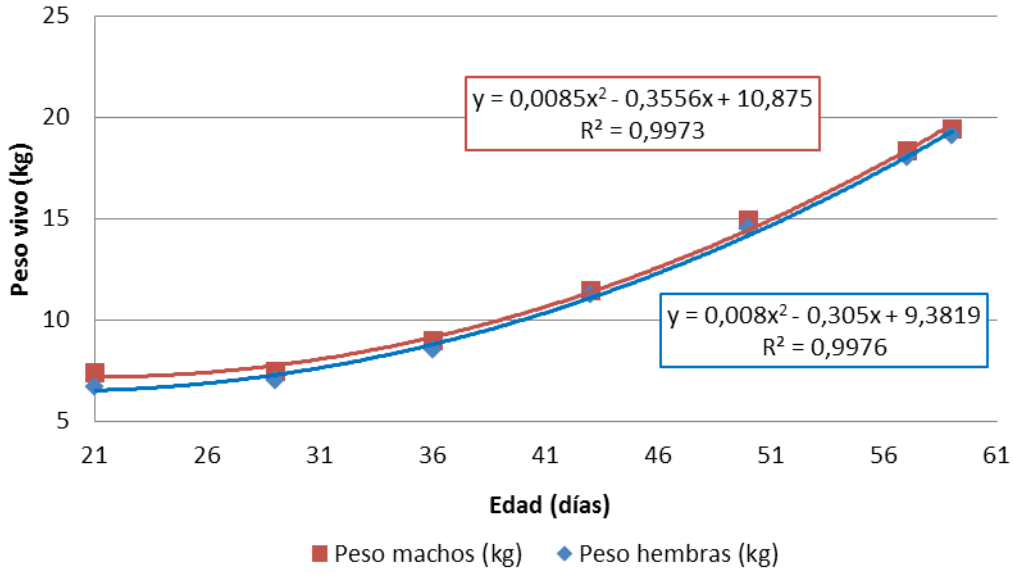


Figura 4. Curva de crecimiento de los lechones durante el ciclo 2

Teniendo en cuenta que no se detectaron diferencias significativas en el crecimiento entre machos y hembras en los dos ciclos estudiados, se propone la siguiente curva parabólica (Ecuación 1) de crecimiento para ambos sexos y para un ciclo completo de transición expresado en días, que alcanza un coeficiente de determinación de 0,997 según las mediciones registradas:

$$y = 0{,}0069x^2 - 0{,}2196x + 8{,}0935 \quad (1)$$

*Donde y = peso del lechón en kg, x = edad del lechón en días

4. Conclusiones

En vista de los resultados obtenidos durante dos ciclos de transición en una explotación comercial de lechones destetados del noroeste peninsular, en la que se mantuvieron unas condiciones ambientales adecuadas para el alojamiento de los animales, no existen diferencias significativas entre el crecimiento de machos y hembras en lechones de 6 a 20 kg de peso vivo. Sin embargo, se observó un mejor comportamiento productivo de las hembras durante la primera semana post-destete, lo que parece indicar que éstas soportan mejor el estrés producido por el destete que sus compañeros. Además, se comprobó que la mejor forma de modelar la evolución del crecimiento de los lechones criados en estas condiciones es a través de una ecuación parabólica, alcanzando un alto grado de precisión.

Bibliografía

Aldaz, A. 2002. Enfermedades respiratorias del cerdo: Algunos aspectos prácticos a considerar en el diagnóstico y control para la resolución de casos clínicos. *Anaporc. Revista de porcinocultura*, 221: 78–102.

Borah, P., J. R. Bora, R. N. Borpuzari, A. Haque, R. Bhuyan and S. Hazarika. 2016. Effect of age, sex and slaughter weight on productive performance, carcass characteristics and meat quality of crossbred (Hampshire X Assam Local) pigs. *Indian Journal of Animal Research*, 50 (4): 601–5. doi:10.18805/ijar.11250.

Bruininx, E. M. A. M., J. W. Schrama, P. F. G. Vereijken, P. C. Vesseur, H. Everts, L. A. Den Hartog and A. C. Beynen. 2001. Individually measured feed intake characteristics and growth performance of group-housed weanling pigs: Effects of sex, initial body weight, and body weight distribution within groups 1 , 2. *American Society of Animal Science*, 79: 301–8.

Cargill, C., T. Murphy and T. Banhazi. 2002. Hygiene and air quality in intensive housing facilities in Australia. *Animal Production in Australia*, 24: 387–93.

Close, W. H. and M. W. Stanier. 2010. Effects of plane of nutrition and environmental temperature on the growth and development of the early-weaned piglet 1. Growth and body composition. *Animal Production*, 38 (2): 211–20. doi:10.1017/S0003356100002208.

Díaz, I., J. C. Vilas, A. Skoknic and J. Luengo. 1990. Efecto del sexo sobre la respuesta productiva y caracteristicas de la canal de cerdos en crecimiento y engorda. *Agricultura Tecnica*, 50 (2): 113–19.

Dong, G. Z. and J. R. Pluske. 2007. The low feed intake in newly-weaned pigs: Problems and possible solutions. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20 (3): 440–52. doi:10.5713/ajas.2007.440.

Dunshea, F. R., D. K. Kerton, P. D. Cranwell, R. G. Campbell, B. P. Mullan, R. H. King and J. R. Pluske. 2002. Interactions between weaning age, weaning weight, sex, and enzyme supplementation on growth performance of pig." *Australian Journal of Agricultural Research*, 53: 939–45.

Forcada, F., D. Babot, A. Vidal and C. Buxadé. 2009. *Ganado Porcino. Diseño de Alojamientos e Instalaciones*. Edited by Servet Diseño y Comunicación S.L. Zaragoza.

Le Dividich, J. and P. Herpin. 1994. Effects of climatic conditions on the performance, metabolism and health status of weaned piglets: A review. *Livestock Production Science*, 38(2) : 79-90 doi:10.1016/0301-6226(94)90052-3.

Le Dividich, J. and B. Seve. 2000. Effects of underfeeding during the weaning period on growth, metabolism, and hormonal adjustments in the piglet. *Domestic Animal Endocrinology*, 19: 63–74.

Lee, C., L. R. Giles, W. L. Bryden, J. L. Downing and P. C. Owens. 2005. Performance and endocrine responses of group housed weaner pigs exposed to the air quality of a commercial environment. *Livestock Production Science*, 93 (3): 255–62. doi:10.1016/j.livprodsci.2004.10.003.

Morales, J. I., L. Cámara, J. D. Berrocoso, J. P. López, G. G. Mateos and M. P. Serrano. 2014. Influence of sex and castration on growth performance and carcass quality of crossbred pigs from 2 large white sire lines 1. *American Society of Animal Science*, 89: 3481–89. doi:10.2527/jas.2010-3357.

Morrison, R., J. Pluske, R. Smits and D. Henman. 2009. The use of high cost weaner diets to improve post weaning growth performance, Report prepared for the Co-operative Research Centre for an Internationally Competitive Pork Industry.

Novák, L., L. Zeman, P. Novák and P. Mareš. 2014. Modeling the pigs body mass growth and the stressing factors impact on the daily feed intake. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 53 (5): 105–16.

NRC. 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. 10a Edicion. National Research Council, National Academy Press.

Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, H. Joergensen, A. Chwalibog, A. Haeussermann, M. J. W. Heetkamp and A. J. A. Aarnink. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. Agricultural Engineering International: *CIGR E Journal Manuscript X* (BC 08 008): 1–19. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.

Renaudeau, D., M. Giorgi, F. Silou and J. L. Weisbecker. 2006. Effect of breed (lean or fat pigs) and sex on performance and feeding behaviour of group housed growing pigs in a tropical climate. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 19 (4): 593–600.

Sheikh, G. G., R. P. S. Baghel, S. Nayak and A. A. Ganie. 2017. Effect of sex on growth performance, nutrient utilizationand carcass characteristics in cross bred pigs. *Indian Journal of Animal Research*, 51 (1): 175–78.

Skorjanc, D., M. Brus and M. Candek. 2007. Effect of birth weight and sex on pre-weaning growth rate of piglets. *Archiv Tierzucht*, 50 (5): 476–86.

Sterten, H., T. Froystein, A. S. Ekker and N. P. Kjos. 2009. Influence of feeding regime, sex and fasting time prior to slaughter on growth rate, carcass characteristics, ultimate ph and skin damage of pigs. *Acta Agriculturae Scand Section A*, 59 (3): 142–49.

Vincek, D., K. Sabo, G. Kušec, G. Kralik, I. Durkin and R. Scitovski. 2012. Modeling of pig growth by s-function–least absolute deviation approach for parameter estimation. *Archiv Fur Tierzucht-Archives of Animal Breeding,* 55 (4): 364–74.

Estimación de la temperatura en la zona animal en alojamientos porcinos de transición en base a mediciones indirectas

Tamara Arango[1]; Roberto Besteiro[1]; Carmen Muiños[1]; Mª Dolores Fernández[1], M. Ramiro Rodríguez[1]

[1] Grupo de investigación GI-1720, Energía, mecanización y modelización Agroforestal, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Universitario s/n 27002 Lugo. : tamara.arango@rai.usc.es

Resumen

El objetivo de este trabajo es conocer el valor de la temperatura en la zona animal a partir de mediciones de temperaturas en otras ubicaciones, además de la variación de temperatura que se produce con la altura, así como longitudinal y transversalmente. El estudio se ha realizado en una sala de producción de lechones de 20 kg de p.v., situada en el noroeste peninsular. La sala presenta unas dimensiones de 5,86 x 12,00 m^2 y una altura de 2,05 m. Se ha realizado la medición continua de la temperatura en distintos puntos de un alojamiento durante 7 ciclos de producción. Las variaciones de la temperatura de consigna se realizan de forma progresiva, partiendo de manera usual de una temperatura de 26°C y llegando a los 23°C al final del ciclo. La ubicación óptima de la sonda de temperatura para el equipo de control está entre 2,76 y 3,10 m (eje longitudinal) desde el origen y a 1 m de altura. Se validó la ecuación obtenida para la estimación de las temperaturas en el local a partir de la distancia de ubicación de la sonda con respecto de la entrada de aire para temperaturas medias entre 23 y 28°C. La mejor estimación se obtiene a 5 metros desde la entrada de aire y para la temperatura de 26°C. En la validación de la simulación para el conjunto de temperaturas comprendidas entre 23 y 28°C, se obtiene un error medio de 0,03°C, un error medio absoluto porcentual de 0,07% y un coeficiente R^2 de 0,94.

Palabras clave: distribución térmica, lechones, transición, control ambiental, zona animal.

Estimation of the temperature in the animal zone in weaning buildings based on indirect measurements

Abstract

The aim of this study is to know the temperature value in the animal zone from measurements of temperatures in other locations, besides the temperature variation related with height as well as longitudinally and transversely variation. The study has been developed in a weaning room of a conventional piglet production farm of 20 kg live weight located in the north-west of Spain. The room has 5,86m wide, 12 m of length and 2,05m of height. Continuous temperature measurement has been carried out during 7 production cycles. Variations of the control temperature are carried out gradually over; at the beginning of the cycle the temperature is 28°C and in the end 23°C. The optimal site for the temperature sensor of the control equipment is between 2,76 and 3,10m (longitudinal axis) from the origin and at 1 m height. The equation obtained for the estimation of the local temperatures was validated from the distance of the temperature location respecting to air inlet for the mean temperatures between 23 and 28°C. The best estimation is obtained at 5 m from air inlet and for the temperature of 26°C. For the validation of the whole temperatures simulation between 23 and 28°C is obtained an average error of 0,03°C an absolute percentage error of 0,07% and a R^2 coefficient of 0,94.

Keywords: Thermal distribution, piglets, transition, environmental control, animal zone.

1. Introducción

El ambiente climático incide sobre el crecimiento de los animales debido a su efecto sobre la eficiencia con la que los nutrientes son utilizados para los múltiples procesos metabólicos del organismo. Los factores que influyen en la elección de los sistemas o tipos de alojamiento son

múltiples e incluyen consideraciones climáticas o ambiente climático. Se debe considerar también la salud, el bienestar y el confort de los animales, la provisión y distribución del alimento y el manejo de los residuos producidos. El ambiente climático incide sobre el crecimiento de los animales debido a su efecto sobre la eficiencia con la que los nutrientes son utilizados para los múltiples procesos metabólicos del organismo. Por lo tanto se debe mantener a los animales dentro de su zona de termo neutralidad, donde la producción de calor es mínima y la energía disponible para la producción es máxima. Fuera de esta zona se incrementa la producción de calor y se reduce la eficiencia de utilización de los nutrientes (Close, 2006). La temperatura ambiente es el componente predominante del ambiente climático y el elemento básico de los sistemas de control ambiental en las explotaciones porcinas, especialmente en las de transición por el amplio rango de requerimientos térmicos propios de esta fase. Durante esta fase, las temperaturas óptimas presentan fuertes variaciones en función del estado de desarrollo del animal. Así algunos autores establecen variaciones que van desde 30 - 32°C hasta 19 - 25°C para 5 y 20 kg de p.v. respectivamente (Muirhead y Alexander, 1997). Otros autores, como Le Dividich y Herpin (1994), sugirieron 26-28°C durante las dos primeras semanas posteriores al destete y 24°C para las dos semanas siguientes, a partir de las cuales la temperatura puede reducirse alrededor de 2-3°C semanalmente hasta alcanzar la temperatura mínima para esta fase. En estos alojamientos, el control de las instalaciones de climatización, comúnmente equipados con sistemas de calefacción y ventilación para mantener la correcta calidad del aire interior y el medio ambiente térmico (van Wagenberg et al, 2005), va a estar basado, fundamentalmente, en una única sonda de temperatura y alejada de la zona animal, que es la ubicación donde interesa la temperatura óptima, pero en la realidad la ubicación de los sensores en la zona animal resulta dificultosa debido a las agresiones que puedan sufrir por parte de los lechones.

El objetivo de este trabajo es conocer el valor de la temperatura en la zona animal a partir de mediciones de temperaturas en otras ubicaciones, además de la variación de temperatura que se produce con la altura, así como longitudinal y transversalmente debido a la dinámica de flujos de aire que se establece desde la entrada hasta su salida forzada a través del ventilador. Asi mismo, se pretende la estimación de las temperaturas en el local a partir de la distancia de ubicación de la sonda con respecto de la entrada de aire para temperaturas medias del local comprendidas entre 23 y 28 °C.

2. Materiales y Métodos

La fase experimental del trabajo se realizó en una explotación porcina de producción de lechones de 20 kg de peso vivo, con un censo ganadero autorizado de 4895 madres, situada en el Noroeste peninsular. La sala donde se realizaron las mediciones (fig. 1) está en la nave de destete y alberga 300 lechones en 12 corrales. Presenta unas dimensiones de 5,86x11,82 m^2 y una altura de interior de 2,50 m en la zona de cumbrera y 2,25 m en la pared exterior . La ventilación en la sala se realiza mediante un ventilador con una potencia de 0,48 kW y un caudal máximo de 8 $m^3\ h^{-1}$. La ventilación tiene una doble finalidad ya que va a controlar la temperatura de la sala y mediante la renovación de la atmósfera interior va a controlar la concentración de partículas en suspensión y gases como el vapor de agua, NH_3 o CO_2, proporcionando un ambiente confortable a los lechones. La calefacción es de suelo radiante con agua caliente en cada uno de los corrales.

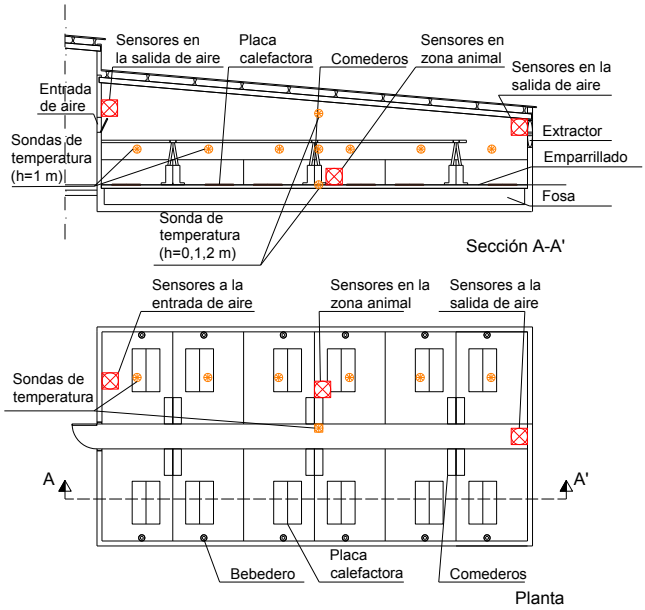


Figura 1. Planta y sección del corral y emplazamiento de las sondas de temperatura.

Se ha realizado la medición en continuo durante 7 ciclos de producción de la temperatura en 10 posiciones, incluida la zona animal con la adecuada protección. Los sensores de temperatura empleados fueron sondas tipo NTC (negative temperature coefficient) modelo 107 de Campbell Scientific Ltd. La tabla 1 muestra sus principales características técnicas.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de los sensores de temperatura utilizados

Rango de medición	Desde -35°C hasta 50°C
Tipo	BetaTherm 100K6A1B Thermistor
Precisión	+/- 0,5°C para 0°C a 50°C
Unidades	Grados centígrados (°C)

3. Resultados y Discusión

Se analizaron un total de siete ciclos de producción de cerdos destetados con un peso vivo entre 6 y 20 kg. La duración media de un ciclo es de 41 días, dentro de un rango de 37 a 43. El peso medio de cada lechón al inicio del ciclo es de 5,60 kg, mientras que el peso medio al final del ciclo es de 18,03 kg, lo que implica una ganancia media diaria de 0,295 Kg. La temperatura media interior para todos los ciclos, medida como media de las temperaturas a 1 m de altura y en el centro de los 6 corrales, es de 26,9°C, y varía en un rango entre 26,2°C para el ciclo VI y 27,8°C para el ciclo I.

De acuerdo con Gates et al (1991), la sensación térmica puede ser muy diferente entre los distintos lechones. Bajo este supuesto y basado en los diferentes requerimientos de temperatura, cada ciclo ha sido dividido en tres períodos, crítico, post-crítico y final. Los períodos crítico y post-crítico tienen una duración de 14 días, mientras que el período final tiene una duración variable y se extiende hasta completar el ciclo.

Las temperaturas en la zona animal son bastante uniformes, y varían entre 24,6 y 28,5°C, siempre por encima de las temperaturas de consigna, con el máximo en 34,2°C y el mínimo de 18,0°C. Estos valores son bajos para el período crítico, pero bastante altos para el período final.

Durante el período crítico, la temperatura media se sitúa próxima a 28ºC, acorde a la temperatura recomendada por Forcada et al (2009), pero por debajo del rango de 30-32°C recomendado por Muirhead y Alexander (1997). Sin embargo, el valor de la temperatura media es excedido en algunos

momentos, alcanzando valores de 34,2°C. Las temperaturas mínimas alcanzan el valor de 18,0°C, muy por debajo de los 26°C de temperatura mínima recomendada por Le Dividich y Herpin (1994).

Generalmente, las temperaturas mínimas se registran durante el inicio de ciclo, a la entrada de los animales, y en menos de dos horas se establecen valores adecuados.

Durante el período crítico, los requerimientos de temperatura son menores. Sin embargo, las temperaturas medias obtenidas, con valores medios entre 26,61 y 28,07°C, exceden los 24°C recomendados por Close y Stanier (1984).

Durante el período final los requerimientos de temperatura descienden drásticamente. Sin embargo las temperaturas medias obtenidas superan los valores máximos recomendados por Muirhead y Alexander (1997) en todos los ciclos, y alcanzan valores máximos de 31,8°C. En contraste, los valores medios de temperatura nunca están por debajo de los valores mínimos recomendados.

La temperatura en el interior del alojamiento sufre variaciones tanto en altura como longitudinal y transversalmente. Analizando el perfil de temperaturas en altura se comprueba que, a nivel del emparrillado, donde se encuentra emplazado el foco calefactor, la temperatura media de los ciclos analizados es 0,23°C superior a la registrada por la sonda situada a 1 m de altura, la cual, a su vez, es 0,51°C inferior a la temperatura situada a 2 m de altura, que va a ser la zona donde se almacena el aire cálido. Este comportamiento se experimentó en todos los ciclos analizados, obteniendo diferencias máximas de 0,64°C entre la temperatura a nivel del suelo y a 1 m y de 0,53°C entre las temperaturas a 1 y 2 m. Por lo que respecta a la variación transversal (fig 2) apenas se observan variaciones, produciéndose las temperaturas mínimas en el centro del pasillo. Las máximas diferencias de temperatura en el centro de los corrales situados a ambos lados del pasillo y del centro del pasillo de 0,87°C.

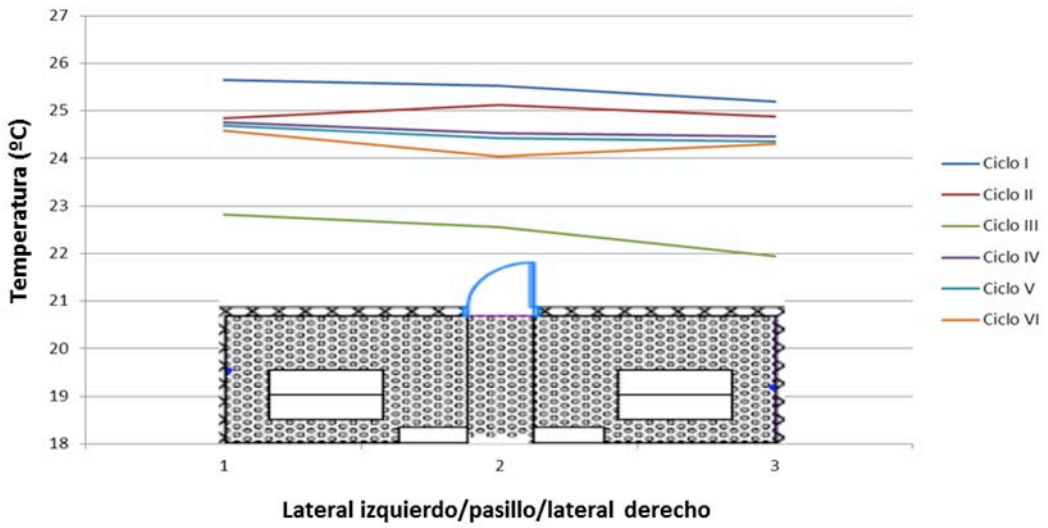


Figura 2. Distribución transversal de la temperatura en la sala

Sin embargo, la ubicación de sensores en la zona animal es imposible debido a las agresiones que podrían sufrir por parte de los lechones. Por ello resulta interesante conocer el valor de esta temperatura a partir de mediciones realizadas en otras ubicaciones de la sonda de control. La relación entre la temperatura en la zona animal, medida en el box 4 a 0,40 m de altura, y la temperatura de ese box a 1 m de altura es lineal con un R^2 de 0,825 (fig. 3).

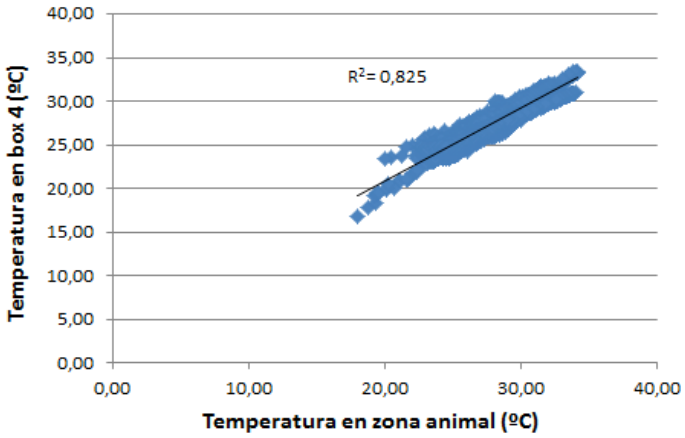


Figura 3. Relación lineal entre las temperaturas en la zona animal y a 1 m de altura en el corral 4

Obteniéndose la siguiente ecuación:

$$Y = 0{,}837x + 4{,}1394 \quad (1)$$

Donde:

Y = temperatura en el box 4 (°C)
X= temperatura en la zona animal (°C)

La aproximación lineal indica que, hasta 26°C, la temperatura en la zona animal es menor que la temperatura a 1 m, mientras que la tendencia se invierte a mayores temperaturas. La relación entre la temperatura animal y la temperatura media a 1 m, calculada teniendo en cuenta los boxes 1 a 6, es lineal con un R^2 de 0,821. En este caso la temperatura de la zona animal es siempre mayor que la temperatura media a 1m (fig. 4) incrementándose la diferencia a medida que aumentan las temperaturas, con una diferencia media de 1°C.

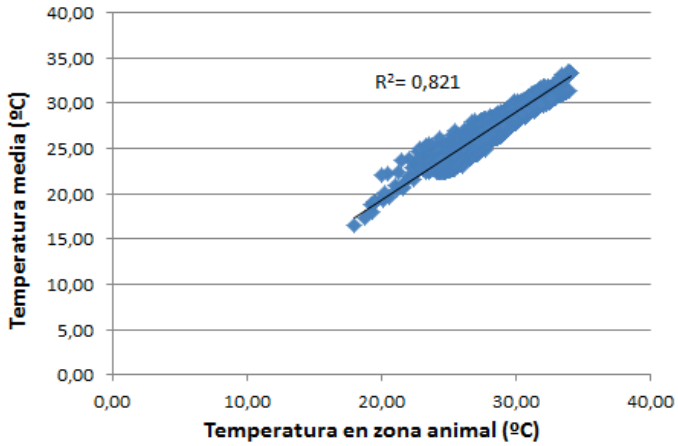


Figura 4. Relación lineal entre las temperaturas en la zona animal y la temperatura media de los 6 corrales.

Obteniéndose la ecuación:

$$Y = 0{,}9701x + 0{,}2048 \quad (2)$$

Donde:

Y = temperatura media (°C)
X= temperatura en la zona animal (°C)

La temperatura en el alojamiento sufre variaciones fundamentalmente longitudinales debido a la dinámica de flujos de aire que se establece desde la entrada de aire hasta su salida forzada a través del ventilador. La figura 5 muestra la variación longitudinal de la temperatura basada en la media de las temperaturas medidas para cada ciclo en cada corral a un metro de altura sobre el slat. Las temperaturas más altas afectan a los corrales centrales mientras que las temperaturas más bajas afectan a los corrales localizados en la entrada y salida del aire, representada a la izquierda y a la derecha de la figura , respectivamente, con diferencias entre 1,52 (ciclo VI) y 2,22°C (ciclo III).

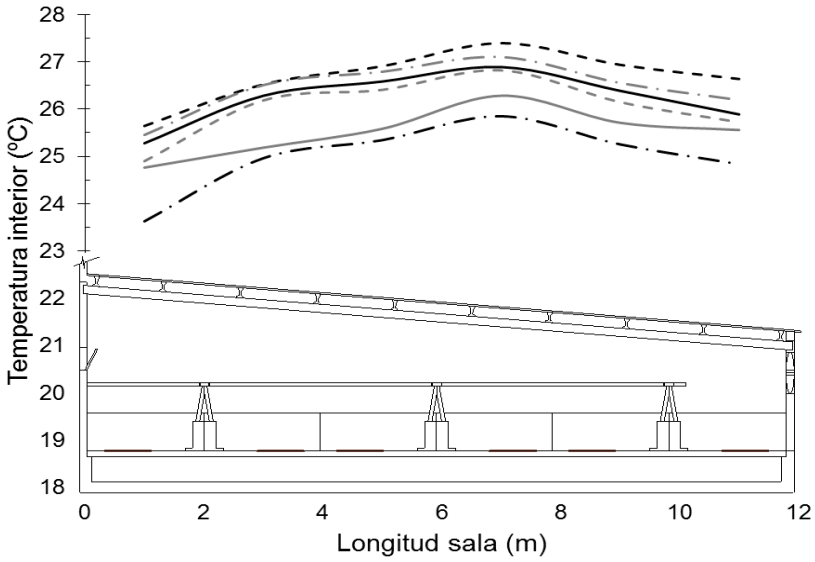


Fig. 5. Perfil de temperatura en los ciclos: I (---), II (---), III (-·-), IV (-··-), V (—), y VI (—)

En vista de estos resultados, la ubicación óptima de la sonda de temperatura para el equipo de control está entre 2,76 y 3,10 m desde el origen, en el segundo box, ya que es donde se mide la temperatura más próxima a la media del local. Sin embargo, en el ensayo experimental, el sensor se situaba a 1 m sobre el emparrillado en la zona central del box número 4 (a 7 m de la entrada de aire), donde las temperaturas fueron más elevadas. La relación existente entre este valor y el valor de la temperatura media es lineal con un R^2 de 0,963 (fig. 6)

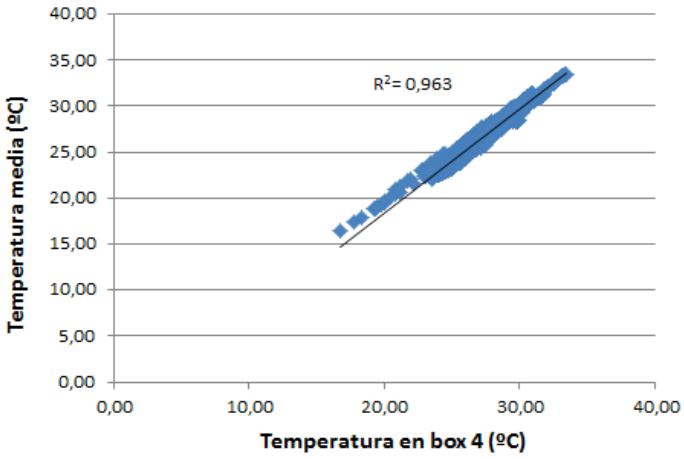


Figura 6. Relación lineal entre la temperatura media y la temperatura en el box 4

Obteniéndose la ecuación:

$$Y = 1{,}1397x - 4{,}4839 \quad (3)$$

Donde:

Y = temperatura media (°C)

X= temperatura en el box 4 (°C)

Basándonos en que las relaciones entre las temperaturas medidas a 1 m de altura y su media son todas lineales con valores de R^2 comprendidos entre 0,888 (a 11 m de la entrada de aire) y 0,974 (a 3 m), es posible obtener la variación longitudinal de temperaturas a partir de la temperatura media del local. La relación de las pendientes y los términos independientes de las rectas obtenidas en función de la distancia a la entrada de aire se muestran en la figura7.

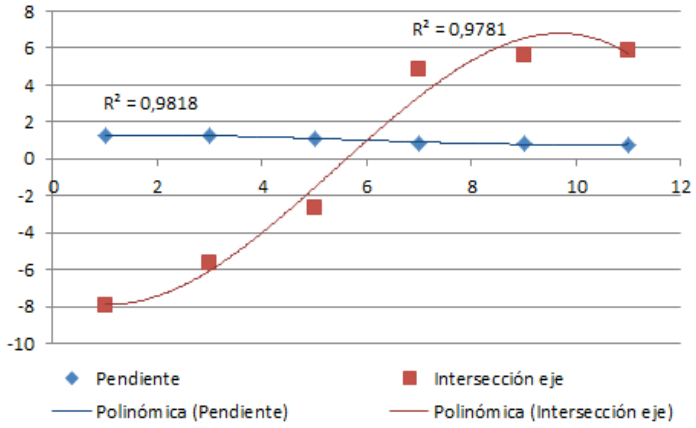


Fig. 7. Ecuaciones de las rectas obtenidas en función de la distancia a la entrada de aire

Las ecuaciones de las rectas obtenidas en función de la distancia a la entrada de aire son:

$$Y_1 = -0{,}00463x^3 + 0{,}7489x^2 - 1{,}483x - 7{,}0963 \quad (4)$$

Donde:

Y_1= distancia al origen (m)

X= pendiente

$$Y_2 = -0{,}0018x^3 + 0{,}0314x^2 - 0{,}0851x - 1{,}2081 \quad (5)$$

Donde:

Y_2= distancia al origen (m)

X= término independiente

En ella se puede observar que las ecuaciones obtenidas, aunque muestran valores de R^2 elevados (0,9781 y 0,9818 para Y_1 e Y_2 respectivamente) son de tercer grado y la ecuación correspondiente a términos independientes presenta dificultades para representar las variaciones de pendiente de los

términos independientes en función de la distancia, muy acentuada hasta la distancia 7 m y muy suave posteriormente. Además, el valor medio de los términos independientes obtenidos para las temperaturas estudiadas es 0. En consecuencia, se opta por modificar las rectas que relacionan las temperaturas medidas a 1 m de altura y su media forzando a 0 su término independiente. La nueva ecuación que relaciona las pendientes se muestra en la figura 8:

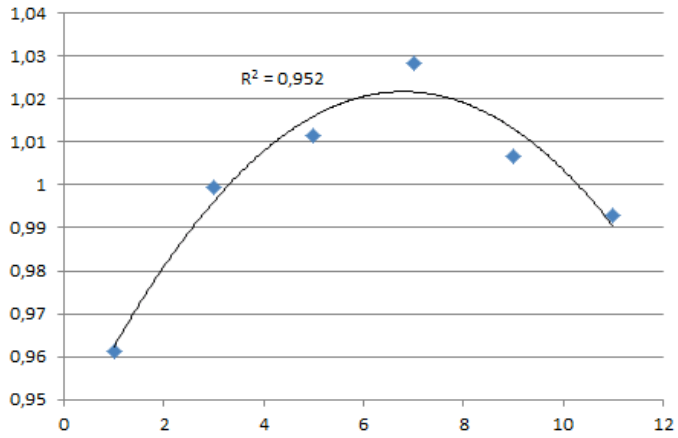


Figura 8. Valores de la pendiente de las rectas con término independiente nulo que relacionan las temperaturas a 1 m de altura sobre cada corral con su temperatura media.

Obteniéndose la ecuación:

$$Y = -0{,}0018x^2 - 0{,}0241x - 0{,}94 \quad (6)$$

Donde:

Y = distancia (m)
X= pendiente

La validación de la ecuación obtenida para la estimación de las temperaturas en el local a partir de la distancia de ubicación de la sonda con respecto de la entrada de aire se hizo para temperaturas medias del local entre 23 y 28°C así como para el conjunto de todas estas temperaturas. La mejor estimación se obtiene a 5 metros desde la entrada de aire y para la temperatura de 26°C (figura 9). Si la validación de la simulación se hace para el conjunto de temperaturas comprendidas entre 23 y 28°C, se obtiene un error medio de 0.03°C, un error medio absoluto porcentual de 0.07% y un coeficiente R^2 de 0,94, para una función parabólica. (tab. 2)

Tabla 2. Error medio (EM), desviación típica del error (SD_{error}), raíz del error cuadrático medio (RECM), error medio absoluto porcentual (EMAP) y coeficiente de correlación (R^2) de la validación de la simulación para las temperaturas comprendidas entre 23 y 28 °C.

T_{media}	EM	SD_{error}	RECM	EMAP (%)	R^2
23	0,03	0,66	0,66	0,00	0,69
24	0,03	0,57	0,57	0,03	0,68
25	0,03	0,35	0,36	0,08	0,83
26	0,03	0,16	0,16	0,11	0,94
27	0,03	0,32	0,33	0,12	0,64
28	0,03	0,40	0,41	0,11	0,48
Total	**0,03**	**0,44**	**0,45**	**0,07**	**0,94**

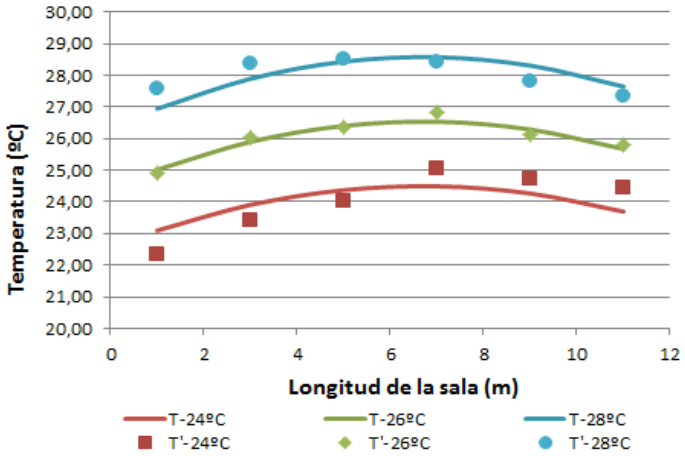


Figura 9. Temperaturas longitudinales estimadas (T) y medidas (T') en función de la distancia para las temperaturas medias de 24, 26 y 28°C.

Las ecuaciones de las rectas obtenidas en función de la distancia a la entrada de aire son:

$$Y_1 = -0{,}0504x^2 - 0{,}6748x - 26{,}32 \quad (7)$$

Donde:

Y_1= temperatura (°C)

X= distancia (m)

$$Y_2 = -0{,}0517x^2 - 0{,}6941x - 24{,}3 \quad (8)$$

Donde:

Y_2= temperatura (°C)

X= distancia (m)

$$Y_3 = -0{,}0432x^2 - 0{,}5784x - 22{,}56 \quad (9)$$

Donde:

Y_3= temperatura (°C)

X= distancia (m)

4. Conclusiones

El mantenimiento de las condiciones ambientales apropiadas en los alojamientos porcinos de destete, resulta difícil con la actual estrategia de control de la temperatura. Al inicio del ciclo, las temperaturas se ajustan a los requerimientos, pero después de dos semanas, las temperaturas están por encima de los valores recomendados a pesar de los bajos valores establecidos en el sistema de control, lo cual sugiere la escasa capacidad del sistema de control para adaptarse a los requerimientos de temperatura.

La ubicación del sensor de temperatura fuera de la zona animal es necesaria para evitar las agresiones por parte de los animales, por tanto, es necesario establecer la relación entre la temperatura en el punto de control y la temperatura en la zona animal.

Como media, la temperatura media a 1 m de altura en el eje longitudinal del corral es 1°C menor que la temperatura en la zona animal, consideración a tener en cuenta a la hora de establecer la temperatura de control para los equipos de climatización.

Las variaciones más importantes de temperatura se producen longitudinalmente, en el sentido del flujo de aire. Por ello, el sensor debe ser ubicado, longitudinalmente, en la zona con la temperatura más próxima a la temperatura media del local. Para ello se recomienda la ubicación del sensor a una distancia de ¼ de la longitud de la sala.

La variación longitudinal de la temperatura puede obtenerse mediante una ecuación de segundo grado, que la relaciona con la temperatura media, y dependiente de la distancia.

Transversalmente, apenas se observan variaciones, produciéndose las temperaturas mínimas en el centro del pasillo de la sala, con diferencias máximas inferiores a 0,90°C.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por la Xunta de Galicia y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), a través del proyecto de investigación ***Estrategias de control y automatización para la eficiencia energética y productiva en explotaciones porcinas de destete,*** perteneciente a los programas sectoriales de investigación aplicada, PEME I+D Suma del Plan Gallego de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica, en el marco del programa operativo FEDER Galicia 2007-2013.

Bibliografía

Close, W. H. y M.W. Stanier. 1984. Effects of plane of nutrition and environmental temperature on the growth and development of the early-weaned piglet 2. Energy metabolism. *Animal Production*, 38, 221-231.

Close, W. 2006. Environmental housing requirements: Climatic needs and responses of pigs. The Pig Site.

Forcada, F., D. Babot, A. Vidal y C. Buxadé. 2009. Ganado porcino. Diseño de alojamientos e instalaciones. [Design of swine housing and facilities*]*. Zaragoza: Ed. Servet, (Chapter 2).

Gates, R. S., J. L. Usry, J. A. Nienaber, L. W. Turner y T. C. Bridges. 1991. An optimal misting method for cooling livestock housing. *Transactions of the ASAE*, 34 (5), 2199-2206

Le Dividich, J. y P. Herpin. 1994. Effects of climatic conditions on the performance, metabolism and health-status of weaned piglets: a review. *Livestock Production Science*, 38 (2), 79-90

Muirhead, M. R. y T. J. L. Alexander. 1997. Managing pig health and the treatment of disease: a reference for the farm. Shefield. 5M Enterprises Ltd. (Chapter 3).

van Wagenberg, A. V., J. H. M. Metz y L. A. den Hartog. 2005. Methods for evaluation of the thermal environment in the animal-occupied zone for weaned piglets. *Transactions of the ASAE*, 48 (6), 2323 - 2332.

Avances en Ganadería de Precisión y su proyección hacia el nuevo paradigma de "Smart Farming"

Jesús Pomar[1] y Vicente López[2]

[1] Departamento de Ingeniería Agroforestal, Grupo de investigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión, Universitat de Lleida. Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida; pomar@eagrof.udl.cat

[2] Idem; vicente.lopez@udl.cat

Resumen

El sector ganadero de producción intensiva sufre las consecuencias de una progresiva globalización del mercado, un incremento de las restricciones medioambientales y una creciente presión social hacia sistemas de producción más sostenible y respetuosa con el medioambiente. Entre las consecuencias más significativas reducción progresiva de los márgenes entre ingresos y gastos. Esta situación demanda a las empresas una mejora continua de su productividad y eficiencia para poder asegurar su supervivencia. En este contexto, el gran desafió para las empresas es la introducción de innovaciones tecnológicas que hagan compatible incrementar la competitividad con la sostenibilidad y la reducción de su impacto medioambiental. La innovación de la ganadería de precisión se fundamenta en la medida de la variabilidad individual de los animales y en control preciso de los procesos de producción especialmente la alimentación. En esencia trata de medir la variabilidad existente entre los animales y de suministrar a cada individuo un alimento ajustado a sus necesidades.

En este artículo se exponen los resultados de aplicar en granja la tecnología asociada a la alimentación de precisión, mediante un sistema robotizado de alimentación de precisión para cerdos de engorde IPF (Intelligent Precision Feedeer) y analizar y evaluar sus resultados. Estos resultados muestran el incremento sustancial de información que se obtienen tanto a nivel de grupo de animales, como a nivel de cada individuo, haciendo posible un análisis y toma de decisiones precisa, objetiva y automatizable con el fin de aumentar la eficiencia, disminuir costos y reducir el impacto medioambiental de la producción.

Palabras clave: Alimentación de precisión, robot de alimentación de precisión, porcinocultura de precisión, granjas inteligentes

Beyond precision farming: "Smart farming" is coming

Abstract

The intensive livestock sector is influenced by a progressive market globalization, increasing environmental restrictions and social demands towards more sustainable production systems. Among the most significant consequences is the progressive reduction of the margins between income and outcomes. Companies call for improvement of productivity and efficiency to ensure their survival. In this context, the great challenge is the introduction of technological innovations that both improve the competitiveness and the sustainability. Precision livestock farming is a new paradigm, based on the measurement of the individual variability of the animals and adapts the feed composition to the animal needs.

This paper presents the results of precision feeding farm implementation trough a robotic precision feeder system and assess their consequences at farm level. The results shows a substantial increase of key information both at the group level and at the individual level to making accurate and automated decision support in order to increase efficiency, reduce costs and environmental impact of pig meat production.

Keywords: Precision feeding, precision feeding robot, environmental impact, smart farm

1. Introducción

El sector ganadero y en especial el de producción intensiva se encuentra altamente afectado por las consecuencias de una progresiva y creciente globalización del mercado, una incremento de las restricciones medioambientales y una creciente presión social hacia los sistemas de producción más sostenible, respetuosos con el medioambiente y con las normas de seguridad alimentaria cada vez más estrictas. Entre las consecuencias más significativas de estos condicionamientos externos son la reducción progresiva de los márgenes entre ingresos y gastos. Esta situación demanda a las empresas de producción ganadera intensiva, una mejora continua de su productividad y eficiencia para poder asegurar su supervivencia en un futuro a corto y a medio plazo. En este contexto, el gran desafió para el futuro de las empresas de este sector, es la introducción de innovaciones tecnológicas que hagan posible incrementar la competitividad, la sostenibilidad, la seguridad alimentaria y reducir de su impacto medioambiental (Wathes et al. 2008; Andretta, 2014)), como elementos clave para su supervivencia en el futuro. La ganadería de precisión y especialmente, la porcinocultura de precisión, fundan una innovación tecnológica reciente (los primeros desarrollos aparecen hacia 2003) (Berckmans, 2004; Pomar et al. 2011) con el objetivo de proporcionar herramientas y recnología (con fuerte incorporación de las TIC) que permitan abordar todos los aspectos claves citados anteriormente.

Este incremento de la eficiencia, sostenibilidad y seguridad alimentaría se fundamenta en la medida de la variabilidad individual de los animales y en control preciso de los procesos de producción especialmente la alimentación. En esencia trata de medir la variabilidad existente entre los animales y de suministrar a cada individuo un alimento ajustado a sus necesidades. Este objetivo pudiera parecer a primera vista inalcanzable o al menos contradictorio con la tendencia actual de aumentar el tamaño de las explotaciones y del hecho que en estas, el animal como individuo pierde relevancia frente al mayor peso del grupo. Sin embargo, los rápidos avances en los campos de las tecnologías de la información aplicados a la robotización, control inteligente y a la identificación electrónica, permiten entrever significativos avances en este ámbito (Pomar et al. 2009).

El objetivo del presente artículo es exponer los resultados de aplicar en granja el paradigma y la tecnología asociada a la alimentación de precisión, mediante un sistema robotizado de alimentación de precisión para cerdos de engorde llamado IPF (Intelligent Precision Feedeer) (Pomar et al. 2009) y analizar y evaluar los resultados del incremento sustancial de datos que se obtienen tanto a nivel de grupo de animales, como para cada uno de los individuos de la granja, haciendo posible un análisis y una toma de decisiones más precisa, objetiva y automatizable con el fin de aumentar la eficiencia productiva, disminuir costos y reducir el impacto medioambiental de la producción.

2. Materiales y Métodos

2.1 Equipos e instalación

Para la realización de la experiencia se instalaron en una granja comercial de producción de carne de cero, 4 robots de alimentación de precisión IPF fabricados por la empresa Exafan bajo tecnología cedida por la Universidad de Lleida (UdL). El alimentador de precisión IPF permite el tratamiento individual de la composición nutricional de la ración. Incorpora un sistema electrónico de identificación (RFID) para la lectura de crotales electrónicos que identifican a cada animal de acuerdo con las normas ISO 11784/11785. La dosificación puede ser ajustada para a cada animal individualmente o grupo de animales, tanto en cantidad como en composición. El IPF utiliza dos entornos de software: (1) Software asociado al microcontrolador residente en cada alimentador que gestiona y controla todos los dispositivos de la unidad (actuadores, sensores y alarmas) y (2) Software Servidor que tiene las principales funciones de control, supervisión y gestión de los IPFs residente y ejecutándose en una plataforma PC compatible x86 bajo S.O. Windows 7 o superior. La

comunicación entre los alimentadores y el software servidor (ver figura 1) se realiza mediante protocolo TCP/IP 10 / 100 Mbps - RJ 45 (cable) o IEEE 802.11b / IEE 802.11g (wireless).

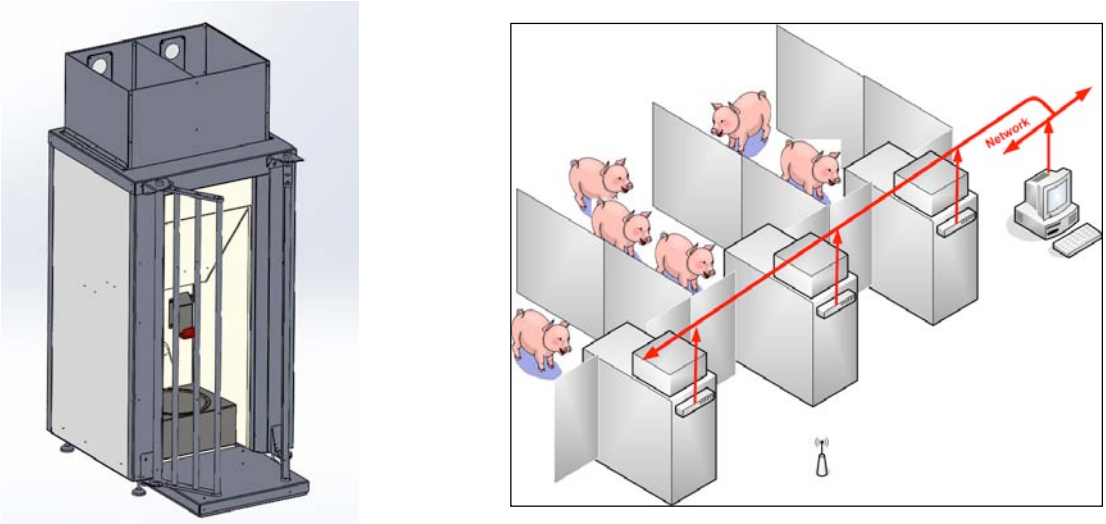


Figura. 1 Vista de un alimentador de precisión IPF e instalación para animales en ubicados en boxes y su conexionado en red con el servidor de datos

Cada alimentador dispone de un sistema de pesada asociado (Exafan/UdL) que permite realizar medidas del peso de las patas delanteras durante la estancia del animal en el alimentador mediante un sofisticado procesado de los datos que hacen posible conocer el peso del animal en tiempo real.

Los datos procedentes de los sensores y actuadores de los propios robots son enviados por red al sistema servidor y son almacenados en una base de datos como datos brutos. Un postproceso en oficina de estos datos permite conocer la evolución de las diferentes variables de estudio, algunas de las cuales son el consumo y el peso.

2.2 Diseño experimental

Se utilizaron un total de 104 cerdos híbridos, 52 hembras y 52 machos . Se trataba de animales representativos, sin anomalías agrupándose por peso en el momento de la entrada en la granja estableciendo 4 grupos por sexo y peso vivo inicial: a) 26 hembras de peso vivo medio a la entrada de 18,5 Kg de peso vivo (referencia FAB001); b) 26 machos de peso medio 20,3 Kg (referencia FAB002); c) 26 hembras de peso medio a la entrada de 17,2 Kg de peso vivo (referencia FAB003); y d) 26 machos de peso medio 19,1 Kg (referencia FAB004). Cada grupo se situó en un corral con acceso a un alimentador IPF. A cada uno de los animales se les colocó un crótalo electrónico tipo RDIF-FDX para su lectura automática y el posterior seguimiento, los lechones se trasladaron en la nave de control o engorde. Los cerdos acabaron el control a un peso vivo medio final de 100,92 ± 10,09 Kg.

La nave dónde se alojaron los cerdos disponía de ventilación automática, y ventanas para la entrada de luz natural. Cada corral estaba formado por emparrillado en casi la totalidad de su superficie excepto una pequeña zona de descanso de hormigón armado. En este período se utilizó utilizaron 4 piensos con las siguientes características básicas: (1) Energía neta 10,15 MJ.kg-1, 1,06% Lisina DIS; (2) Energía neta 10,1 MJ.kg-1, 1,05% Lisina DIS; (3) Energía neta 10,25 MJ.kg-1, 0,95% Lisina DIS; (4) Energía neta 10,25 MJ.kg-1, 0,88% Lisina DIS.

3. Resultados y Discusión

Dado que los objetivos de la experiencia era evaluar las características, naturaleza, variación y el incremento de la información con respecto a un sistema tradicional de granja de engorde, los resultados del experimento se presentan de manera progresiva en función del tipo de variable e información obtenida, añadiendo un breve análisis y discusión de la información resultante desde el punto de vista de comportamiento animal. Se realizó un primer análisis descriptivo con el programa Microsoft Excel y las funciones estadísticas incorporadas, obteniendo medias, desviaciones estándar y gráficos comparativos.

3.1 Medida de los consumos, la velocidad de ingestión y su evolución

Los alimentadores IPF realizan una medida y registro del consumo cada vez que el animal entra en el alimentador que es transmitido al servidor es guardado en la base de datos del servidor. El procesado de esta información nos permite conocer, tanto el consumo horario del animal, como el consumo diario total. Igualmente dado que se registra la hora de entrada y de salida del animal en el alimentador nos permite relacionar el consumo con la velocidad ingestión para cada una de las comidas que realiza el animal.

El consumo puede observarse la figura 2 que va aumentando paulatinamente desde algo más de un kilo hasta sobrepasar los 2 kilos al final del periodo de engorde. En la figura 3 se muestra un ejemplo de la evolución del consumo para un determinado animal. La variación del consumo es observable en todos los animales. Existen diferencias importantes entre animales y entre sexos tal como se muestra en la figura 4. Igualmente la velocidad y presión expresada en gramos por minuto incrementa paulatinamente desde unos 25 gramos minuto al inicio llegando hasta 60 gramos por minuto y más dependiendo del animal. La velocidad ingestión tiene una importancia significativa, dado tiene una relación directa con el número de animales que puede alimentar un alimentador robotizado IPF.

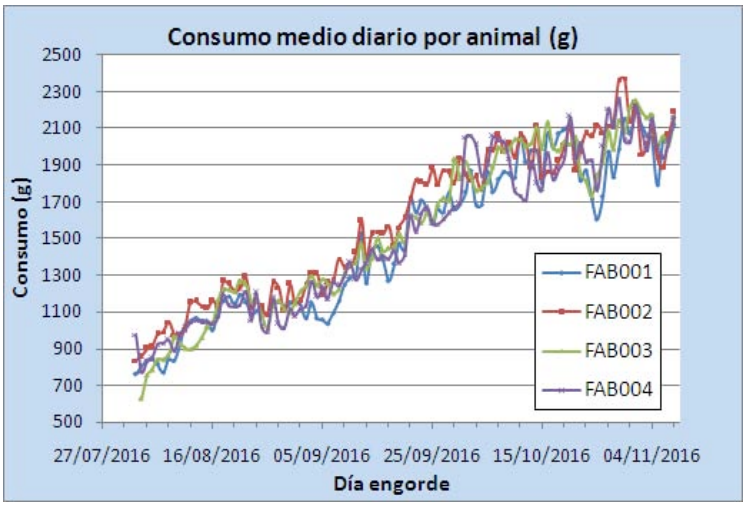


Figura 1. Consumo medio diario por animal.

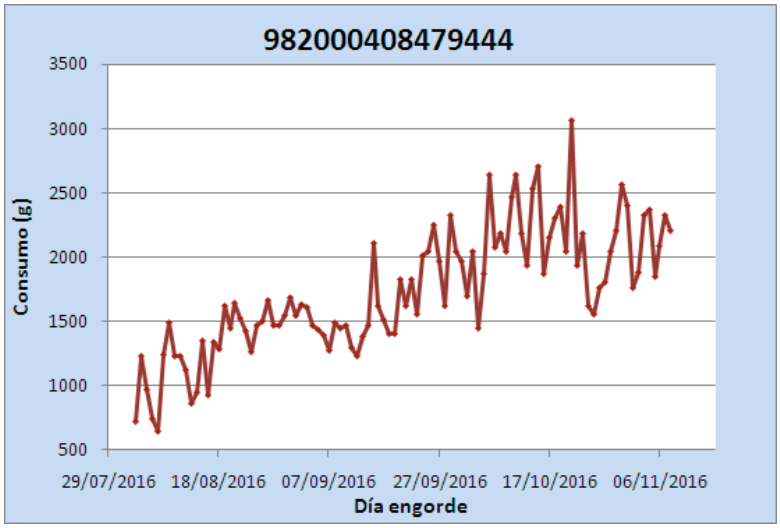


Figura 2. Consumo diario del animal 982000408479444.

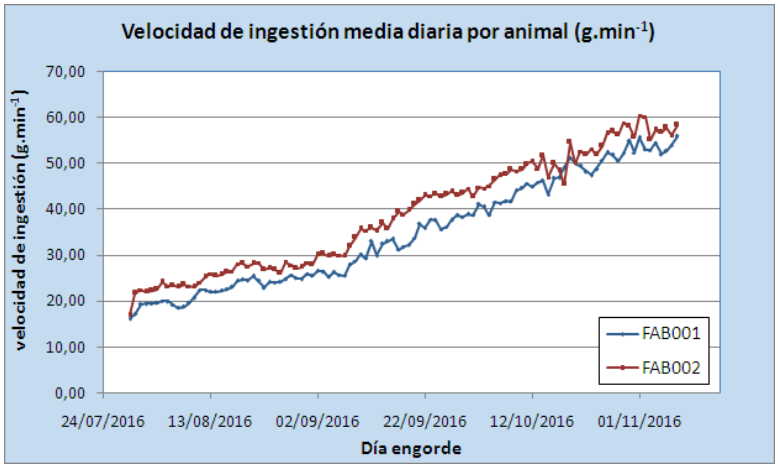


Figura 3. Velocidad de ingestión media diaria por animal.

3.2 Tiempo de ocupación del alimentador, ocupación horaria y su evolución

El tiempo de ocupación de un alimentador de precisión IPF está directamente relacionado con el número de animales a los que está asociado dicho alimentador y a la velocidad de ingestión, Que por otro lado no es constante como hemos visto y aumenta progresivamente con la edad del animal. Como se puede deducir de la figuras 5 y 6, el periodo más crítico de ocupación del alimentador Se produce durante el primer mes o mes y medio de engorde de los cerdos disminuyendo progresivamente en el período final de engorde.

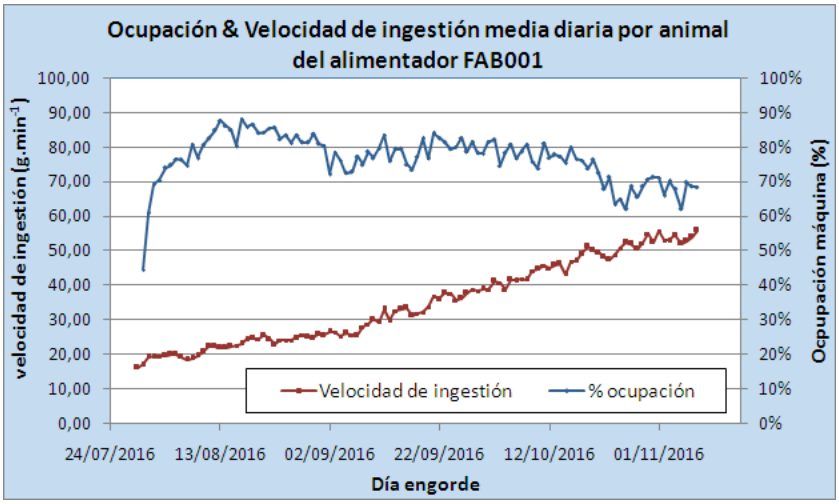


Figura 4. Ocupación y velocidad de ingestión del alimentador FAB001 (hembras).

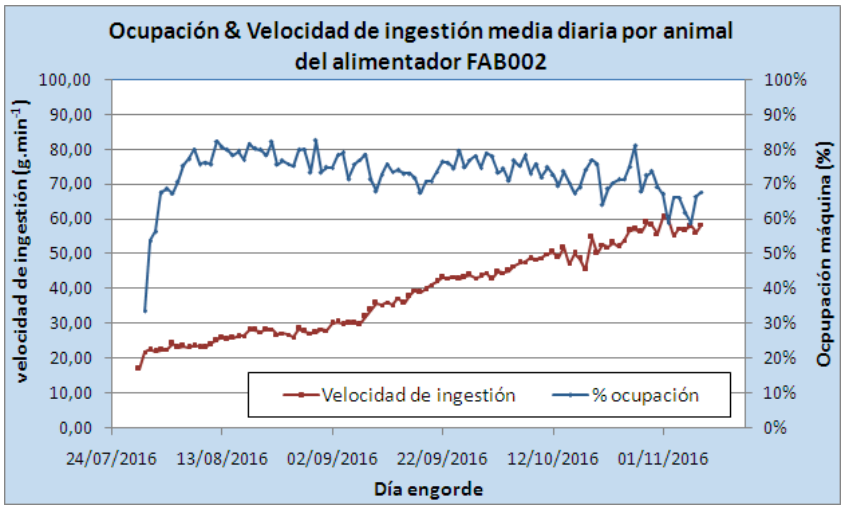


Figura 5. Ocupación y velocidad de ingestión del alimentador FAB002 (machos).

Dado que la velocidad de ingestión del alimento está también relacionada con el sexo, en las gráficas se puede observar que los machos Con una mayor velocidad de ingestión tienen un menor tiempo de ocupación a igualdad número de animales contrastando con las hembras que generan una ocupación mayor debido a su menor velocidad de ingestión (ver figuras 5 y 6).

En la figura 7 puede observarse la tasa de ocupación de los alimentadores según la hora del día, mostrándose como la máxima ocupación se produce entre las 8 h de la mañana y las 18 h de la tarde. En las figuras 8 y 9 se muestran la tasa de ocupación diaria a lo largo del periodo de engorde y en donde se puede ver que la tasa de ocupación es mayor en el caso de las hembras que de los machos.

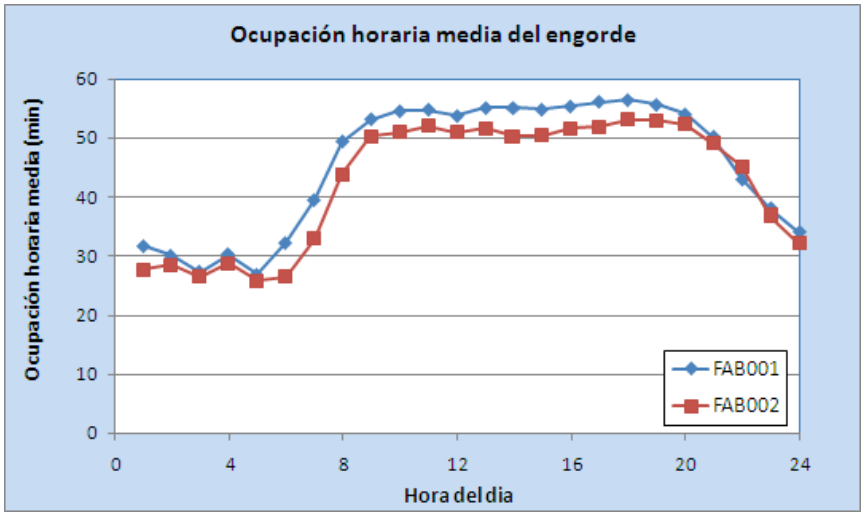


Figura 6. Ocupación horaria media.

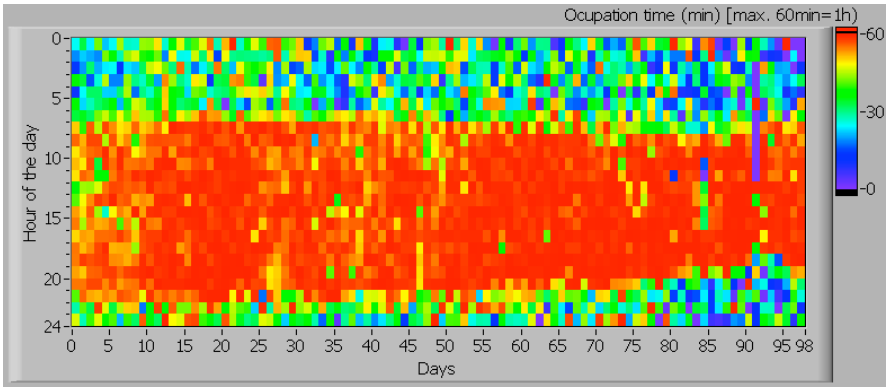


Figura 7. Mapeado de la ocupación horaria a lo largo del engorde en el alimentador FAB001.

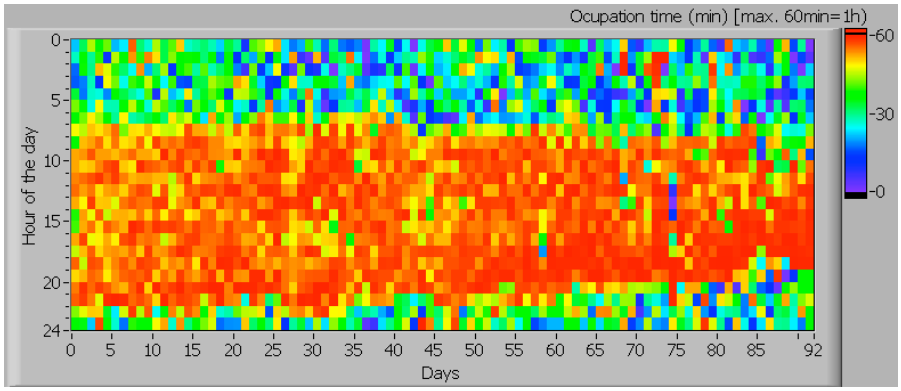


Figura 8. Mapeado de la ocupación horaria a lo largo del engorde en el alimentador FAB002.

3.3 Evolución del crecimiento (peso) de los animales mediante medida del peso diario

La medida del peso diariamente constituye una medida muy valiosa en la determinación de la ganancia real diaria para cada uno de los animales y también del grupo en su conjunto. Esta determinación de la ganancia diaria constituye la base en la que se puede establecer una alimentación diferenciada para cada individuo en función de su potencial de crecimiento que da lugar al concepto de alimentación de precisión. El alimentador de precisión IPF es capaz de suministrar un alimento de composición variable para cada uno de los animales ajustándose a las necesidades de cada uno, permitiendo así la disminución del consumo de proteína y una disminución también en el contenido nitrogenado de los purines. En las figuras 9 y 10 se muestra la evolución del peso diaria para dos animales como muestra. Estos datos serán utilizados para el cálculo de las necesidades de proteína.

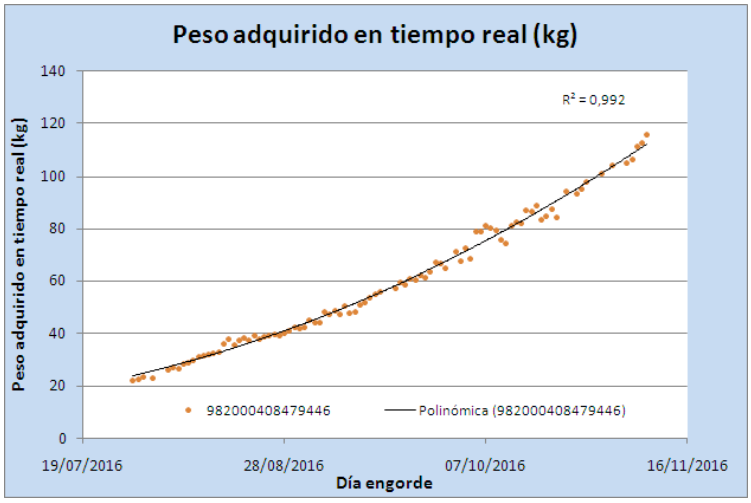


Figura 9. Peso del animal 982000408479446 adquirido por la báscula en tiempo real.

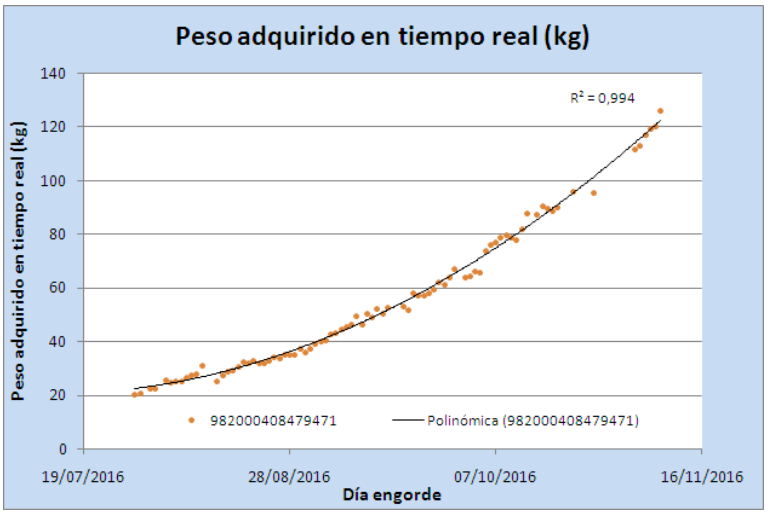


Figura 10. Peso del animal 982000408479471 adquirido por la báscula en tiempo real.

4. Conclusiones

El trabajo realizado y el análisis de la gran cantidad de información generada a través del robot de alimentación de precisión IPF nos permite concluir lo siguiente:

Es posible la monitorización en tiempo real del crecimiento y el consumo de alimento que es esencial para la optimización de la alimentación a nivel de individuo a la vez que disminuir las necesidades de mano de obra poco cualificada en las tareas de supervisión.

La monitorización individual y en tiempo real del comportamiento alimenticio brinda la posibilidad de detección temprana de algunas enfermedades o problemas sanitarios que tienen incidencia en dicho comportamiento;

La disponibilidad de medidas automatizadas en tiempo real del consumo alimenticio y del peso diario a nivel de individuo constituye una la base sólida para la mejora de la toma de decisión con criterios objetivos y una mejora de la gestión de las granjas a través de procesos automatizados de gran utilidad especialmente para las empresas integradoras.

El nuevo paradigma de gestión inteligente de la granja o granja inteligente ("smart farming"), se perfila como posible con el progresivo desarrollo de la ganadería de precisión que hace posible la medida automática y en tiempo real de numerosas variables a nivel de animal y granja y abre la puerta al desarrollo del control inteligente y la intercomunicación por medios electrónicos entre los agentes implicados en el proceso productivo y comercialización.

Agradecimientos

A la empresa Exafán por su estrecha colaboración mediante la instalación y mantenimiento de los robots de alimentación de precisión para la realización de las experiencias.

A la empresa Vall Companys S.A. por facilitar sus instalaciones y disponibilidad de los datos.

A Cándido Pomar investigador de Agriculture & Agrifood Canadá por su colaboración en el desarrollo de la alimentación de precisión en porcino a través de la investigación conjunta.

Bibliografía

Andretta, I., Pomar, C., Rivest, J., Pomar, J., Lovatto, P. A. and Neto, J. R. 2014. The impact of feeding growing-finishing pigs with daily tailored diets using precision feeding techniques on animal performance, nutrient utilization, and body and carcass composition. *Journal of Animal Science 92:3925-3936.*

Berckmans, D. 2004. Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming. *Proc. ISAH Conference on Animal Production in Europe: The Way Forward in a Changing World,* Saint-Malo, France.

Exafan/UdL 2016 *Robot de alimentación de precisión. Patentes: EP 3 093 630 A1 y P200800203*

Hauschild, L., Lovatto, P. A., Pomar, J. and Pomar, C. 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 90(7):2255-2263.

Pomar, J., López, V. and Pomar, C. 2011. Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. *Computers and Electronics in Agriculture 78(1):88-97.*

Pomar, J., Pomar, C. 2006. Hacia la Porcinocultura de Precisión: Robot de Alimentación de Precisión con capacidad de Gestión y Optimización Inteligente *Albeitar; 126:5-9.*

Wathes, C. M., Kristensen, H. H., Aerts, J. M. and Berckmans, D. 2008. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Computers and Electronics in Agriculture 64(1):2-10.*

Monitorización singularizada de porcino durante transporte multimodal

Miguel Garrido-Izard[1], Jose M. Requejo[2], Belén Diezma[1], Eva C. Correa[3], Pilar Barreiro[1]

[1] Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación, LPF_TAGRALIA, Departamento de Ingeniería Agroforestal, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, miguel.garrido.izard@upm.es , belen.diezma@upm.es , pilar.barreiro@upm.es

[2] Hendrix-Genetics, Villa de Körver, Spoorstraat 69, 5831 CK Boxmeer, PO Box 114, 5830AC Boxmeer, Netherlands, JoseMaria.RequejoPuerto@hendrix-genetics.com

[3] Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación, LPF_TAGRALIA, Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, evacristina.correa@upm.es

Resumen

El objetivo principal de este estudio es la supervisión y análisis de la respuesta diferencial de un lote de cerdos Duroc a las condiciones medioambientales a las que ha estado sometido durante su transporte desde un núcleo SPF (Specific Pathogen Free) situado en Reston (Manitoba, Canadá), hasta su llegada a una granja en Montiel (Ciudad Real, España) durante el mes de Mayo de 2016. En el itinerario (Reston-Calgary-Luxemburgo-Lérida-Montiel) se han sucedido los desplazamientos en camión, avión y de nuevo camión hasta llegar a su destino final, tras 94 horas. La supervisión de cada individuo se ha realizado insertándose un dispositivo registrador con sensor de temperatura y humedad relativa (Ibutton DS1932) en el crotal de cada uno de los cerdos a monitorizar.

Los resultados obtenidos han permitido caracterizar las diferentes condiciones registradas durante cada una de las etapas del transporte (avión, camión y paradas), así como identificar distintos patrones de variación en las temperaturas de película de algunos animales, definiéndose tres grupos con temperaturas homogéneas. Registrándose variaciones entre la temperatura máxima y mínima en un animal y en una etapa de hasta 20,5 °C, lo que podría relacionarse con mayor estrés térmico en el animal.

La finalidad de la monitorización individualizada es evaluar la respuesta termorreguladora de cada uno de los cerdos sensorizados. Esta información, junto con el conocimiento detallado de la ubicación de los animales, permitiría identificar diferentes patrones en las respuestas de termorregulación de los animales y establecer tipologías de animales en cuanto a su susceptibilidad al estrés térmico.

Palabras clave: Supervisión, Temperatura, Espacio de fases, Termorregulación, Bienestar animal

Monitoring of pigs during multimodal transport

Abstract

The main objective of this study is the monitoring and analysis of the differential response of a batch of Duroc pigs to the environmental conditions to which it has been subjected during transport from a SPF (Specific Pathogen Free) core located in Reston (Manitoba, Canada), until their arrival at a farm in Montiel (Ciudad Real, Spain) during the month of May 2016. In the itinerary (Reston-Calgary-Luxembourg-Lérida-Montiel), truck, airplane and other truck were used until arriving at its final destination, after 94 hours. Supervision of each individual has been carried out by inserting a logger with sensor of temperature and relative humidity (Ibutton DS1932) into the crotal of each of the pigs to be monitored.

The results obtained have allowed to characterize the different conditions recorded during each one of the transport stages (airplane, truck and stops), as well as to distinguish different patterns of variation in the film temperatures of some animals, being defined three groups with homogenous temperatures. Variations were recorded between maximum and minimum temperature in an animal and in a stage up to 20.5 °C, which could be related to higher thermal stress in the animal.

The purpose of the individualized monitoring is to evaluate the thermoregulatory response of each of the sensitized pigs. This information, along with the detailed knowledge of the location of the animals, would allow to identify different patterns in the thermoregulation responses of the animals and to establish animal typologies in terms of their susceptibility to thermal stress.

Keywords: Temperature, Phase space, Thermoregulation, Animal welfare

1. Introducción

El transporte de ganado es una parte de la actividad ganadera de trascendental importancia económica en todo el mundo, siendo el transporte por carretera el más común, pero no por ello el mejor si se compara con el ferroviario, marítimo o aéreo. Generalmente, los cerdos son transportados en grandes camiones que pueden contener más de 200 animales en tres niveles con una altura de compartimento de 90 cm (Grandin, 2014).

En los últimos años las demandas de los consumidores no se limitan a la calidad del producto cárnico, sino que engloban aspectos relativos al medio ambiente y al bienestar animal. Los avances en este área se deben al mayor conocimiento del comportamiento animal, la fisiología del estrés y el manejo correcto de los animales (Piqueras, 2008).

La legislación en materia de bienestar de los animales durante el transporte obliga a todos aquellos que intervienen en esta actividad, definiendo y marcando sus respectivas responsabilidades, y aplicando medidas de autorización y control. El transporte de ganado está regulado, entre otras normativas, por el Reglamento CE Nº 1/2005 del Consejo de 22 de diciembre de 2.004, relativo a la protección de los animales durante el transporte y operaciones conexas (Europea, 2005). En este reglamento, se hace especial referencia a las condiciones ambientales, debiéndose mantener un intervalo de temperatura de 5ºC a 30ºC, con una tolerancia de ±5ºC en función de la temperatura exterior. En términos de humedad relativa del ambiente, y ya fuera de la reglamentación, el valor óptimo en el que se encuentran la mayoría de las especies animales es del 60%, pudiendo variar del 50 al 75% (Arrebola Molina et al., 2013). En este sentido es importante destacar la importancia de las interacciones entre la temperatura y humedad, sobre todo a temperaturas superiores a 24° C (Randall, 1993).

Los cambios ambientales sufridos durante el transporte, que pueden suponer saltos térmicos relevantes en cortos periodos de tiempo, pueden dar lugar a un cambio en la respuesta termorreguladora del animal, así como a la aparición de estrés (Lambooy, 1988). Ante esta situación, su organismo suele reaccionar manifestando el síndrome general de adaptación, que implica un retraso en los procesos fisiológicos normales (Broom & Johnson, 1993). Durante el viaje, el animal aprende a adaptarse a sus nuevas circunstancias en pocas horas, de este modo, suele ocurrir que los viajes cortos generan un mayor estrés a los cerdos que los viajes largos, llegando a alterar significativamente el pH de la canal por debajo de los valores normales (Mota-Rojas et al., 2006). La mayor tensión experimentada por los cerdos en los viajes cortos es debida a la falta de tiempo de recuperación entre las operaciones de carga y descarga de los animales (Grandin, 2014). Bajo las condiciones comerciales normales españolas, Pérez et al. (2002) obtuvieron una respuesta al estrés más intensa y una calidad de carne inferior en cerdos sometidos a transporte corto en comparación con un transporte moderadamente largo.

En caso de condiciones ambientales extremas, pueden aparecer además síntomas de golpe de calor o hipotermia, que pueden producir una disminución del nivel de conciencia y del ritmo respiratorio (Arrebola Molina, et al., 2013), así como un aumento de la mortalidad del animal (Averós et al., 2008), siendo estos síntomas más graves en el caso de lechones destetados.

La genética ha demostrado ser un factor de gran importancia en relación con la aparición, en mayor o en menor medida, de los síntomas mencionados anteriormente durante el transporte (Averós et al., 2009). Asumiendo esta premisa, no todos los animales responderán igual ante unas condiciones

ambientales dadas, siendo de especial interés la posibilidad de caracterizar dicha reacción para cada uno de los animales que formen el lote, surgiendo así la justificación de este trabajo.

El objetivo principal de este estudio es la supervisión de la temperatura y análisis de la respuesta diferencial de cada individuo de un lote de cerdos Duroc, a las condiciones a las que ha estado sometido durante su transporte multimodal desde un núcleo SPF (Specific Pathogen Free, Reston, Canadá), hasta su llegada a granja (Montiel, España).

2. Materiales y Métodos

2.1. Sensores de registro medioambiental

Para el registro de las condiciones de humedad y temperatura en la zona más próxima a cada animal durante las diferentes fases de su transporte fueron empleados los sensores Ibutton DS1923 (Dallas Semiconductor, EE. UU.), dispositivos de adquisición de datos con sensor integrado de temperatura y humedad y del tamaño de una pila de reloj (Figura 1a). Tanto la transferencia de datos como la configuración de los trece sensores utilizados (Tabla 1) se realizó vía alámbrica mediante el empleo del lector "DS1402D-DR8" (Figura 1b) y el software "OneWireViewer versión 3.17.44" proporcionado por el distribuidor.

(a) (b)

Figura 1. (a) Sensores Ibutton DS1923 y (b) lector de escritorio para Ibutton DS1402D-DR8

Tabla 1. Configuracion empleada en los Ibutton DS1923

Nº de Ibutton	13
Intervalo de muestreo (s/dato)	180
Resolución (°C)	0.5
Rango de Temperatura (°C)	-20 a +85
Fecha inicio del registro	17 Mayo 2016 (00:01:00)
Fecha finalización de registro	25 de Mayo (08:01:00)
Hora de fin	25 de Mayo (12:49:00).

Los trece sensores Ibutton DS1923 fueron configurados y enviados al núcleo SPF (Specific Pathogen Free) situado en Reston (Manitoba, Canadá). Cada Ibutton se acopló, con un sistema de sujeción resistente, al crotal de identificación del animal a supervisar (Figura 2).

Figura 2. Detalle del acoplamiento del sensor Ibutton al crotal.

2.2. Itinerario del trasporte

En este artículo se presentan los trabajos llevados a cabo para monitorizar un transporte real de animales en el marco de la actividad habitual de la empresa Hendrix-Genetics. El transporte del lote de cerdos Duroc tuvo lugar del 19 de Mayo 2106, día en el que salieron del núcleo SPF (Specific

Pathogen Free) situado en Reston (Manitoba, Canadá), al 22 de Mayo de 2016, día de llegada a una granja en Montiel (Ciudad Real, España).

En el itinerario (Reston-Calgary-Luxemburgo-Lérida-Montiel) se han sucedido los desplazamientos en camión, avión y de nuevo camión hasta llegar a su destino final, tras 94 horas. A continuación, la Tabla 2 resume el itinerario realizado, mostrándose en la Figura 3 algunos detalles fotográficos de dicho transporte.

Tabla 2. Itinerario realizado por los cerdos desde Ontario hasta Montiel con referencia horaria (UTC +2: España)

Fecha Salida	Lugar Salida	Modalidad y tiempo (horas) de transporte	Fecha Llegada	Lugar Llegada
Jueves 19 de mayo 2016, 20:00	Núcleo SPF: Reston (Manitoba, Canadá)	Camión (5 h)	Viernes 20 de mayo, 01:00	Aeropuerto Internacional Toronto Pearson
Viernes 20 de mayo 2016, 01:00	Aeropuerto Internacional Toronto Pearson	Avión (12 h)	Viernes 20 de mayo 2016, 13:00	Luxemburgo
Viernes 20 de mayo 2016, 13:00	Luxemburgo	Camión (13 h)	Sábado 21 de mayo 2016, 02:00	Burdeos
Sábado 21 de mayo 2016, 02:00	Burdeos	En corral (descanso 22 h)	Domingo 22 de mayo 2016, 00:00	Burdeos
Domingo 22 de mayo 2016, 00:00	Burdeos	Camión (9 h)	Domingo 22 de mayo 2016, 09:00	Cia Lérida
Domingo 22 de mayo 2016, 09:00	Lérida	Camión (9 h)	Domingo 22 de mayo 2016, 18:00	Montiel -Ciudad Real
Domingo 22 de mayo 2016, 18:00	Granja: Montiel	En corral (descanso 24 h)	Lunes 23 de mayo 2016, 18:00	Montiel final ensayo

2.3. Análisis de datos

Tras la finalización del proceso de monitorización que cubría el transporte completo más el primer día en la granja de destino, se procedió al análisis de los datos registrados por once de los sensores empleados (dos sensores se perdieron durante el ensayo), a través del software MatLab R2016b (MathWorks, Massachusetts, EE. UU.).

El análisis se ha centrado en el estudio de las series temporales de temperatura, dado que durante el transporte fue acumulándose suciedad en el orificio del sensor que permite la medida de la humedad relativa, de modo que no se confía en la fiabilidad de los datos registrados. Teniendo en cuenta que el sensor está colocado en el crotal de la oreja del animal podemos asumir que no se está registrando ni la temperatura superficial del cerdo ni la temperatura ambiente sino la temperatura de película. La temperatura de película se define como la temperatura del aire en torno al animal, se calcula como la media aritmética de las temperaturas superficial del animal y del aire y caracteriza las propiedades termofísicas del aire en la transferencia de calor por convección natural y flujo externo entre el animal y el medio circundante.

Se ha aplicado un análisis de clúster a las series temporales de temperatura para evaluar si se pueden establecer grupos de sensores con patrones de respuesta similares en su temperatura de película. El análisis de clúster calcula las distancias euclideas para cada par de observaciones y utilizando en este caso el algoritmo de la “media” basado en el uso de la distancia media no ponderada (o promedio de grupo) crea un árbol de clúster jerárquico.

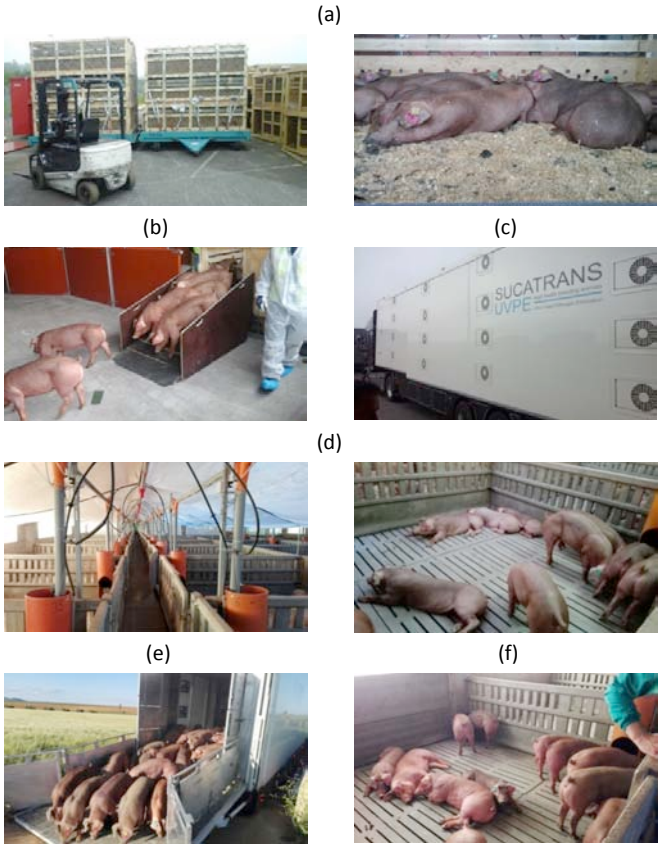


Figura 3. Reportaje fotográfico del itinerario realizado por los cerdos: (a) aislamiento de los cerdos en Núcleo SPF - Reston (Manitoba, Canadá); (b) llegada y descarga de los cerdos en Luxemburgo; (c) transporte de los cerdos de Luxemburgo a Burdeos; (d) estancia de 24 h en Burdeos; (e) llegada del camión y descarga de los cerdos en Montiel -Ciudad Real; y (f) granja de cerdos de Montiel (Ciudad Real, España)

Por otro lado, además de caracterizar las series temporales obtenidas mediante estadísticos descriptivos como la media, desviación típica, valores máximos y mínimos, etc… se ha procedido a implementar el método del espacio de fases. Según demostraron Eckmann y Ruelle (1985), entre otros autores, se puede analizar una serie temporal asumiendo que ésta es una muestra observable de la trayectoria que describe la solución de un sistema dinámico. Según estos autores el espacio de fases (o diagrama de fases) es la representación más adecuada en la que se muestra el comportamiento de un sistema dinámico desconocido que aproximadamente podemos reconstruir a través de una serie obtenida por la medición de una de sus variables físicas a lo largo de tiempo, como por ejemplo la temperatura. La reconstrucción bidimensional del espacio de fases se consigue al representar la serie temporal frente a sí misma retrasada en el tiempo, en este caso representado gráficamente la variable temperatura en el tiempo $t(k+\Delta)$, donde Δ es el desfase, frente a sí misma en el tiempo $t(k)$ (Jiménez-Ariza et al., 2014). Para este trabajo el valor óptimo de Δ se ha establecido heurísticamente en Δ=5 (retraso=15 min), siendo el desfase que permite la representación de la temperatura en el espacio de fases con la trayectoria cíclica más desarrollada. Cada representación del espacio de fases es caracterizada por el área encerrada por la envolvente convexa que engloba al conjunto de los puntos, envolvente que se determina con la función convhull de Matlab ®.

3. Resultados y Discusión

La Figura 4 muestra la representación temporal de los valores de temperatura registrados para cada uno de los sensores empleados durante el ensayo, poniendo de manifiesto la elevada variabilidad de los datos de temperatura registrados por distintos sensores en un mismo instante de tiempo. Se

señalan el inicio y el final de cada una de las fases que comprenden el transporte y el alojamiento de un día en Montiel.

En la Figura 5 (izquierda) se muestran los valores medios y la desviación típica de las temperaturas para cada sensor a lo largo de toda la monitorización. La diferencia entre las temperaturas medias de los sensores extremos es de casi 3°C; se observa que las mayores desviaciones típicas medias (4 °C) se dan en aquellos sensores con menores temperaturas medias (32°C), disminuyendo la desviación progresivamente hasta 2,3 °C en el grupo de sensores de mayores temperaturas medias (34,5°C).

El análisis de clúster permite diferenciar claramente (distancia 170 para una distancia euclidea máxima de 195) tres grupos homogéneos según su perfil de temperaturas: clúster A formado por el Ibutton 24; clúster B formado por el Ibutton 20; clúster C que incluye el resto de sensores Ibutton 14, 15, 18, 19, 21, 22, 23, 25 y 26. La Figura 5 (derecha), representa el espacio de fases de las temperaturas de película para los tres clúster y sus temperaturas medias, acotando el rango de variación de temperaturas máximo registrado, 21,5 °C, que correspondió al clúster A. La representación del espacio de fases también pone de manifiesto la diferente dinámica de temperaturas de película registrada por los distintos clúster de sensores y por tanto por los distintos animales.

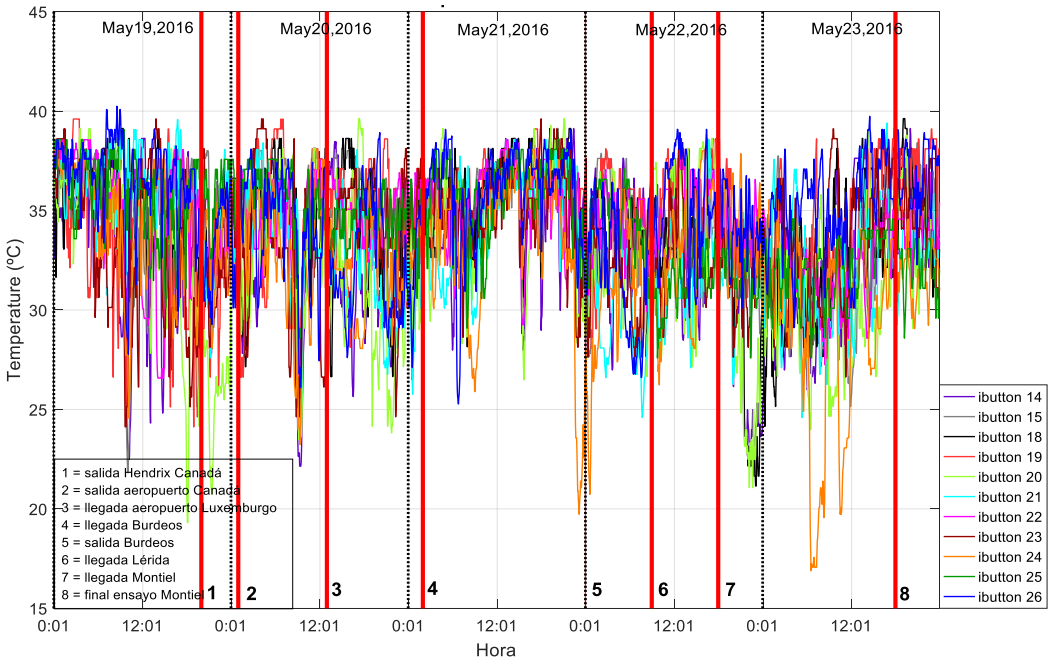


Figura 4. Representación de la temperatura registrada por cada Ibutton durante el desarrollo del ensayo, destacándose los momentos relevantes de itinerario seguido por los cerdos.

En la Figura 6 se representan la temperatura mínima registrada por casa sensor en cada una de las fases del transporte. A pesar de la variabilidad que se manifiesta en cada sensor a lo largo de las diferentes fases de transporte, se pueden identificar dos Ibuttons que presentan durante todo el viaje las menores temperaturas registradas, el Ibutton 20 y el 24. Por el contrario, hay otros sensores en los que se puede distinguir cierta tendencia a los valores más altos en la mayor parte de las fases de transporte, por ejemplo el Ibutton 25. Para ilustrar estas observaciones consideremos el periodo monitorizado en Montiel; durante este periodo, en el que los animales se encuentran estabulados en los corrales habituales, se produce una diferencia de más de 12°C entre la mayor de las temperaturas mínimas (del Ibutton 26) y la menor de las temperaturas mínimas (del Ibutton 24). Análogamente la diferencia que se produce en el trayecto comprendido entre Hendrix y el aeropuerto es de 11°C,

siendo de nuevo el Ibutton 24 el que presenta la menor de las temperaturas mínimas en este periodo.

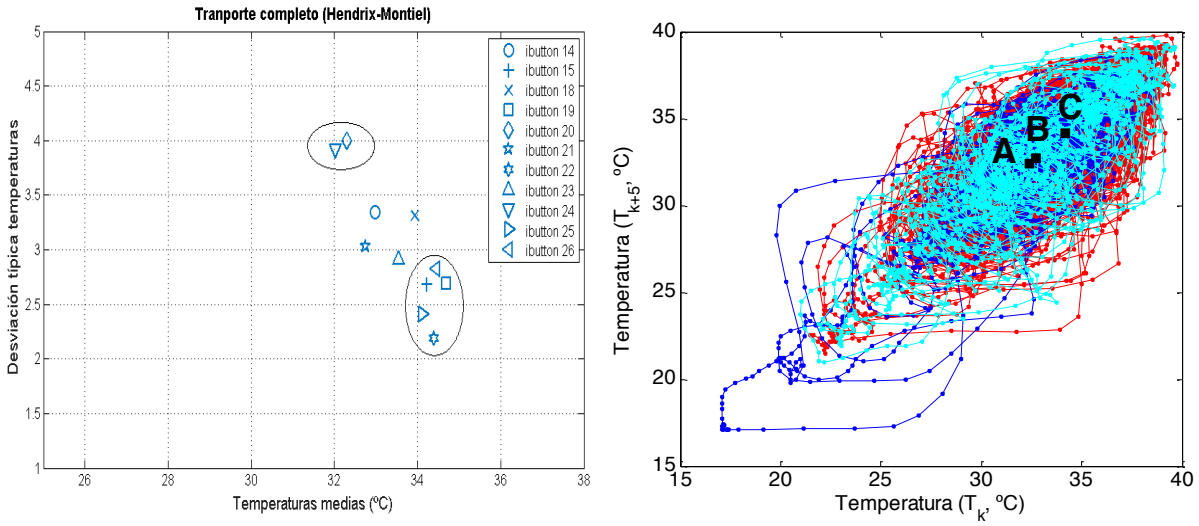


Figura 5. (izquierda)Representación de los valores medios y las desviaciones típicas de temperatura a lo largo del itinerario completo para cada uno de los Ibutton. (derecha) Representación bidimensional del espacio de fases: clúste rA Ibutton 24 azul oscuro, clúster B Ibutton 20 azul claro, clúster C en rojo. Los cuadrados negros indican la media por clúster.

Las variaciones de temperatura, incluso más que las temperaturas mantenidas fuera de confort, producen síntomas de estrés en los animales (Villarroel et al., 2011), por ello el análisis de las diferencias entre las temperaturas máxima y mínima de cada sensor en cada periodo puede dar información sobre aquellos individuos más susceptibles a presentar esos síntomas. La Figura 7 presenta información sobre estas diferencias, mostrando que los Ibuttons 20 y 24 son los que han tenido las mayores diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas en cada periodo (entre 8,3 y 20,5°C), mientras que el Ibutton 25 presenta las diferencias más pequeñas y más parecidas entre periodos (entre 5,2 y 8,8°C). La *Figura 8* (derecha) representa el espacio de fases de la temperatura de película registrada por estos tres sensores para las 94 horas del traslado completo, evidenciando la dinámica descrita por el Ibutton 24 caracterizada por una gran variabilidad térmica. Esta variabilidad se puede estimar a partir del área encerrada por la envolvente convexa que engloba al conjunto de los puntos de cada Ibutton en la representación del espacio de fases. Esta área para el Ibutton 24 es de 262,9 °C^2, para el Ibutton 20 es de 212,9 °C^2 y para el Ibutton 25 es de tan solo 53,9 °C^2. El Ibutton 25 representa por tanto la temperatura de película de un animal que se ha mantenido a lo largo de todo el traslado en unas condiciones de menor estrés térmico, con un área en el espacio de fases 5 veces menor que la del animal con el Ibutton 24 con una temperatura de película muy variable. Precisamente y tal como se puede observar en la *Figura 8* (izquierda) el Ibutton 25 muestra su mayor variabilidad durante su estancia en condiciones de descanso en corral, lo que podría indicar la mayor movilidad de este animal que se mantendría más alejado del grupo y por tanto expuesto a temperaturas más extremas. De forma general, la *Figura 8* (izquierda) muestra este aumento de la variabilidad térmica precisamente durante la estabulación de los animales en corral, lo que parece puede estar relacionado con aspectos de comportamiento de cada individuo que se pueden manifestar mejor en un espacio más amplio frente a las condiciones más restrictivas en cuanto a espacio y posibilidad de movimiento de los animales durante el transporte.

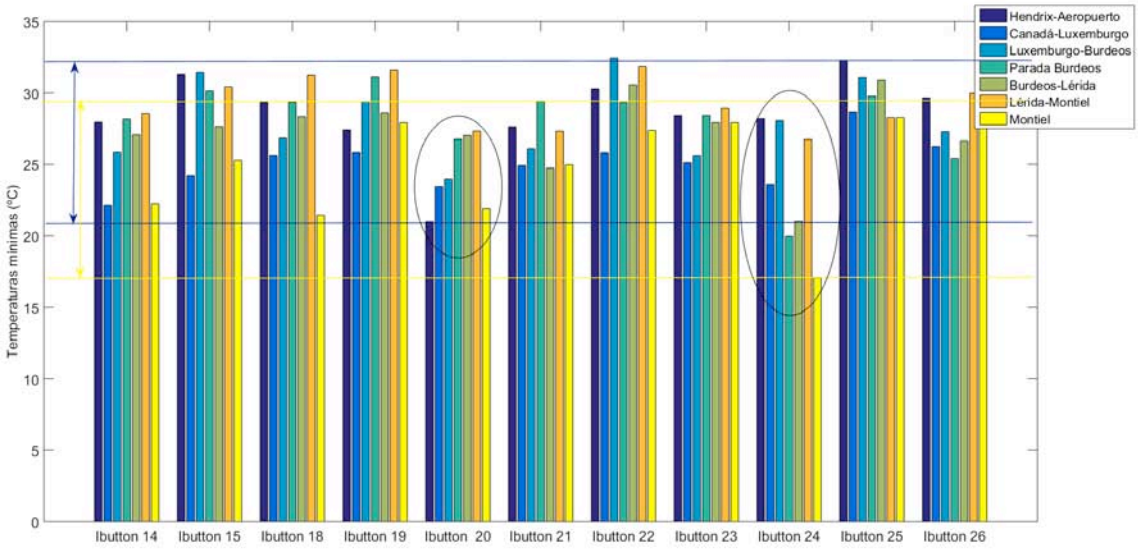


Figura 6. Temperaturas mínimas de cada sensor durante las diferentes fases del transporte monitorizado

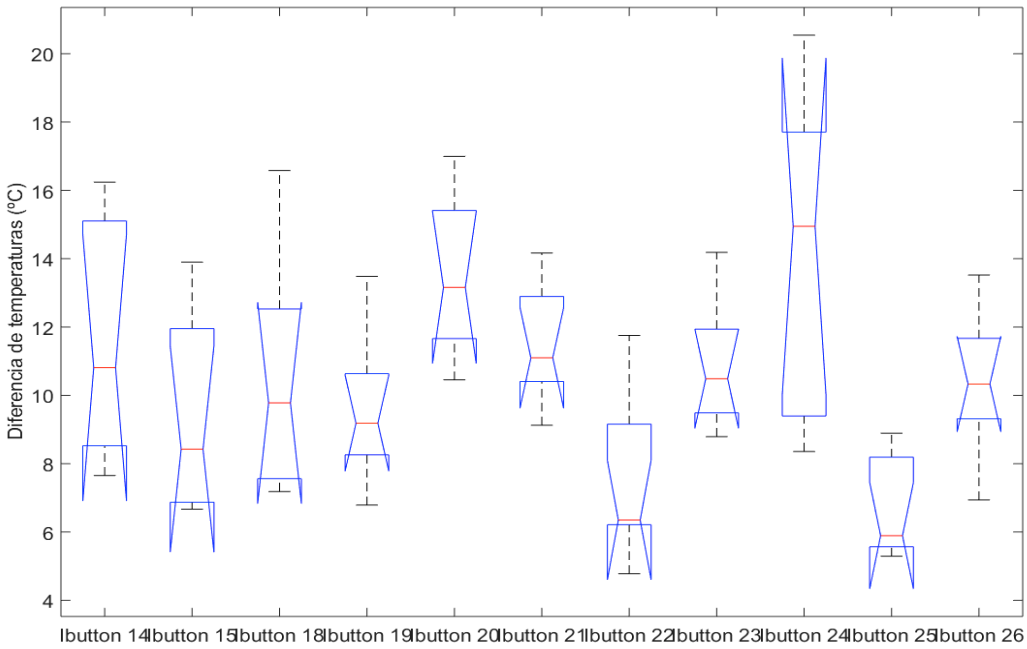


Figura 7. Diagramas de "box-whiskers" para los valores de las diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas de cada sensor en cada periodo (11 sensores y 7 periodos). La marca central corresponde a la mediana, los extremos de las cajas al primer y tercer cuantil. Los "whiskers" presentan los valores extremos.

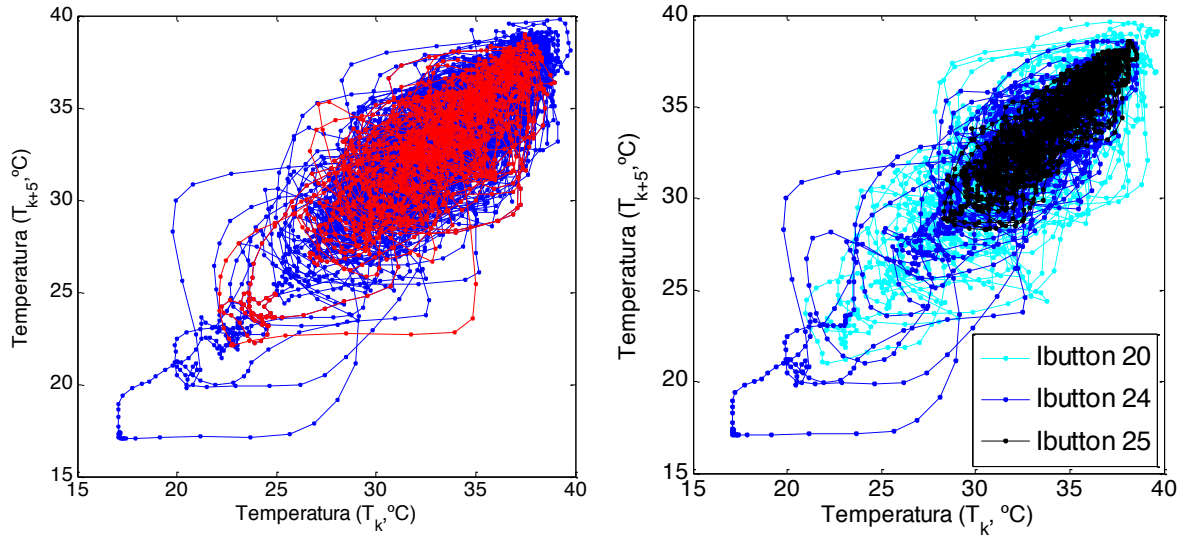


Figura 8. (izquierda) Representación del espacio de fases de temperatura para todos los sensores durante el conjunto de las etapas de transporte (avión+camión) en rojo y las etapas de descanso en corral en azul (Burdeos+Montiel). (derecha) Representación del espacio de fases de temperatura para los Ibutton 20, Ibutton 24 e Ibutton 25 para el viaje completo.

4. Conclusiones

Se ha conseguido hacer una supervisión individualizada no invasiva a lo largo de un transporte comercial de la temperatura de película de cada animal, mediante la colocación de un registrador autónomo de temperaturas en el crotal.

El análisis mediante representación bidimensional del espacio de fases de las series temporales particularizadas por periodos en el viaje monitorizado, ha permitido identificar distintos patrones dentro de los 11 animales monitorizados, distinguiendo 3 grupos.

Al realizar el ensayo durante un transporte comercial, no se pudo complementar los registros de cada animal con información sobre las temperaturas ambientales o la localización exacta del animal en cada cubículo durante los desplazamientos o en cada corral en Burdeos y Montiel. Aunque estos datos podrían contribuir a encontrar explicaciones a las diferencias identificadas entre animales, los análisis realizados sobre las series temporales de datos de un transporte con etapas muy diferenciadas han permitido categorizar animales con temperaturas de película muy diferentes en lo que se refiere a sus valores medios pero especialmente en lo que se refiere a su variabilidad. Se han registrado variaciones de temperatura de película para un mismo sensor de hasta 21,5 °C y un área en el espacio de fases de 262,9 $°C^2$ que la literatura relaciona con la aparición de estrés en los animales. Dichas diferencias podrían ser atribuidas al propio individuo en dos aspectos: el relativo al comportamiento y el relativo a la actividad metabólica y a la capacidad de adaptación a la variación de temperaturas. Es necesaria la realización de ensayos específicos y más controlados para validar estas hipótesis.

Agradecimientos

Trabajo financiado por la Comunidad de Madrid, S2013/ABI-2747 (TAVS-CM) y Fondos Estructurales de la Unión Europea".

Bibliografía

Arrebola Molina, F.;Yruela Morillo, M. d. C.;Ordoñez, I. E.;Pelayo Perera, A.;Conde Ramos, P.;Astudillo Navarro, F.; et al. 2013. *Binestar Animal en el Transporte*. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.

Averós, X.;Herranz, A.;Sánchez, R.; & Gosálvez, L. 2009. Effect of the duration of commercial journeys between rearing farms and growing–finishing farms on the physiological stress response of weaned piglets. *Livestock Science,* 122(2), 339-344.

Averós, X.;Knowles, T.;Brown, S.;Warriss, P.; & Gosálvez, L. 2008. Factors affecting the mortality of pigs being transported to slaughter. *The Veterinary Record,* 163(13), 386.

Broom, D. M.; & Johnson, K. G. 1993. *Stress and animal welfare*: Springer Science & Business Media.

Eckmann, J. P.; & Ruelle, D. 1985. Ergodic-theory of chaos and strange attractors. *Reviews of Modern Physics*, 57, 617–656. doi:10.1103/RevModPhys.57.617

Grandin, T. 2014. *Livestock Handling and Transport*: Cabi.

Jiménez-Ariza, T.; Correa, E. C.; Diezma, B.; Silveira, A. C.; Zócalo, A.C.; Arranz, F. J., et al. 2014. The phase space as a new representationof the dynamical behaviour of temperature and enthalpy in a reefer monitored with a multidistributed sensors network. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 1793-1806.doi:10.1007/s11947-013-1191-8.

Lambooy, E. 1988. Road transport of pigs over a long distance: some aspects of behaviour, temperature and humidity during transport and some effects of the last two factors. *Animal Production,* 46(02), 257-263.

Mota-Rojas, D.;Becerril, M.;Lemus, C.;Sánchez, P.;González, M.;Olmos, S. A.; et al. 2006. Effects of mid-summer transport duration on pre- and post-slaughter performance and pork quality in Mexico. *Meat Science,* 73(3), 404-412. doi: http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.11.012

Pérez, M. P.;Palacio, J.;Santolaria, M. P.;Aceña, M. C.;Chacón, G.;Gascón, M.; et al. 2002. Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. *Meat Science,* 61(4), 425-433. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00216-9

Piqueras, J. M. R. 2008. *Bienestar animal en el transporte: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia*, Consejería de Agricultura y Agua.

Randall, J. 1993. Environmental parameters necessary to define comfort for pigs, cattle and sheep in livestock transporters. *Animal Science,* 57(02), 299-307.

Reglamento CE 1/2005 - Relativo a la protección de los animales durante el transporte y las operaciones conexas. 2005.

Tarrant, P. 1989. The effects of handling, transport, slaughter and chilling on meat quality and yield in pigs: A review. *Irish journal of food science and technology,* 13(2), 79-107.

Villarroel, M., Barreiro, P., Kettlewell, P., Farish,M., & Mitchell,M. 2011. Time derivatives in air temperature and enthalpy as non-invasive welfare indicators during long distance animal transport. *Biosystems Engineering*, 110, 253–260. doi:10.1016/j.biosystemseng.2011.07.011.

Modelo para estimativa do volume e composição do chorume produzido em explorações de suínos pós-desmame com ventilação natural no Brasil

Jorge M.R. Tavares[1] , Paulo Belli Filho[1] , Arlei Coldebella[2] , Paul Robin[3] , Paulo Armando V. de Oliveira[2]

[1] Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS-UFSC), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico - Campus Universitário, Bairro Trindade, Caixa Postal 476, CEP 88040-970, Florianópolis, SC, Brasil. jorge.tavares@posgrad.ufsc.br, paulo.belli@ufsc.br

[2] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional Suínos e Aves (EMBRAPA), Caixa Postal 21, CEP 89700-000, Concórdia, SC, Brasil. arlei.coldebella@embrapa.br, paulo.armando@embrapa.br

[3] Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), UMR 1069 Sol-Agro et Hidrosystème Spatialisation, Agrocampus ouest, 65 rue de St Brieuc, F-35042 Cedex, Rennes, France. paul.robin@inra.fr

Resumo

Os modelos matemáticos são, atualmente, um dos principais instrumentos de apoio à gestão ambiental nas explorações pecuárias para quantificação dos riscos e, consequentemente, uma ferramenta essencial de ajuda à tomada de decisão do produtor. Neste contexto, a pesquisa teve como objetivo adaptar e validar um modelo de estimação do volume e composição dos chorumes produzidos por leitões (peso vivo: de 7 a 25 kg), embasado em equações disponíveis na literatura. Para tal, foram monitorados e avaliados 16 ciclos de produção considerando um período de alojamento de até 35 dias (26.695 leitões), durante 14 meses em quatro explorações comerciais de pós-desmame, no sul do Brasil (período frio e quente). Os valores do consumo de água e da ingestão de ração dos leitões foram considerados dados de entrada no modelo sendo, consequentemente, o volume de chorume produzido estimado e comparado com o medido nas explorações comerciais. A composição dos nutrientes (azoto, fósforo e potássio) foi também estimada atendendo a vários efeitos, tais como: maneio do animal (efetivo e desempenho zootécnico), maneio/gestão da água e ração (quantidade, composição e ingestão diária), condições de alojamento e ambiência (temperatura, ventilação), disposição final do chorume e limpeza das instalações. Os resultados mostraram que o modelo desenvolvido demonstrou robustez e confiabilidade para a estimativa dos volumes produzidos em explorações comerciais de pós-desmame com ventilação natural (R^2=0,93), na região sul do Brasil, assim como na sua composição em azoto (R^2=0,70), fósforo (R^2=0,69) e potássio (R^2=0,97), assumindo um erro máximo de estimação de ±15%.

Palavras-chave: leitões, modelagem, produção de chorume, nutrientes.

Model to estimate the volume and composition of manure produced at post-weaning pig farms with natural ventilation in Brazil

Abstract

Currently, mathematical models are one of the main tools to support environmental management in livestock farms, to help in quantification of risks and, consequently, an essential tool to aid the decision-making of the producer. This research aimed to adjust and validate a model for estimating the volume and composition of the manure produced by piglets (body weight: 7 to 25 kg), based on equations available in the literature. For this, 16 production cycles were evaluated considering a housing period of 35 days (26,695 piglets) during 14 months in four commercial post-weaning farms in southern Brazil (cold and warm season). The water disappearance and feed intake values of the piglets were considered as input data in the model and, consequently, the volume of manure produced was estimated and compared to that measured in commercial farms. The nutrients composition (nitrogen, phosphorus and potassium) was also estimated considering several effects, such as: animal husbandry (effective and animal performance), water and feed management (quantity, composition and daily intake), housing and environment conditions (temperature, ventilation), final disposal of manure and cleaning facilities. The results showed that the developed model demonstrated robustness and reliability to estimate the volumes produced in the commercial post-weaning farms with natural ventilation

(R^2=0.93) in the southern region of Brazil, as well as in its nitrogen (R^2=0.70), phosphorus (R^2=0.69) and potassium composition (R^2=0.97), assuming a maximum error of ± 15%.

Keywords: piglets, modeling, manure production, nutrients.

1. Introdução

Os chorumes produzidos nas explorações de suínos são associados a três grandes preocupações ambientais: a eutrofização dos recursos hídricos, a acumulação de nutrientes no solo e a emissão de gases, odores e poeiras para a atmosfera conduzindo, na generalidade, a uma redução na biodiversidade dos ecossistemas próximos aos centros produtivos (Basset-Mens; van der Werf, 2005; Jongbloed, 2008; Rigolot et al., 2010). A redução dos riscos ambientais e dos custos de produção, bem como a melhoria da imagem e da qualidade final do produto oferecido aos consumidores apresentam-se como metas fundamentais para o desenvolvimento sustentável da atividade suinícola (Dourmad et al., 2003; Rigolot et al., 2010). A definição precisa dessas metas permite o desenvolvimento de ferramentas quantitativas que possibilitem a estimativa do volume de chorumes produzidos e do teor de nutrientes que poderão ser liberados para o meio recetor natural. É importante ressaltar que a maioria dos impactos ambientais negativos resultantes da produção de suínos advém da coleta, armazenamento e utilização inadequada dos chorumes como fertilizantes orgânicos (Dourmad et al., 2003; Rigolot et al., 2010).

A modelagem matemática surge, neste contexto, como uma metodologia alternativa viável e de baixo custo para ajudar a compreender e quantificar alguns fenómenos implicados na produção pecuária (Pomar, 2014). Assim, partindo de informações coletadas nas próprias explorações (Dourmad et al., 2003; Rigolot et al., 2010), a modelagem permite a agregação desse conhecimento bem como a validação de hipóteses antes da realização dos experimentos. Na produção de suínos, têm sido desenvolvidos e apresentados alguns modelos exibindo, no entanto, limitações em função de restringirem as estimativas para as determinadas fases fisiológicas da cadeia produtiva (Aarnink et al., 1992; Strathe et al., 2015) ou nutrientes específicos (Dourmad et al., 1992). De fato, a maioria das pesquisas não apresenta capacidade de averiguar, ao mesmo tempo, todos os fatores que afetam a produção, concentrando-se assim em determinados tópicos específicos (Pomar, 2014). Neste contexto, Dourmad et al. (2003) desenvolveram e validaram um modelo matemático a partir de dados da literatura para estimar o volume e a composição dos chorumes excretados pelos suínos nas diferentes fases fisiológicas de produção. No final, o modelo agrega o conhecimento obtido nas explorações, permitindo estimar alguns riscos ambientais associados aos chorumes (*e.g.*, teor de azoto, fósforo, cobre, zinco e matéria orgânica) e o seu valor agronômico enquanto fertilizante (*e.g.*, matéria seca e orgânica, azoto total e disponível, potássio e fósforo).

Diante do exposto anteriormente, a presente pesquisa teve como objetivo adaptar e validar um modelo de estimação do volume e composição dos chorumes produzidos por leitões (peso vivo: de 7 a 25 kg) em explorações de suínos pós-desmame com ventilação natural no Brasil, embasado em equações disponíveis na literatura.

2. Material e Métodos

2.1. Delineamento Experimental

A pesquisa foi realizada de Julho de 2014 a Setembro de 2015, em quatro explorações comerciais de suínos, localizadas no sul do Brasil, segundo a metodologia apresentada por Tavares (2016). De modo a reduzir possíveis fatores de variação na coleta de dados, as quatro explorações na fase fisiológica de pós-desmame (leitão com peso-vivo: 7 a 25 kg) foram identificadas e selecionadas de acordo com os seguintes pressupostos: a) localizadas na mesma região geográfica (Oeste de Santa Catarina, Brasil); b) pertencerem à mesma agroindústria; c) serem representativas da fase fisiológica em pesquisa; d) edifícios de alojamento com condições de exequibilidade para as atividades a

desenvolver. No total, foram monitorados 26.695 leitões durante 16 ciclos de produção, repartidos pelas explorações selecionadas e considerando dois períodos do ano, o frio e o quente.

Os animais monitorados possuíam genética *Large White* × *Landrace* (linhagem materna) e *Landrace* × *Large White* ou *Pietrain* (linhagem paterna), tendo sido sujeitos a duas pesagens: à entrada e à saída dos edifícios (tempo de alojamento de até 35 dias). A ingestão de água e ração dos leitões foi "*ad libitum*", de acordo com as recomendações específicas da agroindústria. A dieta fornecida (granulada) foi balanceada e multifásica tendo como ingredientes base o milho e a soja (Rostagno et al., 2014), variando o seu consumo no tipo e quantidade ao longo do ciclo produtivo (cinco tipos de ração com teor de proteína a variar entre 18,5 e 21%). Os leitões alojados foram distribuídos aleatoriamente nos edifícios de produção em cada ciclo, em função do seu gênero (média: 40±2 leitões.baia^{-1}), mas podendo variar de acordo com a capacidade de alojamento de cada exploração. A superfície livre nas baias foi de aproximadamente 0,32 m^2.leitão^{-1} (piso semivazado).

2.2. Consumo de água e produção de chorume

O consumo total de água pelos leitões (água ingerida + desperdício animal no bebedouro) foi determinado em função do período de alojamento, através da instalação de hidrômetros nas explorações selecionadas (Unimag Cyble PN 10, ITRÓN Inc., Liberty Lake, Washington). Cada equipamento foi instalado em uma das linhas de água que abastecia os edifícios, tendo sido sujeito a uma avaliação prévia (controle de precisão das leituras) e, em caso de necessidade, substituído antes do início das medições de campo. As leituras do primeiro e último dia de alojamento foram corrigidas, em cada ciclo de produção, em função da hora de entrada e saída dos animais nos edifícios de produção. As leituras foram feitas diariamente pelos produtores (24 horas) e após observação cuidada, os erros nos valores de consumo derivados de problemas na rede hidráulica e bebedouros (vazamentos) foram analisados, corrigidos e, se necessário, excluídos do cálculo do consumo total de água (<1%) (Tavares et al., 2014). O manejo diário dos bebedouros pelo produtor não foi avaliado nas explorações (*e.g.*, pressão da coluna de água, limpeza, regulagem da altura e inclinação), apesar da influência descrita na literatura sobre o consumo total de água dos suínos (Gonyou, 1996; Brumm et al., 2000; LI et al., 2005).

A determinação do volume de chorume produzido foi realizada através da instalação de caixas de fibra de vidro de 5 m^3 (Fibratec e Fortlev, Araquari, SC, Brasil). Diariamente (24 horas), o produtor efetuou a descarga dos chorumes armazenados nas canaletas internas para o interior das caixas de fibra de vidro; posteriormente, com o auxílio de uma régua graduada (em cm) mensurou a altura da lâmina de água do chorume, registando-se os valores em planilha específica. A equipe de campo coletou os dados semanalmente, para correção e eliminação de erros. No momento da descarga do chorume foi observado que uma determinada quantidade de sólidos ficava sedimentada/retida no fundo da caixa. Para evitar um erro por superestimação do volume de chorumes produzidos foi realizada a medição da altura dos sólidos retidos e estimado um valor de referência por exploração.

2.3. Caracterização físico-química dos chorumes produzidos e ração consumida

A caracterização físico-química dos chorumes foi realizada através de amostragem semanal dos chorumes produzidos nas explorações segundo o delineamento experimental da pesquisa. Em cada amostragem, após a mistura dos chorumes retidos nas canaletas internas, foram coletadas 10 alíquotas para um recipiente de 20 litros, procedendo-se a nova homogeneização e retirada de com volume total de um litro. As variáveis analisadas de acordo com o "*Standard Methods*" (APHA, 2012) foram: série de sólidos (totais, voláteis e fixos), o carbono orgânico total, o azoto total e amoniacal e o fósforo total.

A ingestão diária de ração foi determinada a partir dos valores disponibilizados pelos produtores e agroindústria. A caracterização físico-química foi também realizada através de amostragem semanal das rações fornecidas, em função do delineamento experimental de atividades. A análise das rações

foi realizada de acordo com o "*Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*" (AOAC, 2005), considerando: matéria seca, matéria mineral, carbono, azoto total e fósforo total.

2.4. Características do ar: temperatura e humidade relativa

Os dados diários de temperatura (°C) e humidade relativa (%) foram obtidos através da instalação de três equipamentos, por exploração, "*data-logger*" marca Testo®, modelo 174H, com canais independentes para ambas as variáveis [sensor capacitivo de umidade (entre 0% e 100%rH) e sensor interno NTC (entre -20 e 70 °C). No interior dos edifícios foram instalados dois equipamentos em locais representativos da área de alojamento e fora do alcance destes (±1,20 metros do solo); no exterior foi instalado um "*data-logger*" em local abrigado dos raios solares, compreendendo a incidência rasante do começo e do final do dia (≥1,50 metros do solo). O intervalo entre cada leitura foi de 30 minutos, sendo os dados coletados para correção e/ou eliminação de erros.

2.5. Modelo matemático

A estimativa do volume e da composição físico-química dos chorumes produzidos pelos leitões, na fase fisiológica de pós-desmame, baseou-se no balanço da água e nutrientes sendo apresentado detalhadamente por Dourmad et al. (2003) e adaptado para as condições brasileiras por Tavares, 2016, pelo que apresentam-se somente as principais equações utilizadas no modelo desenvolvido.

Estimativa do volume de chorume a partir do balanço de água

A quantidade de água no chorume ($H_2O_{Chor.}$) foi estimada a partir do balanço da água dos animais ($H_2O_{Bal.}$) associado à quantidade de água gasta na limpeza e desinfecção ($H_2O_{Limp.}$) [Equação (1)]. Por sua vez, o balanço da água nos leitões [Equação (2)] foi determinado pela diferença entre os "*Inputs*" [água ingerida no bebedouro ($H_2O_{Beb.}$), água ingerida no consumo da ração ($H_2O_{Raç.}$) e água produzida por via metabólica ($H_2O_{Met.}$)] e "*Outputs*" [água retida no corpo ($H_2O_{Ret.}$) e água evaporada pelo suíno ($H_2O_{Evap.}$)].

Quantidade de água no chorume (kg água.Leitão^{-1}.d^{-1})

$$H_2O_{Chor.} = H_2O_{Bal.} + H_2O_{Limp.} \quad (1)$$

Balanço de água (kg água.d^{-1})

$$H_2O_{Chor.} = H_2O_{Beb.} + H_2O_{Raç.} + H_2O_{Met.} - H_2O_{Ret.} - H_2O_{Evap.} \quad (2)$$

Quantidade e volume de chorume (kg chorume.Leitão^{-1}.d^{-1})

$$Q_{Chor.} = H_2O_{Chor.} + QMS_{Chor.} \quad (3)$$

$$V_{Chor.} = Q_{Chor.} / \rho_{Chor.} \quad (4)$$

$$\rho_{Chor.} = 1000 + 0{,}49MS_{Chor.} \quad (5)$$

Estimativa da quantidade de azoto excretado no chorume

A quantidade de azoto excretada nos chorumes ($N_{Exc.}$) foi estimada a partir do balanço do nutriente [Equação (6)]. O balanço foi determinado pela diferença entre o "*Input*" [azoto ingerido na ração ($N_{Ing.}$)] e "*Output*" [retido no corpo do suíno ($N_{Ret.}$)] do sistema (Aarnink et al., 1992; Dourmad et al., 1992). O azoto retido nos leitões foi por sua vez estimado pela diferença entre as quantidades deste nutriente contido nos tecidos animais, considerando o final (N_{corF}) e começo (N_{Corl}) do ciclo de produção [Equação (7)], em função da massa corporal e da taxa de músculo (MUS = 60,8%) nas peças da carcaça [Equação (8)] (Dourmad et al., 1992; Rigolot et al., 2015; Dourmad et al., 2015).

O azoto excretado nas fezes (N_{Fezes}) foi estimado a partir do produto da quantidade ingerida do nutriente na ração e o seu coeficiente de digestibilidade (C_{DN}) [Equação (9)]. O coeficiente de digestibilidade foi determinado em função dos teores de energia digestível ($E_{D.}$) (variou entre 3.725 e 3.800 cal.kg^{-1}) e da proteína bruta ($P_{B.}$) das rações fornecidas [Equação (10)]. Assim, o azoto presente

no chorume foi estimado pela soma da quantidade de azoto na urina (N_{Urina}) e nas fezes (N_{Fezes}) [Equação (11)] (Dourmad et al., 2003; Le Goff e Noblet, 2001).

Azoto excretado estimado (g N.Leitão^{-1}.d^{-1})

$$N_{Exc.} = N_{Ing.} - N_{Ret.} \quad (6)$$

$$N_{Ret.} = N_{CorF} - N_{CorI} \quad (7)$$

$$N_{Cor} = e^{(-0,9559 - 0,0145MUS)} \cdot 0,96m^{(0,7417 + 0,0044MUS)}/6,25 \quad (8)$$

$$N_{Fezes} = N_{Ing.} \cdot (1 - C_{DN}) \quad (9)$$

$$C_{DN} = [-0,128 + (7,8E_{D.} + 0,87P_{B.})/MS_{Raç.}]/(P_{B.}/MS_{Raç.}) \quad (10)$$

$$N_{Exc.} = N_{Urina} + N_{Fezes} \quad (11)$$

A volatilização do azoto ($N_{volat.}$) nos edifícios foi determinado aplicando um coeficiente ($C_{Volat.}$) à quantidade de azoto estimado nos chorumes [Equação (12)] (Dourmad et al., 1999; 2003). O valor do coeficiente foi predefinido como 0,24 (Dourmad et al., 1999), podendo ser ajustado através de fatores associados à volatilização da NH_3, entre eles: o efeito da diluição ($Ef_{Dil.Chor.}$), o efeito da temperatura no chorume ($Ef_{Temp.Chor.}$), o efeito da renovação do ar ($Ef_{Ren.Ar}$ = 0,48), o efeito do piso (Ef_{Piso}=0,80) e o efeito da frequência de descarga dos dejetos ($Ef_{Freq.Desc.}$=0,65) [Equação (13)]. Os efeitos cujos valores não são apresentados foram avaliados através de relações empíricas e modelos disponíveis na literatura ou do modelo de estimativa da volatilização (Aarnink e Elzing, 1998).

Volatilização do azoto amoníacal (g N.Leitão^{-1}.d^{-1})

$$N_{Volat.} = N_{Exc.} \cdot C_{Volat.} \quad (12)$$

$$C_{Volat.} = 0,24 \cdot Ef_{Dil.Chor.} \cdot Ef_{Temp.Chor.} \cdot Ef_{Ren.Ar} \cdot Ef_{Piso} \cdot Ef_{Freq.Desc.} \quad (13)$$

O azoto total no chorume foi estimado a partir da quantidade excretada estimada e das perdas do nutriente sob a forma de gás [Equações (14) e (15)]. Simultaneamente, foi determinada a quantidade de azoto na forma de NH_3 [Equação (17)], assumindo a hipótese que todo o azoto na forma de ureia se converteu em NH_3 [taxa de mineralização do azoto orgânico fecal igual à da matéria orgânica (*vide* em Dourmad et al., 2003; Tavares, 2016)] [Equações (16)]. O coeficiente de degradação ($C_{Deg.}$) utilizado foi de 0,343 e o intervalo de descarga ($I_{Arm.}$) igual a um dia.

Quantidade de azoto no chorume (g N.Leitão^{-1}.d^{-1})

$$N_{Dej.} = N_{Exc.} \cdot (1 - C_{Volat.}) \quad (14)$$

$$N_{[T]} = N_{Dej.}/Q_{Dej.}, \text{ g N.kg chorume} \quad (15)$$

$$N_{NH3} = N_{Urina} - N_{Volat.} + N_{Fezes} \cdot C_{Deg.} \cdot I_{Arm.}/2 \quad (16)$$

$$N_{[NH3]} = N_{NH3}/Q_{Dej.}, \text{ g.kg}^{-1} \quad (17)$$

Estimativa da quantidade de potássio e fósforo excretado no chorume

As quantidades de potássio e fósforo excretadas nos chorumes foram estimadas a partir do balanço respetivo do nutriente [Equação (18)]. As retenções de potássio e de fósforo foram estimadas pela diferença entre as quantidades corporais no final (NUT_{CorpoF}) e no começo (NUT_{CorpoI}) dos ciclos de produção avaliados [Equação (19)]. As quantidades retidas foram determinadas a partir de equações citadas na literatura: potássio [Equação (20)] e fósforo [Equação (21)] (Dourmad et al., 2003, 2015).

Nutriente excretado estimado (g nutriente.Leitão^{-1}.d^{-1})

$$NUT_{Chor.} = NUT_{Ing.} - NUT_{Ret.} \quad (18)$$

$$NUT_{Cor.} = NUT_{CorpoF} - NUT_{CorpoI} \quad (19)$$

$$K_{Corpo} = -0,0034m^2 + 2,53m \quad (20)$$

$$P_{Corpo} = 5,35m \quad (21)$$

2.6. Análises estatísticas

Os dados obtidos no desenvolvimento da pesquisa foram organizados e analisados, preliminarmente, com recurso ao software Microsoft Excel©, seguida de análise estatística através do software Statistical Analysis System© [SAS Inst. Inc., Cary, NC, (2012)].

3. Resultados e Discussão

3.1. Desempenho zootécnico

Na Tabela 1 são apresentados os resultados do desempenho zootécnico dos leitões (n=26.695) obtidos nos 16 ciclos de produção avaliados no decorrer da pesquisa.

Tabela 1. Desempenho zootécnico dos leitões.

Parâmetro	Média.Leitão^{-1} †
Peso de entrada (kg)	7,36±0,98
Peso de saída (kg)	24,76±2,62
Consumo de ração (kg.d^{-1})	0,58±0,05
Duração do ciclo (dias)	35±2
Índice de Consumo (kg.kg^{-1})	1,43±0,05
Ganho Médio de Peso Diário (kg.d^{-1})	0,44±0,04

† média ± desvio padrão (entre ciclos).

3.2. Caracterização físico-química dos chorumes

Os resultados obtidos para a carcterização físico-química dos chorumes produzidos pelos leitões no decorrer da pesquisa são exibidos na Tabela 2.

Tabela 2. Características físico-químicas dos chorumes produzidos pelos leitões.

Parâmetro (g.L^{-1})	Média †	Máximo	Mínimo
Sólidos Totais	40,9±20,2	74,5	14,9
Sólidos Fixos	9,8±3,9	16,9	5,5
Carbono Org. Total	17,1±9,2	30,8	4,5
Azoto Total	3,3±1,4	6,2	1,3
N-NH_4^+	1,6±0,5	2,8	1,0
Potássio	1,9±0,8	3,9	1,1
Fósforo Total	0,7±0,3	1,3	0,3

† média ± desvio padrão (entre ciclos); ‡ Carbono orgânico total.

3.3. Características do ar: temperatura e humidade relativa

Na Tabela 3 são apresentadas as médias das características do ar considerando o ar interno e externo, respectivamente. Convém referir que as médias obtidas para o período frio e quente não apresentaram diferenças significativas para o ar interior dos edifícios de alojamento.

Tabela 3. Características do ar nas explorações avaliadas.

Parâmetro	Interior †	Exterior †
Temperatura (°C)	24,0±1,5	18,1±3,3
Humidade relativa do ar (%)	69,6±11,4	85,2±9,9

† média ± desvio padrão (entre ciclos).

3.4. Modelo matemático

O modelo matemático foi validado com dados experimentais obtidos nas explorações comerciais, na fase fisiológica de pós-desmame (n=16 ciclos de produção). Dos 16 ciclos avaliados, alguns não apresentaram os quesitos necessários para serem incluídos na validação de alguns parâmetros do modelo. Tal fato foi associado a problemas no levantamento de dados de entrada do modelo [*e.g.*, análise laboratorial de algumas amostras, erros nas leituras de consumo de água e produção de

chorumes e avaria nos equipamentos de dados de temperatura e umidade ("*data-logger*", marca Testo®, modelo 174H)]. Neste contexto, para adaptar o modelo desenvolvido foram assumidos pressupostos derivados do modelo original (Dourmad et al., 2003) ou de trabalhos já apresentados em pesquisas anteriores com dados experimentais (Oliveira, 2003; Rigolot et al., 2010). Devido à escassez de dados do peso-vivo dos leitões avaliados em cada ciclo de produção, foi necessário recorrer ao ajuste da curva de crescimento dos leitões a partir de uma equação disponível na literatura (Aubry et al., 2004).A validação final do modelo para a estimativa do volume de chorumes produzidos na fase fisiológica de pós-desmame foi realizada comparando os resultados estimados pelo modelo com os valores medidos nas explorações comerciais de leitões com ventilação natural.

Estimativa do volume de chorume a partir do balanço de água

Na Tabela 4 são apresentadas as médias diárias do consumo de água e da produção de chorumes dos leitões. Os resultados obtidos podem ser analisados de forma mais detalhada em Tavares (2016), no entanto, da visualização dos valores indicados, é possível observar que o consumo de água obtido foi inferior à maioria dos dados reportados na literatura (Froese, 2003; Ferreira et al., 2006; Massabie et al., 2014). Em relação à média dos chorumes produzidos, esta também foi inferior às observadas por outros autores (Froese, 2003; Ferreira et al., 2006).

Tabela 4. Consumo de água e produção de chorumes dos leitões (n=16 ciclos de produção).

Parâmetro (L.Leitão^{-1})	Média †	Máximo	Mínimo
Consumo de água	2,68±0,83	4,72	1,26
Produção de chorumes	1,57±0,60	3,03	0,62

† média ± desvio padrão (entre ciclos).

Os volumes estimados de chorume, para o período de alojamento na fase fisiológica de pós-desmame (até um máximo de 35 dias), mostraram-se robustos, mas com precisão ligeiramente inferior a outros resultados já presentes na literatura (Dourmad et al., 2003; Rigolot et al., 2010). Tal fato pode ser observado na Figura 1, quer pela inclinação da reta de regressão entre os valores estimados e os medidos (1,030), quer pelo coeficiente de determinação (R^2=0,93). O erro de estimação absoluto foi de 4,5 L.Leitão^{-1} (0,13 L.Leitão^{-1}.d^{-1}) o que representou 8,0% do volume médio de chorume medido nas explorações (54,8 L.Leitão^{-1}). Convém referir que os resultados obtidos para a estimativa do volume de chorume foram concordantes, mas ligeiramente superiores aos valores citados em outras pesquisas [volumes estimados: 51,8 e 47,0 L.Leitão^{-1}; medidos: 52,0 e 46,0 L.Leitão^{-1}, respectivamente (Dourmad et al., 2003; Rigolot et al., 2010)].

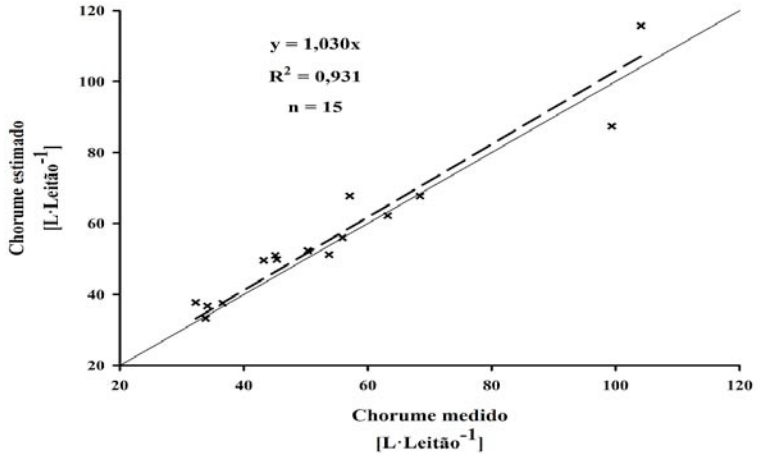


Figura 1. Relação entre o volume de chorume estimado pelo modelo e o medido nas granjas na fase fisiológica de pós-desmame (n=15 ciclos).

Estimativa da quantidade de azoto excretado no chorume

As relações entre as quantidades de azoto estimadas e as quantidades medidas nos chorumes podem ser visualizadas na Figura 2. Os valores estimados pelo modelo apresentaram uma correlação

de moderada a forte com os valores medidos em campo, sendo superiores quando comparados na média (0,26±0,05 *vs* 0,26.Leitão^{-1}). O erro de estimação absoluto correspondeu a 9,4% dos valores medidos em campo. Na generalidade, a superestimação observada (1,077) mostrou-se concordante, mas inferior aos valores citados na literatura [1,32 (Dourmad et al., 2003; Rigolot et al., 2010)].

As diferenças observadas nos resultados podem ser explicadas pelo intervalo observados em campo entre as descargas dos chorumes (24 e 48 horas, no máximo), o que impediu a volatilização completa dos compostos azotados presentes no chorume armazenado nas canaletas internas. De fato, a quantidade de azoto volatilizada na fase fisiológica de pós-desmame (12%), mesmo após ajuste do coeficiente de volatilização, resultou em valores inferiores aos citados na literatura em relação ao azoto excretado [23% (Guillou et al., 1993); 24% (Dourmad et al., 1999; 2015); 22,4±9,1% (Griffing et al., 2007)].

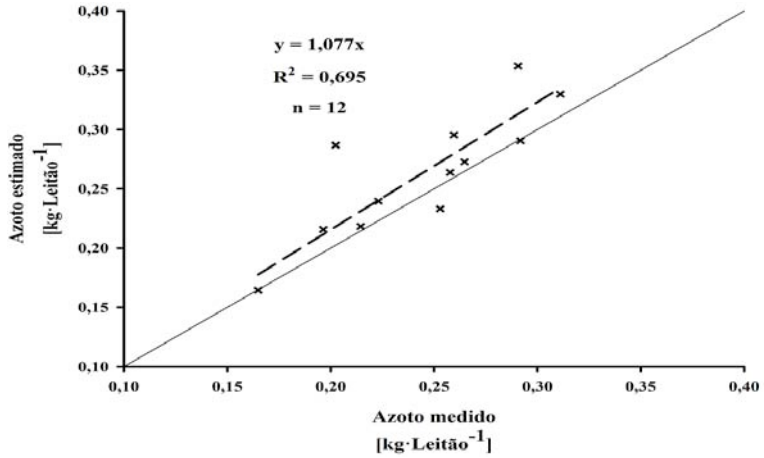


Figura 2. Relação entre a quantidade de azoto estimada pelo modelo e a medida nas granjas na fase fisiológica de pós-desmame (n=12 ciclos).

Estimativa da quantidade de potássio e fósforo excretado no chorume

As estimativas da quantidade de potássio excretadas pelos leitões mostraram-se robustas e precisas, tal como exibido na Figura 3. Na média, os valores medidos no chorume foram 10,9% inferiores aos valores estimados pelo modelo (130,2±22,8 *vs* 146,1±25,6 g.Leitão^{-1}, respectivamente). O erro de estimação absoluto foi 15,9 g.Leitão^{-1} (0,45 g.Leitão^{-1}.d^{-1}), o que representou 12,2% da quantidade medida nos chorumes nas granjas.

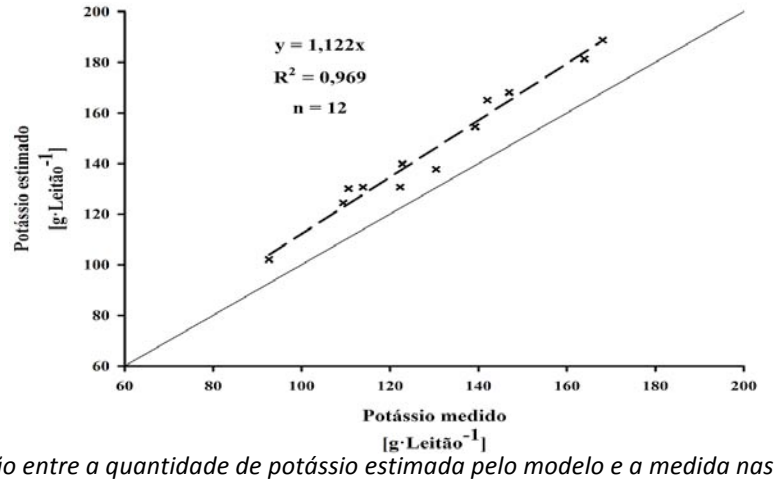


Figura 3. Relação entre a quantidade de potássio estimada pelo modelo e a medida nas granjas na fase fisiológica de pós-desmame (n=12 ciclos).

A superestimação da quantidade de potássio não pode ser explicada pela subestimação da retenção do nutriente a partir do proposto pela equação do modelo [Equação (20)]. Embora as quantidades de

potássio retidas pelos leitões tenham sido inferiores aos valores citados na literatura (38 %), as suas relações com as quantidades excretadas nos chorumes foram concordantes, mas superiores quando comparadas com os dados disponíveis [21%; (Dourmad et al., 2015)]. Como a relação entre as quantidades retidas e ingeridas pelos animais foram relativamente constantes no decorrer dos ciclos de produção (aproximadamente 20 %), a discrepância entre os valores estimados e medidos não podem ser associados à ingestão em excesso do nutriente fornecido na ração. Neste contexto, as superestimações do modelo foram relacionadas com as subestimações dos valores medidos nos chorumes amostrados nas explorações (amostras de chorume muito diluídas). Estes problemas resultam das dificuldades encontradas, normalmente, na amostragem dos chorumes em explorações comerciais de leitões, tal como referido na literatura (Dourmad et al., 2003; Rigolot et al., 2010). Com o intuito de reduzir a diluição dos chorumes nas amostras analisadas e os possíveis erros associados aos restantes elementos minerais, foi realizada uma correção às quantidades medidas em campo através da determinação de um fator de diluição. Este fator de diluição teve como pressuposto a solubilidade do potássio, ou seja, na ausência de perdas de líquido nas explorações (por percolação) não se observam perdas deste nutriente no sistema produtivo (balanço de massa: a quantidade de potássio ingerida na ração deve ser igual ao somatório da quantidade excretada e da retida). Consequentemente, após a correção realizada ao potássio e avaliada o efeito da mesma no modelo, o fator de diluição foi aplicado aos restantes nutrientes em estudo.

Em relação às quantidades estimadas e medidas de fósforo nos chorumes dos leitões, para a fase fisiológica de pós-desmame, estas são apresentadas na Figura 4. Os valores medidos foram 14,8% superiores aos valores estimados pelo modelo (51,6±7,7 *vs* 45,0±11,6 g.Leitão^{-1}). Contudo, a correlação mostrou-se moderada a forte, quer pelo valor da inclinação da reta (0,878) quer pelo coeficiente de determinação obtido (R^2=0,67). O erro de estimação absoluto foi de 7,3 g.Leitão^{-1}, o que representou 14,9% da quantidade de fósforo medida nos chorumes durante os ciclos de produção.

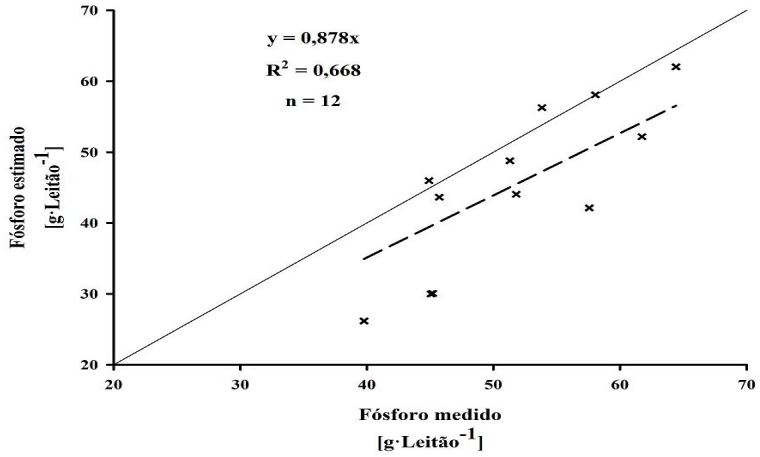


Figura 4. Relação entre a quantidade de fósforo estimada pelo modelo e a medida nas granjas na fase fisiológica de pós-desmame (n=12 ciclos).

Na Tabela 5 são apresentadas, em resumo, as médias e desvios padrão dos erros de predição dos parâmetros estimados no modelo, tanto o absoluto quanto em percentagem, para a fase fisiológica avaliada.

Tabela 5. Médias e desvios padrão dos erros de predição das variáveis estimadas no modelo.

Fase Fisiológica	Erros de Estimação †	
	Absoluto	(%)
Volume de chorume (L.Leitão^{-1}.d^{-1})	0,13±0,12	8,0±6,3
Azoto (g.Leitão^{-1}.d^{-1})	0,66±0,74	9,4±11,8
Potássio (g.Leitão^{-1}.d^{-1})	0,45±0,15	12,2±3,6
Fósforo (g.Leitão^{-1}.d^{-1})	0,21±0,18	14,9±13,6

† média ± desvio padrão (entre ciclos).

4. Conclusões

O modelo matemático mostrou, quando atentidas algumas limitações, a sua possibilidade de uso tanto para a estimativa do volume quanto da composição dos chorumes produzidos nas explorações de leitões no sul do Brasil. O modelo apresentou robustez e elevada precisão na estimativa do volume de chorume produzido (R^2=0,931; erro de estimação absoluto: 0,13±0,12 L.leitão^{-1}.d^{-1}). Os fluxos de nutrientes apresentaram correlações moderadas a fortes, exibindo limitações para o azoto (R^2=0,695; erro de estimação absoluto: 0,66±0,74 g.Leitão^{-1}.d^{-1}) e o fósforo (R^2=0,668; erro de estimação absoluto: 0,21±0,18 g.Leitão^{-1}.d^{-1}). No geral, o modelo fornece novas equações para a estimativa do volume e da composição dos chorumes no Brasil, no entanto, algumas expressões e coeficientes devem ser revistos ou determinados para as condições brasileiras (*e.g.*, curva de crescimento, coeficientes de digestibilidade de nutrientes, equação de retenção de nutrientes). Simultaneamente, deve ser desenvolvido um programa de gestão de água nas explorações com o intuito de reduzir os desperdícios observados e associados ao manejo do produtor e, consequentemente, reduzir a diluição detectada nos chorumes dos leitões em condições reais de operação.

Agradecimentos

Os autores deste estudo agradecem o apoio das seguintes entidades brasileiras: FAPESC, CNPq, CAPES, BRF, AINCADESC/SINDICARNE_SC, EMBRAPA, PPGEA/UFSC e PROJETO TSGA.

Bibliografia

Aarnink, A. and A. Elzing. 1998. Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livestock Production Science*, 53: 153-169.

Aarnink, A., E. van Ouwerkerk and M. Verstegen. 1992. A mathematical model for estimating the amount and composition of slurry from fattening pigs. *Livestock Production Science*, 31: 133-147.

AOAC.2005. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Gaithersburg, USA: AOAC International.

APHA. 2012. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. Washington, USA: American Public Health Association.

Aubry, A., N. Quiniou, Y. Le Cozler, and M. Querné. 2004. Modélisation de la croissance et de la consommation d'aliment des porcs de la naissance à l'abattage: actualisation des coefficients appliqués aux critères standardizes de performances en gestion technico-economique. In: *Actes 36èmes Journées De La Recherche Porcine*, 409-422. 3-5 Fevereiro., Paris, France.

Basset-Mens, C. and H. van der Werf. 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105: 127–144.

Brumm, M., J. Dahlquist and J. Heemstra. 2000. Impact of feeders and drinker devices on pig performance, water use and manure volume. *Swine Health and Production*, 8: 51-57.

Dourmad, J.-Y., C. Pomar and D. Massé. 2003. Mathematical modelling of manure production by pig farms. Effect of feeding and housing conditions. In: *Proc. 40th Eastern Nutrition Conference*, 111-125. 11-12 Maio, Quebec, Canadá.

Dourmad, J.-Y., D. Guillou and J. Noblet. 1992. Development of a calculation model for predicting the amount of N excreted by the pig: effect of feeding, physiological stage and performance. *Livestock Production Science*, 31: 95-107.

Dourmad, J.-Y., N. Guingand, P. Latimier, and B. Sève. 1999. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: France. *Livestock Production Science*, 58: 199-211.

Dourmad, J.-Y., P. Levasseur, M.-L. Daumer, M. Hassouna, B. Landrain, N. Lemaire, A. Loussouarn, Y. Salaün and S. Espagnol. 2015. *Évaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc*

des porcs: influence de l'alimentation, du mode de logement et de la gestion des effluents. Paris: RMT Elevages et Environnement.

Ferreira, L., E. Duarte, J. M. R. Tavares and R. *Almeida.* 2006. *Determinação das emissões (para o ar e para a água) no sector da suinicultura nacional.* Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Agronomia.

Froese, C. 2003. Water usage and Manure production rates in today's pig industry. *Advances in Pork Production*, 14: 19-22.

Gonyou, H. 1996. Water use and drinker management: a review. In: *1996 Annual Research Report*. 74-80. Saskatoon, Saskatchewan, Canada: Prairie Swine Centre.

Griffing, E., M. Overcash and P. W. Westerman. 2007. A review of gaseous ammonia emissions from slurry pits in pig production systems. *Biosystems Engineering*, 97: 295–312.

Guillou, D., J.-Y. Dourmad and J. Noblet. 1993. Influence de l'alimentation, du stade physiologique et des performances sur les rejets azotés du porc à l'engrais, de la truie et du porcelet. In: *Actes 25èmes Journées De La Recherche Porcine*, 307-314. 2-4 Fevereiro, Paris, France.

Jongbloed, A. 2008. Environmental pollution control in pigs by using nutrition tools. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37: 215-229.

Le Goff, G. and J. Noblet. 2001. Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte. In: *Actes 33èmes Journées De La Recherche Porcine*, 211-220. 30 Janeiro-1 Fevereiro, Paris, France.

LI, Y., L. Chénard, S. Lemay and H. Gonyou. Water intake and wastage at nipple drinkers by growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 83: 1413-1422.

Massabie, P., H. Roy, A.-L. Boulestreau-Boulay and A. Dubois. 2014. *La consommation d'eau en élevage de porcs: des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porcs*. Paris, France: IFIP- Institut du porc.

Oliveira, P. A. V. de. 2003. Modelo matemático para estimar a evaporação d'água contida nos dejetos, em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha e piso ripado, nas fases de crescimento e terminação. *Engenharia Agrícola*, 23: 398-406.

Pomar, C. 2014. The utilization of mathematical models to improve swine production. In: *Anais do VI Congresso Latino-Americano De Nutrição Animal*, 17p. 23-26 Setembro, São Paulo, Brasil.

Rigolot, C., S. Espagnol, C. Pomar and J.-Y. Dourmad. 2010. Modelling of manure production by pigs and NH_3, N_2O and CH_4 emissions. Part I: animal excretion and enteric CH_4, effect of feeding and performance. *Animal*, 4: 1401-1412.

Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, J. L. Donzele, P. C. Gomes, R. F. de Oliveira, D. C. Lopes, A. S. Ferreira, S. L. T. Barreto and R. F. Euclides. 2011. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. Viçosa, Brasil: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa.

SAS INSTITUTE INC. 2012. System for Microsoft Windows, Release 9.4, Cary, NC, USA, 2002-2012.

Strathe, A., A. Danfær, H. Jørgensen and E. Kebreab. 2015. A dynamic growth model for prediction of nutrient partitioning and manure production in growing-finishing pigs: model development and evaluation. *Journal of Animal Science*, 93: 1061–1073.

Tavares, J. M. R. 2016. Modelagem do consumo de água, produção de dejetos e emissão de gases de efeito estufa e amônia na suinocultura. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Tavares, J. M. R., P. Belli Filho, A. Coldebella and P. A, V. de Oliveira. 2014. The water disappearance and manure production at commercial growing-finishing pig farms. *Livestock Science*, 169: 146–154.

Lesões do coxim plantar em frangos de corte na fase final de criação: influência do ambiente térmico e da cama

Patrícia de Paula Queiroz[1], Cecília de Fátima Souza[2], Márcia Gabrielle Lima Cândido[3], Ilda De Fátima Ferreira Tinôco[4], Juan Carlos Pajera Arcila[5], Fátima J.F. Baptista[6]

1 Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG/Brasil - 36570000, patricia.eng@hotmail.com.

2 Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG/Brasil - 36570000, cfsouza@ufv.br.

3 Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG/Brasil - 36570000, marciagl.candido@gmail.com

4 Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG/Brasil - 36570000, iftinoco@ufv.br

5. Médico Veterinário, juan.pareja@ufv.br

6 Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Ap. 94, 7002-554 Évora, Portugal, fb@uevora.pt

Resumo

A qualidade, características da cama de frango e incidência de lesões no coxim plantar das aves podem ser influenciadas e relacionadas diretamente ao ambiente térmico proporcionado às aves, representado pela temperatura e umidade do ar. São escassas as pesquisas que buscam definir interações e efeitos do ambiente sobre as características físicas e químicas da cama aviária e sobre a incidência de lesões no coxim plantar das aves. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho verificar a influência da qualidade da cama e do ambiente térmico na incidência de lesões no coxim plantar em frangos de corte. O experimento foi realizado em cinco câmaras climáticas, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Foram testados cinco tratamentos, incluindo faixas de Conforto Térmico Preconizado por Cassuce (CTC) (2013), estresse por Calor Leve (ECL), Calor Moderado (ECM), Calor Acentuado (ECA), e Calor Severo (ECS),representados por temperaturas iguais a 25, 28, 31, 34 e 37°C, respectivamente. Foram utilizados 105 frangos de corte na fase final de crescimento, com densidade de 14 aves.m^{-2} alojados em gaiolas em câmaras climáticas. Para avaliar a qualidade da cama foram realizadas análises de umidade e nitrogênio total Kjedahl, semanalmente, em amostras de três gaiolas por câmara. A avaliação da qualidade do coxim plantar foi feita com base em escores atribuídos aos diferentes tipos de lesões observados, em cinco aves por tratamento. Os escores foram classificados em: 0 = sem lesão; 1 = sem lesão externa; 2 = lesão externa. Pôde-se concluir que a qualidade da cama interferiu na incidência de lesões do coxim plantar das aves, sendo observado maior número de lesões nas aves dos tratamentos que apresentaram alta concentração de umidade. O teor de nitrogênio total Kjedahl e o ambiente térmico não apresentaram influências significativas na incidência de lesões no coxim plantar das aves.

Palavras-chave: produção animal, conforto térmico, qualidade da cama, avicultura, manejo de resíduos.

Footpad lesions in broilers in the final stage of breeding: influence of the thermal environment and bed

Abstract

The quality, characteristics of broiler litter and incidence of foot lesions in broilers can be influenced and directly related to the thermal environment provided to birds, which is represented by air temperature and humidity. There are few researches that seek to define the interactions and effects of the environment on the

physical and chemical characteristics of broiler litter and the incidence of lesions in foot pad of the birds. Thus, the objective of this study was to verify the influence of litter quality and thermal environment on the incidence of foot pads lesions of broilers. The experiment was carried out in five climatic chambers, of the Federal University of Viçosa, in Viçosa, Minas Gerais, Brazil. Five treatments were tested, including comfort recommended by Cassuce (CTC) (2013), stress by moderate heat (ECL), moderate heat (ECM), strong heat (ECA) and severe heat (ECS), with temperatures equal to 25, 28, 31, 34 and 37 ° C, respectively. It were used 105 broilers in the final stage of growth, with density of 14 birds.m-2 housed in cages in the climatic chambers. To assess the litter quality, analyses of moisture and total nitrogen Kjedahl analyzes were carried out weekly, in samples form three cages per chamber. The evaluation of the quality of the foot pad was made with basis on scores associated to the different types of lesions observed in five birds per treatment. The scores were classified as: 0 = no lesion; 1 = no external injury; 2 = external injury. It was possible to conclude that litter quality had influence on the incidence of birds foot pad lesions, being a higher number of lesions observed in the treatments that presented high moisture concentration. The total Kjedahl nitrogen and the environment did not present significant influences in the incidence of lesions in the foot pads of birds.

Keywords: Animal production, thermal comfort, litter quality, poultry farming, waste management.

1. Introdução

A indústria avícola brasileira corresponde a um dos maiores complexos econômicos do setor agropecuário do país. A produção de carne de frango no país atingiu patamares de 13,1 milhões de toneladas em 2015, de acordo com informações divulgadas pela Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), fazendo com que o Brasil ocupasse o segundo lugar mundial entre os maiores produtores (ABPA, 2016). Do volume total de carne de frango produzida, 67,3% foram destinados ao consumo interno e 32,7% para exportações.

Com a abertura de novos mercados para a exportação de pés de frango, tem ocorrido uma maior preocupação com a identificação das lesões no coxim plantar ou pata das aves e que levam à condenação do corte (SANTOS, 2009). Os pés são desejados tanto por indústrias alimentícias quanto pelas de cosméticos, pois, além de serem usados para o consumo humano, eles são ricos em colágeno, muito usados na indústria de beleza. Contudo, a incidência de "calos" desvaloriza o produto, tornando-o inviável para a venda (Lima, 2005).

A qualidade e características da cama de frango podem ser influenciadas e relacionadas diretamente ao ambiente térmico proporcionado às aves, definido basicamente pela ação da temperatura e da umidade. Umidade em excesso e combinada com compostos nitrogenados das excretas pode causar irritação no coxim plantar das aves. Essa doença é um importante marcador das condições da cama aviária, da qualidade de manejo e bem-estar das aves.

Martrenchar et al. (1997) citam que inflamações presentes nas aves que se transformam posteriormente em lesões, são associadas aos fatores corrosivos, como a grande quantidade de fezes presentes nas camas, decorrentes da alta densidade de aves em produções comerciais. Os autores citam que a ocorrência dessa doença é um importante indicador do estágio de degradação da cama aviária. Muitas vezes, é intensificada pela alta densidade de alojamento que é severamente criticada pelas associações defensoras do bem-estar animal.

A pododermatite afeta diretamente o bem-estar animal, pois é uma enfermidade que altera o comportamento, provocando sério desconforto aos animais, sendo também uma porta para entrada de patógenos, por estarem às patas constantemente sobre a cama das aves (Benevides et al., 2016).

O ambiente térmico proporcionado às aves é essencial para que sejam atingidos tanto o bom desempenho produtivo dos animais, quanto a prevenção à ocorrência de doenças como a pododermatite em frangos de corte (Jacob et al., 2016). Benevides et al. (2016) concluíram que a ambiência externa influencia na ambiência interna do alojamento, e somado-se isso ao manejo de reaproveitamento de cama, há interferências no aumento de escores de lesões, à medida em que as aves ganham mais peso.

Jacob et al. (2016) estudando a incidência de pododermatite em frangos de corte sob dois tipos de ambiente, concluiu que os frangos de corte alojados em galpões de pressão positiva e cama nova de casca de arroz, apresentaram maior incidência de lesões no coxim plantar, do que frangos alojados em galpões de pressão positiva e cama reutilizada de serragem, pressão positiva e cama nova de serragem e pressão negativa e cama reutilizada de casca de arroz. A menor incidência de pododermatite foi registrada em galpões de pressão positiva e cama reutilizada de serragem. Embora o galpão de pressão negativa e cama reutilizada de casca de arroz tenha apresentado as condições ambientais mais adequadas, os resultados não foram favoráveis em relação à incidência de pododermatite neste ambiente de criação, em particular.

A qualidade da cama de frango assim como o ambiente térmico propicia conforto e melhora o desempenho produtivo e a qualidade da carcaça das aves. A cama de frango promove bem-estar às aves e permite melhor desempenho e qualidade de carcaça da ave (Teixeira et al., 2015).

García et al. (2012) citaram que aves criadas sobre camas compostas por bagaço de cana, 50% de bagaço de cana + 50% de casca de arroz ou 50% de bagaço de cana + 50% de maravalha apresentaram maior incidência de lesões no coxim plantar do que aves criadas sobre camas de maravalha ou casca de arroz, sendo o fato associado a um aumento no teor de umidade das camas compostas por bagaço de cana.

Mendes et al. (2011) estudaram a presença de lesões no joelho e coxim plantar de frangos criados em camas compostas por maravalha e serragem, e notaram que as aves não apresentaram lesões no joelhos em nenhuma das camas avaliadas, mas as aves criadas em cama de maravalha apresentaram mais lesões em coxim plantar, o que foi associado ao aumento da umidade da cama.

Diversos autores avaliaram a qualidade do coxim plantar de aves. Dentre eles, destaca-se Santos (2009), que avaliou a influência da cama de casca de café, tratada com condicionadores químicos, na qualidade do coxim plantar de frangos de corte e no desempenho zootécnico das aves. Esse autor também analisou a qualidade da cama. Mendes et al. (2012) verificaram o efeito da densidade de alojamento das aves na incidência de lesões de coxim plantar em frangos de corte. No entanto, em nenhuma das pesquisas foi ponderada a hipótese da interação “ambiente térmico x cama” interferir na incidência de lesões do coxim plantar de frangos de corte.

Diante do exposto, tanto a comunidade científica quanto os produtores de frangos de corte, anseiam por pesquisas que busquem definir interações e efeitos do ambiente térmico nas características físicas e químicas da cama de frango e a consequente incidência de lesões no coxim plantar das aves. Portanto, tem-se como objetivo geral do presente trabalho avaliar: 1) o efeito do ambiente térmico nas características da cama aviária de casca de café submetida a diferentes condições ambientais; 2) a incidência e severidade de lesões no coxim plantar das aves.

2. Material e Métodos

Os procedimentos adotados neste experimento foram aprovados pelo *Comitê de Ética no Uso de Animais* (CEUA), da Universidade Federal de Viçosa, protocolo n º 114 / 2013.

O experimento foi conduzido na área experimental do Núcleo de Pesquisa em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindustriais (AMBIAGRO), do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em cinco câmaras climáticas, com as dimensões de 2,4 x 3,3 x 2,5 m (respectivamente, altura, comprimento e largura). Cada câmara foi equipada com três gaiolas de área 0,5 m² (0,5m de largura x 1,0m de comprimento x 0,5m de altura),

A umidade relativa do ar no interior das câmaras climáticas, para todos os tratamentos, foi ajustada em 60%, por ser considerado valor adequado à produção avícola, independente da idade das aves, segundo algumas referências (Tinôco, 2001; Tinôco, 2008 e Medeiros, 2005).

As aves ficaram sobre cama de casca de café com espessura de 10 centímetros, com a finalidade de reproduzir o ambiente de campo ao longo do ciclo produtivo. A cama de frango misturada com os dejetos foi analisada no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

O experimento foi conduzido durante a segunda fase de criação de frangos de corte, que compreende o início da 4ª semana até o final da 6ª semana de vida dos animais, na qual as aves foram submetidas aos ambientes de estresse por Calor Leve (ECL), Calor Moderado (ECM), Calor Acentuado (ECA), Calor Severo (ECS) e Conforto térmico preconizado por Cassuse (CTC) (2013).

Aos 19 dias de idade das aves, a concentração de amônia atingiu níveis elevados, o que acarreta problemas à saúde das aves, portanto para o controle da qualidade do ar houve a necessidade de adicionar sulfato de alumínio (Al_2SO_4) na proporção de 490 g/m², de acordo com Mc Ward & Taylor (2000), sendo este incorporado à cama, na camada de 0-10 cm de profundidade. Aos 28 dias de vida das aves a concentração de amônia atingiu novamente níveis elevados, sendo realizada uma nova adição de sulfato de alumínio na mesma proporção que a anterior.

Foram utilizadas 105 aves provenientes de ambientes de Conforto Térmico Preconizado por Cassuce (2013) e Conforto Térmico Segundo a Literatura, com densidade de 14 aves.m^{-2}, de acordo com a utilizada em campo. Cada câmara climática proporcionou diferentes ambientes térmicos, constituindo-se assim os cinco tratamentos descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Temperaturas do ambiente (°C) nos diferentes tratamentos, em função do horário e idade das aves

Tratamentos	**Descrição**	**T(°C) 4ª sem. à 6ª sem**	
		7:00 h às 19:00 h	**19:00 h às 7:00 h**
T1 – CTC	Conforto Térmico Preconizado por Cassuce (2013)	25	25
T2 – ECS	Estresse por Calor Severo	37	25
T3 – ECA	Estresse por Calor Acentuado	34	25
T4 – ECL	Estresse por Calor Leve	28	25
T5 – ECM	Estresse por Calor Moderado	31	25

As amostras de cama foram coletadas aos 21, 28, 35 e 42 dias de idade dos frangos de corte. Para tanto, a cama aviária foi revolvida e posteriormente foi coletada uma amostra simples de cada uma das três gaiolas, totalizando assim três amostras por tratamento. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel de 20 cm de largura por 30 cm de comprimento e, posteriormente levadas para análise em laboratório.

A umidade da cama, para cada tratamento, foi determinada segundo metodologia proposta por Silva & Queiroz (2002). As amostras foram pesadas inicialmente, submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C ± 3 °C por um período de 48 horas e pesadas novamente, determinando-se assim o teor de umidade, por diferença de peso.

Os teores de NTK (Nitrogênio Total Kjedahl) foram determinados pelo método Kjeldahl, com digestão da amostra com ácido sulfúrico e posterior destilação em meio alcalino por arraste de vapor e titulação (APHA, 2012). Para determinar as concentrações de NTK foram utilizadas amostras previamente secas em estufas a 60 °C ± 3 °C por um período de 48 horas.

Para o estudo das variáveis umidade base úmida (UBU), nitrogênio total Kjedahl (NTK), que correspondem às características da cama, utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso com três repetições em cada câmara climática, em esquema de parcelas subdivididas, sendo o fator de parcela o tratamento (CTC, ECS, ECA, ECL, ECM) e o de sub-parcela os períodos (antes do alojamento das aves, aos 28, 35 e 42 dias após o alojamento das aves).

Para todas as análises mencionadas, utilizou-se o teste F (ANOVA) para verificar a existência de efeitos significativos dos fatores e das interações entre eles, e se constatada tal significância, foi realizado o desdobramento da interação comparando o efeito das condições térmicas dentro de

cada período analisado, as médias dos fatores foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

As incidências de lesões de coxim plantar foram registradas em cinco aves em cada tratamento, apanhadas aleatoriamente em cada gaiola. Foi adotado o seguinte critério para o registro de escore de lesões: 0 = sem lesão; 1 = sem lesão externa, porém inflamado ou queimado; 2 = lesão externa (ulceração ou calo), de acordo com a metodologia descrita por Angelo et al. (1997). A leitura dos escores foi realizada a cada semana durante todo o período experimental.

3. Resultados e Discussão

Os resumos das análises de variância das características Umidade Base Úmida (UBU) e Nitrogênio Total Kjedahl (NTK), para as três últimas semanas de vida das aves encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 2. Resumo da análise de variância (ANOVA), das características (UBU, NTK) analisadas na cama aviária em função dos cinco tratamentos ao longo das três últimas semanas de vida das aves

	Fator de variação	Tratamento	Resíduo A	Período	Trat*Período	Resíduo B	Total
	GL	4	8	3	12	27	54
Quadrados médios	UBU (%)	65,06*	53,12	259,04*	23,92	18,48	
	NTK (g/kg)	5,80	5,33	777,97*	8,44	7,85	

*Significativo a 5% de probabilidade

Como esperado, foi verificado efeito significativo do fator tempo (período) para as concetrações de NTK e umidade. Isto se deve principalmente ao fato de que a cama de casca de café não foi removida ao longo do experimento e, portanto, todas as características avaliadas em um determinado dia teve influência do efeito cumulativo do intervalo de tempo anterior, não sendo necessário realizar desdobramento e verificar o efeito de cada intervalo de tempo nas variáveis resposta. Já o efeito significativo das diferentes condições de ambiente térmico foi observado somente para a variável resposta umidade base úmida (UBU).

Ao fim do experimento a cama aviária apresentou umidade média de 45,2%, o que representa acréscimo de 6% em relação ao que se apresentava aos 21 dias de idade dos frangos de corte (Tabela 3). Foi constatado que a cama de frango submetida ao tratamento de Conforto Térmico Preconizado por Cassuce apresentou maior valor de umidade, 52,4%, seguida pelos ambientes de Calor Leve, Calor Moderado, Calor Severo e Calor Acentuado. Esses valores não diferiram estatísticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3 – Valores médios de umidade da cama de aviário ao longo das três últimas semanas de vida das aves (UBU %)

Tratamentos	Umidade Base úmida (%)			
	Dias de criação dos frangos de corte			
	21	28	35	42
C2TC	39,0 a	49,2 a	52,6 a	52,4 a
E2CS	39,7 a	43,1 a	46,9 a	38,5 a
E2CA	40,8 a	45,9 a	46,5 a	38,3 a
E2CL	40,0 a	45,3 a	48,8 a	51,3 a
E2CM	36,7 a	47,5 a	50,8 a	45,3 a
Média	39,2	46,2	49,1	45,2

CTC= Conforto Térmico Preconizado por Cassuce; ECS= Calor Severo; ECA= Calor Acentuado; ECL= Calor Leve; ECM= Calor Moderado. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probalidade.

Santos (2009), ao avaliar a qualidade da cama aviária de casca de café para densidade 11 aves. m^{-2} encontrou teor de umidade médio de 38% aos 42 dias de idade dos frangos. Valores de umidade semelhantes a este foram encontrados por Vieira (2011), o qual estudando a qualidade da cama de aviário de casca de café em diferentes ciclos de reutilização encontrou valor médio de umidade em torno de 37% aos 42 dias. Valores superiores a estes foram encontrados no presente trabalho aos 21 dias de idade dos frangos para os tratatamentos de Conforto térmico preconizado por Cassuce, Conforto Térmico Segundo a Literatura e Frio Severo, o que pode estar relacionado a alta densidade utilizada, ao manejo dos frangos ou ao fato de que a umidade atinge o seu valor máximo já na terceira semana de criação de frangos de corte.

Zapata (2011) em estudos de caracterização de cama aviária de casca de café sob diferentes reusos, constatou que aos 42 dias de criação de frangos de corte a cama apresentou teor médio de umidade de 58%, valor acima dos encontrados no presente trabalho.

Esperava-se que as camas aviárias nas quais os frangos estavam submetidos aos ambientes com temperaturas mais elevadas apresentassem valores de umidade ligeiramente superiores àqueles ambientes com temperaturas baixas, devido ao fato de que as aves quando submetidas a ambiente com temperaturas elevadas aumentam o consumo de água e, consequentemente, a quantidade de excretas úmidas, o que não foi observado no presente estudo. Outro fato que pode ter resultado em maiores umidades seria possivelmente o manejo inadequado dos bebedouros do tipo “copo de pressão” utilizados na primeira semana de vida das aves, o que pode ter provocado o derramamento de água e, consequentemente, o maior umedecimento da cama. Outra hipótese está associada ao fato de que temperaturas mais elevadas conferem ao ar ambiente maior déficit de saturação de vapor d`água provocando maior perda de água para a circunvizinhança.

Segundo Zapata (2011) o ideal é que a umidade da cama permaneça entre 20 e 25%, para que o excesso de umidade não provoque o aumento da incidência de calos no peito e pés, queimaduras de pele, formação de crostas, hematomas, condenações e desclassificações; e geração de amônia, um dos problemas ambientais mais graves da produção moderna de frangos de corte.

A cama aviária apresentou concentração média de nitrogênio de 36,3 $g.kg^{-1}$ aos 21 dias de idade dos frangos de corte, tendo incremento médio de 17,9 $g.kg^{-1}$ no seu valor aos 42 dias de idade dos frangos. Ao final do experimento a cama aviária onde os frangos estavam submetidos ao ambiente de Calor Severo apresentou maior concentração de nitrogênio total, 59,5 $g.kg^{-1}$, menor concentração foi encontrada na cama onde os frangos estavam submetidos ao ambiente de Calor Moderado, 50,0 $g.kg^{-1}$, conforme apresentado na Tabela 4. As médias foram comparadas pelo de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, não sendo observada diferença estatística entre elas.

Tabela 4 – Valores médios de concentração de NTK da cama aviária ao longo das três últimas semanas de vida das aves

Tratamentos	Nitrogênio total Kjeldahl ($g.kg^{-1}$)			
	Dias de criação dos frangos de corte			
	21	**28**	**35**	**42**
C2TC	36,4 a	38,1 a	47,7 a	53,8 a
E2CS	35,5 a	40,6 a	47,2 a	59,5 a
E2CA	37,6 a	40,5 a	49,8 a	54,5 a
E2CL	35,2 a	39,2 a	52,0 a	53,3 a
E2CM	36,6 a	39,6 a	49,4 a	50,0 a
Média	36,3	39,6	49,2	54,2

CTC= Conforto térmico preconizado por Cassuce; ECS= Calor Severo; ECA= Calor Acentuado; ECL= Calor Leve; ECM= Calor Moderado. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probalidade.

As maiores concentrações de NTK nos ambientes de Calor Severo e Calor Acentuado, não eram esperados, visto que, as aves submetidas a temperaturas mais elevadas normalmente diminuem o

consumo de ração, e consequentemente a ingestão de nitrogênio, no entanto, existem pesquisas que comprovam que aves submetidas a estresse por calor não diminuem somente o consumo de alimento. Bonnet (1997) realizaram experimento de desempenho e ensaio metabólico com frangos de 38 a 42 dias de idade criados em temperatura elevada (32°C) e temperatura termoneutra (22ºC), alimentados à vontade e com alimentação controlada. Os autores também identificaram que as aves criadas em temperatura termoneutra com restrição alimentar obtiveram melhor retenção de nitrogênio e maior energia metabolizável aparente e corrigida pelo balanço de nitrogênio, o que pode explicar a maior concentração de nitrogênio em temperaturas mais elevadas.
Zapata (2011) ao estudar as características de cama de frango casca de café sob diferentes reusos encontrou concentração de NTK e 20,0 $g.kg^{-1}$. Benedetti et al. (2009) encontrou teor médio de 47 $g.kg^{-1}$ de nitrogênio na cama de frango de casca de café durante o primeiro lote de criação de frangos. Valores médios superiores a estes foram encontrados no presente trabalho, 54,2 $g.kg^{-1}$.
Os valores médios percentuais observados das lesões de coxim plantar durante as três últimas semanas de vida das aves estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores médios em porcentagem, de leitura de lesões de coxim plantar em frangos de corte durante as três últimas semanas de vida das aves

Escores (%)	Tratamentos					
	C2TC	E2CS	E2CA	E2CL	E2CM	Média
	Aos 28 dias					
0	60,0	86,7	86,7	86,7	80,0	80,0
1	26,7	13,3	13,3	13,3	20,0	17,3
2	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7
	Aos 35 dias					
0	53,3	50,0	27,8	46,7	46,7	44,9
1	33,3	50,0	72,2	40,0	53,3	49,8
2	13,3	0,0	0,0	13,3	0,0	5,3
	Aos 42 dias					
0	53,3	100,0	50,0	46,7	33,3	57,0
1	26,7	0,0	50,0	13,3	53,3	29,0
2	20,0	0,0	0,0	40,0	13,3	15,0

CTC= Conforto térmico preconizado por Cassuce; ECS= Calor Severo; ECA= Calor Acentuado; ECL= Calor Leve; ECM= Calor Moderado. Escores: 0 = sem lesão; 1 = sem lesão externa, porém inflamado ou queimado; 2 = lesão externa (ulceração ou calo).

Na quarta semana de vida das aves, foi observada em média porcentagem maior de aves que não apresentaram lesões externas no coxim plantar em relação às outras semanas de criação dos frangos de corte (80%). Os ambientes de Calor Severo, Calor Acentuado e Calor Leve resultaram em mesma incidência de inflamação no coxim plantar (13,3%). A maior porcentagem de inflamação no coxim plantar foi observada no tratamento de Conforto Térmico Preconizado por Cassuce, seguido pelos ambientes de Calor Moderado, Calor Severo, Calor Acentuado e Calor Leve.

Durante a quinta semana de vida das aves, houve aumento em média de 31,7 % na incidência de frangos sem lesão externa, porém com inflamação ou queimaduras e 2,6% na incidência de lesão externa no coxim plantar das aves, em relação à semana anterior.

Ao final do experimento foi constatado que 15% dos frangos apresentaram lesões externas, com ulceração ou calo, 29% não apresentaram lesões externas, porém com inflamação ou queimadura e 57% não apresentavam nenhum tipo de lesão.

As lesões no coxim plantar de aves ocorrem de acordo com o processo, inicialmente inflamatório, que evolui para ulceração das áreas em atrito com sobreposição de infecção bacteriana secundária. Normalmente a incidência destas lesões na primeira e segunda semana de criação das aves permanece entre 10 e 30% (Santos et al. 2005).

Mendes et al. (2012) ao estudar a mensuração de problemas locomotores e de lesões no coxim plantar em frangos de corte verificaram que altas densidades de alojamento afetam a intensidade de problemas locomotores e de lesões no coxim plantar das aves, que aumentam gradativamente com o desenvolvimento das mesmas. Essa mesma observação pode ser constatada no presente trabalho.

Segundo Vieira (2011), existe uma relação direta do aparecimento de lesões na região plantar das patas das aves com a umidade e a estrutura física da cama aviária, que são agravados pelo surgimento e formação de placas duras na superfície da cama. O alto teor de umidade propicia um ambiente que favorece o desenvolvimento de bactérias que podem contaminar a pele das aves e também contribuir para o surgimento de danos nas patas.

Em estudos comparando a incidência de lesões no coxim plantar de aves criadas em camas secas e úmidas, Wang et al. (1993) detectaram que em média 38% das aves criadas sobre cama seca apresentaram lesões no coxim plantar, enquanto que para as aves criadas em cama úmida a incidência de lesões no coxim plantar foi de 92%. No presente trabalho também foi observado que ocorreu maior incidência de lesões no coxim plantar das aves que estavam sobre camas com umidade mais elevada.

Durante as três primeiras semanas de vida das aves foi constatado que os ambientes de Conforto térmico preconizado por Cassuce e Frio Severo apresentaram maior porcentagem de lesões no coxim plantar das aves. Nas três últimas semanas de vida das aves foi verificada maior incidência de lesões no coxim plantar das aves nos ambientes de Conforto Térmico Preconizado por Cassuce e Calor Leve, estes ambientes apresentaram teor de umidade mais elevado, o que indica que a incidência de lesões tem relação com o teor de umidade da cama aviária.

4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos e nas condições de condução do experimento, pôde-se concluir que:

- O ambiente térmico não exerceu influência significativa na concentração do componente nitrogênio total Kjeldahl na cama aviária de casca de café.
- Os ambientes com temperaturas variando entre 24 e 28°C nas três últimas semanas, entre 19 h e 7 h (Calor Leve), determinaram maior porcentagem de aves com lesões no coxim plantar. Todavia, não foi constatada diferença significativa na incidência de lesões no coxim plantar das aves entre os diferentes ambientes térmicos durtante o experimento.
- Foi observado, para cama de casca de café, aumento no teor de umidade ao longo do tempo, não tendo sido verificada influência do ambiente térmico sobre o teor de umidade.
- Os ambientes que apresentaram valores mais elevados de umidade na cama de casca de café determinaram maior porcentagem de incidência de lesões no coxim plantar das aves.

Agradecimentos

Ao CNPq, à CAPES e à FAPEMIG pelo apoio à pesquisa; à Universidade Federal de Viçosa/ Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade concedida.

Bibliografia

ABPA. 2017. Associação Brasileira de Proteína Animal. Disponível em http://www.abpa-br.org. Acesso em: 20/03/2017.

Angelo, J.C.; Gonzales, E.; Kondo, N.; Anzai, N.H.; Cabral, M.M. 1997. Material de cama: qualidade, quantidade e efeito sobre o desempenho de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 121-130.

APHA; AWWA; WEF. 2012. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22a.ed.; Washington, D.C, USA.

Benedetti, M.P.; Fugiwara, A.T.; Factori, M.A.; Costa, C.; Meirelles, P.R.L. Adubação com cama de frango em pastagem. Águas de Lindóia: ZOOTEC, 2009.

Benevides, W. S., Diaz, M. P., Guano, L. E., Pinheiro, A. R. A., Frota, L. O., Campos, W. O. and Pinto. P. W. C. 2016. Study of animal welfare through analysis and comparison of the presence of foot pad dermatitis in broilers raised in controlled environments in Brazil and Spain[1]. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal.* 10: 330 – 350.

Bonnet, S. 1997. Effect of high ambient temperature on feed digestibility in broiler. *Poultry Science, Champaign*, v. 76, n. 6, p. 857-863.

García, R. G., Almeida, P. I.C.L., Caldara, F.R., Nääs, I.A., Pereira, D.F. and Ferreira, V.M.O.S. (2012). Selecting the most adequate bedding material for broiler production in Brazil. *Revista Brasileira Ciencia Avicola* . 14:71-158.

Jacob, F. G., Baracho, M. S., Naas, I. A., Salgado, D. A. and Souza, R. 2016. Incidence of Pododermatitis in Broiler Reared under Two Types of Environment. *Revista Brasileira Ciencia Avicola*. 18: 247-254.

Lima, A. M. C. 2005. Avaliação de dois sistemas de produção de frango de corte: uma visão multidisciplinar. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP.

Martrenchar, A.; Morisse, J. P.; Huinnic, D.; Cotte, J.P.; Moinard, C. 1997. The effect of stocking density and group size on different behavioural andproductivity traits of broilers. *5th European Symposium on Poultry Welfare*, Wageningen, Wageningen Agricultural University and ID-DLO, p.153-154.

Mc Ward, G.W.; Taylor, D.R. 2000. Acidified clay litter amendment. *Journal of Applied Poultry Research,* v.9, n.4, p.518-529.

Medeiros, C. M; Baêta, F.C; Miranda,R.F; Tinôco,I.F; Albino,L.F; CecoN,P.R. 2005. Efeitos de temperatura, unidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.13, n.4, p.277 – 286.

Mendes, A.S., Paixão, S.J., Restelatto, R., Reffatti, R., Possenti, J.C., Moura, D.J., Morello, G.M.Z. and Carvalho, T.M.R. 2011. Effects of initial body weight and litter material on broiler production. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 13:165-170.

Mendes, A.S.; Paixão, S.J.A; Marostega, J.B; Restelatto, R.C; Oliveira, P.A.V.; Possenti, J.C. 2012. Mensuração de problemas locomotores e de lesões no coxim plantar em frangos de corte. Archivos de zootecnia. v. 61, n .234, p. 218-228.

Santos, R. C. 2009. Cama de casca de café tratada com condicionadores químicos e sua influência na qualidade do coxim plantar de frangos de corte. 2009. 69f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Santos, T. M. B.; Lucas Jr. J.; Sakomura, M. K. 2005. Efeitos de densidade populacional e da reutilização da cama sobre o desempenho de frangos de corte e produção de cama. *Revista Portuguesa de Ciência Veterinária*, n. 100, 45-52.

Teixeira, A. S., Oliveira, M. C., Menezes, J. F., Gouvea, B. M., Teixeira, G. S. R., and Bio, G. 2015. Poultry litter of wood shavings and/or sugarcane bagasse: animal performance and bed quality. *Revista Colombiana Ciencia Pecuaria*. 28: 238-246.

Tinôco, I. F. F. 2001. Avicultura industrial: Novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v.3, n.1, p.1-26.

Tinôco, I.F.F.; Osorio, J.A. 2008. Control ambiental y La agroindustria de produC1TCión animal en el Brasil y América Latina. *In: Congresso Nacional de Ingeniería Agrícola*, Medellín, Colômbia.

Wang, G.; Ekstrand, C.; Svedberg, J. 1993. Wet litter and perches a risk factors for the development of foot pad dermatitis in floor-housed hens. *British Poutry Science*, v.39, n.2, p.191-197.

Zapata, O. L. M. 2011. Caracterização e avaliação do potencial fertilizante e poluente de distintas camas de frango submetidas a reusos sequenciais na zona da mata do estado de Minas Gerais. Viçosa: 108 f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Avaliação térmica de instalações para crescimento e terminação de suínos com diferentes concepções arquitetônicas

Daiane Cecchin[1], Vasco Fitas da Cruz[2], Francine Aparecida Sousa[3], Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz[4], Cristina Moll Huther[5], Letícia Cibele da Silva Ramos Freitas[6], Jaqueline Oliveira Castro[7], Alessandro Torres Campos[8], Rafaella Resende Andrade[9]

[1 5] Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental (TER) Universidade Federal Fluminense (UFF), Campus Praia Vermelha, Cep, 24.210-240, Niterói, Rio de Janeiro. daianececchin@id.uff.br; cristinahuther@yahoo.com.br

[2,] Departamento de Engenharia Rural, Polo da Mitra, Universidade de Évora, 7002-554, Évora, Portugal. vfc@uevora.pt

[3] Secretaria de Agricultura de Aracruz (SEMAG), Prefeitura de Aracruz, Cep: 29192-733, Aracruz, Espirito Santo. francine.sousa@ymail.com

[4 7 8] Departamento de Engenharia (DEG), Universidade de Federal de Lavras (UFLA) , Caixa Postal: 3037, Cep: 37200-000 (Campus Universitário) Lavras, Minas Gerais. patricia.ponciano@deg.ufla.br; jaqueline.castro@deg.ufla.br; campos@deg.ufla.br

[6 9] Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Cep. 36570-900, Viçosa, Minas Gerais leticiacibele@yahoo.com.br; rafaella_resende2@hotmail.com

Resumo

O trabalho teve como objetivo avaliar o conforto térmico em instalações de crescimento e terminação de suínos com diferentes concepções arquitetônicas. Compararam-se dois tipos de piso: baia com lâmina d'água (LAM) e baia com piso parcialmente vazado (VAZ). Foram feitas medições de dados ambientais, esses dados foram utilizados para calcular o índice de temperatura e umidade (ITU), a entalpia e o índice de temperatura do globo e umidade (ITGU). A baia LAM apresentou valor médio de umidade relativa do ar mais elevado e temperatura de globo negro mais baixo do que a demais. O ITGU no interior das baias apresentara valores médios no período mais quente do dia um pouco acima do que é recomendado para suínos adultos. Durante os horários mais quentes do dia as baias apresentaram valores médios dos parâmetros ambientais avaliados próximos. A baia com lâmina d'água durante o dia promove um melhor ambiente para os animais apresentando uma umidade relativa do ar média um pouco mais alta e menor temperatura de globo negro do que as demais baias.

Os dados ambientais apresentaram, em geral, valores médios não muito elevados, com valores próximos entre baias. Possivelmente tal deve-se ao fato da coleta de dados ter sido realizada na estação de outono, onde as temperaturas são mais amenas em comparação com o verão. Assim novos estudos devem ser realizados na estação do verão para se avaliar com mais propriedade as condições de conforto proporcionadas pelas instalações.

Palavras-chave: Conforto térmico, construções rurais, índices do ambiente térmico

Thermal evaluation in facilities for growing and finishing pigs with different building typologies

Abstract

The objective of this study was to evaluate thermal comfort in pig growth and finishing facilities with different architectural conceptions. Two types of flooring were compared: pen with water depth (DEP) and pen with partially leveled floor (VAZ). Measurements of environmental data were made, which were used to calculate the temperature and humidity index (THI), the enthalpy and the temperature and humidity index (BGTHI). The LAM pen presented higher values of relative humidity of the air and lower black globe temperature than the others. The BGTHI inside the pens will have average values in the hottest period of the day slightly above what

is recommended for adult pigs. During the hottest times of the day the pens presented average values of the environmental parameters evaluated nearby. The pen with water depth during the day promotes a better environment for the animals presenting a relative humidity of the average air a little higher and lower black globe temperature than the other pens.

The environmental data presented, in general, not very high average values, with close values between pens. Possibly this is due to the fact that data collection was carried out in the fall season, where temperatures are milder compared to summer. Thus new studies should be carried out in the summer season to more fully evaluate the comfort conditions provided by the facilities.

Keywords: rural buildings, swine, house design, thermal confort

1. Introdução

Entre tantos outros desafios enfrentados na produção animal, as condições referentes ao manejo e ao ambiente térmico são de extrema importância (Barbosa Filho et al. 2009; Menegali et al., 2010). Em sistemas de criações intensivos o ambiente tem influencia direta na condição de conforto e bem-estar dos suínos, assumindo importância vital para o sucesso da atividade suinícola (Viera et al., 2010). Observa-se que em situações de altas temperaturas ambientais, o desempenho de suínos tem sido afetado consideravelmente (Kiefer et al., 2009 ; Rocha et al., 2012). Os autores Luz et al. (2015) afirmam que em situações de estresse térmico os animais recorrem a termólise por via evaporativa. No caso dos suínos, por meio do aumento da frequência respiratória (Amaral et al., 2014)

As variáveis termoambientais (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar) influenciam a produção animal (Silva et al., 2013) favorecem ou prejudicam seu desempenho (Lima et al., 2011), podendo se tornar um fator limitante de produtividade nas fases de crescimento e terminação de suínos, devido à sua baixa tolerância ao calor.

O índice de temperatura e umidade (ITU) desenvolvido por Thom (1958) é um dos índices de conforto térmico mais utilizados. Esse índice associa a temperatura de bulbo seco (Tbs) e a temperatura do bulbo úmido (Tbu). O índice de umidade e temperatura do globo negro (ITGU), desenvolvido por Buffington et al. (l981), considera em um único valor os efeitos da Tbs, da umidade do ar (UR), do nível de radiação e da movimentação do ar. Buffington et al. (l981) afirmaram que o ITGU é um indicador mais preciso do conforto térmico na produção animal que o ITU, em condições ambientais onde a radiação solar ou a movimentação do ar sejam altas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o conforto térmico, mediante o uso dos índices de conforto (ITU, ITGU) em duas instalações para crescimento e terminação de suínos com diferentes concepções arquitetônicas.

2. Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em uma granja comercial de produção de suínos situada a 21º11’37” de latitude sul, 45º02’49’’ de longitude oeste e altitude média de 918 m, no município de Lavras/MG, no período de junho a setembro de 2014.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwa, ou seja, clima temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, subtropical (Dantas et al., 2007). O tipo de criação utilizado é o de confinamento total. Foram avaliados 216 suínos híbridos na fase de crescimento e terminação.

Os animais foram alojados em dois galpões de alvenaria, cobertos com telhas de fibrocimento, estruturas de sustentação em concreto armado, piso em concreto, com orientação leste-oeste. Foram comparadas três baias com diferenças em relação ao piso, sendo que uma baia possuía lâmina d’água (LAM) e a outra com piso parcialmente vazado (VAZ). As baias possuem área de 72 m² (8m x 9m) e pé direito de 3 metros. A primeira baia citada possui, em uma das suas extremidades, um

rebaixo em seu piso, com 1 m de largura e 10 cm de profundidade, preenchido com água. É fechada com divisórias em alvenaria de tijolos cerâmicos recoberta com uma camada de reboco pintada na cor branca, o piso era de concreto. A baia VAZ possui divisórias feitas com cordoalhas, o piso de concreto, sendo as laterais com placas de concreto pré-moldadas vazadas.

Havia 72 animais alojados em cada baia. Os animais entraram nas baias com massa corporal média de 28,6 kg, e permaneceram durante as fases de crescimento e terminação, até atingirem uma massa corporal média de 85,5 kg.

Dados relativos ao ambiente térmico nas baias e na parte externa foram coletados automaticamente, com o uso de *dataloggers* da marca Hobo, modelo U12-013, com precisão de ±0,5^{o} C. Esses equipamentos registraram a temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade reltiva (UR) em intervalos de cinco minutos. Para a obtenção das temperaturas de globo negro (Tgn) foram utilizados os sensores externos dos *dataloggers*, inseridos em globos negros. A velocidade do ar (Var) foi registrada as 09:00, 12:00 e 15:00 horas durante os dias de avaliação, com auxílio de um anemômetro digital de hélices, da marca ICEL Manaus®, modelo AN-3090, com precisão de ± 3,0% da leitura. Os instrumentos de avaliação do ambiente térmico foram posicionados na região central das baias a 1,20 m da altura do piso, conforme como realizado por Sampaio et al. (2004).

Com os dados ambientais coletados calculuou-se o índice de temperatura e umidade (ITU), e o índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) e a entalpia. O ITGU e o ITU foram utilizados para avaliação do ambiente térmico. Através do ITGU pode-se quantificar também, indiretamente, os efeitos da velocidade do ar e da radiação.

O índice ITU foi calculado por meio da equação (1) proposta por Thom, (1958):

$$ITU = tbs+0,36*tpo+41,5 \quad (1)$$

em que: tbs = Temperatura de bulbo seco (°C) e tpo = Temperatura de ponto de orvalho (°C)

O índice ITGU foi calculado por meio da equação (2) (Buffington et al. 1981):

$$ITGU = tgn+0,36*tpo-330,08 \quad (2)$$

em que: tgn = temperatura de globo negro (K) e tpo = temperatura do ponto de orvalho (K).

entalpia (h) do ambiente foi calculada de acordo com a equação (3) proposta por Albright (1990).

$$h = 1,006*tbs + w\ (2501+1,805*tbs) \quad (3)$$

em que: h = entalpia (kJ kg de ar seco^{-1}) e ; tbs = temperatura de bulbo seco (°C); W: razão de mistura (kg vapor d'água kg ar seco^{-1}) (4)

$$W =(0,622*ea / Patm –ea) \quad (4)$$

em que: ea: pressão atual de vapor d'água (kPa); Patm: pressão atmosférica (kPa).

Os dados relativos ao ambiente térmico foram submetidos à análise de variância empregando-se o teste "F" e as médias posteriormente comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para tal, a análise foi conduzida adotando-se um delineamento em blocos casualizados com arranjo em parcelas subdivididas, no qual os tipos de piso constituíram as parcelas; os horários de avaliação, as subparcelas e os dias de coleta, os blocos. Os resultados foram obtidos com o auxílio do software estatístico Sisvar 5.3 (Ferreira, 2008).

3. Resultados e Discussão

A UR média apresentou diferenças significativas entre todas as baias (P <0,05, teste Tukey) sendo a baia LAM a que registou maior valor médio (68,5%) (Tabela 1) o que já era esperado devido ao microclima no interior da baia criado pela evaporação da água presente na lâmina.

Tabela 1 - Variáveis ambientais médias observadas ao longo do dia em galpões para suinocultura em fase de crescimento e terminação com diferentes tipos de baias.

Variáveis	Baia	
	LAM	VAZ
UR (%)	69,0 ^{A}	66,0 ^{B}
tgn (ºC)	19,9 ^{B}	21,2 ^{A}
tbs (ºC)	19,8 ^{B}	20,6 ^{A}
ITU	65,8^{B}	66,4 ^{A}
ITGU	66,2 ^{B}	67,3 ^{A}
h	46,8 ^{A}	46,8 ^{A}

Baias: lâmina d'água (LAM), e parcialmente vazado (VAZ). Umidade relativa do ar (UR); temperatura de globo negro (tgn); temperatura de bulbo seco (tbs); índice de temperatura de globo e umidade (ITGU); entalpia do ar (h); índice de temperatura e umidade (ITU). Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Para a variável tbs foi constatada diferença significativa entre baias, sendo que a baia VAZ apresentou valor médio maior (20,6 °C) (Tabela 2) que a a baia LAM (19,8°C) (P<0,05, teste Tukey). Foi observado que o ITU apresentou o mesmo comportamento, uma vez que há influência direta da tbs no ITU.

A entalpia (h) não apresentou diferença entre as baias, as baias LAM e VAZ tiveram o valor médio estatisticamente iguais.

A tgn apesentou valores médios diferentes estatisticamente (P<0,05, teste Tukey). A baia LAM, apresentou o menor valor (19,9°C). O ambiente úmido, promovido pela lâmina de água, pode ter auxiliado na redução da tbs, por meio de perdas evaporativas.

Neste âmbito, Moreira et al. (2003) relembram que a UR nos micro-climas criados nas instalações influenciam diretamente as condições ambientais do ar. No presente trabalho, a UR diferiu estatisticamente entre as baias nos horários, sendo a baia LAM apresentou o maior valor de UR e todos os horários avaliados.

Tabela 2 - Variáveis ambientais observadas ao longo do dia em galpões para suinocultura em fase de crescimento e terminação com diferentes tipos de baias.

Variáveis[1]	Baia	Horário		
		09:00	12:00	15:00
UR (%)	LAM	76,5aA	55,2bA	49,5cA
	VAZ	63,2bB	49,4bB	44,3cB
tgn (ºC)	LAM	20,1aB	25,4aB	26,1aA
	VAZ	22,0aA	27,0aA	27,1aA
tbs (ºC)	LAM	18,9aB	24,6aB	25,7aA
	VAZ	22,0aA	28,8aA	26,4aA

Baias: lâmina d'água (LAM) e parcialmente vazado (VAZ). Umidade relativa do ar (UR); Temperatura de globo negro (tgn) e Temperatura de bulbo seco (tbs). Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Ainda no que concerne à umidade relativa, sua variação em conjunto com as condições térmicas, podem ter prejudicado a perda de calor pelos suínos. Nienaber et al. (1987) comentam que a elevação da umidade relativa do ar de 45 para 90%, a uma temperatura ambiente de 21°C, reduz em 8% as perdas de calor de suínos. Huynh e Aarnink (2005) comentam que a UR pode imprimir influência direta sobre o desempenho do animal.

Segundo Muller (1989) para suínos com peso acima de 30 kg e em conforto térmico, a UR ótima fica entre 50 e 70%. Observou-se que durante o dia a UR média se situou dentro desta faixa, exceto na LAM no horário das 09 h, em que foi registrado valor ligeiramente mais elevado, possivelmente pela presença da lâmina d'água

Houve diferença estatística (P<0,05) para temperatura de globo (tgn) entre as baias (Tabela 2) no horário das 09:00 e 12:00 horas. Em ambos horários, a baia LAM apresentou menores valores de temperatura do globo que VAZ. Possivelmente, o fato da baia apresentar fechamento por meio de cordoalha, permitiu uma maior incidência de radiação solar, com consequente elevação da temperatura interna.

As temperaturas mínimas registradas em cada baia foram de 10,2 °C; 9,7 °C e 8,0 °C para LAM, VAZ e EXT (externo) respectivamente e valor máximo absoluto de 30,53 °C; 31,34 °C e 31,90 °C para LAM, VAZ e EXT respectivamente, todos registrados no mesmo dia no horário das 14 h 00 min. A temperatura ambiente média observada para toda a fase de experimento foi de 18,5 °C; 19,1 °C e 17,7 °C para LAM, VAZ e EXT respectivamente.

A temperatura ambiental externa às instalações variou de 8,0 a 31,9 °C durante toda a fase de coleta de dados, sendo as temperaturas mais baixas registradas no período da madrugada. Furtado et al. (2012), trabalhando com animais em fase de crescimento e terminação, observaram desconforto térmico dos animais quando a temperatura estava acima de 28 °C. Com base nas recomendações de Ferreira (2005), a temperatura ideal para a fase crescimento e terminação deve ser entre 15 e 28 °C. Quando suínos são expostos a altas temperaturas, o desempenho é afetado (Kiefer et al., 2010), principalmente pela redução da ingestão de alimentos e pelos gastos de energia associados aos processos de termorregulação (Manno et al., 2006).

Os valores de ITGU observados se mostraram elevados nos horários das 12:00 e 15:00 h, em dois tratamentos, acompanhando a elevação da temperatura ambiente e da temperatura de globo (tabela 3). A mesma tendência foi observada por Sampaio et al. (2004) que, avaliando o ambiente térmico em instalações para crescimento e terminação de suínos, nas condições tropicais (inverno e verão), encontraram os resultados de ITU e ITGU mais elevados entre as 12 e 16 horas, em comparação com os demais horários avaliados para ambas as estações.

Tabela 3 - Variáveis ambientais observadas ao longo do dia em galpões para suinocultura em fase de crescimento e terminação com diferentes tipos de baias.

Variáveis[1]	Baia	Horário		
		09:00	12:00	15:00
ITGU	LAM	66,9bB	72,2aA	72,6aA
	VAZ	68,6bA	73,5aA	73,1aA
h	LAM	48,0bB	53,9aA	53,8aA
	VAZ	50,8bA	53,8aA	52,3aA
ITU	LAM	65,3bB	71,0aA	71,9aA
	VAZ	68,3bA	72,0aA	72,1aA

Baias: lâmina d'água (LAM), e parcialmente vazado no centro (VAZ). [1]Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU); entalpia do ar (h) em (kJ kg^{-1}); índice de temperatura e umidade (ITU). Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Os valores mais elevados de ITU seguiram a mesma tendência dos valores de ITGU, sendo registrados às 15:00 horas, se situando abaixo dos valores estipulados por PIC (2015), que consideram ITU abaixo de 74 normal para suínos, de 75 a 79 situação de alerta, de 80 a 85 situação de perigo e acima de 85 considera-se emergência.

Em relação à entalpia, foram observadas diferenças estisticamente significativas entre as baias e os horários. As baias apresentaram diferença às 09:00 e 12:00 h (Tabela 3), sendo que a baia VAZ apresentou maior valor médio de entalpia (50,8 kJ kg de ar seco^{-1}) no horário das 09:00 horas. Nos demais horários não houve diferença signaficativas entre as baias. Os valores de entalpia encontrados expressam a quantidade de energia contida em uma mistura de ar seco e vapor d'água influenciando, desta forma, as trocas térmicas entre o animal e o meio (Nazareno et al., 2012). Segundo Moura (1999), o valor de entalpia desejado para a fase de crescimento de suínos, é de 60,44 a 68,62 kJ kg de ar seco^{-1}. Desta forma todos os tratamentos, em todos os horários avaliados, apresentaram valores de entalpia abaixo do limite recomendado. Nazareno et al. (2012) trabalhando com matrizes em diferentes sistemas de criação (confinamento e ar livre), encontraram valores de entalpia de 49,84 e 47,87 kJ kg^{-1} respectivamente, sendo o valor encontrado por este autor, no sistema de confinamento da mesma ordem de grandeza que o encontrado no presente experimento.

4. Conclusões

O ITGU no interior das baias apresentara valores médios no período mais quente do dia um pouco acima do que é recomendado para suínos adultos.

Os dados ambientais apresentaram, em geral, valores médios não muito elevados, com valores próximos entre baias. Possivelmente tal deve-se ao fato da coleta de dados ter sido realizada na estação de outono, onde as temperaturas são mais amenas em comparação com o verão. Assim novos estudos devem ser realizados na estação do verão para se avaliar com mais propriedade as condições de conforto proporcionadas pelas instalações.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade de Évora (UE), à Universidade Federal Fluminense (UFF) à Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Granja Niterói.

Bibliografia

Albright, L. D. 1990. Environment control for animals and plants. *Michigan: American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 4), 453p.

Amaral, P.I.S.; Ferreira, R.A.; Pires, A.V.; Fonseca, L.S.; Gonçalves, S.A.; Souza, G.H.C. 2014. Desempenho, comportamento e respostas fisiológicas de suínos em terminação submetidos a diferentes programas de luz. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology,* 2:54-59.

Barbosa Filho JAD, Vieira FMC, Silva IJO, Garcia DB, Silva MAN, Fonseca BHF. 2009. Transporte de frangos: caracterização do microclima na carga durante o inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38:2442-2446.

Buffington, D. E.; Collazo-Arocho, A.; Canton, G. H.; Pitt, D.; Thatcher, W.W.; Collier, R.J. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE,* 24:711-714.

Dantas, A. A. A.; Carvalho, L. G.; Ferreira, E. 2007. Classificação e tendências climáticas e Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia,* 31:1862-1866.

Ferreira, D. F. 2008. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Científica Symposium,* 6:36-41.

Ferreira, R. A. 2005. *Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos*. Viçosa: Aprenda Fácil.

Furtado, D.A.; Amancio, D.; Nascimento, J.W.B.; Gomes, J.P.; Silva, R.C. 2012. Thermal performance and concentration of gases in facilities for pigs in semiarid region from State of Paraiba - Brazil[1]. *Engenharia Agrícola,* 32:30-37.

Huynh, T.& Aarnink, A. 2005. Heat stress in pigs. *Pig Progress*, 21:30-32.

Kiefer, C.; Meignen, B.C.G.; Sanches, J.F.; Carrijo, A.S. 2009. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. *Archivos de Zootecnia*, 58:55-64.

Kiefer, C.; Moura, M.S.; Silva, E.A.; Santos, A.P.; Silva, C.M.; Luz, M.F.; Nantes, C.L. 2010. Respostas de suínos em terminação mantidos em diferentes ambientes térmicos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal,* 11:496-504.

Lima, A.L.; Oliveira, R.F.M.; Donzele, J.L.; Fernandes, H,C.; Campos, P.H.R.F.; Antunes, M.V.L. 2011. Resfriamento do piso da maternidade para porcas em lactação no verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:804-811.

Luz, C.S.M.; Fonseca, W.J.L.; Vogado, G.M.S.; Fonseca, W.L.; Oliveira, M.R.A.; Sousa, G.G.T.; Farias, L.A.; Sousa Júnior, S.C. 2015. Adaptive thermal traits in farm animals. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology,* 4:6–11.

Manno, M. C.; Oliveira, R. F. M.; Donzele, J. L.; Oliveira, W. P.; Vaz, R. G. M. V.; Silva, B. A. N.; Saraiva, E.P.; Lima, K.R.S. 2006. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia,* 35:471-477.

Moura, D. J. 1999. Ventilação na suinocultura. In: Silva I.J.O. *Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos*. Piracicaba: FEALQ, p.149-179.

Menegali, I.; Baêta, F.C.; Tinôco, L.F.F.; Cordeiro, M.B.; Guimarães, M.C.C. 2010. Desempenho produtivo de frangos de corte em diferentes sistemas de instalações semiclimatizadas no sul do Brasil. *Engenharia da Agricultura,* 18:.461-471.

Muller, P. B. 1989. *Biodimatologia aplicada aos animais domésticos*. 3. Ed. Porto Alegre: Editora Sulina.

Nazareno, A.C.; Silva, I.J.O.; Nunes, M.L.A.; Castro, A.C.; Miranda, K.O.S.; Trabachini, A. 2012. Caracterização bioclimática de sistemas ao ar livre e confinado para a criação de matrizes suínas gestantes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,* 16:314-319.

Nienaber, J. A.; Hahn, L. G.; Yen, J. T. 1987. Thermal environment effects on growing-finishing swine, Part I - Growth, feed intake and heat production. *Transaction of the ASAE,* 30:1772-1775.

PIC. 2015. Guidelines for hot weather transport of pic pigs. Disponível em: <http://www.pic.com/Images/Users/1/salesportal/newsletters/enewsletterarchive/GuidelinesforHotWeatherTransportofPICPigs(2)(2)%5B3%5D.pdf>. Jun. 2015.

Rocha, J.S.; Silva, A.S.; Brito, M.A.; Silva, T.P.D.; Pereira, A.M. 2012. Características termorreguladoras de diferentes linhagens de suínos na microrregião do Alto Médio Gurguéia. *Revista Verde,* 7:140-143.

Sampaio, C.A.P.; Cristani, J.; Dubiela, J.A.; Boff, C.E.; Oliveira, M.A. 2004. Avaliação do ambiente térmico em instalações para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. *Ciência Rural,* 34:785-790.

Silva, E.G.; Santos, A.C.; Ferreira, C.L.S.; Sousa, J.P.L.S; Rocha, J.M.L.; Silveira Júnior, O. 2013. Variabilidade espacial das características ambientais e peso de frangos de corte em galpão de ventilação negativa. *Revista Brasileira Saúde Produção Animal*, 14:132-141.

Thom, E.C. 1958. Cooling Degree: Day Air Conditioning. Heating, And Ventilating. *Transaction of the American Society of Heating,* 55:65-72.

Monitorização do ambiente térmico tendo em vista o bem-estar animal de suínos em fase de crescimento e engorda

José Rico[1], Fátima Baptista[2], Vasco F. Cruz[2].

[1] Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, 7002-554 Évora, Portugal, m37275@alunos.uevora.pt

[2] Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Ap. 94, 7002-554 Évora, Portugal, vfc@uevora.pt

Resumo

Os constantes desenvolvimentos tecnológicos podem facilitar a gestão de sistemas produtivos que se baseiem no controlo contínuo e em tempo real da produção, do bem-estar e da saúde dos animais, bem como das condições ambientais. Estes sistemas permitem aos produtores detetar, instantaneamente, problemas e ativar medidas de resposta imediata. O ambiente das instalações pecuárias apresenta-se como um dos principais fatores limitantes da produção. Situações de *stress* térmico podem causar uma diminuição nas performances dos animais, morbidade e até mesmo mortalidade, conduzindo a perdas económicas significativas e preocupações de bem-estar animal.

O controlo ambiental das instalações pecuárias é tipicamente baseado nas taxas de produção de calor e humidade a níveis de temperatura ambiente predeterminados. Este método de controlo tradicional não satisfaz as verdadeiras necessidades térmicas dos animais, uma vez que não contabiliza alguns fatores ambientais, fisiológicos e comportamentais, atualmente conhecidos como influentes nas respostas produtivas do animal mediante as condições circundantes. Além disso, os avanços na genética animal, nutrição e práticas de gestão levaram a alterações consideráveis nas cargas de calor sensível e latente das instalações pecuárias modernas. Neste contexto, a zootecnia de precisão poderá ser o conceito básico para o desenvolvimento de um sistema de controlo avançado baseado em monitorização automática, numa frequência adequada de variáveis ambientais, fisiológicas e comportamentais.

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de perceber como se monitorizam os parâmetros ambientais e analisar a sua importância na produção e bem-estar de suínos em fase de engorda e acabamento.

Palavras-chave: Produção animal, Zootecnia de precisão, Controlo Ambiental, Sensores.

Monitoring of the thermal environment taking into account the animal welfare of growing and fattening pigs

Abstract

Ongoing technological developments can facilitate the management of production systems based on continuous and in real-time monitoring of production, animal welfare and health and environmental conditions. These systems allow producers to instantly detect problems and activate instantly measures in response. The environment of livestock facilities is one of the main limiting factors of production. Situations of thermal stress can cause a decrease in animal performances, morbidity and even mortality, leading to significant economic losses and animal welfare concerns.

Environmental control of livestock facilities is typically based on the rates of production of heat and humidity at predetermined ambient temperature levels. This traditional control method may not meet the true thermal needs of the animals, since it does not account for some environmental, physiological and behavioral factors currently known to have influence in the animal's productive responses under the surrounding conditions. In addition, advances in animal genetics, nutrition and management practices have led to considerable changes in the sensitive and latent heat loads of modern livestock facilities. In this context, precision livestock farming may be the basic concept for the development of an advanced control system based on automatic monitoring, at an appropriate frequency of environmental, physiological and behavioral variables.

This work was conducted with the objective of understanding how to monitor environmental parameters and analyze their importance in the production and well-being of pigs in fattening and finishing stages.

Keywords: Animal Production, Precision Livestock Farming, Environmental control, Sensors

1. Introdução

As novas exigências mundiais de produção agrícola, dentro do processo ético, cada vez mais se voltam para os conceitos das boas práticas de produção, considerando o bem-estar animal e do trabalhador, a segurança alimentar e o respeito pelo meio ambiente (Campos, 2009 *cit in* Baêta e Souza, 2010). As instalações e os seus equipamentos devem proteger, deste modo, os animais de condições adversas, bem como oferecer conforto adequado, com níveis apropriados de ventilação, temperatura e humidade. As condições ambientais possuem grande impacto na produtividade de diferentes espécies animais, nomeadamente nas aves e nos suínos, habitualmente produzidos em sistemas intensivos (Cruz e Baptista, 2006).

Para que as condições ambientais pretendidas sejam atingidas, as instalações pecuárias devem possuir um sistema de monotorização e controlo. No entanto, há uma necessidade de que as instalações pecuárias modernas não monitorizem apenas as condições ambientais, mas também o comportamento e a saúde dos animais (Banhazi e Black, 2009; Koenders et al., 2015; *cit in* Fournel, 2016).

2. Parâmetros ambientais interiores

O porco na fase de crescimento e engorda apresenta, a par das suas necessidades de índole nutricional, sanitária, etc, requisitos de modo a que a produtividade animal não seja afetada, tendo a engenharia e o controle do ambiente, como objetivo, a realização das condições ambientais requisitadas Os fatores climáticos (ambientais), tais como a temperatura, humidade relativa e velocidade do ar possuem uma elevada influência sobre os animais, com impacto no seu *status* comportamental, fisiológico e imunológico (Cruz, 1997).

2.1. Temperatura do ar

De acordo com Cruz e Baptista (2006), os animais são uma constante fonte de calor sensível e latente, contribuindo para a alteração do valor da temperatura interior. A temperatura interior de uma instalação pecuária resulta essencialmente das condições climáticas exteriores, da espécie animal a alojar e das características da construção.

O suíno, como ser homeotérmico que é, mantém a sua temperatura interna dentro de limites estreitos para variações de temperatura ambiente (Cossins e Bowler, 1987 *cit in* Cruz, 1997). Esta manutenção da temperatura corporal é permitida através da termorregulação: mecanismo responsável por assegurar o equilíbrio dinâmico entre o calor produzido pelo organismo (termogénese) e cedido ao meio ambiente (termólise).

O intervalo de temperaturas ambientais onde o animal é capaz de manter a sua temperatura corporal, independentemente da temperatura ambiente, é designada por zona de homeotermia Cruz, 1997)

Dentro da zona homeotérmica existe a zona de neutralidade térmica (TNZ). De acordo com Mount (1974) *cit in* Cruz, 1997, esta zona define-se como a zona de temperaturas ambientais onde, para um determinado nível alimentar, a produção de calor é mínima, constante e independente da temperatura do ar (Holmes e Close, 1977 *cit in* Cruz, 1997), tendo como limites a temperatura crítica inferior (tci) e a temperatura crítica superior (tcs) (Cruz, 1997; Hillman, 2009 *cit in* Xiong, 2013).

De acordo com Cruz e Baptista (2006), para uma determinada espécie, a definição das temperaturas críticas e zona de neutralidade térmica é função da conjugação de diversos fatores, tais como: a raça,

o sexo, o peso corporal, a densidade animal, o nível energético da alimentação, a velocidade do ar sobre o animal, o tipo de pavimento e as condições climáticas exteriores. A temperatura ótima para suínos em fase de crescimento e engorda, tem um significado diferente, consoante esta esteja dirigida à ingestão alimentar, à taxa de crescimento, à eficiência de utilização dos alimentos ou, ainda à energia retida sob a forma de gordura e proteína (Cruz, 1997).

As recomendações para alojamentos de suínos nesta fase do ciclo produtivo, em termos gerais, devem procurar uma situação de equilíbrio. Estudos anteriores apontaram as temperaturas situadas entre 10 e 25ºC (dentro da zona de neutralidade térmica) como o intervalo de temperaturas ambientais onde o suíno pode maximizar, de forma geral, as suas performances zootécnicas (NRC, 1981; DeShazer e Overhults, 1982; Curtis, 1985; Hahn, 1985; Morrow-Tesch et al, 1994; Holden e Ensminger, 2006; *cit in* Xiong, 2013).

2.2. Humidade relativa

De acordo com Baêta e Souza (2010), humidade relativa refere-se à relação entre a humidade absoluta do ar e a humidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura, obtida em percentagem. Este valor define o estado de secura do ar. Trata-se de um parâmetro climático importante, uma vez que a concentração de humidade a níveis elevados é prejudicial para a saúde e conforto dos animais alojados tal como dos intervenientes no processo de produção e que estão em regular contacto com as instalações.

De um modo geral, o teor de humidade deve ser mantido a níveis inferiores dos limites críticos. No entanto, a primeira dificuldade surge em definir este valor, uma vez que depende de alguns fatores como o ripo de animal, a sua fase de produção e da temperatura ambiente. De acordo com Cruz e Baptista (2006), aceita-se como valor médio 80%.

2.3. Velocidade do ar

A velocidade do ar é um parâmetro importante e a ter em conta, principalmente na situação de Inverno, pelo que um dos objetivos é evitar que o ar frio vindo do exterior incida diretamente sobre os animais, uma vez que os riscos inerentes da ocorrência de pneumonias podem aumentar. Por outro lado, durante o Verão, o objetivo principal é que o ar seja dirigido diretamente para os animais, aumentando desta forma as trocas de calor por convecção, o que se traduz numa sensação de frescura (Cruz e Baptista, 2006).

Os valores aceitáveis para a velocidade do ar dependem principalmente da temperatura exterior e interior. De acordo com Vaquero (1981) cit in Cruz e Baptista (2006), os valores máximos durante o Inverno variam entre 0,1 m/s em leitões e entre 0,1 e 0,2 m/s em porcos adultos; por outro lado, durante o Verão estima-se que os valores andem à volta de 0,4 m/s em porcos adultos.

2.4. Luminosidade

Uma luminosidade adequada deve permitir que se realizem todas as tarefas dentro da instalação, pelo que se recomenda uma intensidade de luz mínima de 40-50 lux. Embora não se conheça muito sobre a interação entre o animal e a luminosidade pode concluir-se que alguns processos fisiológicos relacionados com a reprodução, crescimento e comportamento animal podem estar relacionados com a intensidade da luz e com a duração da iluminação (Babot e Revuelta, 2009).

2.5. Índices de conforto térmico

Os índices de conforto térmico têm sido utilizados com o objetivo de fornecer dados para a gestão ambiental e para avaliar o risco de perdas, através da ligação entre respostas fisiológicas ou produtivas dos animais. Esta ligação é baseada em observações criteriosas de desempenho

(temperatura corporal, taxa de respiração, crescimento, produção de leite) em simultâneo com dados ambientais (temperatura, humidade relativa, radiação e velocidade do ar). Estes dados servem como inputs para os índices de conforto térmico, fazendo uma relação empírica de resposta biológica, que é desenvolvida para prever a resposta dos animais às condições térmicas (Hahn et al., 2009; Gaughan et al., 2012; cit in Fournel, 2016). Os índices de conforto térmico normalmente combinam os efeitos de duas ou mais medidas térmicas que representam a influência do calor sensível e latente, transferido entre o animal e seu ambiente. Como tal, um valor de índice representa o efeito produzido pelo processo de troca de calor, o que pode alterar a resposta biológica. Estes foram desenvolvidos para apoiar decisões racionais de gestão ambiental relacionadas com o desempenho animal, saúde e bem-estar (Fournel, 2016).

Os índices de conforto animal começaram a ser desenvolvidos em 1940 (Lee, 1965 cit in Fournel, 2016). Thom (1959) cit in Fournel (2016), desenvolveu para humanos o índice de desconforto (DI), a partir das temperaturas do bulbo húmido e seco. Este índice deu origem a muitos outros. Um deles surgiu do trabalho de Bianca (1962) cit in Fournel (2016), no qual a temperatura retal (RT) dos bezerros foi calculada como a combinação entre temperaturas do bulbo seco e húmido. A partir deste índice foi obtido o índice de temperatura-humidade (THI).

O uso do THI foi ainda desenvolvido por Johnson (1965) cit in Fournel (2016), utilizando a temperatura do ponto de orvalho em vez da temperatura do bulbo húmido. Para além disso, diversos estudos ajustaram o THI para diferentes tipos de animais (Ingram, 1965; Roller e Goldman, 1969; Johnson e Vanjackack, 1976; NOAA, 1976; Zulovich e DeShazer, 1990; cit in Fournel, 2016).

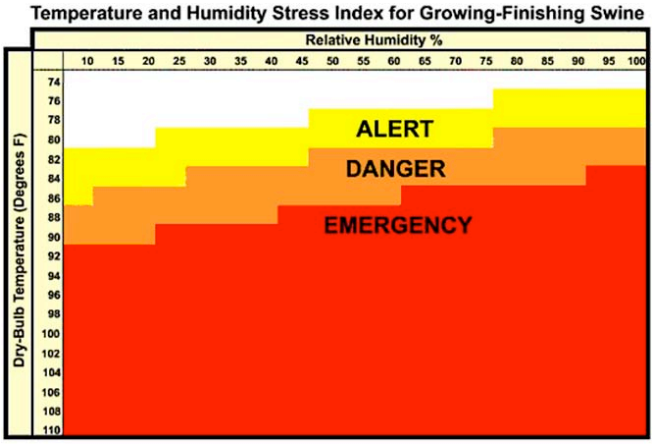


Figura 1. Índice de Temperatura-Humidade (THI) para suínos (Fonte: The Pig Site, 2002)

Ao integrar os efeitos da humidade, o THI passou a abrangir grande parte do impacto das condições ambientais quentes em animais (Haeussermann et al., 2005; Shao e Xin, 2008; Hahn et al., 2009; *cit in* Fournel, 2016). No entanto, as modificações ao THI tornaram-se inevitáveis considerando as suas limitações associadas à radiação termal, fluxo de ar, intensidade e duração do calor e condições de frio, especialmente para animais confinados em ambientes não protegidos. Existem outras abordagens desenvolvidas posteriormente para suínos, entre outros que podem também ser adaptados.

3. Sistemas de Climatização

A produção pecuária intensiva requer um sistema de controlo ambiental apropriado para maximizar o bem-estar e a produtividade dos animais e prolongar a vida útil da infraestrutura (Baêta e Souza, 2010; Fournel, 2016). Deste modo, o conhecimento do balanço térmico de uma construção

possibilita quantificar as necessidades de aquecimento e de arrefecimento (Cruz, 1997). A modificação ambiental é geralmente efetuada por ventilação (natural ou mecânica), aquecedores suplementares para condições de frio e equipamentos de arrefecimento para condições de altas temperaturas (Baêta e Souza, 2010; Fournel, 2016). Esses equipamentos são idealizados para o manuseamento das variáveis ambientais primárias tais como a temperatura, humidade, velocidade do ar e contaminantes aéreos. No entanto, as condições ambientais desejadas variam de acordo com o clima local, o projeto da instalação, a população animal e a fase de produção. Para controlar eficazmente as condições ambientais dentro da instalação, as taxas de ventilação e necessidades de aquecimento ou arrefecimento são determinadas com base na produção de calor e humidade (Baêta e Souza, 2010; Fournel, 2016).

3.1. Ventilação

De acordo com Cruz e Baptista (2006), a ventilação é uma das técnicas de controlo ambiental mais importante na determinação das condições ambientais no interior de instalações pecuárias. Um sistema de ventilação tem como principal objetivo permitir que sejam criadas as condições adequadas aos animais através do controlo ambiental. Para que isto seja possível, torna-se imprescindível o controlo efetivo do caudal de ventilação em conjunto com o controlo da distribuição do ar no interior de uma instalação (Moss, 1981, cit in Cruz, 1997; Randall, 1981 cit in Cruz e Baptista, 2006). Para que um sistema de ventilação seja eficaz, a quantidade de ar que entra no interior de uma construção deve ser a adequada, bem como a sua distribuição uniforme (Cruz e Baptista, 2006).

A ventilação pode ser natural (estática) ou forçada (mecânica). De acordo com Bruce (1977) cit in Cruz e Baptista (2006), não existe qualquer diferença na qualidade do ar por ventilação natural ou forçada, sendo que a única diferença está nas forças que originam os dois tipos de ventilação. Na ventilação forçada, geralmente ocorre uma transformação de energia elétrica em energia mecânica; por outro lado, na ventilação natural são utilizadas duas forças naturais: o vento e a impulsão térmica.

De acordo com Cruz e Baptista (2006), um sistema de ventilação bem dimensionado permite satisfazer os três grandes objetivos da ventilação, que são essencialmente:

(i) Controlo da temperatura;

(ii) Controlo da humidade;

(iii) Controlo da concentração de gases e poeiras.

Nas instalações destinadas ao alojamento de animais a ventilação é fundamental em situações de tempo quente (Verão) e de tempo frio (Inverno). Deste modo, é possível considerar duas situações completamente distintas e três objetivos em comum (Cruz e Baptista, 2006).

a) Controlo da temperatura

O cálculo do caudal de ventilação cujo principal objetivo é a manutenção de uma determinada temperatura, deve ter por base as temperaturas críticas inferiores e superiores das diferentes espécies animais, de modo a evitar situações de *stress* térmico (Cruz e Baptista, 2006). De acordo com Cruz e Baptista (2006), o cálculo do caudal de ventilação em função da temperatura numa situação de Verão conduz à taxa máxima de renovação do ar. Por outro lado, durante o Inverno, uma vez que o calor não é um fator limitante do microclima interior, torna-se mais importante reduzir as perdas e aproveitar da melhor forma possível o calor produzido pelos animais.

b) Controlo da Humidade Relativa

De acordo com Cruz e Baptista (2006), a humidade relativa trata-se de um parâmetro climático importante, uma vez que têm influência nas trocas de calor latente entre os animais e o ambiente,

favorecendo o desenvolvimento e a transmissão de algumas doenças, bem como contribuindo para a degradação dos materiais de construção e dos equipamentos. Deste modo, o controlo do teor de humidade assume principal importância na situação de Inverno, uma vez que as temperaturas são mais baixas, o que torna mais provável a ocorrência de condensação e problemas respiratórios nos animais. De acordo com Bruce (1977) *cit in* Cruz e Baptista (2006), na situação de Inverno existem dois limites para o caudal de ventilação: um valor mínimo, que deve ser mantido por razões de saúde dos animais ou para remover a humidade em excesso e um valor máximo, que está associado à elevada velocidade do vento e que se for excedido, conduz a situações de *stress* causadas pelo frio e, consequentemente, a uma quebra produtiva.

c) Controlo da concentração de gases e poeiras

O sistema atual de produção caracteriza-se pela produção intensiva e em confinamento, onde se verifica uma elevada densidade animal por áreas reduzidas, o que contribui para o aumento da contaminação ambiental (Kunz et al., 2005 *cit in* Inoue et al., 2012). De acordo com Cruz e Baptista (2006), a manutenção da pureza química do ar é importante, quer se trate de uma situação de Inverno ou Verão. A renovação do ar é essencial para manter um teor adequado de oxigénio e permitir que os principais gases existentes nos sistemas intensivos de produção (dióxido de carbono, amoníaco, ácido sulfídrico, metano, monóxido de carbono e outros) não atinjam valores a partir dos quais se tornam tóxicos. Por outro lado, para além dos gases existem outros contaminantes ambientais do ar no interior de uma instalação pecuária como é o caso das poeiras (pequenas partículas suspensas no ar), que de acordo com diversos autores são as principais responsáveis pela deterioração da saúde e bem-estar dos animais (Kwon et al., 2016) e dos humanos, podendo provocar graves problemas respiratórios.

Na maior parte das situações, o caudal de ventilação calculado com base na temperatura ou humidade é maior que o caudal calculado em função da concentração do dióxido de carbono (principal gás limitante), razão pela qual apenas se fazem cálculos confirmativos. Desta forma, o cálculo do caudal de ventilação para o controlo da humidade ou do teor de gases conduz à taxa mínima de renovação do ar (Cruz e Baptista (2006).

3.2. Aquecimento

Em muitas empresas agropecuárias, tais como suiniculturas, quando o calor produzido pelos animais é insuficiente para manter a temperatura ambiente pretendida, torna-se necessário recorrer, de forma contínua ou em algumas épocas do ano, a alguns equipamentos destinados ao aquecimento do ar (Baêta e Souza, 2010). O processo termodinâmico de aquecimento do ar consiste em adicionar calor ao ar sem variar a sua razão de humidade (Cruz, 1997; Baêta e Souza, 2010).

Os sistemas mais utilizados de aquecimento de construções são os sistemas convencionais tais como: o aquecimento localizado, em leitões, e o aquecimento do espaço (Haartsen, 1981 *cit in* Cruz, 1997). Uma vez que os custos resultantes do aquecimento se tornam dispendiosos, outros sistemas têm sido estudados para aplicar em pavilhões destinados ao crescimento e engorda. Dentro destes sistemas o aquecimento do pavimento (Spillman e Hinkle, 1971 *cit in* Xiong, 2013; Restrepo et al, 1977 *cit in* Xiong, 2013; Vacha e DeShazer, 1983 *cit in* Xiong, 2013; Goedseels et al., 1990 *cit in* Cruz, 1997; Eigenberg et al., 2009 *cit in* Xiong, 2013) destaca-se e consiste num sistema de tubos de ar ou água que funcionam como permutador de calor, podendo serem colocados ao nível do solo ou aéreos (D'Allaire et al., 1992 *cit in* Cruz, 1997).

3.2. Arrefecimento

Os métodos convencionais de arrefecimento do ar (bombas de calor) são dispendiosos. Os sistemas de arrefecimento evaporativos (evaporative cooling) constituem sistemas alternativos de reduzidos custos (Cruz, 1997; Baêta e Souza, 2010). Geralmente, durante este processo não existe adição de calor externo e por isso o conteúdo total de calor não varia. Apenas se verifica uma alteração adiabática de calor sensível para calor latente. No entanto, ocorre uma alteração ambiental resultante da mudança de estado da água e da mudança na temperatura da mistura ar-vapor, que melhora consideravelmente as condições de conforto, principalmente para aqueles animais que possuem grandes dificuldades em transpirar, como é o caso do suíno (Beâta e Souza, 2010).Nestes sistemas o arrefecimento do ar pode ser conseguido de dois métodos (Bötcher et al., 1993 *cit in* Cruz, 1997):

(i) Por painéis de evaporação;

(ii) Por sistemas mistos ou de nebulização.

De acordo com Böttcher (1993) *cit in* Cruz (1997) a eficiência de qualquer um dos sistemas de arrefecimento evaporativo é tanto maior quanto maior for a temperatura e mais seco for o ar.

4. Sistemas de monitorização e controlo

Existem diferentes aplicações tecnológicas (termómetros combinados, sensores capacitivos, anemómetros, câmaras, sistemas de pesagem automáticos, etc.) que são utilizadas pela zootecnia de precisão desde o início do século 21, que tendem a demonstrar as possibilidades (atuais e futuras) do feedback dos animais e do ambiente. No entanto, a indisponibilidade de sensores baratos, fiáveis e robustos continua a ser o principal problema na implementação das ferramentas de zootecnia de precisão nas instalações pecuárias (Wathes et al., 2008 cit in Fournel, 2016).

4.1. Sensores utilizados na zootecnia de precisão

As decisões de gestão, baseadas nos índices de conforto térmico, para o controlo ambiental preciso requerem instrumentos apropriados e a monotorização exata de todos os parâmetros. Os animais respondem ao seu ambiente, que é caracterizado pela temperatura, humidade, radiação e velocidade do ar, bem como por respostas fisiológicas e comportamentais. Alguns destes últimos parâmetros podem ser avaliados através de medições da temperatura corporal, respiração e frequência cardíaca, peso corporal, alimentação e ingestão de água, atividade e movimentação (Fournel, 2016).

a) Medições ambientais

Os parâmetros ambientais geralmente medidos relacionados com o conforto animal incluem a temperatura, humidade, radiação solar e velocidade do ar. Estes caracterizam, aproximadamente, o ambiente animal e são medidos na zona onde os animais estão confinados (Fournel, 2016).

b) Medições fisiológicas

Os parâmetros fisiológicos geralmente medidos relacionados com o conforto animal incluem a temperatura corporal, taxa de respiração, frequência cardíaca e peso corporal. Podem haver algumas dificuldades associadas a este tipo de medições, uma vez que as intrusões para observar os animais podem ter influenciar e levar a alterações nos resultados finais (Fournel, 2016).

c) Medições comportamentais

Os parâmetros comportamentais geralmente medidos relacionados com o conforto animal incluem a alimentação e consumo de água e a presença, atividade ou comportamento animal. Estes indicadores podem ser úteis para determinar o estado de saúde dos animais, bem como o estado

fisiológico. Através do seu comportamento é possível perceber: (i) um animal doente pode ser menos ativo do que um animal saudável; (ii) os animais em ambiente frio podem aconchegar-se para se aquecer; (iii) o nível de atividade de um animal pode estar ligado ao seu estado no ciclo reprodutivo (Frost et al., 1997 *cit in* Fournel, 2016).

4.2. Sistemas de controlo e alerta

Ao longo das duas últimas décadas, uma série de novas tecnologias tornaram-se disponíveis para ventilação, aquecimento e arrefecimento das instalações pecuárias, e foram feitos avanços, ainda que limitados, no desenvolvimento de algoritmos de controlo. Para obter maior benefício com as novas tecnologias disponíveis, é necessário integrar mais conhecimento sobre a interação entre as respostas dos animais e as ações de controlo nos algoritmos aplicados (Banhazi et al., 2009 *cit in* Fournel, 2016). Existe uma ampla variedade de sensores e biossensores que podem ser utilizados para medir variáveis ambientais, fisiológicas e comportamentais. Neste momento, ainda é preciso desenvolver equipamentos com custo reduzido para medir, armazenar e analisar variáveis como a temperatura corporal, a humidade e o comportamento que funcionem bem em ambientes agressivos, não invasivos e capazes de funcionar automaticamente e continuamente, de acordo com Wathes et al. (2008) *cit in* Fournel (2016).

Deste modo, surge a necessidade de desenvolver uma estratégia inovadora para o controlo térmico do ambiente animal que inclua a análise de:

(i) produção de calor;

(ii) conforto térmico dos animais tendo por base algumas medidas ambientais e fisiológicas;

(iii) animais como uma resposta à qualidade do seu ambiente (Fournel, 2016).

Essa análise pode ser feita por meio de um sistema de controlo *online* baseado em toda a informação fornecida pelo sistema de zootecnia de precisão e através de critérios pré-determinados estabelecidos pelo produtor (Fournel, 2016).

5. Conclusões

Atualmente, os controladores ambientais utilizam pontos de ajuste de variáveis ambientais, que se supõe serem ótimas para um animal. Estes set-points foram derivados de uma combinação de pequenas experiências de laboratório. Apesar da aplicação de técnicas modernas, essa abordagem nem sempre resulta no processo esperado, porque simplifica demasiado as interações complexas entre um animal e seu ambiente. A dependência de novas formas de aquisição de informação nas explorações pecuárias, através dos sistemas da zootecnia de precisão, deve ter a capacidade de ativar práticas de gestão animal que sejam mais sensíveis aos sinais do mercado (Fournel, 2016).

As tecnologias de zootecnia de precisão abrangem:

(i) métodos para medir eletronicamente os componentes críticos dos sistemas de produção relacionados com a eficiência do uso dos recursos;

(ii) ferramentas de *software* destinadas a interpretar as informações captadas;

(iii) o controlo dos processos para garantir a produtividade animal ideal (Fournel, 2016).

Estes sistemas de monitorização e controlo em tempo real devem melhorar radicalmente a eficiência da produção das empresas pecuárias (Banhazi e Black, 2009; Kuczynski et al., 2011; cit in Fournel, 2016).

Um dos principais objetivos atuais na produção animal é conseguir o melhor ganho médio diário possível, de modo a reduzir o tempo que o animal precisa de permanecer nas instalações. Mediante isto, os produtores podem lucrar com esta situação de duas formas. Podem, por um lado, aumentar o rendimento da instalação de engorda e acabamento dos animais, o que conduz a uma redução dos

custos fixos por animal; por outro, a forma de os produtores beneficiarem de um maior aumento de ganho médio diário é manter o seu número atual de dias, como por exemplo o período de acabamento, e aumentar o peso vivo dos animais. Consequentemente, é necessário ser capaz de caracterizar com precisão as condições ambientais e prever o seu impacto no desempenho e bem-estar dos animais (Fournel, 2016).

Bibliografia

Babot, D. e M. Revueta. 2009. Necessidades Funcionales. In *Ganado Porcino: Diseño de alojamentos e instalaciones*. Ed. Grupo Asis Biomedia, S.L., ch:2, 38-69. Zaragoza: Servet editorial.

Baêta F.C e C.F. Souza. 2010. *Ambiência em Edificações Rurais: Conforto Animal*. Viçosa, Mg; Brasil: UFV.

Cruz, V. F. 1997. Influência da estação do ano sobre as performances do porco em fase de crescimento e acabamento. Sua relação com a densidade de alojamento e a concentração energética da dieta. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Évora, Évora.

Cruz. V.F. e F. J. Baptista. 2006. Conceitos básicos sobre ventilação no alojamento de suínos. Revista Suinicultura 72: 40-48.

Fournel S., A. N. Rousseau and B. Laberge. 2016. Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. Biosystems Engineering 155: 96-123. (Acesso em 1 Janeiro 2017) http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S153751101630318X

Inoue K. R. A., C. F. Souza, M. S. Sousa, F. C. Sousa e F. F. G. D. Leite. 2012. Técnicas para minimizar a emissão de gases na suinicultura. In *Atas do Simpósio de Construções rurais e ambientes protegidos*. 294-297. 7-9 de Novembro, Viçosa, Mg, Brasil.

Kwon K. S., I. B. Lee and T. Há. 2016. Identification of key factors for dust generation in a nursery pig house and evaluation of dust reduction efficiency using a CFD technique. Biosystems Engineering 151: 28-52. (Acesso 1 Janeiro 2017) http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511016301556

The Pig Site. 2002. Heat stress index chart for swine producers. (Acesso em 1 Fevereiro 2017) http://www.thepigsite.com/articles/669/heat-stress-index-chart-for-swine-producers/

Xiong Y. 2013. Evaluation of trailer thermal environment during comercial swine transport. Master Thesis. Univertisy of illiois at Urbana-Champaign. Urbana, Illois.

Indicadores de Bem-Estar Animal em Suínos na fase de crescimento e engorda

Catarina Martins[1], Rui Charneca[2], Vasco Fitas da Cruz[3]

[1] Universidade de Évora, 7000-552 Évora, Portugal. Catarina_martins_333@hotmail.com

[2] Departamento de Medicina Veterinária, Universidade de Évora, 7000-552 Évora, Portugal. rmcc@uevora.pt

[3] Departamento de Engenharia Rural, Universidade de Évora, 7000-552 Évora, Portugal. vfc@uevora.pt

Resumo

A aplicação de diferentes inovações tecnológicas aos sistemas intensivos de produção de suínos tem gerado alguns problemas relacionados com a saúde e o bem-estar animal nas instalações modernas. Mesmo considerando que alguns avanços significativos foram registados nos parâmetros reprodutivos e produtivos das várias linhas genéticas, deve ser enfatizado que tais níveis técnicos têm resultado em alterações no ambiente dos suínos nas diferentes fases do sistema produtivo (instalações dos reprodutores, maternidades, recria e engorda), uma vez que o maneio coletivo adotado no confinamento ocasiona novas agressões à saúde e conforto dos animais, passando a exigir medidas preventivas contra o aparecimento de situações de *stress*.

Para que se avalie se estes animais estão sob condições de bem-estar é preciso que sejam utilizados, em conjunto, alguns indicadores de bem-estar que consigam expressar a capacidade de ajustamento (atendimento das necessidades biológicas) ou de falha (*stress*/sofrimento, baixo desempenho e comportamento anormal) na sua adaptação ao ambiente proporcionado. De entre os indicadores reconhecidos, os comportamentais, fisiológicos, produtivos e sanitários, nos suínos em fase de crescimento e engorda destacam-se os comportamentais e fisiológicos e, por esse motivo, será o principal foco deste artigo. Os indicadores comportamentais de falhas no bem-estar são baseados especialmente na ocorrência de comportamentos anormais, e daqueles que se afastam do comportamento no ambiente natural. Por outro lado, a descoberta de mecanismos metabólicos, imunológicos e neuro-endócrinos torna possível descrever a reação de *stress* em termos fisiológicos.

Palavras-chave: Bem-estar Animal, Suínos, Indicadores Comportamentais, Indicadores Fisiológicos, Monitorização.

Indicators of Animal Welfare in Pigs in growth and fattening phase

Abstract

The application of different technological innovations to the intensive systems of pig production has generated some problems related to health and animal welfare in modern facilities. Even considering that some significant advances have been registered in the reproductive and productive parameters of the various genetic lines, it should be emphasized that such technical levels have resulted in changes in the pig environment in the different phases of the productive system (breeding, maternity, rearing and fattening facilities), once the collective management adopted in the confinement causes new aggressions to the health and comfort of the animals, requiring preventive measures against the emergence of stress situations.

To evaluate whether these animals are under welfare conditions, it is necessary to use together some welfare indicators capable of expressing the capacity for adjustment (meeting the biological needs) or failure (stress/suffering, low performance and abnormal behavior) in their adaptation to the provided environment. Among the recognized indicators, the behavioral, physiological, productive and sanitary, in the pigs in the stage of growth and fattening stand out the behavioral and physiological, and, for this reason, will be the main focus of this article. Behavioral indicators of well-being failures are based especially on the occurrence of abnormal behaviors, and those who move away from behavior in the natural environment. On the other hand, the discovery of metabolic, immunological and neuro-endocrine mechanisms makes it possible to describe the stress reaction in physiological terms.

Keywords: Animal Welfare, Swine, Behavioral Indicators, Physiological Indicators, Monitoring.

1. Introdução

O bem-estar dos animais, juntamente com as questões ambientais e a segurança dos alimentos, tem vindo a ser considerado um dos três maiores desafios da agropecuária mundial (Pandorfi, et al., 2006). A busca por produtos de qualidade exige do produtor mudanças no sistema de produção que priorizem, em particular, o Bem-Estar do Animal (BEA) (Baptista et al., 2011). A preocupação com este assunto está cada vez mais presente na cadeia produtiva, seja por exigência do consumidor, seja por uma consciencialização crescente acerca da sua importância, principalmente para a qualidade dos produtos e para a segurança alimentar (RuralCentro, 2013).

De uso corrente, esta é uma expressão que tende a resistir a uma definição rigorosa, e os vários autores não conseguem chegar a um consenso. Atualmente a definição mais utilizada, proposta pelo Farm Animal Welfare Council (FAWC), citado por Massari et al. (2014) baseia-se no reconhecimento das 5 liberdades inerentes aos animais: a liberdade fisiológica, caraterizada pela ausência de fome e de sede, com uma alimentação equilibrada em termos de quantidade e qualidade; a liberdade ambiental em que as instalações devem ser adaptadas para que garantam ausência de desconforto térmico e físico; a liberdade sanitária, garantindo a ausência de doenças e injúrias, física ou moralmente, dor e fraturas; a liberdade comportamental, sendo possível para os animais exprimir comportamentos normais (Baêta e Souza, 2010); e a liberdade psicológica, com ausência de medo e de ansiedade, em que o animal não deve ser exposto a situações que lhe provoquem angústia, ansiedade, medo, dor ou *stress*, principalmente quando os animais são transferidos, carregados ou descarregados (Baêta e Souza, 2010).

Desta forma, segundo Broom e Molento (2004), o bem-estar deve ser definido de forma a permitir a pronta relação com outros conceitos, tais como: necessidades, liberdades, felicidade, adaptação, controle, capacidade de previsão, sentimentos, sofrimento, dor, ansiedade, medo, tédio, *stress* e saúde.

Com efeito, o *stress* tem sido empregue como o principal indicador e mecanismo de avaliação do bem-estar animal (Albuquerque, s.d.). Este termo define-se, segundo Hans Selye, em 1936, citado por Encarnação (1992), como o estado do organismo, o qual, após a atuação de agentes ambientais de qualquer natureza, responde com uma série de reações não específicas de adaptação. Trata-se, portanto, de um processo natural que capacita os animais para a preservação individual e da espécie, propiciando a adaptação em situações de crise e mudança, preparando-os para reagir a ameaças reais ou imaginárias, ambientais ou psicológicas, com maior força e resistência psicofísica. Tanto que foi denominado por um dos seus estudiosos, H. Sayle, como a Síndrome Geral de Adaptação, que se constitui de três fases, descritas por Ballone (Chagas, 2010). Face à exposição de um animal a uma situação de *stress*, a primeira resposta desencadeada denomina-se Fase de Alarme, que corresponde ao stress agudo (Chagas, 2010). Esta constitui a soma de todas as reações sistémicas, não específicas, decorrentes da exposição súbita do organismo a estímulos para os quais não se encontra qualitativamente e quantitativamente adaptado (Flosi, 1947). De modo a contornar esta situação, a medula da glândula suprarrenal secreta hormonas na corrente sanguínea, adrenalina e noradrenalina, em consequência da ativação do eixo hipotálamo-hipófise-suprarrenal (Chagas, 2010).

Pela persistência do agente *stressor*, o organismo evolui para a Fase de Resistência, que representa a soma de todas as reações não específicas decorrentes da ação prolongada do estímulo ao qual o organismo se adaptou. Corresponde então ao *stress* crónico e o principal gerador de respostas é a glândula suprarrenal, que secreta permanentemente glicocorticóides.

Caso o agente *stressor* continue presente, esta fase também permanece, embora modificada, e caso o mecanismo de defesa falhe, o indivíduo entra na terceira fase da resposta ao *stress*. Esta denomina-se Fase de Exaustão, e apenas há praticamente um retorno à fase de alarme e as reações disseminam-se novamente, sendo que o seu carater protetor pode ir além das necessidades, causando efeitos indesejáveis (doença e até morte).

2. Indicadores de Bem-Estar Animal

Primeiramente é importante frisar que os indicadores de BEA devem ser válidos (avaliar o que realmente se pretende), confiáveis (fornecer mensurações replicáveis) e práticos.

Vários são os indicadores utilizados para a aferição do bem-estar de um animal (Pandorfi et al., 2006), podendo ser baseados no animal e no ambiente. De acordo com Zanella (1995) e Candiani et al. (2008), citados por Baptista et al. (2011),o BEA pode ser avaliado através de uma série de aspetos, sendo os mais reconhecidos os indicadores **produtivos**, **sanitários, comportamentais** e **fisiológicos**. A maioria destes auxilia na caraterização do estado do animal dentro da escala de muito bom a muito mau, sendo que algumas medidas estão mais associadas a problemas de curto-prazo, devido, por exemplo, ao mau maneio ou a um período breve de condições físicas adversas, enquanto outras são devido a problemas de longo-prazo (Broom e Molento, 2004).

Existem evidências de que, quando o bem-estar animal é comprometido, a produtividade dos animais também o é, e consequentemente, há uma diminuição e/ou um atraso do ganho de peso, e um atraso no início da reprodução, podendo em casos extremos, levar à morte dos animais (Broom e Molento, 2004; Baptista et al., 2011).

Sabe-se também que ao um animal ao apresentar doenças, feridas, dificuldades de movimento ou ainda anormalidades de crescimento, o seu bem-estar está de alguma forma comprometido. Se dois sistemas de produção forem comparados em termos do seu estado sanitário e a incidência de qualquer um dos itens mencionados for significativamente maior em um deles, o bem-estar dos animais será pior neste sistema, visto que o bem-estar de um animal doente é sempre mais pobre que o bem-estar de um animal que não está doente (Broom e Molento, 2004). No entanto, estabelecer uma relação entre o efeito do estímulo de *stress* e o sistema imunológico não é fácil.

O comportamento, por outro lado, é uma das caraterísticas mais importantes, pois é fundamental nas adaptações das funções biológicas e representa a parte do organismo que interage com o ambiente (Snowdon, 1999, citado por Baptista, et al., 2011). Desta forma, a observação de alterações comportamentais é considerado, segundo Poletto (2010) citado por Baptista et al. (2011), um dos métodos mais rápidos e práticos de avaliação de bem-estar, sendo assim possível mensurar o estado o indivíduo em relação ao ambiente envolvente (Broom, 1991, citado por Baptista et al., 2011): o facto de um animal evitar ou esquivar-se a um objeto ou a um evento fornece informações acerca dos seus sentimentos, e consequentemente, sobre o seu bem-estar (Broom e Molento, 2004). Assim, os indicadores comportamentais são baseados especialmente na ocorrência de comportamentos anormais, que podem simplesmente ser devidos à dificuldade de expressar um movimento, ou então devido à origem de falhas do animal em harmonizar-se com o ambiente perante diferentes estímulos (Costa e Silva et al., 2009).

Por fim, para além dos referidos existem os indicadores fisiológicos. As medidas fisiológicas associadas ao *stress*, segundo Moi et al. (2015), baseiam-se na ideia de que se o stress aumenta, o bem-estar diminui, isto é, os sinais de bem-estar precário são evidenciados por mensurações fisiológicas, como por exemplo o aumento da frequência cardíaca, a comparação da atividade adrenal ou a redução da resposta imunológica indicam que este está comprometido. O resultado das mensurações fisiológicas deve ser interpretado com cuidado pois poderão ser um indício de pré-patologias (Moberg, 1985; Broom e Molento, 2004).

A medição dos indicadores acima descritos pode ser realizada através de métodos invasivos, prejudiciais ao bem-estar dos animais, como na medição da pressão sanguínea com o auxílio da cateterização; ou não invasivos, como na medição da frequência cardíaca através de um estetoscópio. Posto isto, e prevalecendo a ótica do bem-estar animal, deve se dar preferência aos segundos.

2.1. Indicadores de Bem-Estar Animal em Suínos na fase de crescimento e engorda

Os suínos são animais particularmente sensíveis ao comprometimento do seu bem-estar. A resposta destes animais a isso é o *stresse*, um conjunto de respostas fisiológicas e comportamentais a uma ameaça (Jong et al., 2002; citado por Veloni et al., 2013).

Indicadores comportamentais

Os animais de produção, tal como os suínos, não são capazes de exibir todos os comportamentos que normalmente se espera que reflitam as consequências da saúde e bem-estar comprometidos (Hart, 1990), devido à maneira que são emparelhados.

A diversidade comportamental é um indicador importante da capacidade que o animal tem em lidar com o ambiente (Baptista et al., 2011; citado por Da Costa M.R., 2014). As alterações no comportamento dos suínos pode ser o resultado de vários desafios, como a capacidade de expressar o comportamento consoante o ambiente da exploração, doença ou lesão.

As alterações no comportamento dos suínos pode ser o resultado de vários desafios inclusive a incapacidade de expressar o comportamento consoante o ambiente da exploração, doença ou lesão. Tais mudanças estão em conflito direto com as cinco liberdades e não aderem ao novo modelo de cinco domínios (Mellor, 2016), e devem ter a finalidade de melhorar o bem-estar dos animais e de melhorar a sustentabilidade do sistema. As alterações comportamentais aquando da saúde e bem-estar podem ter uma base evolutiva (Hart, 1990; Kyriazakis et al., 1998), ou são uma consequência inevitável do desafio. Por exemplo, a exposição a agentes patogénicos está associada a alterações na alimentação, o que pode ser benéfico (Kyriazakis et al., 1998), considerando que a aglomeração pode ser vista como um fator de risco para a mordida da cauda (Edwards, 2006).

Na tabela seguinte estão apresentadas as principais categorias comportamentais onde está visível a ação do *stress*.

COMPORTAMENTO	**DESCRIÇÃO**
Comportamento alimentar	Os porcos são animais omnívoros e, em sistemas de produção intensiva centram o seu período de atividade na altura de alimentação (Bastos, F., 2012). Aquando do aparecimento do fator *stress*, o nível de alimentação diminui, tal como o número de visitas ao comedouro.
Comportamento de abeberamento	Fatores sociais, a composição e textura da dieta, e a temperatura ambiental são fatores que influenciam fortemente o comportamento de beber (Deen, J.,2010).
Comportamento de eliminação	Os suínos geralmente defecam numa área distante do local onde se alimentam (Deen, J.,2010)
Comportamento social	
• Hierarquização	Em todas as fases de produção deteta-se a formação de uma quase hierarquia social linear (Meese, Ewbank, 1973; citados por Massari., et al., 2015). Esta é essencial para a coexistência do grupo, evitando a ocorrência de agressões e lesões (Messe e Ewbank, 1973; Lindberg, 2001; Mendl e Held, 2001; citados por Massari, 2014).
• Agonístico	Em grupos cujas posições hierárquicas já estejam estabelecidas, podem ocorrer agressões (ameaçar, morder, fuçar ou dar cabeçadas) (Held e Mendl, 2000; citados por Massari, 2014) durante a mistura de animais desconhecidos até que uma nova ordem de dominância seja estabelecida, e na disputa por espaço físico, alimentos e recursos (Fraser, 1984; Otten et al., 1997; De Jong et al.,1999; citados por Massari, 2014). Pode estar relacionado com uma série de fatores *stressantes*, relacionado com as instalações e com o maneio inadequado (Sobestansky, Zanella, 2007;citados por Baptista et al., 2011).

• Destrutivo	São aqueles que causam lesões nos animais (mordeduras e os vícios de sucção da cauda, orelha, flanco e vulva, comportamentos agressivos) (Zanella, 1995; Sobestiansky, Zanella, 2007; Baptista et al., 2011). As principais causas são a mistura de lotes e a superlotação (Radostits et al., 2002; citados por Baptista et al., 2011).
• Vocalização	É uma ferramenta objetiva e não-invasiva que pode evidenciar o comprometimento do bem-estar dos animais, baseado na captação de padrões vocais distintos (Nääs et al., 2008). Segundo o "Código de Recomendação para o Bem-Estar na Criação de Suínos" do Departamento do Meio Ambiente, Alimentos e Assuntos Rurais (DEFRA) do Reino Unido, devem ser evitados valores de pressão sonora acima de 85 dB, assim como a exposição dos animas aos ruídos constantes ou súbitos (DEFRA, 2003; citado por Baptista et al., 2011), uma vez que, segundo Tolon et al., (2010), citados por Baptista et al. (2011), a esse nível o animal pode ficar impossibilitado de desenvolver o seu comportamento natural.
Comportamentos termorregulatórios	O aparecimento e deteção de tremores em porcos de engorda (frio) ou de porcos ofegantes (calor) estão associados a temperaturas extremas (WQ, 2009; citado por Da Costa, M., 2014).Em relação a temperaturas ambiente baixas, segundo Da Costa, M (2014), concluiu-se que a deteção de animais amontoados, em porcos de engorda, permitia determinar o grau de conforto térmico perante temperaturas pouco abaixo das temperaturas ótimas preconizadas para a espécie e fase de produção. Em caso de temperaturas elevadas, sabe-se que estas, para além de influenciarem o comportamento de estar deitado, ainda prejudicam a alimentação dos animais, visto que o consumo de alimento diminui (Jones & Manteca, 2009; citados por Da Costa, M., 2014). Os animais ficam ofegantes, com uma respiração rápida e superficial pela boca. Para além disso, é também muito comum a observação dos porcos a rebolarem, na água ou até na lama. Isto ocorre na tentativa de os animais se refrescarem, visto que suínos apresentam muito poucas glândulas sudoríparas e são quase incapazes de arquejar devido à rigidez da sua tromba (Bastos, F., 2012).
Comportamentos associados com a postura e locomoção	A postura e a locomoção dos suínos podem ser influenciadas por problemas esqueléticos e viscerais (Radostits et al., 2007c; citados por Matthews et al., 2016). A claudicação é uma causa principal do abate de suínos reprodutores (Tarrés et al., 2006; citados por Matthews et al., 2016), e pode ser causada por infeção, degeneração ou trauma de um ou mais membros. O comprometimento da saúde pode ser também resultado de alterações da postura, por exemplo, a postura de cavalete (Radostits et al., 2007d; citados por Matthews et al., 2016).
Comportamentos estereotipados	Quando os suínos são confinados em baias ou presas por amarras por algum tempo, alguns indivíduos evidenciam comportamentos estereotipados, como enrolar a língua, falsa mastigação ou mastigação de parte das instalações (Zanella, 1995; Poletto, 2010; citados por Baptista et al., 2011); enquanto outros se tornam extremamente inativos e não-responsivos, principalmente quando o ambiente não é estimulante e o animal sente dificuldade em lidar com o ambiente, por exemplo aquando do *stress* térmico (Kiefer et al., 2009; citados por Baptista et al., 2011).
Comportamento exploratório	Quando há incompatibilidade entre o suíno e o habitat, ocorrem problemas comportamentais. Nos sistemas intensivos de produção, em condições de confinamento, estes geralmente inviabilizam a expressão do seu vasto repertório comportamental, uma vez que o ambiente é praticamente estéril e sem estímulos, direcionando o seu comportamento investigatório para explorar o ambiente de confinamento e/ou outros animais presentes na baia (Machado Filho e Hötzel, 2000; citados por Foppa et al., 2014).

Indicadores fisiológicos

Os indicadores fisiológicos de bem-estar animal estão relacionados com a resposta fisiológica ao *stress* que é descrita pelos mecanismos metabólicos, imunológicos e neuro-endócrinos (Moberg, G.P., 2000).

Tal como se pode observar na tabela seguinte os mecanismos metabólicos guiam-se consoante as alterações da temperatura retal, da frequência cardíaca e da frequência respiratória; os neuro-endócrinos, que têm como base as alterações dos níveis endócrinos do cortisol, de opióides endógenos e proteínas da fase aguda; e os mecanismos imunológicos, descritos pelas alterações das imunoglobulinas, responsáveis pela defesa do animal.

MECANISMO	**DESCRIÇÃO**
Metabólicos	
Temperatura retal	Num estudo realizado por OMTVEDT et al. (1971), citado por Baptista et al. (2011),a temperatura retal dos animais expostos ao estresse foi significativamente maior do que aqueles em conforto.
Temperatura superficial	Num estudo realizado, descrito por Baptista et al. (2011), os animais sob *stresse* térmico apresentaram valores das temperaturas superficiais (nuca, paleta e pernil) aproximadamente 9,5% superiores aos animais submetidos ao conforto térmico.
• Frequência cardíaca	Esta ajusta-se para atender às necessidades de cada situação. Os altos níveis são produzidos durante atividades físicas excessivas, nas reações de defesa e alarme (Cunningham, 2003; citado por Baptista et al., 2011) ou pelo aumento da temperatura corporal (Guytin & Hall, 2006; citado por Baptista et al., 2011). Num estudo realizado, descrito por Baptista et al. (2011), a frequência cardíaca aumentou (104,9bpm) no transporte e diminuiu (91,04bpm) no descanso. Noutro estudo, descrito pelo mesmo autor, observou-se que marrãs tiveram a frequência cardíaca aumentada quando em contato com tratador desconhecido (Marchant et al., 2001; citado por Baptista et al., 2011).
• Frequência respiratória	Um dos mecanismos de termorregulação dos suínos pode acontecer pelas vias respiratórias. Segundo Baptista et al., 2011, a frequência respiratória pode ser aumentada pelo *stresse* térmico em função da respiração ser um eficiente mecanismo fisiológico que atua na manutenção da termorregulação (Manno et al., 2006; citado por Baptista et al., 2011).
Neuro-endócrinos	
• Cortisol	Pode ser monitorado através do plasma, saliva ou urina. Face a uma situação adversa, os níveis de cortisol aumentam, tal como se pode confirmar no estudo de Dalla Costa et al. (2008), citado por Baptista et al., 2011, aquando do transporte de porcas adultas, em que concentração de cortisol aumentou (0,714µg dL^{-1}) durante o transporte dos animais, com posterior decréscimo (0,510µg dL^{-1}) no período de descanso.
• Opióides endógenos	O organismo, em resposta às situações adversas, libera os opióides endógenos (betaendorfina, encefalina e dinorfina), que auxiliam no enfrentamento das dificuldades (Baptista et al., 2011)
• Proteínas da fase aguda	O efeito do estresse sobre a concentração sérica das PFAs é controverso, pois é difícil diferenciá-lo do efeito de um trauma ou infeção subclínica (Petersen et al., 2004), no entanto sabe-se que quando estas proteínas estão aumentadas, indicam comprometimento do BEA (Piñeiro et al., 2007; citado por Baptista et al., 2011).

Imunológicos	
• Imunoglobulinas	Tendo em conta o estudo de Tuchscherer et al. (2002), citado por Baptista et al., 2011, o *stress* é responsável pela diminuição destas, o que aumenta significativamente a morbilidade e mortalidade.

3. Conclusão

A inserção do tema de Bem-Estar Animal nas sociedades é um processo gradual que tem evoluído ao longo do tempo, contribuindo para a saúde e rentabilidade dos animais e, consequentemente, para a saúde pública. Os indicadores comportamentais e fisiológicos, quando associados, constituem ferramentas eficientes na avaliação do bem-estar dos animais.

Bibliografia

Albuquerque s.d. Considerações sobre Bem Estar Animal I: Conceitos e Discussão. *Naturlink.* (Acesso em 24-5-2017) http://naturlink.pt/article.aspx?menuid=7&cid=16027&bl=1&section=5&viewall=true#Go_5

Baêta, F.C., Souza, C.F., 2010. *Ambiência em edificações rurais - conforto animal*. Editora ufv. 2ª Edição

Baptista et al. 2011. Indicadores de Bem-Estar em Suínos. *Ciência Rural, Santa Maria*. Volume 41: 1823-1830. n.10

Bastos, F., 2012. Comportamento e bem-estar animal. (Acedido em 24-05-2017) https://www.passeidireto.com/arquivo/6083671/comportamento_e_bem-estar_animal

Broom, D.M.; Molento, C.F.M. 2004. Bem-Estar Animal: conceito e questões relacionadas – revisão; *Archives of Veterinary Science*. Volume 9: 1-11, n. 2

Chagas, M.I.O. 2010. O estresse na reabilitação: a Síndrome da Adaptação Geral e a adaptação do indivíduo à realidade da deficiência. *ACTA FISIATR.* 17(4): 193 – 199

Costa e Silva et al. 2009. Bem-Estar, ambiência e saúde animal. (Acedido em 24-05-2017) https://www.researchgate.net/publication/43530811_BEM-ESTAR_AMBIENCIA_E_SAUDE_ANIMAL

Da Costa M.R. 2014. Avaliação do bem-estar em porcos de engorda na exploração e no matadouro. Dissertação de mestrado integrado em Medicina Veterinária. Universidade de Lisboa: Faculdade de Medicina Veterinária. Lisboa

Encarnação, R.O. 1992. *Estresse e Produção Animal*.

Flosi, A.Z. 1947. Reação de alarme e o Síndrome Geral de Adaptação. Conceito de doenças de adaptação. Importância clinica e cirúrgica. *Revista de Medicina.* 321-352

Massari, et al. 2015. Características comportamentais de suínos em crescimento e terminação em sistema “wean to finish”. *Engenharia Agrícola*. Volume 35. n.4

Matthews et al., 2016. Early detection of health and welfare compromises through automated detection of behavioural changes in pigs. *The Veterinary Journal*, 217, pp.43–51.

Moberg, G.P., 2000. *Biological Response to Stress: Implications for Animal Welfare. The biology of animal stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare*. UK: CABI Publishing

Moi, et al. 2015. Vocalização como indicativo do bem-estar de suínos submetidos a situações de estresse. (Acedido em 24-05-2017) http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352015000300837&lng=en&tlng=en

Pandorfi et al. 2006. Estudo do comportamento bioclimático de matrizes suínas alojadas em baias individuais e coletivas, com ênfase no bem-estar animal na fase de gestação. *Engenharia Rural*. Volume 17: 1-16, n.1

RuralCentro. 2013. Como surgiu a preocupação com o bem-estar animal?. (Acedido em 24-05-2017) http://ruralcentro.uol.com.br/analises/como-surgiu-a-preocupacao-com-o-bem-estar-animal-3641#y=1000

Snowdon, C.T., 1999. O significado da pesquisa em Comportamento Animal. , 4(2), pp.365–373.

Veloni et al. 2013. Bem-Estar Animal aplicado nas criações de suínos e suas implicações na saúde dos rebanhos*. Revista eletrónica de Medicina Veterinária*. Ano XI. Numero 21

Efecto del orden de toma de muestras sobre el nivel de cortisol en saliva de cerdos alojados en grupo

Alba Peláez[1], Aranzazu Mateos[2], Emilio Gómez[3], Eduardo de Mercado[3], Ismael Ovejero[2].

[1] Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid. España. albapela@ucm.es.

[2] Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, Avda. Puerta de Hierro, 2-4. 28040 Madrid. España. a.mateos@upm.es; ismael.ovejero.rubio@upm.es.

[3] Centro de Pruebas de Porcino. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Ctra. Riaza-Toro, s/n. 40353 Hontalbilla, Segovia. España. gomizqem@itacyl.es; ita-merpened@itacyl.es.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue estudiar, en la fase final del cebo de animales habituados al contacto con las personas, la influencia del orden de toma de muestra de saliva de cerdos alojados en grupo y la de la toma reiterada de muestras a un animal concreto, también alojado en grupo, sobre el nivel de cortisol en saliva de cerdos de cebo. Para ello, por una parte, se tomaron por la mañana y por la tarde muestras de saliva a 144 cerdos de 100 kg de peso vivo, 72 machos enteros y 72 hembras, alojados en boxes (seis cerdos/box; 1,2 m^2/cerdo), controlando el orden de toma de las mismas (primera a sexta) dentro de cada box; por otra parte, por la mañana, se tomaron muestras de saliva a 24 cerdos de 100 kg de peso vivo, machos enteros y hembras, alojados en cuatro boxes (seis cerdos/box; 1,2 m^2/cerdo), en el minuto 0, en el minuto 10 y en el minuto 30, siempre en el mismo orden.

La concentración de cortisol en saliva no se vio afectada por el orden de toma de las muestras dentro de cada corral por la mañana (p = 0,7089) ni por la tarde (p = 0,2292). Por otra parte, no hubo diferencias significativas entre los niveles de cortisol en saliva en los minutos 0 y 10 (p = 0,4856), ni entre los niveles en los minutos 0 y 30 (p = 0,3838) ni entre los de los minutos 10 y 30 (p = 0,1447). En las condiciones de nuestro trabajo, ni el orden de toma de muestra de saliva de cerdos alojados en grupo ni la toma reiterada de muestras a un animal concreto, también alojado en grupo, influyeron sobre el nivel de cortisol en saliva de cerdos de cebo. Estos resultados apoyan la idea de que la toma de muestras de saliva no resulta estresante para los cerdos.

Palabras clave: bienestar, cortisol, cebo, porcino.

Effect of sampling order on the salivary cortisol level of group-housed pigs

Abstract

The aim of this work were to study, in the final stage of fattening of animals accustomed to contact with people, the influence of the saliva sampling order of group-housed pigs and that of the multiple saliva sampling to a particular animal, also group-housed, on the level of cortisol in saliva of fattening pigs. For this, on the one hand, samples of saliva were taken in the morning and in the afternoon to 144 pigs weighing 100 kg, 72 entire males and 72 females, housed in single sex pens (six pigs/pen, 1.2 m^2/pig), controlling the sampling order (first to sixth) within each pen; on the other hand, in the morning, saliva samples were collected from 24 pigs weighing 100 kg, entire males and females, housed in four single-sex pens (six pigs/pen; 1.2 m^2/pig), in three different moments, in the same order at all times: minute 0, minute 10 and minute 30.

The concentration of salivary cortisol was not affected by the sampling order in each pen, both in the morning (p = 0.7089) and in the afternoon (p = 0.2292). On the other hand, there were no significant differences between cortisol levels in saliva at minutes 0 and 10 (p = 0.4856) nor between levels at minutes 0 and 30 (p = 0.3838) or between levels at minutes 10 and 30 (p = 0.1447). In the conditions of our study, neither the order of sampling of saliva to group-housed pigs nor multiple saliva sampling to a particular animal, also housed in a group, influenced the level of salivary cortisol of fattening pigs. These results support the idea that saliva collection is not stressful for pigs.

Keywords: welfare, cortisol, fattening period, pig.

1. Introducción

Una de las principales respuestas fisiológicas de los cerdos a las situaciones estresantes es el incremento de la concentración de cortisol en sangre por el aumento de la actividad corticoadrenal. Como la toma de muestras de sangre es en sí misma estresante para los animales (Nyberg et al., 1988) y, por otro lado, los niveles de cortisol en la saliva y en el plasma sanguíneo están bien correlacionados (Cook et al., 1996), cada vez es más utilizada la determinación del cortisol en saliva para la investigación de la respuesta al estrés de los cerdos. Cook et al. (1996) indican, incluso, que el cortisol en saliva, que refleja la fracción libre (la activa biológicamente) del cortisol sanguíneo, puede ser un mejor indicador de estrés que el cortisol total en sangre.

Sin embargo, aunque se considera que la toma de muestras de saliva es un método no invasivo y, por ello, no estresante para los animales, existe cierta controversia sobre si la toma reiterada de muestras a un animal concreto puede influir sobre sus niveles de cortisol o si, cuando los cerdos están alojados en grupo, la recolección de saliva de uno de ellos puede alterar el estatus hormonal de sus compañeros de modo que las mediciones de cortisol de estos últimos se vean afectadas (Hayne et al., 2009; Cook et al., 2013).

Por ello, los objetivos de este trabajo han sido estudiar, en la fase final del cebo de animales habituados al contacto con las personas, la influencia del orden de toma de muestra de saliva de cerdos alojados en grupo y la de la toma reiterada de muestras a un animal concreto, también alojado en grupo, sobre el nivel de cortisol en saliva de cerdos de cebo.

2. Materiales y Métodos

2.1. Instalaciones

Este trabajo ha sido desarrollado en el Laboratorio de Bienestar Porcino (LBP) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid. El LBP cuenta con un pasillo general de acceso y 4 salas totalmente independientes. Cada sala se compone de seis corrales o boxes con el suelo parcialmente enrejillado (60% de suelo continuo y 40% de suelo enrejillado). Dos de las salas tienen el suelo continuo de hormigón y enrejillado de hormigón (barra 8 cm, abertura 2 cm) y las otras dos, el suelo continuo cubierto de resina epoxídica y enrejillado metálico (barra 1 cm, abertura 1 cm). En cada sala, los corrales se numeran desde la puerta (corral 1) hacia el final de la sala (corral 6) (Figura 1).

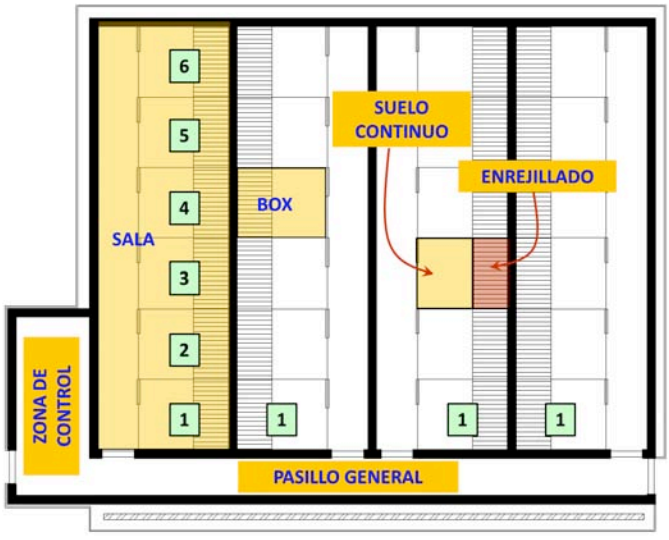


Figura 1. Esquema del alojamiento para cerdos de cebo del Laboratorio de Bienestar Porcino.

2.2. Animales y dietas

En el Laboratorio de Bienestar Porcino (LBP) se alojaron 144 cerdos (72 machos enteros y 72 hembras) de un cruce Piétrain x (Large White x Landrace) con un peso vivo medio inicial de 19,2 kg. En cada sala, los animales fueron distribuidos por sexos (3 corrales de machos y 3 de hembras), a razón de 6 cerdos/box (1,2 m^2/cerdo).

La toma de muestras de saliva para este trabajo se realizó cuando los animales tenían 5,0 meses de edad y un peso vivo medio de 100,8 ± 8,2 kg. Previamente, a lo largo del cebo, se les tomó muestras de saliva a los 2,5 y 3,6 meses de edad.

Todos los animales fueron alimentados *ad líbitum* con piensos comerciales y tuvieron acceso libre al agua en todo momento.

La rutina diaria de manejo fue la misma para todos los corrales durante el cebo: los trabajos diarios en el interior del alojamiento y, en muchas ocasiones, en el interior de los corrales permitieron que los animales estuvieran habituados a la presencia de personas.

La temperatura media diaria durante el cebo fue de 24,9 ± 1,3 °C. La temperatura media del día de toma de muestras fue de 25,2 °C.

2.3. Toma de muestras y análisis de laboratorio

Para el estudio relativo al orden de toma de muestra de saliva de cerdos alojados en grupo, por la mañana (10.30-12.00 h) y por la tarde (16.30-18.00 h) del día de muestreo se tomaron muestras de saliva de los animales de cada sala, empezando con el corral 1 y terminando con el 6; dentro de cada corral, se anotó el orden de toma de la muestra de cada cerdo (1 a 6).

Para el estudio correspondiente a la toma reiterada de muestras a un animal concreto, también alojado en grupo, con los cerdos de los corrales 1 de cada sala se siguió el procedimiento siguiente: además de la toma de muestras indicada por la mañana (minuto 0, M0), se hicieron otros dos muestreos tras 10 y 30 minutos (M10 y M30, respectivamente), manteniendo, en cada toma de saliva, el orden de toma de muestras de los animales de esos corrales.

En general, el muestreo se efectuó desde el pasillo de cada corral, pero en algunas ocasiones fue precisó entrar a los corrales (Figura 2). Para la obtención de las muestras de saliva, se utilizaron torundas de algodón. Cada torunda fue exclusiva para cada animal. Se les dejó chuparlas y masticarlas durante unos 20 segundos y, una vez extraídas de las bocas de los cerdos, se introdujeron en viales con doble fondo perforado (Salivette®cortisol, SARSTEDT, Nümbrecht, Alemania) y se centrifugaron en una centrífuga portátil (5 min; 2500 rpm; EBA20 Hettich Zentrifugen, Tuttlingen, Alemania), para capturar la saliva en el fondo del vial (Figura 3).

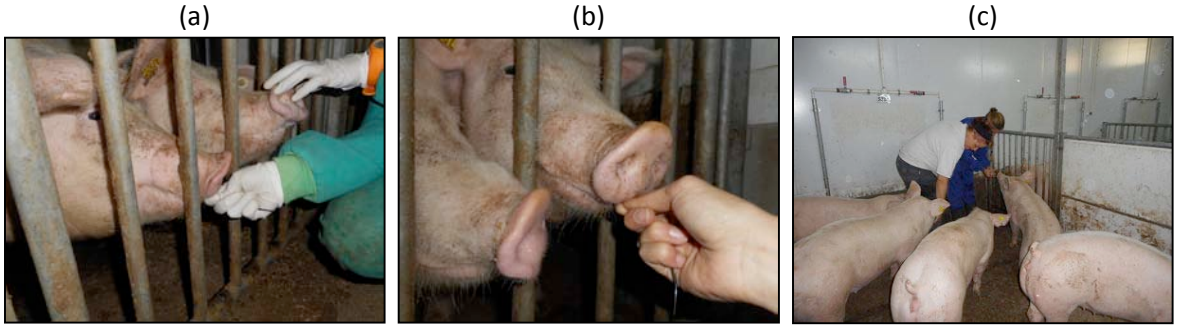


Figura 2. Toma de muestras de saliva desde los pasillos de las salas (a,b) o desde el interior de los corrales (c).

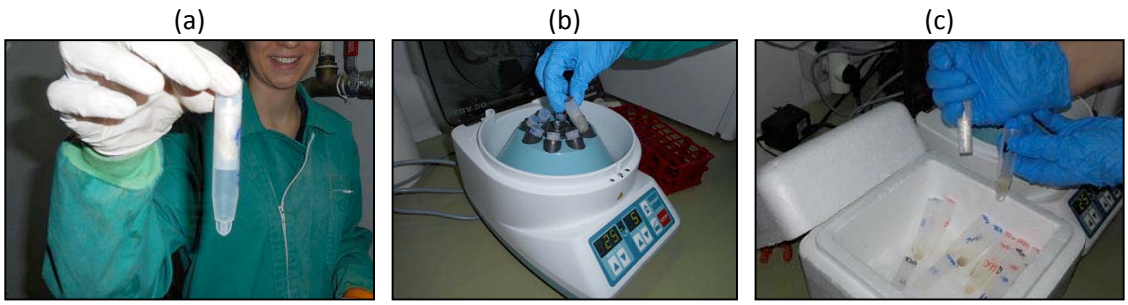


Figura 3. Toma de muestras de saliva: a) algodón recién impregnado de saliva en el vial; b) centrifugado de los viales; c) muestras tras el centrifugado e introducidas en el hielo seco.

Las muestras así obtenidas se congelaron inmediatamente en hielo seco y, posteriormente, se mantuvieron a -20 °C hasta su análisis, que se llevó a cabo en el laboratorio del Centro de Pruebas de Porcino del ITACyL (Hontalbilla, Segovia). Para el análisis del cortisol se utilizó un Kit ELISA de competición (Cortisol free in Saliva ELISA® DES6611, DEMEDITEC Diagnostics GmbH, Kiel-Wellsee, Alemania). La lectura de la absorbancia de los pocillos de las placas se llevó a cabo con un espectrofotómetro (Bio Tek ELx800, BioTek Instruments, Inc., Winooski, Vermont, Estados Unidos) a 450 nm (Figura 4).

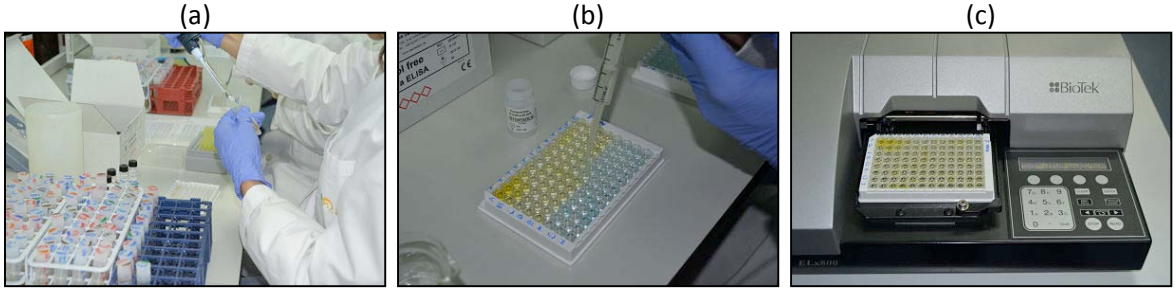


Figura 4. Análisis de cortisol en el laboratorio: a) extracción de la muestra del vial; b) preparación de la placa ELISA; c) lectura de la misma en el espectrofotómetro.

2.4. Análisis estadísticos

El ensayo correspondiente al orden de toma de muestra de saliva de cerdos alojados en grupo fue diseñado como un experimento factorial en bloques al azar (bloque 1, suelo continuo de hormigón y enrejillado de hormigón; bloque 2, suelo continuo cubierto de resina epoxídica y enrejillado metálico). Los datos de concentración de cortisol en saliva de las muestras tomadas mañana y tarde se sometieron a análisis de varianza según el modelo que incluía el 'sexo' y el ´orden de toma de muestra de saliva' como factores fijos, utilizando el procedimiento GLM del programa SAS (SAS Institute, 2002).

En cuanto al ensayo correspondiente a la toma reiterada de muestras a un animal concreto, se realizaron tres pruebas *t* de medidas apareadas: una, con las concentraciones de cortisol en saliva de los muestreos M0 y M10; otra, con las de los muestreos M0 y M30, y la tercera, con las de los muestreos M10 y M30, utilizando el procedimiento UNIVARIATE del programa SAS (SAS Institute, 2002).

3. Resultados y Discusión

En esta comunicación se presentan los resultados correspondientes al factor 'orden de toma de muestra de saliva'. La interacción 'sexo' x 'orden de toma de muestra de saliva' no resultó significativa para la concentración de cortisol en saliva por la mañana ni para la de por la tarde.

En la Tablas 1 y 2, aparecen las medias de las concentraciones de cortisol en saliva por la mañana y por la tarde, respectivamente, correspondientes al ensayo relativo al orden de toma de muestra de saliva de cerdos alojados en grupo.

Tanto por la mañana como por la tarde, el orden de muestreo dentro de cada corral no tuvo efecto significativo sobre la concentración de cortisol en saliva de los animales. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Cook et al., (2013), quienes trabajaron con machos castrados y hembras alojados en corrales de cinco animales/corral. Por otra parte, si nos fijamos en las medias aunque no haya diferencias significativas entre ellas, observamos que, por la mañana, partiendo de la posición 1, al aumentar el orden de toma de muestra disminuye el cortisol en saliva hasta la posición 3, aumenta en la 4, disminuye en la 5 y aumenta de nuevo en la posición 6; por la tarde, al aumentar el orden de toma de muestra disminuye la concentración de cortisol salival, salvo para la posición 4. No parece, pues, que haya un patrón bien definido para relacionar la posición que ocupa un cerdo en el orden de muestreo dentro de su corral con su concentración de cortisol en saliva, pero sí parece claro que el acto de obtener una muestra de saliva de un animal alojado en grupo no afecta al estatus corticoadrenal de sus compañeros de corral, puesto que no provoca un aumento del cortisol salival de estos últimos.

Tabla 1. Efecto del orden de toma de muestra de saliva a los cerdos, dentro de cada corral, sobre la concentración de cortisol en saliva (medias) por la mañana.

Orden de toma de muestra	**N[1]**	**Cortisol en saliva (ng·mL^{-1})**
1	21	8,74
2	23	8,21
3	24	7,98
4	23	8,44
5	23	8,22
6	22	8,88
EEM		0,455
p		*0,7089*

[1]N: número de observaciones: si son menos de 24, es consecuencia del rechazo de algunos cerdos.

Tabla 2. Efecto del orden de toma de muestra de saliva a los cerdos, dentro de cada corral, sobre la concentración de cortisol en saliva (medias) por la tarde.

Orden de toma de muestra	**N[1]**	**Cortisol en saliva (ng·mL^{-1})**
1	23	9,50
2	23	9,33
3	23	8,95
4	22	9,33
5	22	8,38
6	23	7,95
EEM		0,540
p		0,2292

[1]N: número de observaciones: son menos de 24 como consecuencia del rechazo de algunos cerdos.

En la Tabla 3, se indican los resultados de las pruebas *t* de medidas apareadas correspondientes al ensayo relativo a la toma reiterada de muestras a un animal concreto.

Tabla 3. Resultados de las pruebas t de medidas apareadas realizadas con las concentraciones de cortisol en saliva de los muestreos en los minutos 0 y 10 (M0 vs M10), con las de los muestreos en los minutos 0 y 30 (M0 vs M30) y con las de los muestreos en los minutos 10 y 30 (M10 vs M30).

Prueba *t*	**N**[1]	*p*[2]
M0 *vs* M10	23	0,4856
M0 *vs* M30	23	0,3838
M10 *vs* M30	23	0,1447

[1]N: número de observaciones: son 23 por el rechazo de un cerdo.
[2]*p*: probabilidad (prueba t).

No hubo diferencias significativas entre los niveles de cortisol en saliva de cada cerdo en el minuto 0 y en el minuto 10; tampoco entre los correspondientes al minuto 0 y el minuto 30, ni entre los del minuto 10 y los del minuto 30. Las medias de las concentraciones de cortisol en saliva fueron 8,23 ± 1,54 ng·mL^{-1} para el muestreo M0; 7,87 ± 2,09 ng·mL^{-1} para el muestreo M10, y 8,62 ± 2,08 ng·mL^{-1} para el muestreo M30. De modo similar a lo apuntado para el orden de toma de muestra a los cerdos dentro de un corral, no se aprecia un patrón de respuesta que permita señalar que la toma reiterada de muestras de saliva a un animal concreto sea estresante para dicho animal. Nuestros resultados van en la misma línea que los obtenidos por Cook et al., (2013), quienes hicieron muestreos cada 30 minutos a lo largo de tres horas.

4. Conclusiones

En cerdos de cebo alojados en grupo y habituados al contacto con las personas, la toma de muestra de saliva a un animal no resulta estresante para sus compañeros de corral; asimismo, la toma reiterada de muestras de saliva a un animal concreto no es estresante para dicho animal. Esto apoya la idea de que la toma de muestras de saliva no es una causa de estrés para los cerdos.

Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias al proyecto INIA con código RTA2013-00090-C02-02.

Bibliografía

Cook, N.J., Schaefer, A.L., Lepage, P. and Morgan Jones, S. 1996. Salivary vs serum cortisol for the assessment of adrenal activity in swine. *Canadian Journal of Animal Science* 76: 329-335.

Cook, N. J., Hayne, S. M., Rioja-Lang, F. C., Schaefer, A. L. and Gonyou, H. W, 2013. The collection of multiple saliva samples from pigs and the effect on adrenocortical activity. *Canadian Journal of Animal Science* 93: 329-333.

Hayne, S.M, Cook, N.J. and Gonyou, H.W. 2009. Validation of saliva sampling techniques in swine in order to assess stress responses. *Advances in Pork Production* 20, Abstract #19.

Nyberg, L., Lundstrom, K., Edfors-Lilja, I. and Rundren, M. 1988. Effects of transport stress on concentrations of cortisol, corticosteroid-binding globulin and glucocorticoid receptors in pigs with different halothane genotypes. *Journal of Animal Science* 66: 1201-1211.

SAS Institute. 2002. SAS/STAT® User´s Guide, version 9. SAS Institute Inc. Cary, NC.

Influência de diferentes ambientes térmicos sobre a temperatura superficial de galinhas poedeiras durante a fase inicial de criação

Rafaella Resende Andrade[1], Ilda de Fátima Ferreira Tinôco[2], Luiz Fernando Teixeira Albino[3], Vasco Manuel Fitas da cruz[4], Fátima de Jesus Folgôa Baptista[5], Cecília de Fátima Souza[6], Tatiany Carvalho dos Santos[7], Márcia Gabrielle Lima Cândido[8], Letícia Cibele da Silva Ramos Freitas[9], Carlos Gutemberg de Souza Teles Júnior[10]

[1, 2, 6, 7, 8, 9, 10] Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário 36570-900, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. rafaella.andrade@ufv.br; iftinoco@ufv.br; cfsouza@ufv.br; taty17_carvalho@hotmail.com; marciagl.candido@gmail.com; leticiacibele@yahoo.com.br; carlos.teles@ufv.br

[3] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário 36570-900, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. lalbino@ufv.br

[4, 5] Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Ap. 94, 7002-554 Évora, Portugal. vfc@uevora.pt; fb@uevora.pt

Resumo

A condição de bem-estar térmico de aves de postura na fase inicial de criação pode ser verificada por meio de variações fisiológicas, destacando-se a temperatura superficial média como parâmetro importante que demonstra o efeito do ambiente térmico sobre as aves.

O presente estudo teve como objetivo correlacionar diferentes ambientes térmicos com a temperatura superficial média, de galinhas poedeiras leves da linhagem Lohmann LSL Lite, no período de 01 a 42 dias de vida.

Foram alojadas 864 aves, de mesma idade, origem e peso corporal uniforme, distribuídas aleatoriamente em quatro câmaras climáticas, uma das quais, mantida dentro da faixa de temperatura preconizada como sendo de conforto pelo Manual da linhagem Lohmann LSL Lite. Em cada uma das demais câmaras climáticas foram empregados ambientes térmicos entendidos como sendo de estresse por frio brando e moderado e um nível de estresse por calor moderado.

O experimento foi conduzido segundo um delineamento experimental inteiramente ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas quatro tratamentos (calor moderado, conforto preconizado, frio brando e frio moderado) e nas subparcelas as avaliações (dias), com seis repetições. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, adotando o nível de 5% de probabilidade.

Sob as condições específicas do presente experimento, verificou-se que a temperatura ambiente afeta a temperatura superficial das aves, com maiores temperaturas superficiais encontradas nos ambientes térmicos de calor moderado e conforto preconizado.

Palavras-chave: ambiência, avicultura, conforto térmico, termorregulação

Influence of different thermal environments on the surface temperature of laying hens during the early-stage

Abstract

The thermal well-being condition of laying birds in the early-stage can be verified by means of physiological variations, highlighting the average surface temperature as an important parameter that demonstrates the effect of the thermal environment on birds.

The objective of the present study was to correlate different thermal environments with the mean surface temperature of lightweight laying hens of the Lohmann LSL Lite strain from one from one to 42 days of life.

A total of 864 lightweight laying hens of the Lohmann LSL Lite line with uniform weight, origin, and age were randomly distributed in four climatic chambers. One chamber was kept in the thermal range recommended by the line literature (MANAGEMENT GUIDE LOHMANN LSL LITE (sd)) as being of thermal comfort. The other chambers were kept in temperatures understood as being of mild cold stress, moderate cold stress, and one level of moderate heat stress.

The experiment was carried out in a completely randomized design in the scheme of split plots with four treatments in the plots (moderate heat, recommended comfort, mild cold, and moderate cold) and the evaluations (days) in the subplots with six replications. The averages were compared using the Tukey test, adopting the 5% probability level.

Under the specific conditions of the present experiment, it was found that the ambient temperature affects the birds' surface temperature, with higher surface temperatures found in the thermal environments of moderate heat and recommended comfort.

Keywords: environment, poultry farming, thermal comfort, thermoregulation.

1. Introdução

Na avicultura, a máxima produtividade é alcançada quando as aves são inseridas em um ambiente que propicie trocas mínimas de energias e atendam as necessidades de bem estar do animal. As aves são classificadas como homeotérmicas por conservarem (até certo limite de adversidade), a temperatura corporal constante ou dentro de uma variação tolerável, mesmo que consideráveis variações ocorram no ambiente externo.

A temperatura do ambiente é um parâmetro relacionado ao conforto térmico, sendo que para que as aves expressem sua potencialidade genética, muito importante se torna aloja-la em condições compreendidas pela zona de termoneutralidade. Fora da zona termoneutra, alterações comportamentais e/ou fisiológicas são efetuadas involuntariamente pelos homeotermos na tentativa de manter a homeostase (Melo et al., 2016).

A superfície corporal das aves é caracterizada pela presença de uma camada de penas, que têm maior importância quando as aves estão expostas a situação de frio, sendo as penas importantes na regulação do equilíbrio térmico (Castilho et al., 2015). A presença de penugem e penas dificulta, para as aves, as trocas de calor por meios latentes através da superfície cutânea, somando-se, a isso, a ausência de glândulas sudoríparas, o que permite que a evaporação respiratória seja a mais importante via de trocas de calor nestes animais (Nascimento, 2010). Durante períodos de estresse térmico, as extremidades das aves que não possuem penas, como a crista e a barbela e os pés, normalmente são vasodilatadas (Richards, 1971; Hillman et al., 1982).

O bem-estar animal é o estado pleno de saúde física e mental, em que o animal está em harmonia com o ambiente onde vive, sendo que uma mudança perceptiva ao estado de conforto do animal pode ser verificada através de sua temperatura superficial (Camerini et al., 2016). Em estudo realizado por Nascimento et al. (2014), ao avaliarem o conforto térmico de frangos de corte em dois aviários, com diferentes sistemas de climatização, constataram que, em condições de conforto térmico, as temperaturas superficiais das aves estão fortemente associadas positivamente com as temperaturas da instalação.

Para relacionar o bem-estar térmico com a avaliação do estado de conforto ou estresse dos animais, torna-se essencial o desenvolvimento de técnicas de mensuração de fácil aplicabilidade e não invasivas. Destaca-se, entre elas, a medição da temperatura superficial por meio de um termometro infravermelho, por ser um método seguro de visualização de perfil térmico que pode indicar se o animal está sob estresse térmico.

Para se alcançar melhor desempenho produtivo na produção de aves, torna-se relevante a preocupação entre a interação do animal com o ambiente, afim de que o custo energético dos ajustes fisiológicos seja reduzido. Desta forma, justificam-se pesquisas que busquem melhores entendimentos das interações fisiológicas das aves no ambiente de criação.

Neste sentido, essa pesquisa foi conduzida com o objetivo de correlacionar diferentes ambientes térmicos com a temperatura superficial média, de galinhas poedeiras leves da linhagem Lohmann LSL Lite, no período de um a quarenta e dois dias de idade.

2. Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em quatro câmaras climáticas, cada uma com as seguintes dimensões: 3,2m de comprimento x 2,44m de largura x 2,38 de altura, localizadas na área experimental do Núcleo de Pesquisa em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindustriais (AMBIAGRO), do Setor de Construções Rurais e Ambiência, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa/Minas Gerais.

Cada câmara climática é equipada com um aquecedor de ar de resistência elétrica com 2.000 W de potência, um condicionador de ar do tipo "split" quente / frio, de 12.660 kJ/h e um umidificador de ar, com capacidade de 4,5 L e débito de névoa (valor médio) de 300 ml por hora. O aquecedor e o umidificador são operados por meio de um controlador eletrônico MT – 531R Plus, de temperatura e umidade que apresenta as seguintes especificações: temperatura de controle variando de -10°C a 70°C com resolução de 0,1°C, umidade de controle variando de 20% a 85% com resolução de 0,1%.

A instalação conta ainda com dois exaustores axiais AMB (modelo FD08025 S1M; DC 12 V, 0,15 A) responsáveis pela renovação higiênica do ar, mantidos na taxa de 3 a 6 renovações por hora no interior das câmaras climáticas, realizada durante todo o período experimental.

Em cada uma das quatro câmaras climáticas utilizadas foram estabelecidos quatro distintos ambientes térmicos, constituindo os quatro seguintes tratamentos: uma das faixas de temperatura foi tida como conforto preconizado pela literatura (Management Guide Lohmann LSL Lite (s.d)), as demais como sendo dois níveis de estresse por frio (brando e moderado) e um nível de estresse por calor (moderado). Considerando-se que a exigência térmica das aves varia com a idade, buscou-se representar esta exigência em cada semana de vida das aves durante o período experimental. A variação da temperatura semanal ocorreu até a quinta semana experimental, sendo que a sexta semana manteve-se com temperatura similar a da quinta semana. Na Tabela 1 encontram-se apresentadas as diferentes temperaturas utilizadas nesta investigação.

Tabela 1. Temperatura do ar no ambiente interno das câmaras climáticas, em °C, em função do Tratamento e Idade das aves

Tratamentos	T°C				
	1ª semana	2ª semana	3ª semana	4ª semana	5ª e 6ª semana
Calor Moderado (CM)	38	31	29	26	22
Conforto preconizado (CP)	33	28	26	23	19
Frio Brando (FB)	28	25	23	20	17
Frio Moderado (FM)	25	22	20	17*	17*

Fonte: Adaptado Management Guide Lohmann LSL LITE (s.d); Albino et al. (2014); Ferreira (2016).
*houve necessidade de se trabalhar com temperatura mínima obtida na câmaras, de 17°C.

O experimento foi realizado com aves de postura de mesma idade, procedência e pesos uniformes, no período de um a quarenta e dois dias de idade, considerada a fase de cria para aves poedeiras. Este período é caracterizado pela necessidade de aquecimento do ambiente de criação para obtenção dos valores de temperatura exigido pelos animais, sendo denominado "período de

aquecimento", fase na qual a ave ainda não apresenta o sistema termorregulador completamente formado.

Durante a fase experimental foram alojadas, em gaiolas, 864 pintainhas de postura leves da linhagem Lohmann LSL Lite, com peso médio inicial de 41,53g, distribuídas de forma homogênea em quatro câmaras climáticas (quatro tratamentos), totalizando 216 aves por tratamento. As gaiolas possuem 0,50 m² de área (0,50m de largura x 1,0m de comprimento e 0,5m de altura), sendo seis unidades por câmara, perfazendo seis repetições por tratamento, sendo cada tratamento constituído pelas distintas temperaturas.

Para o período de um a quarenta e dois dias de idade das aves o fornecimento de água e de ração foi ad libitum, sendo que esse manejo ocorreu duas vezes ao dia (7 e 17h), diariamente, de maneira a manter os bebedouros e os comedouros sempre abastecidos. A formulação da ração fornecida durante essa fase inicial de criação apresentou composição e valores nutricionais utilizados de acordo com Rostagno et al. (2011).

Foram medidos, semanalmente, a temperatura superficial média das aves. Para isto, dez aves de cada unidade experimental foram escolhidas ao acaso, totalizando 60 aves por tratamento. Para a mensuração da temperatura superficial média (TSM), foram registradas as temperaturas da asa, da cabeça, da canela e do dorso das aves, com o auxílio de um termômetro infravermelho digital de aferição à distância, com mira à laser (marca Instrutherm® Instrumentos de Medição Ltda, São Paulo, BR, modelo TI – 860), amplitude de -30ºC a 270ºC, precisão: ± 2,5% da leitura, resolução: 1ºC e emissividade de 0,95 fixa.

A temperatura superficial média (TSM) foi calculada, segundo metodologia proposta por Richards (1971), de acordo com a Equação (1).

$$TSM = (0{,}12\ T_{asa}) + (0{,}03\ T_{cabeça}) + (0{,}15\ T_{canela}) + (0{,}70\ T_{dorso}) \quad (1)$$

Em que:

T_{asa} = Temperatura da asa (ºC),

$T_{cabeça}$ = Temperatura da cabeça (ºC),

T_{canela} = Temperatura da canela (ºC),

T_{dorso} = Temperatura do dorso (ºC).

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas quatro tratamentos (calor moderado; CM; conforto preconizado pelo Manual da linhagem Lohmann LSL Lite, CP; frio brando, FB; e frio moderado, FM) e nas subparcelas as avaliações (dias), com seis repetições. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, adotando o nível de 5% de probabilidade.

Os resultados foram interpretados estatisticamente utilizando-se o Programa Sistema para Análises Estatísticas e Genética - SAEG (2007).

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 2 encontram-se os resultados da temperatura superficial média (TSM) das aves de acordo com os diferentes ambientes térmicos avaliados (calor moderado (CM), Conforto preconizado pelo Manual da linhagem Lohmann LSL Lite (CP), frio brando (FB) e frio moderado (FM)).

Tabela 2. Valores médios de temperatura superficial média (TSM), em °C, para aves de postura da linhagem Lohmann LSL Lite, de 01 a 42 dias, para as respectivas combinações de dias e ambientes térmicos, Calor Moderado (CM), Conforto Preconizado pelo Manual da Linhagem Lohmann LSL Lite (CP), Frio Brando (FB) e Frio Moderado (FM).

Dias de idade das aves	TSM			
	CM	CP	FB	FM
8	48,47[a]	45,05[b]	40,28[c]	37,36[d]
15	44,19[a]	42,09[b]	39,00[c]	35,73[d]
22	41,51[a]	39,72[b]	36,75[c]	33,35[d]
29	39,29[a]	37,41[b]	34,09[c]	32,89[c]
36	34,48[a]	34,18[a]	32,11[b]	31,28[b]
42	37,37[a]	37,27[a]	33,83[b]	32,48[b]
Média	40,88±2,74	39,28±2,62	36,01±2,95	33,85±2,27

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Verifica-se que houve diferença significativa ($p<0,05$) nos resultados de temperatura superficial das aves em relação ao ambiente térmico e dias de avaliação, sendo estes sempre superiores no tratamento calor moderado em relação a todos os demais, paras as aves com idade de 08, 15, 22 e 29 dias. Em aves com idade de 36 e de 42 dias foram encontradas maiores temperaturas superficiais quando submetidas aos tratamentos calor moderado e conforto preconizado comparativamente aos demais, contudo sem diferenças significativas entre os dois primeiros mencionados. Houve uma diferença na média da temperatura superficial do tratamento frio moderado de aproximadamente 5,43°C em relação ao tratamento conforto precozinado.

Estes resultados confirmam a relação direta entre a temperatura superficial e a ambiental, destacando o forte efeito do ambiente térmico sobre as aves, podendo modificar a resposta fisiológica das mesmas diante de determinada situação. Estes resultados corroboram com pesquisa realizada por Nascimento et al. (2011), que ao avaliarem a TSM de frangos de corte, de 07 a 35 dias de idade, alojadas em câmara climáticas e criadas sob três temperaturas distintas (18, 25 e 32 ºC), observaram que os valores de TSM aumentaram significativamente com o aumento da temperatura do ambiente, sendo que a menor TSM foi detectada à temperatura do ar de 18 ºC, resultado da vasoconstrição periférica, onde a ave mantém mínima a circulação do sangue para não perder calor.

Da mesma forma, Malheiros et al. (2000), ao avaliarem a temperatura superficial de frangos de corte com até 07 dias de vida, em diferentes ambientes térmicos (35, 25 e 20°C), verificaram que as aves mantidas na temperatura inferior a 20°C apresentaram temperaturas superficiais significativamente mais baixas do que aquelas criadas nos outros ambientes.

Para Silva (2008), a temperatura superficial depende diretamente das condições do meio, ou seja, alterações bruscas das variáveis meteorológicas no local onde o animal se encontra resultará em alterações na temperatura superficial.

Segundo Ruzal et al. (2011), parte das respostas fisiológicas que explicam a relação direta da temperatura ambiente com a temperatura superficial das aves pode estar relacionada com a redistribuição do fluxo sanguíneo no corpo, uma vez a exposição ao calor provoca vasodilatação periférica.

4. Conclusões

Sob as condições específicas do presente experimento, verificou-se que a temperatura ambiente afeta significamente a temperatura superficial das aves poedeiras, de 1 a 42 dias de idade, com maiores temperaturas superficiais encontradas nos ambientes térmicos de calor moderado e conforto preconizado.

Agradecimentos

Universidade Federal de Viçosa, CNPq, CAPES e FAPEMIG.

Bibliografia

Albino, L. F. T., Carvalho, B. R., Maia, R. C. and Barros, V.R.S.M. 2014. *Galinhas Poedeiras Criação e Alimentação*. Viçosa: Aprenda Fácil.

Camerini, N. L., Silva, R. C., Nascimento, J. W. B., Oliveira, D. L. and Souza, B. B. 2016. Variação da temperatura superficial de aves poedeiras criadas em dois sistemas de criação utilizando termografia. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 12: 145-152.

Castilho, V. A. R., Garcia, R. G., Lima, N. D. S., Nunes, K. C., Caldara, F. R., Nääs, I. A., Barreto, B. and jacob, F. G. 2015. Bem-estar de galinhas poedeiras em diferentes densidades de alojamento. *Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas*, 9: 122-131.

Ferreira, R. A. 2016. *Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos.* Viçosa: Aprenda Fácil.

Hillman, P. E., Scott, N. R. and Van Thienhoven, A. 1982. Vasomotion in chicken foot: dual innervation of arteriovenous anastomoses. *Animal Journal Physiology*, 242: 582- 590.

Malheiros, R. D., Moraes, V. M. B., Bruno, L. D. G., Malheiros, E. B., Furlan, R. L., Macari, M. 2000. Environmental temperature and cloacal and surface temperatures of broiler chicks in first week post-hatch. *The Journal of Applied Poultry Research*, 9: 111-117.

Manegement Guide Lohmann LSL Lite (s.d). 48. (Acesso em: 15 de abril de 2017) http://www.hylinena.com/UserDocs/products/Lohmann_LSL-Lite.pdf

Melo, A. S., Fernandes, R. T. V., Marinho, J. B. M., DE Arruda, A. M. V., Figueirêdo, L. C. and Fernandes, R. T. V. 2016. Relação temperatura e nutrição sobre o desempenho de galinhas poedeiras. *Pubvet*, 10: 855-860.

Nascimento, G. R., Nääs, I. A., Baracho, M. S., Pereira, D. F. and Neves, D. P. 2014. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6: 658-663.

Nascimento, G. R., Nääs, I. A., Pereira, D. F., Baracho, M. S. and Garcia, R. 2011. Assessment of broiler surface temperature variation when exposed to different air temperatures. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 13: 259-263.

Nascimento, S. T. 2010. Determinação do balanço de calor em frangos de corte por meio das temperaturas corporais. MSc. Dissertação. Escola Superior de Agricultura" Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

Richards, S. A. 1971. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. *The Journal of Physiology*, 216: 1-10.

Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Donzele, J. L.; Gomes, P. C.; Oliveira, R. F. M.; Lopes, D. C.; Ferreira, A. S.; Barreto, S. L. and Euclides, R. F. 2011. *Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos, Composição de alimentos e exigências nutricionais*. Viçosa: UFV.

Ruzal, M., Shinder, D., Malka, I. and Yahav, S. 2011. Ventilation plays an important role in hens' egg production at high ambient temperature. *Poultry science*, 90: 856-862.

Saeg Sistema para Análises Estatísticas, 2007. Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes.

Silva, R. G. 2008. *Biofísica ambiental: os animais e seu ambiente*. Jaboticabal: Funep

Levantamento da geração e emissão de amonia pelos dejetos da avicultura de postura em sistemas verticais de criação

Luís França[1], Richard Gates[2], Ilda Tinoco[3], Cecília Souza[4].

[1] Universidade Federal de Viçosa, Brasil, luisgustavo2f@gmail.com;

[2] University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, rsgates@illinois.edu;

[3] Universidade Federal de Viçosa, Brasil, iftinoco@ufv.br;

[4] Universidade Federal de Viçosa, Brasil, cfsouza@ufv.br.

Resumo

O setor de produção de ovos de galinhas é um dos mais importantes para o agronegócio no Brasil. A produção brasileira de ovos em 2015 foi 6,1% maior que o ano anterior. Observa-se que, está cada vez mais sendo utilizado o sistema vertical de criação, o qual apresenta grandes dimensões, contendo baterias com até oito níveis de gaiolas alojando 120.000 aves. Quanto maior a concentração de aves em uma instalação, maior a geração de dejetos e maiores as preocupações ambientais. Objetivou-se realizar um estudo de campo, para diagnosticar as condições do ambiente aéreo em um aviário de postura vertical, medindo-se a concentração de amônia em condições estremas de calor. Observou-se que as maiores concentrações de amônia ocorreram no corredor central do aviário, região com maiores temperaturas e menor circulação natural de ar. Quanto às análises dos níveis de nitrogênio total, especificamente nos dejetos, não foi observada diferença significativa entre as amostras, o que fortalece que tese de que temperaturas elevadas, associadas à baixa circulação de ar, potencializam a geração e emissão de amônia para o microambiente das instalações com gaiolas verticais para galinhas poedeiras.

Palavras-chave: Qualidade do ar, produção de ovos, acondicionamento ambiental.

Survey of generation and emission of ammonia from manure of laying hens in vertical systems of production

Abstract

The eggs production sector is one of the most important for agribusiness in Brazil. Brazilian egg production in 2015 was 6.1% higher than in the previous year. It is observed an increased application of vertical systems for production, which normally has large dimensions, containing batteries with up to eight levels of cages housing 120,000 hens. The greater the concentration of laying hens in a facility, the greater is the generation of manure and the greater are the environmental concerns. The objective of this work was to perform a field study to diagnose the air environment conditions in a facility equipped with vertical cages, by measuring the concentration of ammonia under extreme heat conditions. It was observed highest concentration of ammonia in the central corridor of the facility, being this a region with higher temperatures and lower natural air circulation. Regarding the analysis of the total nitrogen levels specifically in the manure, no significant difference was observed among the samples, which strengthens the thesis that high temperatures, associated to low air circulation, potentiate the ammonia generation and emission to the microenvironment of vertical caged laying hens facility.

Keywords: Air quality, eggs production, environment conditioning.

1. Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos de origem animal do mundo e o maior produtor de ovos da América do Sul, tendo produzido 39,51 bilhões de unidades em 2015, valor este, 6,1% superior àquele obtido no ano de 2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEINA ANIMAL - ABPA, 2016). Esta representatividade no mercado internacional de proteína animal faz com que surjam, cada vez mais, preocupações quanto a questões relativas à sustentabilidade da atividade, que

atendam as exigências crescentes dos mercados interno e externo em relação à qualidade do alimento, sua produtividade e ao bem estar animal.

Este aumento da produção brasileira está sendo possível devido à modificações nos sistemas de produção. Por exemplo distanciamento entre os andares de gaiolas e o solo, no sistema convencional de criação, dá lugar à esteiras automatizadas coletoras de dejetos, possibilitando uma estruturação vertical das colunas de gaiolas em maior número por instalação (AUGUSTO, 2007).

Estes novos sistemas verticais de produção, totalmente automatizados, trazem como grande diferencial, quando comparados aos sistemas de produção convencionais de ovos, uma maior eficiência no alojamento das aves por unidade de área e melhor manejo dos resíduos. Este fato se deve à disposição dos dejetos em esteiras coletoras automatizadas que os carreia para fora das instalações, em contraponto ao encastelamento dos mesmos no solo sob as gaiolas até o final do ciclo produtivo.

Os galpões verticais podem apresentar até cinco fileiras de gaiolas sobrepostas, cada uma contendo até oito níveis. Os comedouros são automáticos, o sistema de climatização é composto por cortinas, nebulizadores e ventiladores ou exaustores e a retirada de dejetos se dá através de esteiras carreadoras, reduzindo assim a necessidade de circulação de trabalhadores dentro das instalações. No entanto, o sistema não exclui por completo essa circulação, pois para alguns tipos de atividades, como, manutenção dos equipamentos, retiradas de aves mortas, acionamento e verificação do funcionamento das esteiras de ovos e dejetos, é necessária. Por estas facilidades, o sistema totalmente mecanizado vem se tornando uma tendência nas criações de aves de postura comerciais no Brasil, permitindo alojar até 120.000 galinhas poedeiras num mesmo galpão.

Assim, com o incremento cada vez maior da produção e com a utilização de sistemas mais intensivos, ocorrem simultaneamente aumento e maior concentração de resíduos oriundos do setor de produção de ovos, levando a elevação das preocupações com as questões ambientais.

Segundo Coelho (1973), as aves poedeiras produzem cerca de 25 vezes o seu peso vivo em dejetos por ano, ou seja a produção diária de dejetos estimada por ave está em torno de 0,103 kg. Este valor, é um pouco inferior ao citado por El. Boushi (1994) o qual encontrou uma produção de 12 toneladas por dia para um total de 100.000 aves, representando 0,12 kg ave^{-1} dia^{-1}. Já para Augusto (2007). a produção de dejetos por galinha poedeira corresponde a 0,10 kg ave^{-1} dia^{-1}.

O gás amônia (NH_3) destaca-se entre as emissões gasosas associadas ao esterco, sendo que a volatilização da NH_3, à partir dos dejetos, além de apresentar alto potencial de poluição, constitui um mecanismo de perda de nitrogênio, o que causa empobrecimento do esterco, que tem como utilização mais indicada, segundo Ndegwa et al. (2008), a incorporação ao solo como fertilizante.

Com o passar do tempo, o esterco sofre degradação biológica, onde o ácido úrico excretado pelas aves é convertido em NH_3 e emitido para a atmosfera, fato que tem sido considerado causador e potencializador das chuvas ácidas, além de provocar descarga excessiva de nitrogênio (N) em ecossistemas que podem ser sensíveis a tal nutriente.

Segundo hang Zhang et al. (2016), o excesso de N pode levar ainda a eutrofização de lagos e rios e a acidificação de solos. Baek et al. (2004) relataram que a formação de aerossóis inorgânicos na atmosfera pode ser relacionada à liberação de NH_3 proveniente das criações avícolas. Reações entre gases naturalmente presentes na atmosfera com a NH_3 volatilizada podem levar a criação destes aerossóis, os quais, segundo Pilewskie (2007) são potencializadores do efeito estufa, estando diretamente relacionados às mudanças climáticas.

As instalações brasileiras usadas na criação de aves de postura, tanto no caso de alojamento regular quanto em alta densidade, mecanizadas ou não, são predominantemente abertas nas laterais, apresentado fechamento permanente apenas nas extremidades. O fato de seguirem essa tipologia facilita a retirada de gases tóxicos gerados no ambiente de criação das aves, através da própria

ventilação natural. Contudo, diversos fatores interferem no conjunto, razão pela qual se tornou importante avaliar as reais condições do ambiente de alojamento brasileiro (Tinôco, 2001).

Este trabalho visou realizar um estudo de campo, em uma granja de postura comercial, representativa do padrão construtivo de aviários verticais totalmente mecanizados, para diagnosticar as condições do ambiente aéreo, em termos de concentrações de NH_3, além de caracterizar os dejetos das galinhas poedeiras, quanto ao nível de nitrogênio total.

2. Material e Métodos

Este estudo foi desenvolvido em um aviário comercial de postura, localizado no município mineiro de Itanhandu, a uma altitude de 892 metros e coordenadas geográficas correspondentes a 22°17'45" de latitude e 44°56'05" de longitude.

Para sedimentar o estudo, utilizou-se como base, o ambiente térmico de um aviário, com sistema de produção automatizado em baterias de gaiolas verticais, no qual os dejetos são retirados, via esteiras. Segundo informações obtidas na granja, nesta unidade, são alojadas 2.800.000 galinhas poedeiras, das quais 400.000 estão em fase de recria e 2.400.000 estão em fase de produção distribuídas em 24 galpões. Este sistema opera com densidade de 370 cm^2 ave^{-1} e 10 cm linear de comedouro de ração para cada poedeira.

Esta pesquisa foi conduzida em um galpão alojando aves em seu período de produção máxima de ovos (pico de postura), todas da mesma idade (36 semanas) e da linha genética Hy Line W36. Utilizou-se uma instalação onde as aves estavam no pico de produção, admitindo-se que esta fase apresenta um máximo potencial de emissão de gases. Pelo mesmo motivo, também foi interesse realizar o estudo no período de verão (dezembro e janeiro).

Esta instalação apresenta dimensões de 12,5m de largura por 138m de comprimento, sendo alojadas 100.000 aves em seu interior, distribuídas em quatro baterias de gaiolas cada uma com seis níveis. Os corredores foram numerados de 1 a 5 (1L, 2L, 3L, 4L e 5L), além disso, foram estabelecidos no galpão perfis transversais também de 1 a 5 (1T, 2T, 3T, 4T e 5T) para a demarcação dos pontos de coleta de dados de temperatura, umidade relativa, dejetos e concentração de NH_3 (Figura 1).

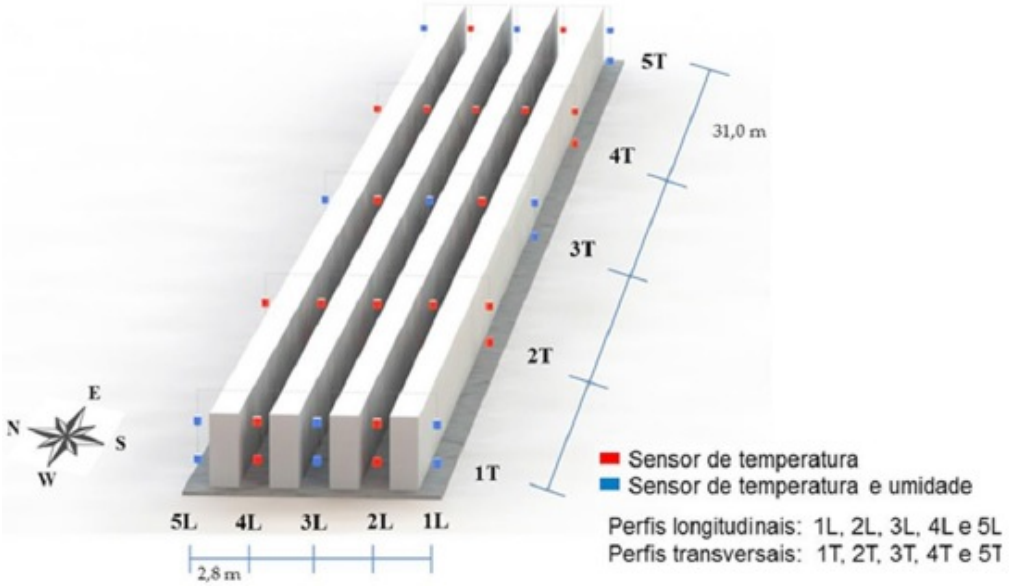


Figura 1: Distribuição dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar. Fonte: Coelho et al (2015)

1- Caracterização do ambiente quanto à temperatura e umidade relativa

Coelho et al. (2015) realizaram a caracterização do ambiente aéreo no interior da instalação. Foram coletados continuamente, dados térmicos ambientais (temperatura e a umidade relativa do ar no interior do galpão), ao longo de todo o comprimento do aviário. Para tais medições foram utilizados sensores de temperatura e umidade conectados ao sistema One-WireTM®, desenvolvido pela Dallas Semiconductor.

Foram distribuídos 50 sensores de temperatura, posicionados entre as quatro baterias de gaiolas de forma equidistante e uniforme ao longo de todo galpão, e, em dois níveis de altura (0,65 m do piso, altura do primeiro nível de gaiolas e 2,75 m do piso altura do último nível de gaiolas). Além dos sensores de temperatura, foram utilizados mais 18 sensores de umidade relativa do ar, de forma semelhante aos de temperatura e nos mesmos níveis de altura (Figura 1).

A coleta de dados referentes à temperatura e umidade relativa do ar se deu de forma contínua (24 h d^{-1}) durante oito dias consecutivos, período durante o qual houve forte intensidade solar, sem precipitação pluviométrica. Estes dados foram registrados em tempo real e em intervalos de um minuto.

2- Concentração de amônia no ar

A concentração de NH_3 dentro da instalação foi obtida com sensores GasAlert Extreme, da BW Technologies modelo GAXT-A-DL. Com medições iniciadas às seis da manhã e repetidas a cada três horas. O tempo total de coleta foi de 48 horas consecutivas, O que permitiu elaborar um perfil mais extenso da concentração de amônia dentro do aviário.

Os pontos de coleta foram distribuídos ao longo das linhas T2, T3 e T4 (Figura 1), sendo fixado um sensor em cada um dos cinco corredores de passagem para funcionários (1L, 2L, 3L, 4L e 5L). A concentração de amônia foi mensurada simultaneamente e a 1,80 m do solo, altura média das fileiras de gaiolas.

As medições foram iniciadas às seis horas da manhã no dia seguinte ao acionamento das esteiras carreadoras de dejetos, e, se estendeu por 48 horas, após nova limpeza ser realizada. Seguiu-se o manejo já adotado pela granja, onde os dejetos eram retirados a cada dois dias. Após cada leitura os sensores eram retirados da instalação, para evitar que estes se saturassem, e, eram recolocados próximo ao horário das novas medições.

3- Caracterização dos dejetos produzidos

Foram coletadas amostras dos dejetos, para determinação dos níveis de nitrogênio total e teor de umidade. Para tal, utilizou-se um anteparo plástico entre a gaiola e a esteira coletora, evitando que as dejeções tivessem contato com a esteira, não alterando assim suas propriedades físicas. O anteparo foi mantido sob a gaiola por 24 horas.

Os pontos de coleta foram distribuídos seguindo-se os perfis transversais 2T, 3T e 4T, detalhados na Figura 1. Em cada fileira de gaiolas foram retiradas amostras em duas alturas, mesmos níveis correspondentes aos sensores de temperatura e umidade. Todas as amostras de dejetos coletadas foram armazenadas em recipientes de polietileno, tampados, identificados e mantidos sob refrigeração, para posterior análise em laboratório.

Nitrogênio total

Os teores de nitrogênio total foram determinados pelo método Kjeldahl (APHA, 2005), com base no qual as amostras devem passar por um processo de digestão sulfúrica, em bloco digestor, seguida por destilação em meio alcalino e posterior titulação.

Concentração de sólidos totais

Para caracterização das amostras quanto ao seu teor de sólidos totais e, consequentemente, teor de água, seguiu-se a metodologia proposta por APHA (2005). As amostras de esterco armazenadas foram acondicionadas em cadinhos de porcelana previamente pesados e em seguida foi medida a massa de cada cadinho contendo a amostra, para se obter a massa úmida (MU) do material. Após esta etapa, foram levados à estufa, sendo a temperatura mantida em 65°C até atingirem peso constante. O material foi resfriado em dessecadores para nova pesagem em balança de precisão de 0,0001g, obtendo-se o peso seco (PS).

3. Resultados e Discussão

1- Caracterização do ambiente quanto à temperatura e umidade relativa do ar

Coelho et al. (2015), realizaram o mapeamento térmico do aviário. O mapa apresentado na Figura 2, destaca a distribuição da temperatura no perfil vertical da instalação. Observaram que durante o dia ocorreu temperaturas mais altas na parte superior dos perfis em função da maior proximidade do telhado. A radiação térmica proveniente da cobertura do aviário afeta com maiores proporções esta região superior (Figura 2 A).

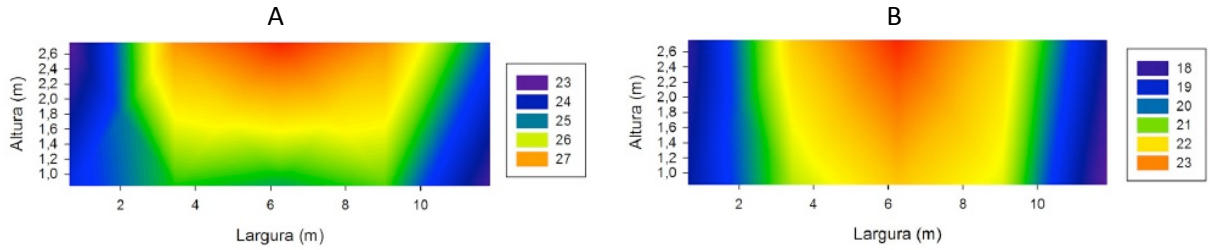


Figura 2: Mapeamento Termico

Com base nos mapas térmicos noturnos (Figura 2 B) percebeu-se uma distribuição uniforme, com redução da temperatura do centro em direção às faces laterais. Esta maior temperatura no centro se deve às baterias de gaiolas que agem como barreiras à ventilação natural, e além disso, a dissipação de calor pelas aves, para manutenção de sua homeotermia.

Os valores médios de temperaturas internas a instalação para ambos os períodos, diurno e noturno, estiveram próximos do recomendado como sendo temperaturas de conforto para galinhas em fase de postura entre, 21 e 28 °C (Macari et al, 2001). Sugerindo que as aves se encontravam em condições térmicas adequadas para que fossem capazes de atingir seu melhor desempenho produtivo. Para o ambiente externo o valor médio de temperatura foi de 24,4 e 18,0 °C, para dia e noite, respectivamente, o que contribuiu para que, na temperatura interna, a instalação estivesse na faixa ideal; entretanto, somente temperaturas médias não são suficientes para diagnosticar corretamente se os animais estão ou não submetidos a estresse calórico; optou-se, portanto, em estudar também as temperaturas máximas observadas no ambiente.

Apesar dos valores médios, de temperatura interna do aviário ao longo do dia e noite, estarem próximos a faixa de conforto das aves, nas horas mais quentes do dia, as temperaturas máximas se encontraram acima das condições ideais para galinhas poedeiras, chegando a atingir 33 °C. Esta temperatura extrema induz aos animais um grande desconforto térmico.

2- Concentração de amônia no ar

Não foram detectadas concentrações de NH_3 nos corredores 1L e 5L, o que foi atribuído à ventilação natural constante existente nesta instalação, devido a suas laterais serem completamente abertas. As concentrações de NH_3 nos demais corredores (2L, 3L e 4L) estão representadas na Figura 3.

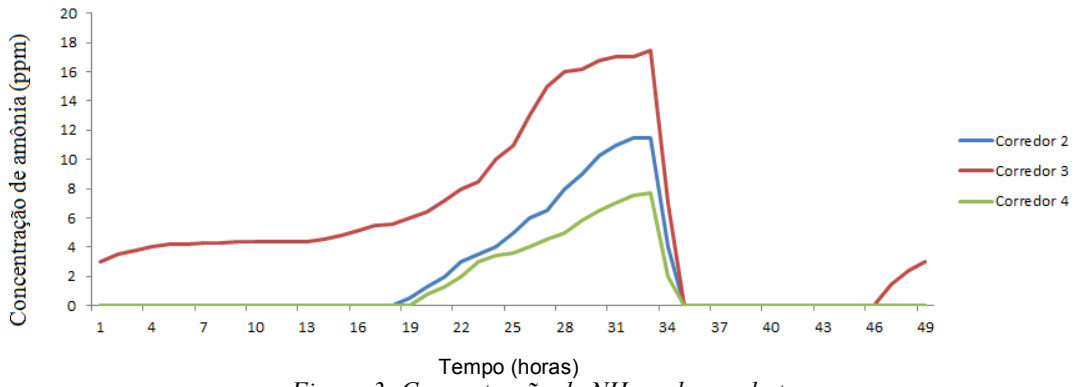


Figura 3: Concentração de NH_3 ao longo do tempo.

Verifica-se que no dia seguinte à limpeza do galpão, além dos corredores 1L e 5L, os corredores 2L e 4L também não apresentaram concentrações de amônia, enquanto o corredor 3L apresentou concentração relativamente baixa durante todo o dia. A presença de NH_3 no corredor três e a sua falta nos demais corredores, no dia seguinte à limpeza pode ser explicada, possivelmente, pela ventilação natural, a qual foi suficiente para a diluição e eliminação deste poluente na proporção em que ele estava eventualmente sendo gerado. No entanto, este fenômeno fica prejudicado pelas baterias sucessivas de gaiolas, não sendo assim possível eliminar a amônia gerada no centro do aviário (3L).

À medida que o tempo transcorre, as galinhas poedeiras geram novas dejeções sobre a esteira carreadora, e, além disso, as bactérias decompositoras do esterco, intensificam o processo de degradação do ácido úrico excretado, possibilitando assim maiores emissões de NH_3. Assim, a ventilação natural não é suficiente para retirar toda a amônia gerada dentro da instalação, o que provoca o acúmulo deste gás no ambiente.

3- Caracterização dos dejetos produzidos

Nitrogênio total

A concentração média de nitrogênio total (N) encontrada nos dejetos foi de 4,98 %, não sendo detectada diferença significativa entre as amostras coletadas. Considerando-se os resultados de concentração média de N nos dejetos de galinhas poedeiras, descrito por diversos autores citados na Tabela 1, percebe-se que os valores obtidos nesta pesquisa estão de acordo com os dados da literatura.

Tabela 1: Teores médios de nitrogênio encontrado em dejetos de galinhas poedeiras

Autor	Médias da concentração de N nos dejetos de galinhas poedeiras (%)
LEESON STEVE, SUMMERS JOHN (2000)	5,00
EL BOUSHY (1994)	4,00
PROCHNOW e colab. (1995)	5,45
AUGUSTO (2007)	7,40

Sendo assim, não foi observado influencia da posição dos pontos de coletas dos dejetos dentro da instalação em relação ao teor de nitrogênio total.

Teor de sólidos totais

A umidade média dos dejetos de galinhas poedeiras é um fator primordial para a atividade microbiana que converte o ácido úrico em NH_3. Neste trabalho foi encontrada umidade média de 74% nas amostras analisadas, sem diferença significativa. O que representa uma média de aproximadamente 26% para o teor de sólidos totais.

De forma equivalente, Peixoto (1998), em experimento conduzido com aves poedeiras criadas em gaiolas avaliou a umidade dos dejetos encontrando teores médios de umidade em torno de 76%, sem diferença significativa entre eles para períodos curtos de armazenamento (1h, 2h e 3h). Patrick (1980), relatou umidade média de 74,35% no esterco.

O alto teor de umidade relativa dos dejetos, em torno de 74%, observado pelas análises realizadas possibilita maiores taxas de geração e emissão de NH_3 uma vez que o processo de degradação do ácido úrico é mais eficiente na presença de altas umidades.

4. Conclusão

Os valores encontrados para a NH_3 emitida dentro do galpão de criação das aves de postura, foram considerados baixos, fato este atribuído à retirada frequente dos dejetos de dentro das instalações e à ventilação natural. As maiores taxas apesar de baixas de emissão de NH_3 foram observadas no corredor central do galpão devido à pouca circulação natural do ar, a qual fica prejudicada pelas sucessivas baterias de gaiolas. Quanto à caracterização físico-química dos dejetos, os valores relativos encontrados para o esterco de galinhas poedeiras, foram condizentes com a literatura consultada quanto aos níveis de nitrogênio e teores de sólidos totais e voláteis, o que sugere, de uma forma geral, que a excreção de nitrogênio das galinhas poedeiras, não é afetada pelo seu posicionamento dentro da instalação com gaiolas verticais.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), ao Núcleo de pesquisa em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindustriais (AmbiAgro), Fundação de Amparo a Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnológico (CNPq).

Bibliografia

ABPA. 2016. Associação Brasileira de Proteína Animal, Relatório Anual 2015. . São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/files/publicacoes/c59411a243d6dab1da8e605be58348ac.pdf>. Acesso em: 4 fev 2016.

APHA. 2005. American Water Works Association, Water Environmental Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. ed. Washington: [s.n.].

Augusto, Karolina Von Zuben. 2007. Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de prdução de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia. 132 f. Universidade Estadual Paulista, 2007. Disponível em: <http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/zoo/m/3036.pdf>.

Baek, Bok Haeng e Aneja, Viney P e Carolina, North. 2004. Measurement and Analysis of the Relationship between Ammonia , Acid Gases , and Fine Particles in Eastern North Carolina. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 54, n. May, p. 623–633.

Coelho, Diogo José de Resende et al. 2015. Mapeamento do ambiente térmico de aviários de postura abertos em sistema vertical de criação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 10, p. 996–1004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662015001000996&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>.

Coelho, Verlengia. 1973. *Fertilidade do solo*. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola.

El Boushy, Van der Poel. 1994. Poultry feed from waste: processing and use. London: Chapman and Hall.

Leeson Steve, Summers John, Díaz Gonzalo J. 2000. *Nutricion aviar comercial*. Santa Fé de Bogotá: [s.n.].

Macari, M., Furlan, R. L., Silva, I. J. 2001. Ambiência na produção de aves em clima tropical. FUNEP. [S.l: s.n.]. v. 1. p. 31–87.

Ndegwa, P M et al. 2008. Review Paper : SE — Structures and Environment A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. v. 100, p. 453–469.

Patrick H., Schaible P. J. 1980. *Poultry: feeds and nutrition*. 2. ed. Westport, USA: AVI Publishing Co. Inc.

Peixoto, Renato Rodrigues. 1998. Técnica experimental: tempo de coleta de excrementos de aves. *Anais- Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, p. 35.

Pilewskie, Peter. 2007. Climate change: Aerosols heat up. v. 448, n. August, p. 541–542. Disponível em: <http://www.nature.com/nature/journal/v448/n7153/pdf/448541a.pdf>.

Prochnow, L L et al. 1995. Controlling ammonia losses during manure composting with the addition of phosphogypsum and simple superphosphate. *Scientia Agricola*, v. 52, n. 2, p. 346–349.

Tinôco, Ilda de Fátima Ferreira. 2001. Avicultura Industrial : Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v. 3, p. 1–26. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-635X2001000100001&nrm=iso>.

Zhang, Wenqiang et al. Temporal and spatial variation of nitrogen and phosphorus and eutrophication assessment for a typical arid river — Fuyang River in northern China. JES, p. 4–11, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2016.07.004>.

Proposta de uma Interface Gráfica do Usuário (GUI) para o dimensionamento de um sistema de resfriamento evaporativo em galpões avícolas

Carlos Gutemberg de S. Teles Júnior[1], Richard S. Gates[2], Cecília F. Souza[3], Ilda F. F. Tinôco[4], Fátima J. F. Baptista[5], Monique de O. Vilela[6]

[1]Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Centro de Ciências Agrárias, UFV, Viçosa - MG, carlos.teles@ufv.br

[2]Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Illinois, rsgates@illinois.edu

[3]Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Centro de Ciências Agrárias, UFV, Viçosa - MG, cfsouza@ufv.br

[4]Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Centro de Ciências Agrárias, UFV, Viçosa - MG, iftinoco@ufv.br

[5]Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Ap. 94, 7002-554 Évora, Portugal, fb@uevora.pt

[6]Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Centro de Ciências Agrárias, UFV, Viçosa - MG, monique.vilela@ufv.br

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver uma ferramenta computacional, exibida na forma de uma Interface Gráfica do Usuário (GUI), para auxiliar no dimensionamento básico de um sistema de resfriamento evaporativo para aviários de corte, com ventilação do tipo túnel, levando em consideração as características da instalação e as condições climáticas da região. A Interface Gráfica foi desenvolvida no software MatLab®. A partir dos dados de entrada, referentes às dimensões da instalação, às condições climáticas da região, e as condições de operação do sistema (velocidade do ar requerida e capacidade dos exaustores), foram calculados o número de ventiladores necessários e a área requerida para a instalação dos painéis evaporativos. A avaliação do sistema foi feita com base na análise do potencial de redução da temperatura do ar, considerando-se que o sistema opere com uma eficiência de 80%; e na comparação entre o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) em um galpão antes e depois da instalação do sistema evaporativo. A Interface Gráfica desenvolvida é de fácil manuseio e bem intuitiva para o usuário, com poucos campos de entrada de dados, e botões para o cálculo automático dos parâmetros de dimensionamento e avaliação do sistema.

Palavras-chave: Avicultura, construções rurais, produção animal, simulação, sistemas de acondicionamento térmico.

Proposal of a Graphical User Interface (GUI) for the design of an evaporative cooling system in poultry houses

Abstract

The aim of this study was to develop a computational tool, displayed in the form of a Graphical User Interface (GUI) to assist in the design of a basic evaporative cooling system for aviaries with tunnel ventilation, taking into account the facility characteristics and the region climatic conditions. The GUI was developed in MatLab® software. The number of fans required and the required evaporative cooling pad area were calculated from the input data, depending on the facility dimensions, the region climatic conditions, and the system operating conditions (required air speed and fan capacity). The system evaluation was based on the analysis of the potential air temperature reduction, assuming that the system operates with an efficiency of 80%; and comparing the Temperature and Humidity Index (THI) in a facility before and after the installation of the evaporative system. The developed Graphical Interface is easy to handle and intuitive for the user, with few fields of data entry, and buttons for the automatic calculation of the parameters of sizing and evaluation of the system.

Keywords: Aviculture, livestock production, rural constructions, simulation, systems of thermal conditioning.

1. Introdução

Em geral, a condição térmica verificada no interior de uma instalação é derivada do tipo de material usado para o isolamento e das características construtivas da edificação. Além disso, depende da espécie e do número de animais alojados, como também do manejo e das modificações oriundas tanto dos equipamentos que compõe o sistema produtivo quanto daqueles designados ao acondicionamento térmico ambiental e, principalmente, das condições climáticas locais (Baêta e Souza, 2010).

Segundo Azevedo et al. (2005), aproximadamente dois terços do território brasileiro está situado na faixa tropical do planeta, onde predominam temperaturas elevadas, como consequência da grande intensidade da radiação solar incidente. Não só a temperatura do ar, mas também fatores como a umidade relativa, velocidade do ar, nutrição e manejo podem interferir no conforto térmico e produção animal (Berman, 2011). Neste caso, destaca-se a importância de se adotar medidas para que se alcance níveis adequados de bem-estar e conforto térmico dos animais, como por exemplo, a utilização de sistemas de acondicionamento térmico artificial, como o Sistema de Resfriamento Evaporativo Adiabático (Nebulização ou pads evaporativos associados a ventilação mecânica) .

Portanto, o correto design e uso de tecnologias e equipamentos, como ventiladores e aspersores, na redução do estresse térmico por calor, é capaz de potencializar a produtividade dos animais (Marcheto et al., 2002). No entanto, o seu sub ou superdimensionamento deve ser evitado, sob pena de, além de não proporcionar os níveis de conforto exigidos pelos animais, ainda acarretar em prejuízos financeiros ao produtor.

Com base no exposto, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver uma ferramenta computacional, para auxiliar no dimensionamento básico de um sistema de resfriamento evaporativo para aviários de corte, com ventilação do tipo túnel, levando em consideração as características da instalação e as condições climáticas da região.

2. Metodologia

O programa computacional para o dimensionamento do sistema de resfriamento evaporativo foi desenvolvido no software MatLab®. A partir dos dados de entrada, referentes às dimensões da instalação, às condições climáticas da região, e as condições de operação do sistema (velocidade do ar requerida e capacidade dos exaustores), foram calculados através das Equações (1), (2) e (3) o número de ventiladores necessários e a área requerida para a instalação dos painéis evaporativos (Abreu e Abreu, 2000; Abreu et al., 1999).

$$n = \frac{l \times pd \times v \times 3600}{Q} \quad (1)$$

Onde:

n – Número de ventiladores requeridos (unidade);
l – Largura do galpão (m);
pd – Altura do pé-direito do galpão (m);
v – Velocidade média requerida no interior da instalação para o conforto das aves (m/s);
Q – Capacidade do exaustor selecionado considerando a pressão estatica de projeto especificada (m³/h).

$$n_{aj} = n \times 1{,}1 \quad (2)$$

Onde:

n_{aj} – Número de ventiladores ajustados (unidade);
1,1 – Coeficiente de segurança considerando uma perda de capacidade do ventilador de 10%.

$$A = l \times h \quad (3)$$

Onde:

A – Área requerida para a instalação dos paineis evaporativos (m²);
l – Largura do galpão (m);
h – altura média do aviario, considerando metade do pé-direito mais a altura da cumeeira (m).

A avaliação do sistema foi feita com base na redução da temperatura do ar após passar pelos paineis evaporativos, dada em função da depressão de bulbo umido e assumindo-se que o sistema opere com uma eficiência de 80%, calculada através da Equação (4). A temperatura do ar resfriado é dada então pela relação entre a temperatura do ar externo e a redução da temperatura, mostrada na Equação (5). Alem disso outro critério usado para avaliação da eficiencia do sistema de resfriamento foi a comparação entre o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), calculado através da Equação (6) recomendada por Thom (1958), considerando a instalação com e sem a utilização do sistema evaporativo. Para o calculo deste indice referente à instalação com a utilização do sistema de resfriamento, considerou-se a temperatura do ar após o mesmo atravessar os paineis evaporativos e com esse dado associado a temperatura de bulbo umido, que se mantem constante uma vez que o processo de resfriamento é adiabatico, calcula-se a nova temperatura de ponto de orvalho (Equações 10 a 14). Esses valores de temperatura do ar resfriado e temperatua de ponto de orvalho calculado com base na temperatura do ar resfriado e na temperatura de bulbo umido são utilizados na Equação (6) para o calculo do ITU no interior da instalação com o sistema de resfriamento evaporativo. O ambiente térmico foi considerado como confortavel para as aves caso o (ITU) calculado fosse menor ou igual a 74 (Araujo et al., 2014).

$$RT_{ar} = \eta \times \left(T_{ar} - T_{bu}\right) \quad (4)$$

Onde:

RT_{ar} – Redução da temperatura após passar pelos paineis evaporativos (°C);
η – Eficiencia do sistema evaporativo;
T_{ar} – Temperatura do ar (°C);
T_{bu} – Temperatura de bulbo umido (°C).

$$T_{resf} = T_{ar} - RT_{ar} \quad (5)$$

Onde:

T_{res} – Temperatura do ar após passar pelos paineis evaporativos (°C).

$$ITU = T_{ar} + 0{,}36 \times T_{po} + 41{,}5 \quad (6)$$

Onde:

ITU – Indice de Temperatua e Umidade;
T_{po} – Temperatura de ponto de orvalho (°C).

A temperatura de ponto de orvalho para o calculo do ITU considerando a instalação sem a utilização de nenhum sistema de acondicionaento térmico pode ser calculada em função da pressão parcial de

vapor, conforme mostrado na Equação (7). Para a determinação da pressão parcial de vapor (Equação 9), utilizada para o cálculo da temperatura de ponto de orvalho, leva-se em consideração a pressão de saturação de vapor (Equação 8) e a umidade relativa.

$$T_{po} = \frac{237{,}3 \times \log\left(\frac{pw}{0{,}6108}\right)}{7{,}5 - \log\left(\frac{pw}{0{,}6108}\right)} \quad (7)$$

Onde:

T_{po} - Temperatura de ponto de orvalho (°C);
pw – Pressão parcial de vapor (kpa).

$$pws = 0{,}61 \times 10^{\frac{7{,}5 \times T_{ar}}{237{,}3 + T_{ar}}} \quad (8)$$

Onde:

pws – Pressão de saturação de vapor (kPa).

$$pw = psw \times UR \times 0{,}01 \quad (9)$$

$$pws^{*}\left(t_{bu}\right) = e^{\left(\frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10} \times T + C_{11} \times T^2 + C_{12} \times T^3 + C_{13} \times \ln(T)\right)} \quad (10)$$

Onde:

pws*(t_{bu}) – Pressão de saturação em função da temperatura de bulbo umido (Pa);
T – Temperatura de bulbo úmido (K);
C_8 – -5,8002206E^{3};
C_9 – 1,3914993E^{0};
C_{10} – -4,8640239E^{-2};
C_{11} – 4,1764768E^{-5};
C_{12} – -1,4452093E^{-8}
C_{13} – 6,5459673E^{0}

$$Ws^{*} = 0{,}621945 \times \frac{p_{ws}}{p - p_{ws}} \quad (11)$$

Onde:

Ws^{*} - Razão de mistura de saturação ($kg_{vapor\ d'agua}$/ $kg_{ar\ seco}$);
pws – Pressão de saturação (kPa);
p – Pressão total (kPa).

$$W = \frac{\left(2501 - 2{,}326 \times t_{bu}\right) \times W_s^{*} - 1{,}006 \times \left(t_{res} - t_{bu}\right)}{2501 + 1{,}86 \times t_{res} - 4{,}186 \times t_{bu}} \quad (12)$$

Onde:

W – Razão de mistura ($kg_{vapor\ d'água}/kg_{ar\ seco}$);
T_{bu} –Temperatura de bulbo umido (°C);
T_{res} – Temperatura do ar resfriado (°C);

$$p_w = \frac{p \times W}{0{,}621945 + W} \tag{13}$$

Onde:

pw – pressão parcial de vapor (kPa);

$$t_{po}(t_{bu}, t_{res}) = C_{14} + C_{15} \times \alpha + C_{16} \times \alpha^2 + C_{17} \times \alpha^3 + C_{18} \times p_w^{\,0{,}1984} \tag{14}$$

Onde:

$t_{po}(t_{bu}, t_{res})$ – Temperatura de ponto de orvalho em função da temperatura de bulbo umido e da temperatura do ar resfriado (°C);
α – $\ln(p_w)$;
C_{14} – 6,54;
C_{15} – 14,526;
C_{16} – 0,7389;
C_{17} – 0,09486;
C_{18} – 0,4569.

A interface gráfica foi dividida em uma parte de entrada de dados, e em uma parte de processamento, onde foi realizado o dimensionamento e avaliação do sistema de resfriamento proposto.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 1 está apresentado um fluxograma, mostrando de forma resumida a sequencia de operações realizadas no programa desenvolvido.

A interface gráfica é constituida basicamente de duas telas principais, sendo a primeira delas, apresentada na Figura 2, uma janela inicial fazendo uma apresentação da GUI, a partir da qual é aberta a janela principal (Figura 3), onde é possivel entrar com os dados e realizar o processamento para o dimensionamento do sistema de resfriamento.

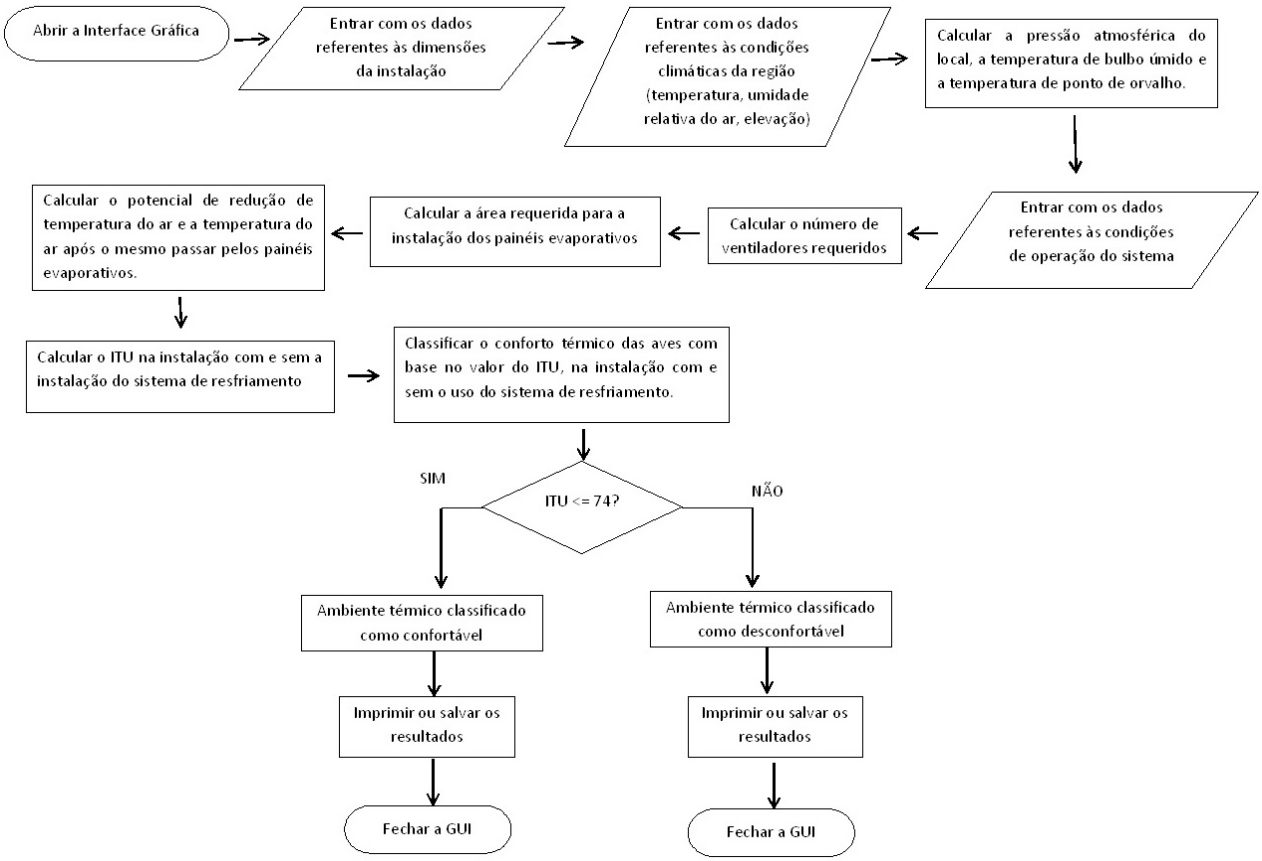


Figura 1. Fluxograma de operações executadas na Interface Gráfica (GUI)

Figura 2. Tela inicial da Interface Gráfica (GUI)

Figura 3. Tela principal da Interface Gráfica (GUI)

A janela principal é dividida em três partes. A primeira, mostrada na Figura 4, apresenta os campos para a entrada de dados, já a segunda, apresentada na Figura 5, consiste da etapa de processamento, onde são realizados os cálculos referentes ao dimensionamento e avaliação do sistema de resfriamento, equanto que a ultima parte (Figura 5), representa a finalização do processo, onde o usuário pode salvar ou imprimir seus resultados e fechar a Interface Gráfica.

Figura 4. Área de entrada de dados da janela principal da Interface Gráfica (GUI)

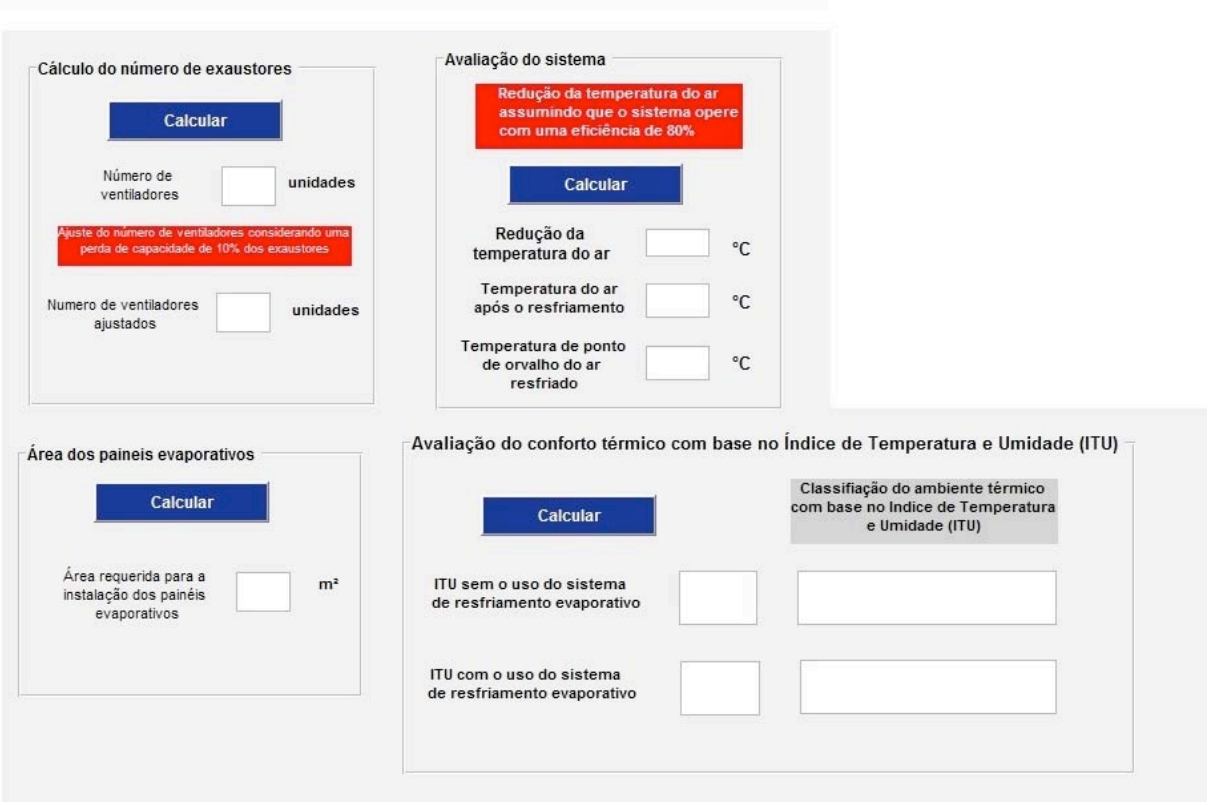


Figura 5. Área de processamento dos dados da janela principal da Interface Gráfica (GUI)

Figura 6. Área de finalização do dimensionamento da janela principal da Interface Gráfica (GUI)

Para exemplificar a utilização da Interface Gráfica, foi realizado o dimensionamento hipotético de um sistema de acondicionamento térmico em uma instalação comercial com dimensões de (120 x 12)m, pé-direito de 2,5m e altura da cumeeira de 2m, instalada em uma região de clima quente, com altitude média de 227 metros e temperatura média mensal no período de verão de 29°C e umidade relativa média na faixa de 60%. Considerou-se ainda velocidade do ar requerida para o conforto das aves em torno de 2,5m/s e capacidade de vazão dos exaustores selecionados de 42000 m³/h a uma pressão estatica de 25 Pa. Os resultados dessa simulação podem ser vistos na Figura 7.

Figura 7. Dimensionamento hipotético de um sistema de resfriamento usando a Interface Gráfica desenvolvida

O exemplo do dimensionamento hipotético apresentado na Figura 7, mostra que nas condições impostas (dados de entrada), são necessários para proporcionar um melhor conforto térmico as aves, um sistema de resfriamento composto por sete exaustores, considerando o fator de segurança lenvando em conta uma perda de capacidade dos exaustores de 10%, além de uma área de 39m² para a instalação dos paineis evaporativos. A avaliação do sistema dimensionado mostra que o mesmo se mostrou eficiente, proporcionando uma redução de temperatura do ar de aproximadamente 5°C, além disso, comparando-se o valor do (ITU) considerando a instalação com e sem a utilzação do sistema de resfriamento, verifica-se que nas condições impostas, apresentadas nos dados de entrada, sem a utilização do sistema de resfriamento, os animais nesta instalação encontram-se em condição de desconforto térmico, porém a partir da implantação do sistema dimensionado para as mesmas condições impostas, verifica-se uma melhora no conforto térmico das aves com base no valor do ITU calculado.

4. Conclusões

O programa computacional desenvolvido é de fácil manuseio e bem intuitiva para o usuário, com poucos campos de entrada de dados, e botões para o cálculo automático dos parâmetros de dimensionamento e avaliação do sistema, mostrando ser uma ferramenta eficiente e confiável para auxiliar engenheiros nos projetos de sistemas de resfriamento de aviários.

Agradecimentos

A Capes, CNPq, FAPEMIG, Departamento de Engenharia Agricola/UFV, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola/UFV, Universidade de Illinois.

Bibliografia

Abreu, P.G. de; Abreu, V.M.N.; MAazzuco, H. 1999. *Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte.* Concórdia: EMBRAPA, CNPSA (Documentos, 59)

Abreu, P.G. de; Abreu, V.M.N. 2000. *Ventilação na avicultura de corte*. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 63).

Araujo, J. A de., Maciel, L. G., Santos, J. S. 2014. Caracterização climática para frangos de corte no municiípio de Redenção – PA. Enciclopédia Biosfera 10: 480-486.

Azevedo, M.; Pires, M. F. A.; Saturnino, H. M.; et al. 2005. Estimativas de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras ½, ¾ e 7/8 Holandês-Zebu em lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34: 2000-2008.

Baccari, F., Johnson, H. D., Hanh, G. L. Environmental heat effects on growth, plasma t, and postheat compensatory effects on Holstein calves. Proceeding. Society of Experimental Biology and Medicine, v.173, p 312-318, 1983.

Baêta, F. C.; Souza, C. F. 2010. *Ambiência em Edificações Rurais*. 2a. ed. Viçosa: Editora UFV.

Berman, A. 2011. Invited review: Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates. *Journal of Dairy Science*, 94: 2147-2158.

Marcheto, F. G., Nääs, I. A., Salgado, D. D., Souza, S. R. L. 2002. Efeito das temperaturas de bulbo seco e de globo negro e do índice de temperatura e umidade, em vacas em produção alojadas em sistema de free-stall. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science* 39: 320-323.

Thom, E. C. 1958. Cooling degrees - days air conditioning, heating, and ventilating. *Transactions of the ASAE*. 55: 65 -72.

Efeito do calor associado a umidade relativa e velocidade do ar na ingestão de água de codornas japonesas

Monique O. Vilela[1], Richard S. Gates[2], Cecília F. Souza[3], Ilda F. F. Tinôco[4], Fátima J. F. Baptista[5], Carlos G. S. Teles Junior[6], Keller S. O. Rocha[7], Damiana D. Rosa[8]

[1] Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Centro de Ciências Agrárias, UFV, Viçosa - MG, monique.vilela@ufv.br
[2] Departament of Agricultural and Biological Engineering/University of Illinois, rsgates@illinois.edu
[3] DEA/UFV, Viçosa –MG, cfsouza@ufv.br
[4] DEA/UFV, Viçosa – MG, iftinoco@ufv.br
[5] Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Ap. 94, 7002-554 Évora, Portugal, fb@uevora.pt
[6] DEA/UFV, Viçosa – MG, carlos.teles@ufv.br
[7] Departament of Agricultural and Biological Engineering/University of Illinois, ksor@illinois.edu
[8] Departament of Agricultural and Biological Engineering/University of Illinois, drosa_ufv@yahoo.com.br

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do calor associado a duas faixas de umidade relativa (UR) (calor seco e úmido) e dois níveis de velocidade do ar (altas e baixas velocidades) no consumo de água de codornas japonesas (*Coturnix coturnix japônica)* em fase de pré-pico de postura. O experimento foi conduzido em câmaras climáticas localizadas na área experimental do Núcleo de Pesquisa em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindustriais (AMBIAGRO), no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Brasil. O sistema para controle de velocidade do ar consiste em um ventilador acoplado em cada extremidade de um tubo PVC, com o fluxo de ar direcionado para as aves. Foram utilizadas 156 codornas japonesas em pré-pico de postura alocadas aleatoriamente em três câmaras climáticas. Os tratamentos foram: conforto preconizado pela literatura (24°C, UR: 60-70%), calor seco (35°C, UR: 45-55%) e calor úmido (35°C, UR: 70-80%), combinadas com dois níveis de velocidade do ar na região do comedouro: baixa (0 $m.s^{-1}$) e alta (2,3 $m.s^{-1}$). O consumo de água foi mensurado diariamente. Os dados foram submetidos ao teste *Two-Way* ANOVA e médias comparadas pelo teste Tukey. A velocidade do ar e a interação entre os dois fatores não afetaram este parâmetro (P>0,05). O efeito da condição térmica sobre a ingestão de água foi bastante pronunciado (P=0,003), com aumento de 29% e 48% no consumo das aves expostas ao calor seco e calor úmido, respectivamente.

Palavras-chave: Ambiente controlado, avicultura, bem-estar animal, temperatura do ar

Effect of heat associated with relative humidity and air velocity on water intake of Japanese quails

Abstract

The aim of this work was to evaluate the influence of heat stress at two levels of relative humidity (RH) (dry and wet) and two levels of air velocity ("still" and "high") on water intake of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) in pre-peak posture. The experiment was conducted in climatic chambers at the Center for Research in Environment and Agro-industrial Systems Engineering (AMBIAGRO), Department of Agricultural Engineering of the Federal University of Viçosa, Brazil. The air speed control system consists of a fan coupled to each end of a PVC pipe, with the airflow directed towards the birds. A total of 156 Japanese quails were randomly assigned in three climatic chambers. The treatments were: thermal comfort recommended by the literature (24 °C, RH: 60-70%), dry heat (35 °C, RH: 45-55%) and moist heat (35 °C, RH: 70-80%) combined with two levels of air velocity in the area closest to the feeder: low (0 ms^{-1}) and high (2.3 ms^{-1}). Water intake was measured daily. Data were submitted to *Two-Way* ANOVA and averages compared by Tukey test. Air velocity and the interaction between the both factors did not affect this parameter (P> 0.05). The effect of thermal condition on

water intake was quite pronounced (P =0,003), with increase on consumption of 29% and 48% for the birds exposed to dry and moist heat, respectively.

Keywords: Controlled environment, poultry, animal welfare, air temperature

1. Introdução

A coturnicultura vem se apresentando como uma atividade bastante rentável por diversos aspectos, como por exemplo, apresentar precocidade na maturidade sexual, baixo consumo de ração, alta produção de ovos e por ser um animal bastante resistente as adversidades e enfermidades. Em 2015, o Brasil obteve recorde no efetivo de codornas, com um total de 22 milhões de cabeças, representando um aumento de 8,1% em relação a 2014 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2015). Para atender a demanda, a produção em escala industrial se tornou fundamental neste segmento e, com isso, cuidados relacionados à ambiência destes animais são primordiais para o sucesso da atividade, pois influenciam diretamente na produtividade. Por isso, elementos climáticos como temperatura, umidade relativa, vento e radiação são fatores preponderantes por afetarem diretamente a capacidade produtiva, reprodutiva e de sobrevivência das codornas (Tinôco, 2001; Amaral, 2012).

Sousa (2013) afirma que a faixa de temperatura do ar que melhor caracteriza a zona de conforto térmico para codornas de corte é de 24°C a 26°C, faixa onde se observa menor dispêndio de energia com o processo de manutenção da homeotermia e a máxima produtividade. Em relação à umidade relativa ideal perante esta faixa de temperatura, Oliveira (2007) relata que deve permanecer por volta de 65% e 70%.

Sendo assim, objetivou-se, com este trabalho, avaliar a influência de altas temperaturas do ar associadas a duas faixas de umidade relativa (calor seco e úmido) e sua interação com dois níveis de velocidade do ar (altas e baixas velocidades) na ingestão de água de codornas japonesas (Coturnix coturnix japonica), em fase de pré-pico de postura.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado em câmaras climáticas localizadas na área experimental do Núcleo de Pesquisa em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindustriais (AMBIAGRO), no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG.

Cada câmara climática possui área de 7,8 m^2 e pé direito de 2,38 m. Todas possuem sistema de aquecimento, umidificação e refrigeração do ar, sendo o aquecedor constituído de resistência elétrica (2000 W de potência), o umidificador com capacidade de 4,5 L e a refrigeração com ar condicionado tipo Split quente/frio de 3,51 $kW.h^{-1}$. O aquecedor e o umidificador são acionados por meio de controlador eletrônico MT – 531R plus com as seguintes especificações: temperatura de controle variando de -10°C a 70°C com resolução de 0,1°C; umidade de controle variando de 20% a 85% com resolução de 0,1%. As câmaras apresentam ainda dois exaustores axiais AMB (modelo FD08025S1M; DC 12 V; 0,15 A) com velocidade de 0,3 $m.s^{-1}$, que realizam a renovação do ar durante o período experimental.

Em cada uma das câmaras foram alocados dois protótipos de controle de velocidade do ar, constituído por ventiladores Micro Motor Elgin 125⁄ MM – 20B Bivolt, frequência de 60 Hz, 11,93 W de potência e diâmetro de 25 cm, como pode ser visto na Figura 1. O conjunto consiste em dois ventiladores acoplados em um tubo PVC, sendo um em cada extremidade, com o fluxo de saída de ar direcionado para as aves, como representado na Figura 2. A vazão volumétrica máxima do sistema, de acordo com as especificações do fabricante, é de 950 $m^3.h^{-1}$. Com isso, por meio da regulagem da frequência, as velocidades do ar dos ventiladores puderam ser manipuladas e ajustadas em diferentes níveis, de acordo com os tratamentos.

Figura 1. Vista interna das câmaras climáticas, onde 1: ar condicionado; 2: umidificador de ar; 3: controlador eletrônico de temperatura e umidade relativa do ar (MT – 531R plus); 4 e 5: tubos de ventilação; 6: aquecedor de ar; 7 e 8: gaiolas; 9 e 10: comedouros; 11 e 12: reservatórios de água.

Figura 2. Sistema de controle de velocidade do ar

Neste experimento, foram utilizadas 156 codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) em fase de pré-pico de postura e com idade inicial de 77 dias, procedentes de um mesmo lote e apresentando peso corporal de 173 ± 5,2 g. Utilizou-se três câmaras climáticas simultaneamente, cada qual com duas gaiolas, onde as aves foram distribuídas aleatoriamente de modo a atender a densidade utilizada em campo: 106 $cm^2.ave^{-1}$.

Os animais foram submetidos a seis tratamentos, compostos por três condições ambientais: conforto térmico preconizado pela literatura (24°C e UR: 60-70%), calor seco (35°C e UR: 45-55%) e calor úmido (35°C e UR: 70-80%), combinadas com dois níveis de velocidade do ar: baixa (0 $m.s^{-1}$) e alta (2,3 $m.s^{-1}$). Adotou-se esquema fatorial 3x2: três condições térmicas e duas velocidades do ar, de modo a constituir seis tratamentos, dispostos no delineamento em blocos casualizados, onde cada período experimental de três dias constituiu um bloco, totalizando três repetições.

O consumo de água foi calculado pela Equação (1), que relaciona a quantidade de água oferecida às aves diariamente, a sobra de água no bebedouro ao fim do dia, o desperdício e o número de animais presentes na gaiola.

$$C_{água} = \left(\frac{O - S - D}{N} \right) \quad (1)$$

Onde:
$C_{água}$: Consumo de água médio diário (mL.ave^{-1}.dia^{-1});
O: Oferta de água (mL);
S: Sobra no bebedouro (mL);
D: Desperdício contabilizado diariamente (mL);
N: Número de animais.

Para mensurar o desperdício de água foram instalados recipientes abaixo de cada bebedouro. O desperdício foi quantificado com o auxílio de uma proveta graduada, sendo computado diariamente.

Os tratamentos foram organizados de acordo com esquema fatorial 3x2: três condições térmicas ambientais e duas velocidades do ar dispostos no delineamento em blocos casualizados, sendo cada período experimental (três dias) um bloco, totalizando três repetições no tempo.

Para avaliar o efeito das interações entre o ambiente térmico e os diferentes níveis de velocidade do ar sobre a ingestão de água das codornas, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste *Two-Way* ANOVA e as médias foram comparadas pelo teste Tukey, utilizando-se o software estatístico SIGMAPLOT® 12.0 (Systat Software, Inc., San Jose, CA, USA).

3. Resultados e Discussão

Os dados médios de ingestão de água das codornas, nas diversas condições ambientais impostas às mesmas, estão representados na Figura 3. A Figura 3 revela que, em condição de estresse por calor, as médias do consumo de água diferiram significativamente ($P<0,003$) para o fator ambiente térmico. Altas velocidades reduziram o consumo de agua nas três condições térmicas, entretanto não houve diferenças significativas para velocidade do ar ($P>0,05$) e para a interação dos fatores ambiente térmico e velocidade do ar ($P>0,05$). Na Tabela 1 encontram-se os valores médios do consumo de água das aves durante os três períodos do experimento, nos diferentes ambientes avaliados.

Com base nos dados médios apresentados na Tabela 1, observou-se que o efeito da condição térmica sobre a ingestão de água foi bastante acentuado ($P<0,05$), evidenciando maior consumo para as aves que foram expostas às condições térmicas de calor seco e calor úmido, respectivamente. O elevado consumo de água verificado no ambiente caracterizado por calor úmido pode ser explicado pelo fato de que, nestas condições, as trocas de calor por evaporação, que é realizada por meio da respiração das aves, são prejudicadas pela alta umidade relativa, e assim, as aves tendem a ingerir maior quantidade de água na tentativa de reduzir seu calor corporal. Estes resultados foram similares ao encontrado por Pereira et al. (2002) e Sevegnani et al. (2005), que verificaram que a ingestão de água das aves aumentou conforme a temperatura e a UR do ar se elevaram. Isto demonstra que, sob condições de calor, as aves ingerem maior quantidade de água a fim de tentar dissipar o calor corporal através dos mecanismos de condução e por evaporação (através do ofego), além de repor a água perdida nesse processo. Apesar da variação dos níveis de velocidade do ar não interferir significativamente neste parâmetro, em situações de estresse por calor, altas velocidades do ar podem favorecer a dissipação de calor corporal por convecção, e assim, influir na ingestão de água, uma vez que as aves alteram seus padrões comportamentais diante das variações do ambiente para a manutenção da sua homeotermia.

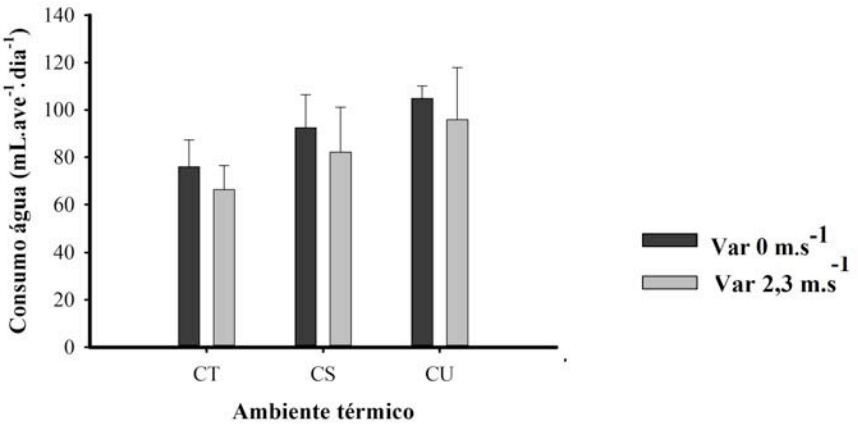


Figura 3. Consumo de água (mL.ave^{-1}.dia^{-1}) (média e desvio padrão) durante o período experimental, nas condições de Conforto Térmico (CT), Calor Seco (CS) e Calor Úmido (CU) combinadas com baixas e altas velocidades do ar

Tabela 1. Consumo de água diário ($C_{água}$) (média e desvio padrão) das codornas japonesas em cada condição térmica avaliada

Ambiente térmico	$C_{água}$ (mL.ave^{-1}.dia^{-1})
Conforto térmico	70,5 ± 10,5^{a}
Calor seco	90,7 ± 13,9^{b}
Calor úmido	104,3 ± 13,3^{c}

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem (P>0,05) entre si pelo Teste Tukey

4. Conclusões

Da forma como foi conduzida esta pesquisa e com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a condição de calor associada a valores elevados de umidade relativa representa a mais crítica situação apresentada neste trabalho, evidenciando-se o aumento de 29% e 48% no consumo de água das aves expostas ao calor seco e calor úmido, respectivamente, quando comparadas ao ambiente termoneutro. Contudo, a interação do ambiente térmico com os diferentes níveis de velocidade do ar não interferiu significativamente neste parâmetro.

Agradecimentos

A Capes, CNPq, FAPEMIG, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agricola/UFV, Universidade de Illinois e Universidade de Évora.

Bibliografia

Amaral, A. G. 2012. Processamento de Imagens Digitais para Avaliação do Comportamento e Determinação do Conforto Térmico de Codornas de Corte. 82 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

IBGE. Produção da Pecuária Municipal. Rio de Janeiro: 2015. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2015_v43_br.pdf>.

Oliveira, B. L. 2007. Manejo em granjas automatizadas de codornas de postura comercial. In *Anais Simpósio Internacional de Coturnicultura*, 91-96. 25-26 Outubro, Lavras.

Pereira, D. F., Salgado, D. D., Naas, I. D. A., Curto, F. P. F., e Murayama, M. C. 2002. Determinação de um padrão de uso de bebedouro em função da temperatura para matrizes pesadas. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 4: 79.

Sevegnani, K. B., Caror, I. W., Pandorfi, H., da Silva, I. J., e Moura, D. J. D. 2005. Precision animal production: image analysis to study broiler's behavior under stress conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 9: 115-119.

Sousa, M. S. 2013. Determinação das faixas de conforto térmico para codornas de corte de diferentes idades. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

Tinôco, I. F. F. 2001. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros*. Revista Brasileira de Ciência Avícola* 3: 01-26.

Emisiones de amoníaco en ovino: cuantificación y comparación a partir de orina y sulfato amónico en un gradiente de temperatura

Ángel Javier Aguirre[1,2], Víctor Herrera[3], Antonio Boné[3], Esperanza Horcas[4], Francisco Javier García-Ramos[3]

[1] Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, Ecuador. javier.aguirre@ucuenca.edu.ec

[2] Proyecto PROMETEO, Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. Quito, Ecuador.

[3] Escuela Politécnica Superior. Universidad de Zaragoza. Ctra. Cuarte s/n, 22071 Huesca. anbone@unizar.es fjavier@unizar.es

[4] Cooperativa Carnes Oviaragón, S.C.L., Grupo Pastores. Carretera Cogullada km 65, Mercazaragoza, Ed. Pastores, Zaragoza. ehorcas@oviaragon.com

Resumen

El objetivo de este trabajo consistió en cuantificar y comparar las emisiones de amoníaco, en condiciones de laboratorio, de orín ovino y sulfato amónico, a lo largo de un gradiente de temperatura. Se prepararon dosis, con igual contenido en nitrógeno para ambas sustancias, regando homogéneamente paja de cebada y se sometieron a tres temperaturas: 25, 35 y 50 ºC. Se midió continuamente: Tiempo emisión, Temperatura interior, Humedad relativa interior, NH_3 (ppm), Velocidad de emisión y Humedad de la cama. La duración de las emisiones (h) fue significativamente mayor con sulfato amónico que con orina (8,44 *vs.* 2,43). La Humedad Relativa media fue significativamente menor cuando se utilizó Sulfato amónico (0,248) que con orina (0,290). El pico máximo promedio de las emisiones de NH_3 fue independiente del material utilizado (Orina: 3,389 ppm *vs.* Sulfato amónico: 4,396 ppm). El promedio de emisiones de NH_3 y la velocidad de emisión fueron independientes del material utilizado (Orina: 1,472 ppm *vs.* Sulfato amónico: 2,136 ppm; Orina: 0,148 ppm/s *vs.* Sulfato amónico: 0,214 ppm/s). La cantidad total emitida de NH_3 casi difirió según el material utilizado (Orina: 1.298,965 ppm *vs.* Sulfato amónico: 13.008,956 ppm; p = 0,084). La humedad acumulada en la cama fue significativamente mayor cuando se utilizó orina que con el sulfato amónico (0,279 *vs.* 0,264). La temperatura tuvo un efecto significativo sobre todas las variables. El sulfato amónico no parece ser un buen sustituto de la orina en ovino para estimar las emisiones de amoníaco.

Palabras clave: corderos, humedad, cama

Ammonia emissions in sheep: quantification and comparison from urine and ammonium sulphate in a temperature gradient

Abstract

The objective of this work was to quantify and compare the ammonia emissions, under laboratory conditions, of sheep urine and ammonium sulfate, along a temperature gradient. Nitrogen doses were prepared for both substances by homogeneously irrigating barley straw at three temperatures: 25, 35 and 50 °C. The following parameters were measured: Emission time, Indoor temperature, Indoor relative humidity, NH_3 (ppm), Emission rate and litter humidity. The duration of emissions (h) was significantly higher for the case of ammonium sulphate with respect to urine (8.44 *vs.* 2.43). Mean Relative Humidity was significantly lower using ammonium sulfate (0.248) than with urine (0.290). The average maximum spike of NH_3 emissions was independent of the material used (Urine: 3.389 ppm *vs.* Ammonium sulfate: 4.366 ppm). The average NH_3 emissions and the emission rate were independent of the material used (Urine: 1.472 ppm *vs.* Ammonium sulphate: 2.136 ppm; Urine: 0.148 ppm/s *vs.* Ammonium sulphate: 0.214 ppm/s). The total NH_3emitted almost differed according to the material used (Urine: 1,298,965 ppm *vs.* Ammonium sulfate: 13,008,956 ppm, p = 0.084). The moisture accumulated in the litter was significantly higher when urine was used (0.279 *vs.* 0.264). Temperature had a significant effect on all variables. Ammonium sulfate does not appear to be a good substitute for urine to estimate ammonia emissions in sheep beds.

Keywords: lambs, humidity, litter

1. Introducción

Desde hace tiempo, el amoníaco y las emisiones de gases de efecto invernadero constituyen uno de los principales problemas ambientales de la producción animal (Owen 1994), en virtud de su responsabilidad sobre el 14,5% (7,1 Gt CO_2-eq. /año) del total de las emisiones (Gerber et al. 2013). En lo relativo a los ovinos, la disminución del número de explotaciones junto con el aumento del tamaño de éstas, ha incrementado el número de cabezas por explotación sin que ello, generalmente, se haya traducido en una mejora y ampliación de las mismas (Ruiz et al. 2009). Adicionalmente, en la actualidad se han generalizado los centros de clasificación y cebo, interpuestos entre los ganaderos y el matadero, donde se ceban casi la totalidad de los corderos que se comercializan en España (María et al. 2007). En este tipo de instalaciones, las pérdidas económicas debidas a las infecciones respiratorias representan un elevado y creciente problema (Brogden et al. 1998; Gilmour 1978). El Síndrome Respiratorio del Cordero es un complejo multifactorial en el que, tan importantes son los microorganismos causantes del proceso, como los factores estresantes que predisponen la aparición de la enfermedad y, entre los denominados factores predisponentes de los procesos respiratorios, los que parecen cobrar mayor relevancia son los factores ambientales (Lacasta et al. 2008; McIlroy et al. 1989; Nash et al. 1997; Wassmuth 2003).

Las emisiones de amoníaco dentro de las instalaciones para el cebo de corderos provienen, fundamentalmente, de la cama (García-Ramos et al. 2007; Sevi et al. 2003); cuya composición básica podría ser la mezcla de paja de cereal regada con orín, y apelmazada con las heces correspondientes. La excreción de nitrógeno a través de la orina en ovinos, tanto rumiantes adultos, como prerumiantes, en primer lugar forma parte de un elevado número de compuestos, entre los que se encuentra el amonio y la urea (Walker and Faichney 1964b), y en segundo lugar, depende del peso vivo, ritmo de crecimiento y de la dieta, principalmente del contenido en proteína de ésta (Walker and Cook 1967; Walker and Faichney 1964c). Conocer con exactitud las emisiones de amoníaco provenientes del orín, exige su obtención y posterior análisis en laboratorio y, como éste proceder, desde un punto de vista práctico, no resulta sencillo, podría ser interesante testar otro compuesto de similar naturaleza como sustituto para evaluar la influencia de los parámetros ambientales en este tipo de emisiones. Por ello, el objetivo de este trabajo consiste en cuantificar y comparar las emisiones de amoníaco, en condiciones de laboratorio, de orín ovino y sulfato amónico, a lo largo de un gradiente de temperatura.

2. Materiales y Métodos

2.1. Diseño experimental

Se planteó un ensayo factorial con dos efectos fijos: (A) origen del NH_3 -orina de ovino y sulfato amónico [$(NH_4)_2S0_4$] comercial-; y (B) temperatura: 25, 35 y 50 °C; repitiendo tres veces cada combinación de los niveles de los efectos (N = 18). El tiempo durante el cual se estuvieron midiendo las variables de interés fue de 24 horas, obteniendo una observación cada 10 segundos (n_i = 8.640; i = 1, …,18). Las variables observadas fueron: el tiempo total de emisión, temperatura interior, humedad relativa interior, NH_3 ($mg.L^{-1}$), velocidad de emisión y humedad residual en la cama una vez transcurridas las 24 h.

2.2. Cálculo de las dosis de nitrógeno

La orina se obtuvo de ovinos adultos procedentes de animales estabulados en la Universidad de Zaragoza. Una vez obtenida se conservó a -20 °C hasta su utilización. Su contenido en nitrógeno, tras el análisis químico en el laboratorio (AOAC 2012), fue del 2%. El sulfato amónico $(NH_4)_2S0_4$ se obtuvo granulado, de color blanco y en recipiente de 1 litro, suministrado por un fabricante comercial.

La deyección líquida de orín en corderos de 25-30 kg de peso vivo se puede estimar en 1 litro por animal y día como promedio (Street et al. 1964; Walker and Faichney 1964a). Por tanto, cada litro de orina contiene 20 g de nitrógeno. Mientras que en el sulfato amónico, de acuerdo con su peso molecular, existe una concentración de 28 g de nitrógeno por cada 132,14 g de sulfato amónico; de modo que para obtener 20 g de nitrógeno se necesitan 94,39 g de sulfato amónico, disuelto en un litro de agua. Acordando una densidad de 2 corderos/m^2, la dosis necesaria es de 2 litros/m^2, lo que supone unos 40 g de nitrógeno/m^2.

2.3. Modo de proceder con las unidades experimentales

En una bandeja plástica de 0,062 m^2 se depositó y comprimió someramente paja de cebada. La dosis, tanto de orina como de sulfato amónico, con la que se regó homogéneamente este recipiente fue de 124 ml. Una vez la bandeja contuvo una masa de paja conocida, y fue rociada con la dosis correspondiente mediante una probeta, se introdujo en una estufa (J.P Selecta, modelo Digitronic serie 2000), en cuyo interior se instaló el sensor de amoníaco (Dräger Sensor NH3LC_68 09 680), dentro del módulo que lo aloja (Dräger Polytron 7000), conectado a la unidad de control (Dräger QuadGard), donde se recogen los datos en tiempo real para almacenarlos (Madgetech OctProcess Data Logger) y procesarlos con un software específico (Madge Tech 2.03.14). En el interior de la estufa también se instaló un sensor de temperatura y humedad relativa (HOBO Pro v2 Ext Temp/RH), cuyas mediciones se pueden descargar posteriormente a través de un puerto USB, en una aplicación específica (HOBOware 3.0). La estufa, antes de introducir cada muestra, se programó para proporcionar en su interior una temperatura constante.

2.4. Medición de las variables

La sonda midió la concentración del amoniaco en miliamperios (mA) y dicha medida se transformó en miligramos por litro.

Cuando la temperatura interior de la estufa mostró un valor constante, se introducía la bandeja con un peso conocido de paja regada y se activaban simultáneamente las sondas. Cada muestra permanecía dentro de la estufa 24 h. Transcurrido este tiempo, se extraía la bandeja y se pesaba en una balanza (Sartorius BL600; precisión: 0,1 g.). Los valores de temperatura y humedad relativa interior fueron medidos por la sonda. El tiempo de emisión fue durante el cual la sonda detectó niveles de amoniaco superiores a cero; tiempo durante el cual se generó una curva de emisiones de la que se obtiene el valor máximo (pico), promedio, cantidad total y velocidad.

2.5. Análisis estadístico

La normalidad y homocedasticidad de las variables dependientes se evaluaron con el test de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente; cuando fue necesario se transformó la variable utilizando logaritmos neperianos o elevándola a un determinado coeficiente. La relación entre éstas se llevó a cabo a través del coeficiente de correlación de Pearson (Tabla 1). Las diferencias entre los promedios de las variables dependientes se evaluaron mediante un análisis de varianza (Modelo Lineal General) de dos factores, utilizando como efectos fijos el material proveedor del amoníaco (orina de ovino y sulfato amónico) y la temperatura interior (25, 35 y 50 °C), así como la interacción entre ambos (Tabla 2). Las diferencias entre los niveles de la temperatura se evaluaron mediante el test Post Hoc de Tukey, designándolas con distintas letras cuando el nivel de significación fue inferior al 5%. Para todos los análisis se utilizó el SAS 9.4 (SAS Institute Inc.).

3. Resultados y Discusión

En primer lugar se analizó la relación entre las variables objeto de interés (Tabla 1).

Tabla 1: Matriz de correlaciones entre las variables de estudio; r: producto-momento de Pearson; p: probabilidad; n = 18 observaciones.

Variables		Tiempo (h)	Tra Interior (°C)	HR Interior	NH_3 máxima	NH_3 media	NH_3 suma	Velocidad Emisión NH_3 (ppm/s)	Humedad cama
Tiempo (h)	r	1	0,721	-0,766	0,840	0,575	0,763	0,573	-0,014
	p		<0,001	<0,001	<0,001	0,013	<0,001	0,013	0,955
Temperatura Interior (°C)	r		1	-0,958	0,870	0,632	0,530	0,632	0,289
	p			<0,001	<0,001	<0,001	0,024	0,005	0,244
HR Interior	r			1	-0,851	-0,584	-0,536	-0,583	-0,186
	p				<0,001	0,011	0,022	0,011	0,459
NH_3 máxima	r				1	0,831	0,792	0,831	0,145
	p					<0,001	<0,001	<0,001	0,566
NH_3 media	r					1	0,893	1,000	0,066
	p						<0,001	<0,001	0,793
NH_3 suma	r						1	0,892	-0,059
	p							<0,001	0,816
Velocidad emisión NH_3 (ppm/s)	r							1	0,067
	p								0,791
Humedad cama	r								1
	p								

Todas las variables, con la excepción de la humedad residual en la cama, mostraron relaciones significativas entre sí. La humedad relativa interior mostró una relación negativa con todas las demás, que por su parte mostraron una relación positiva.

Teniendo en cuenta las variables que involucran al amoníaco, la positiva relación entre la velocidad de las emisiones con el promedio emitido fue la más intensa; seguida del total emitido; y seguida de la relación con la cantidad máxima emitida. Adicionalmente, se observó una elevada relación entre la cantidad máxima emitida y la cantidad promedio. De otra parte, la negativa relación entre la temperatura interior y la humedad relativa interior fue la más elevada entre las otras variables. El tiempo durante el cual se estuvo observando emisiones guardó una alta relación positiva con la cantidad máxima de amoníaco emitida, que, a su vez, guardó una relación positiva con la temperatura interior y, coherentemente, negativa con la humedad relativa interior.

La duración de las emisiones fue significativamente mayor con el sulfato amónico que con la orina (8,44 h *vs.* 2,43 h). La duración de las emisiones aumentó significativamente conforme lo hizo el control de la temperatura [25 °C: 0,618a (horas); 35 °C: 0,254a (horas); y 50 °C: 15,451b (horas)]. Se observó un efecto significativo en la interacción entre ambos factores, lo que pone en evidencia que, respecto del tiempo de emisiones, la orina y el sulfato amónico no se comportan de igual modo frente al aumento de las temperaturas control (véanse Tabla 2 y Figura 1 izq.). Cuando se empleó orina, a la temperatura máxima de las controladas, las emisiones cesaron algo antes de las 7 horas, mientras que con el sulfato amónico, las emisiones alcanzaron la totalidad del tiempo de control, lo que pone de manifiesto una diferencia fundamental entre ambas sustancias.

Tabla 2: Medias de las variables dependientes según el material utilizado: orina de ovino y sulfato amónico, y según el control de temperatura en la que han sido llevadas a cabo los ensayos. Efectos fijos: Material (M) y Temperatura (T), junto a la interacción de ambos (M × T). SED: error estándar de la diferencia de medias. R^2_{aj}: coeficiente de determinación ajustado.

Variables	Material						Probabilidad				
	Orina			Sulfato amónico							
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)							
	25	35	50	25	35	50	SED	R^2_{aj}	M	T	M×T
Tiempo (h)	0,270	0,238	6,804	0,966	0,269	24,097	2,297	0,825	0,008	<0,001	0,004
T^{ra} Interior (°C)	23,933	32,037	50,083	24,638	32,984	50,206	0,884	0,981	0,428	<0,001	0,893
HR Interior	0,407	0,350	0,114	0,395	0,260	0,088	0,021	0,930	0,028	<0,001	0,176
NH_3 máxima	1,167	1,833	7,167	1,167	2,167	9,854	1,136	0,738	0,299	<0,001	0,459
NH_3 media	0,906	1,050	2,460	0,582	1,375	4,451	0,954	0,277	0,411	0,033	0,479
NH_3 suma	96,75	96,33	3.703,8	211,48	155,69	38.659,7	7.611,1	0,481	0,084	0,025	0,064
Vel. emisión NH_3 (ppm/s)	0,092	0,106	0,247	0,058	0,139	0,445	0,095	0,275	0,414	0,033	0,479
Humedad cama	0,273	0,284	0,279	0,259	0,264	0,269	0,002	0,828	<0,001	0,004	0,115

El promedio de la temperatura interior fue independiente del material utilizado (Orina: 35,351 °C *vs.* Sulfato amónico: 35,942 °C). Las medias de las temperaturas interiores según condiciones del ensayo mostraron diferencias significativas según las temperaturas control del mismo [25 °C: 24,285a (°C); 35 °C: 32,510b (°C); y 50 °C: 50,144c (°C)]. De este modo se constató la correspondencia de unas con otras (véase Tabla 2). La interacción de ambos factores: material y temperatura control no mostró diferencias significativas.

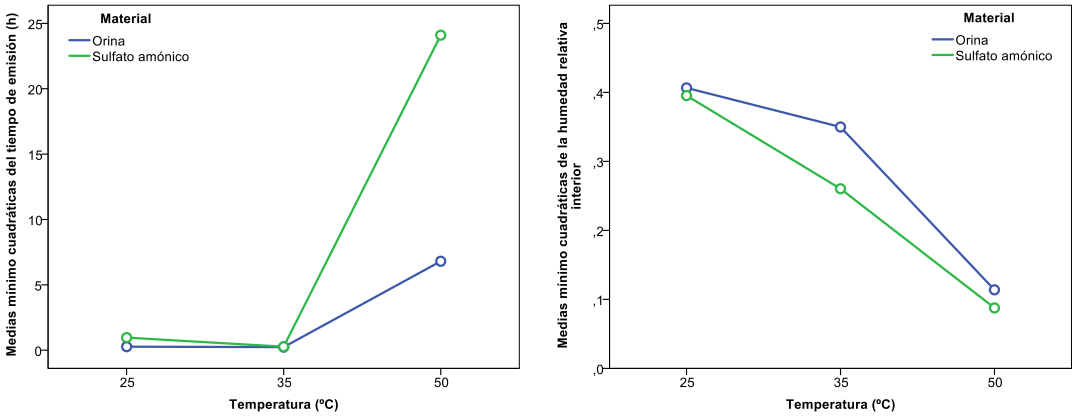


Figura 1: Medias mínimo cuadráticas de los periodos de emisión en horas (izq.), y humedad relativa interior (dcha.), para los niveles de temperatura controlada según el material utilizado.

Los promedios de Humedad Relativa medida en las condiciones del ensayo fue significativamente menor cuando se utilizó Sulfato amónico (0,248) que cuando se utilizó orina (0,290). Adicionalmente, la Humedad Relativa media disminuyó significativamente conforme aumentó la temperatura control [25 °C: 0,401c; 35 °C: 0,305b; y 50 °C: 0,101a] (véanse Tabla 2 y Figura 1 dcha.). La interacción de ambos factores: material y temperatura control no mostró diferencias significativas. Una elevada humedad relativa está directamente relacionada con las afecciones respiratorias ovinas (Brogden et al. 1998; Lacasta et al. 2008), observándose aquí que, en conjunto, las emisiones de la orina

generaron un 4% más de humedad que las del sulfato amónico, pero a 35 °C, temperatura frecuente en muchos cebaderos españoles, las diferencias alcanzaron el 9%.

El pico máximo promedio de las emisiones de NH_3 fue independiente del material utilizado (Orina: 3,389 ppm *vs.* Sulfato amónico: 4,396 ppm). Sin embargo, el pico máximo promedio de las emisiones de NH_3 aumentó significativamente según lo hizo la temperatura control [25 °C: 1,167a (ppm); 35 °C: 2,000a (ppm); y 50 °C: 8,510b (ppm)] (véanse Tabla 2 y Figura 2 izq.). La interacción de ambos factores: material y temperatura control no mostró diferencias significativas. Las cantidades pico emitidas, con esta carga ganadera, están por debajo de las 10 ppm, observadas durante el 90% del tiempo de control en cebaderos comerciales por García-Ramos et al. (2007) y a las máximas obtenidas por Sevi et al. (2002) para todos los regímenes de ventilación que utilizaron.

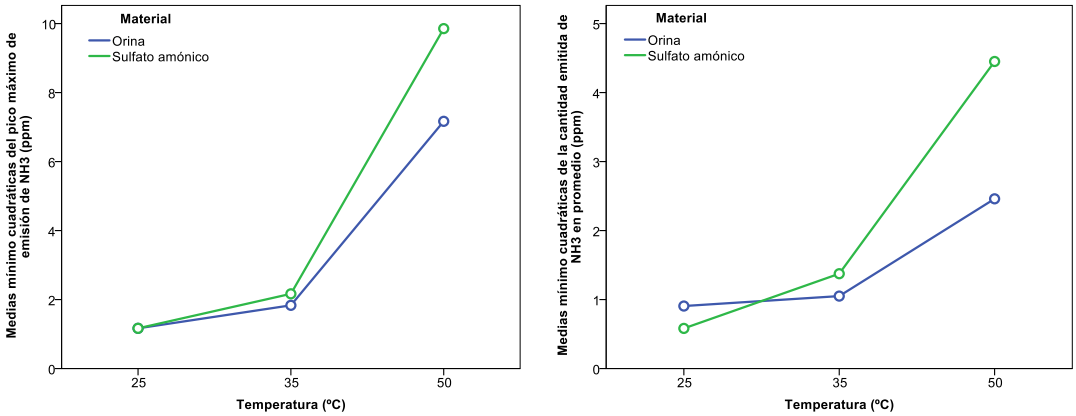


Figura 2: Medias mínimo cuadráticas del pico máximo de emisión de NH_3 (izq.), y del nivel promedio de las emisiones de NH_3 (dcha.), para los niveles de temperatura controlada según el material utilizado.

El promedio de emisiones de amoniaco durante el ensayo fue independiente del material utilizado (Orina: 1,472 ppm *vs.* Sulfato amónico: 2,136 ppm). No obstante, el promedio de emisiones durante el ensayo aumentó significativamente conforme lo hizo la temperatura [25 °C: 0,744a (ppm); 35 °C: 1,213ab (ppm); y 50 °C: 3,455b (ppm)] (véanse Tabla 2 y Figura 2 dcha.). La interacción de ambos factores: material y temperatura control no mostró diferencias significativas.

La cantidad total emitida de amoniaco, en conjunto, casi difirió significativamente según el material utilizado (Orina: 1.298,965 ppm *vs.* Sulfato amónico: 13.008,956 ppm). El aumento de la temperatura, especialmente a partir de los 35 °C, provocó un aumento significativo de la cantidad de amoniaco emitido, particularmente manifiesto en el caso del Sulfato amónico [25 °C: 154,115a (ppm); 35 °C: 126,010a (ppm); y 50 °C: 21.181,757b (ppm)] (véanse Tabla 2 y Figura 3 izq.). La interacción de ambos factores: material y temperatura control manifestó unas diferencias casi significativas. A pesar de la evidente diferencia observable entre ambos materiales, para la temperatura de 50 °C, la variabilidad de las observaciones obstaculizó alcanzar el umbral de significación.

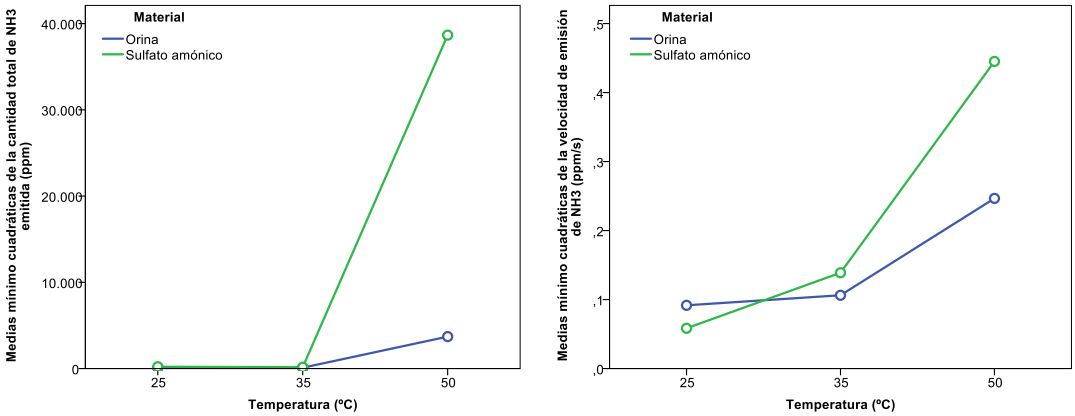


Figura 3: Medias mínimo cuadráticas de la cantidad total emitida de NH_3 (izq.), y de la velocidad de las emisiones de NH_3 (dcha.), para los niveles de temperatura controlada según el material utilizado.

La velocidad de emisión de amoniaco fue independiente del material utilizado (Orina: 0,148 ppm/s *vs.* Sulfato amónico: 0,214 ppm/s). Ahora bien, conforme aumenta la temperatura, aumenta significativamente la velocidad de emisión [25 °C: 0,075a (ppm/s); 35 °C: 0,123ab (ppm/s); y 50 °C: 0,346b (ppm/s)] (véanse Tabla 2 y Figura 3 dcha.). La interacción de ambos factores: material y temperatura control no mostró diferencias significativas.

La humedad acumulada en la cama tras el ensayo fue significativamente mayor cuando se utilizó orina que cuando se utilizó sulfato amónico (Orina: 0,279 *vs.* Sulfato amónico: 0,264). La humedad retenida por la cama aumentó significativamente según lo hizo la temperatura [25 °C: 0,266a; 35 °C: 0,274b; y 50 °C: 0,274b] (véase Tabla 2). La interacción de ambos factores: material y temperatura control, no mostró diferencias significativas. Por tanto, la humedad de la cama podría suponer un reservorio latente de humedad, cuya evaporación, aumentará la humedad relativa interior que, en combinación con las altas temperaturas, dificulta el intercambio de calor de los animales con el ambiente, aumentando su estrés y, con ello, su predisposición al síndrome respiratorio (Caulfield et al. 2014).

En cuanto a las variables relativas a las emisiones de amoníaco, no se observaron diferencias entre la orina de ovino y el sulfato amónico. No obstante, a partir de los 35 °C, parece que el comportamiento de ambos materiales difirió notablemente (véanse Tabla 2 y Figuras 2 y 3) sin alcanzar niveles significativos. Mientras que la temperatura tuvo un efecto significativo para todas la variables de interés.

4. Conclusiones

En principio parece que el aumento de la temperatura está relacionado con una menor humedad relativa, con un pico máximo de emisiones de amoníaco, y la cantidad total y promedio de éstas con una mayor velocidad en su propagación al ambiente.

La orina está implicada en una mayor humedad relativa interior y residual en la cama.

Las emisiones de amoníaco son de más duración y cantidad total cuando se utiliza sulfato amónico que las de la orina. Sin embargo, la cantidad máxima emitida, el promedio y la velocidad de emisión de amoníaco no son diferentes entre ambas sustancias.

La cantidad media, total y velocidad de las emisiones de amoníaco no han sido bien determinadas mediante modelos lineales. Parece recomendable estudiarlos con modelos no lineales que describan con mayor precisión los parámetros que mejor los determinan.

El aumento de la temperatura provoca un aumento significativo de las emisiones de amoníaco.

Agradecimientos

Los ensayos de laboratorio fueron financiados por el proyecto LAMBEST 20100144, del CDTI y Carnes Oviaragón SCL; y se llevaron a cabo en las instalaciones de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Zaragoza.

Bibliografía

AOAC. 2012. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. Maryland, USA: Association of Analytical Communities.

Brogden, K. A., H. D. Lehmkuhl, and R. C. Cutlip. 1998. Pasteurella haemolytica complicated respiratory infections in sheep and goats. *Vet Res* 29:233-254.

Caulfield, M. P., H. Cambridge, S. F. Foster, and P. D. McGreevy. 2014. Heat stress: A major contributor to poor animal welfare associated with long-haul live export voyages. *The Veterinary Journal* 199:223-228.

García-Ramos, F. J., E. Horcas, and L. M. Lahera. 2007. Condiciones ambientales en cebaderos de corderos. *Mundo Ganadero* 201:38-43.

Gerber, P. J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci, and G. Tempio. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 139 p.

Gilmour, N. J. 1978. Pasteurellosis in sheep. *The Veterinary record* 102:100-102.

Lacasta, D., L. M. Ferrer, J. J. Ramos, J. M. González, and M. De las Heras. 2008. Influence of climatic factors on the development of pneumonia in lambs. *Small Ruminant Research* 80:28-32.

María, G. A., G. Miranda, L. Rivero, S. García, G. Chacón, S. Alierta, and M. Villarroel. 2007. Efecto del transporte y de la estación del año sobre el bienestar animal en corderos comerciales tipo ternasco. *In:* A. Abecia, M. J. Alcalde, J. Cifre and A. Rigo (eds.). XXXII Jornadas Científicas y XII Jornadas Internacionales de Ovinotecnia y Caprinotecnia. Mallorca, Spain: SEOC. p. 189-192.

McIlroy, S. G., E. A. Goodall, R. M. McCracken, and D. A. Stewart. 1989. Rain and windchill as factors in the occurrence of pneumonia in sheep. *The Veterinary record* 125:79-82.

Nash, M. L., L. L. Hungerford, T. G. Nash, and G. M. Zinn. 1997. Risk factors for respiratory disease mortality in lambs. *Small Ruminant Research* 26:53-60.

Owen, J. B. 1994. Pollution in Livestock Production Systems - an Overview. *In:* I. A. Dewi, R. F. E. Axford, I. F. M. Marai and H. Omed (eds.). Pollution in Livestock Production Systems. Wallingford, UK: CAB International. p. 1-15.

Ruiz, M., D. Lacasta, L. M. Ferrer, J. J. Ramos, J. M. González, L. Figueras, M. C. Sucupira, M. De las Heras, S. Congost, and F. Abad. 2009. Influencia de las condiciones ambientales de las instalaciones ganaderas en el desarrollo del síndrome respiratorio del cordero. *Informaciones Técnicas. Gobierno de Aragón* 204:1-12.

Sevi, A., M. Albenzio, G. Annicchiarico, M. Caroprese, R. Marino, and L. Taibi. 2002. Effects of ventilation regimen on the welfare and performance of lactating ewes in summer1. *Journal of Animal Science* 80:2349-2361.

Sevi, A., M. Albenzio, A. Muscio, D. Casamassima, and P. Centoducati. 2003. Effects of litter management on airborne particulates in sheep houses and on the yield and quality of ewe milk. *Livestock Production Science* 81:1-9.

Street, J. C., J. E. Butcher, and L. E. Harris. 1964. Estimating Urine Energy from Urine Nitrogen. *Journal of Animal Science* 23:1039-1041.

Walker, D. M., and L. J. Cook. 1967. Nitrogen balance studies with the milk-fed lamb: 4. Effect of different nitrogen and sulphur intakes on live-weight gain and wool growth and on nitrogen and sulphur balances. *British Journal of Nutrition* 21:237-256.

Walker, D. M., and G. J. Faichney. 1964a. Nitrogen balance studies with the milk-fed lamb: 1. Endogenous urinary nitrogen, metabolic faecal nitrogen and basal heat production. *British Journal of Nutrition* 18:187-200.

Walker, D. M., and G. J. Faichney. 1964b. Nitrogen balance studies with the milk-fed lamb: 2. The partition of urinary nitrogen and sulphur. *British Journal of Nutrition* 18:201-207.

Walker, D. M., and G. J. Faichney. 1964c. Nitrogen balance studies with the milk-fed lamb: 3. Effect of different nitrogen intakes on growth and nitrogen balance. *British Journal of Nutrition* 18:295-306.

Wassmuth, R. 2003. Keeping beef cattle and sheep outdoors in winter. *Dtsch Tierarztl Wochenschr* 110:212-215.

Potencial fertilizante da cama de frangos submetidos a diferentes dietas e distintos ambientes térmicos

Fabiano José de Brito Gomes[1]; Cecília de Fátima Souza Ferreira[2]; Kelle Pardim de Oliveira[3]

Ilda de Fátima Ferreira Tinôco[4]

[1] Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Centro de Ciências Agrárias, UFV, Viçosa - MG, fabiano.brito@ufv.br
[2] DEA/UFV, Viçosa –MG, cfsouza@ufv.br
[3] DEA/UFV, Viçosa – MG, kelle.oliveira@ufv.br
[4] DEA/UFV, Viçosa – MG, iftinoco@ufv.br

Resumo

O ambiente no qual a cama aviária está inserida determina sua qualidade. Vários fatores influenciam a composição física e química da cama de frango, como a composição da ração ofertada, temperatura do ar e da cama, densidade de alojamento, material da cama, umidade do ar e ventilação do galpão.

Objetivou-se com o presente trabalho, caracterizar e analisar a variação de componentes fertilizantes da cama aviária de maravalha utilizada na criação de frangos de corte submetidos a distintas temperaturas e diferentes dietas. Foram utilizadas duas temperaturas, uma de termoneutralidade e outra de estresse cíclico por calor. Para cada condição térmica, as aves foram submetidas a quatro níveis de energia metabolizável.

Para análises laboratoriais, foram coletadas amostras compostas das camas. Para análise estatística, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4x3 (Condições térmicas x Níveis de energia metabolizável x semanas de vida das aves). Foram avaliadas as características: concentração de nitrogênio amoniacal e total, fósforo e potássio. Observou-se que houve uma tendência da concentração de nitrogênio total aumentar, o que foi atribuído ao fato da cama ser mantida *in loco* ao longo do ciclo e à variação na dieta em função da idade das aves. Houve interferência direta do nível de energia metabolizável da ração na concentração de fósforo e apenas o fator tempo interferiu na variação da concentração de potássio. Concluiu-se que nas duas condições de temperatura, o aumento do nível de energia metabolizável na ração proporcionou efeitos distintos nas características da cama aviária. Esse resultado é fundamental na escolha de técnicas de manejo do microambiente interno dos aviários com vistas ao bem-estar dos animais e melhor aproveitamento dos resíduos gerados.

Palavras-chave: Ambiência, avicultura, conforto térmico, construções rurais, manejo de resíduos.

Potential for fertilizing of litter for poultry submitted to different diets and different thermal environments

Abstract

The environment in which the poultry litter is inserted determines its quality. Several factors influence the physical and chemical composition of the litter, such as ration composition, air and bed temperature, housing density, bedding material, air humidity and ventilation of the facility.

The objective of this work was to characterize and analyze the variation of fertilizer components of the wood shavings litter used in the production of broilers submitted to different temperatures and different diets. Two temperatures were used, one of thermoneutrality and the other of cyclic stress by heat. For each thermal condition, the birds were submitted to four levels of metabolizable energy.

For laboratory analysis, composite samples of the litter were collected. For statistical analysis, the experimental design was completely randomized, in a 2x4x3 factorial scheme (Thermal conditions x levels of metabolizable energy x weeks of bird life). The following characteristics were evaluated: concentration of ammonia and total nitrogen, phosphorus and potassium. It was observed that there

was a tendency for the total nitrogen concentration to increase, which was attributed to the fact that the litter was kept on site throughout the cycle and to the variation in the diet as a function of the age of the birds. There was a direct interference of the level of metabolizable energy of the ration in the concentration of phosphorus and only the time interfered in the variation of the potassium concentration. It was concluded that in the two temperature conditions, the increase in the level of metabolizable energy in the ration provided different effects on the characteristics of the litter. This result is fundamental in the choice of techniques of management of the internal microenvironment of the facilities, aiming the welfare of the animals and better use of the generated residues.

Keywords: Ambience, poultry production, thermal comfort, farm buildings, waste management.

1. Introdução

Na avicultura comercial do Brasil o sistema de criação de frangos de corte sobre camas tem sido o mais utilizado. A cama aviária, conhecida também pelo termo inglês “litter” é, a mistura de um material vegetal absorvente com fezes, ração, penas, secreções e descamações da pele, sobre o qual as aves são instaladas e ficam durante o ciclo produtivo. O material vegetal pode ser maravalha de pinus ou eucalipto, cascas de café ou arroz, dentre outros (Kelley et al., 1996; Liang et al., 2013).

A cama de aviário tem como função absorver a urina, reter penas, água, descamação da pele, restos de ração e incorporar as fezes. Evita que os frangos de corte tenham contato direto com o piso e contribui para a regulação da temperatura no aviário (Avila et al., 1992). Segundo Konzen (2003), em 42 dias de criação, um frango de corte gera cerca de 1,75 kg de cama. Projetando-se para o plantel atual, observa-se que o volume total desse resíduo é extremamente vultuoso, sendo necessário adotar corretas ações de manejo.

Visando analisar as características da cama aviária para definição da destinação adequada, vários estudos têm sido realizados. Oliveira (2005) avaliou as características da cama e desempenho de frangos de corte, criados em diferentes densidades populacionais e tipos de cama. Fukayama (2008) caracterizou quantitativamente e qualitativamente a cama de frango sob diferentes reutilizações e avaliou seus efeitos na produção de biogás e biofertilizante. Zapata (2011) caracterizou e avaliou o potencial fertilizante de dois tipos de cama de frango (maravalha e casca de café), submetidas a reúsos sequenciais na zona da mata do estado de Minas Gerais, com base nos valores de pH, umidade, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e carbono orgânico total. No entanto, não existem estudos que caracterizam química e fisicamente a cama de frangos submetida a variações de temperatura do ar, ocorrência que é comum nos processos de acondicionamento de ambiente das instalações. A associação com diferentes níveis de energia metabolizável fornecidos via ração, que pode gerar excretas diferenciadas, também não foi investigada. Assim, o que se propõe com o presente trabalho é a caracterização da cama aviária utilizada para frangos submetidos a diferentes condições de ambiente térmico e distintos níveis de energia metabolizável na ração, com vistas à sua aplicação como fertilizante.

2. Material e Métodos

2.1. Considerações Gerais

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, mais precisamente no Núcleo de Pesquisa em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindústrias (AMBIAGRO), da área de Construções Rurais e Ambiência do Departamento de Engenharia Agrícola, na cidade de Viçosa, Minas gerais. Foi realizado em quatro câmaras climáticas já instaladas no local.

Cada câmara climática possui as dimensões de 2,5 x 3,5x 2,5 m (respectivamente, altura, comprimento e largura), sendo que cada uma é equipada com um aquecedor de ar de resistência elétrica (com 2.000 W de potência), um condicionador de ar do tipo “split” quente/frio, de 12.000

BTU/h e um umidificador de ar, com capacidade de 4,5 L e débito de névoa (valor médio) de 300 ml por hora.

O aquecedor e o umidificador foram operados por controlador eletrônico MT-531 R i plus de temperatura e umidade (temperatura de controle-10 a 70.0°C, com resolução de 0,1°C; Umidade de controle 20 a 85% UR, com resolução de 0,1%UR).

A ventilação no interior das câmaras climáticas foi obtida de exaustores axiais, A.M.B, Modelo FD 08025S1M DC 12 V 0,15A, com acionamento automático, durante todo o período de duração do experimento.

2.2. Instrumentação e Medições

O experimento foi conduzido na fase final de criação, entre o 21° a 42° dias de vida das aves, período este classificado como fase de terminação ou engorda. Os frangos de corte utilizados foram da linhagem Cobb, todos machos e de um mesmo lote de criação.

Utilizou-se 280 animais distribuídos em gaiolas as quais possuem as seguintes dimensões: 1,0 m de largura x 0,5 m de profundidade x 0,5 m de altura, sendo 7 aves em cada gaiola, densidade de 14 aves por metro quadrado, conforme utilizado em campo.

Durante todo o período experimental, as aves permaneceram sobre cama de maravalha na espessura de 5 cm. O revolvimento da cama aviária ocorreu diariamente a fim de oferecer melhores condições de higiene aos frangos.

Foram utilizadas duas condições térmicas, uma representativa da situação de conforto térmico (T1) e a outra em estresse cíclico por calor (T2), conforme determinado por Cassuce (2013). Na condição T1 as aves foram submetidas a temperatura de 25°C, durante 24 horas por dia em todo o período experimental. Para condição T2, as aves foram submetidas a 12 horas de estresse calórico, de 7:00 às 19:00 horas, na temperatura de 31°C, e a outras 12 horas na condição de conforto térmico, temperatura de 25°C. A umidade relativa do ar (UR) foi controlada e mantida durante o período experimental em ambas as condições térmicas, na faixa de 55 a 65%, por meio do sistema automatizado presente nas câmaras climáticas.

Os tratamentos foram gerados pela combinação entre duas condições térmicas ambientais (temperatura de estresse e temperatura de conforto térmico) impostas durante o dia e temperatura de conforto térmico à noite e os distintos níveis de energia metabolizável da ração. Cada um desses tratamentos foi aplicado em uma câmara climática, considerando-se duas repetições de cada, resultando na utilização de quatro câmaras climáticas.

Para cada condição térmica imposta, as aves foram submetidas a diferentes dietas, formuladas de forma a proporcionar diferentes níveis de energia metabolizável. Os tratamentos foram divididos em quatro parcelas, sendo cada parcela uma gaiola com 7 aves, às quais foram fornecidas rações com quatro diferentes níveis de energia metabolizável, sendo definidas como R1 de 3050 kcal/kg, R2 de 3125 kcal/kg, R3 de 3200 kcal/kg e R4 de 3275 kcal/kg com cinco repetições cada. As rações foram formuladas, utilizando o Software Supercrac Premium, que é um sistema para formulação de rações de baixo e máximo desempenho produtivo para diversas espécies de animais. Foram também, consideradas as recomendações nutricionais propostas por Rostagno et al. (2011) para os demais nutrientes.

2.3. Manejo e Coleta dos Dados

As amostras de cama aviária foram coletadas uma vez por semana ao longo das três semanas, o que corresponde a todo período experimental. As amostras de cama aviária foram coletadas nas bandejas de depósito de resíduos das gaiolas, instaladas debaixo das gaiolas. A cama aviária foi revolvida e posteriormente ocorreu a coleta de uma amostra composta resultante de cinco gaiolas

referentes a um nível de energia metabolizável em cada condição térmica imposta, totalizando assim quatro amostras por tratamento. A coleta foi feita a cada 7 dias, durante todo o experimento, que durou 3 semanas. Foram acondicionadas em sacos de polietileno de 15 cm de largura x 25 cm de comprimento e identificadas. Logo após a coleta, foram levadas para posterior análise em laboratório. Para a realização das análises de caracterização da cama aviária de maravalha retirou-se de cada amostra composta, duas sub amostras utilizadas para a análise. A caracterização das amostras de cama aviária de maravalha, por tratamento, foi realizada com base nos resultados das seguintes análises: concentração de nitrogênio amoniacal e total, fósforo e potássio. No total, foram coletadas 24 amostras compostas, e de cada amostra, foram retiradas duas sub amostras utilizadas para a análise. Portanto foram obtidos 48 resultados referentes às sub amostras analisadas.

2.4. Caracterização da cama aviária e análises estatísticas

A concentração do nitrogênio amonical foi determinada segundo o método Kjeldahl, apresentado em APHA (2012), e a concentração do nitrogênio total foi determinada segundo o mesmo autor. As concentrações de potássio e fósforo das amostras foram determinadas de acordo com metodologia proposta por MATOS (2011).

O experimento foi instalado em um esquema fatorial, sendo duas condições térmicas (25°C e 31°C - 25°C), 4 níveis de energia metabolizável (3050 kcal/kg, 3125 kcal/kg, 3200 kcal/kg e 3275 kcal/kg), 3 idades (28, 35 e 42 dias). Para o estudo das variáveis utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram analisados por meio de análise de regressão, na qual os modelos foram escolhidos, baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste 't' ao nível de 5% de probabilidade e no coeficiente de determinação. Para a escolha do melhor modelo, foi adotado o seguinte:

$$Y= \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 A^2 + \beta_3 B + \beta_4 C + \beta_5 AB + \beta_6 AC + \beta_7 BC + \varepsilon \qquad \text{(Equação 1)}$$

Em que: A = Condição térmica; B = Nível de energia metabolizável; C = Idade das aves.

3. Resultados e Discussão

3.1. Nitrogênio Total e Amoniacal

Para a variável nitrogênio total foi verificado efeito significativo apenas do fator idade das aves. Para as condições térmicas impostas e os níveis de energia metabolizável proposto e suas interações, não foi encontrado efeito significativo (P>0,05) durante as três semanas do experimento. Para a variável nitrogênio amoniacal não foi verificado efeito significativo (P>0,05) de nenhuma das diferentes condições térmicas, níveis de energia metabolizável e idade das aves. As interações dentes fatores também não apresentaram efeito significativo (P>0,05), durante as três semanas do experimento. Nas Tabelas 1 e 2, estão apresentados os valores médios de concentração de nitrogênio total e amoniacal na condição térmica 1 (25°C) e na condição térmica 2 (25°C-31°C) respectivamente, para os diferentes níveis de energia metabolizável na ração ao longo das três semanas finais de vida das aves. Nas Figuras 1 e 2, estão representados os valores médios pontuais e o ajuste por meio de equação de regressão para esses mesmos parâmetros.

Pode-se observar, com base na Figura 1 que, à medida que o experimento foi acontecendo, durante as três semanas, houve uma tendência da concentração de nitrogênio total aumentar. Este fato era esperado, visto que a tendência para esta variável é aumentar. Albino e Barreto (2003) observaram concentração média de nitrogênio em excretas de codorna de 44,4 g/Kg, valor acima dos aqui encontrados. Com o acúmulo de excretas ao longo do tempo, também aumenta essa concentração na cama aviária. Pode- se observar um aumento de 15,59% para a concentração de nitrogênio total de acordo com o aumento de idade das aves. Observa-se o valor mínimo de 24,878 (g/kg), na condição térmica de 25°C e nível de energia metabolizável de 3050 (kcal/kg). O valor máximo

atingido foi de 37,397 (g/kg) sob condição térmica de 25°C e nível de energia metabolizável de 3125 (kcal/kg).

Tabela 1. Valores médios de concentração de nitrogênio total na condição térmica 1 (25°C) e na condição térmica 2 (25C-31°C), para os diferentes níveis de energia metabolizável na ração ao longo das três semanas finais de vida das aves

(25°C)				(25°C - 31°C)			
Nível de Energia Metabolizável	**Nitrogênio Total (g/kg)**			**Nível de Energia Metabolizável**	**Nitrogênio Total (g/kg)**		
	28 dias	**35 dias**	**42 dias**		**28 dias**	**35 dias**	**42 dias**
3050 kcal/kg	24,878	33,667	33,279	**3050 kcal/kg**	28,968	32,740	31,821
3125 kcal/kg	29,448	35,458	37,397	**3125 kcal/kg**	27,189	30,644	30,878
3200 kcal/kg	30,373	36,920	34,824	**3200 kcal/kg**	27,712	32,260	32,340
3275 kcal/kg	31,347	31,355	32,014	**3275 kcal/kg**	32,690	36,292	36,324
Média	29,012	34,350	34,379	**Média**	29,140	32,984	32,841

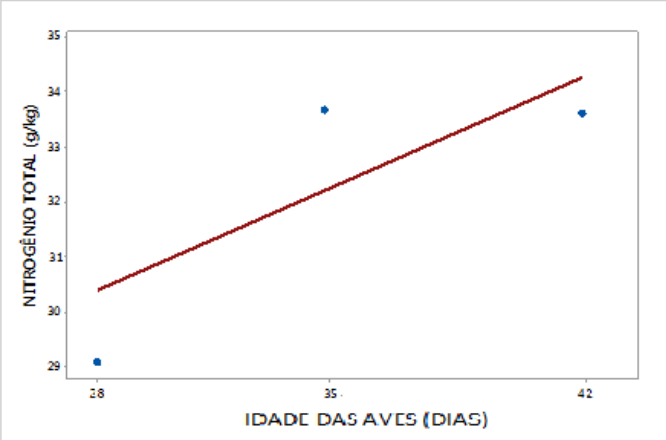


Figura 1: Variação pontual da concentração de nitrogênio total na cama aviária ao longo do tempo (idade das aves), e estimada de acordo com a equação ajustada por meio da análise de regressão.

As aves excretam mais nitrogênio quando o ambiente em que elas se encontram sofre diminuição da temperatura. Isso pode ser devido ao fato das aves aumentarem a ingestão de nitrogênio via ração (FARIA FILHO et al., 2007). Observa-se que a maior média aconteceu no 21° dia, sob condição de conforto térmico, apesar do fator "condição térmica" não ter diferido estatisticamente pelo teste 't' ao nível de 5% de probabilidade. Zapata (2011), ao estudar as características de cama de frango de maravalha e de casca de café, encontrou valores de concentração de nitrogênio total Kjeldahl de 20 (g/kg) para cama de casca de café e 17 (g/kg) para cama de maravalha, aos 42 dias de idade de frangos de corte, menores do que os verificados no presente trabalho.

Santos (1997), estudou os teores de macro nutrientes em três tipos de cama aviária (napier, mistura de napier + maravalha e maravalha) após dois ciclos de criação. Foi constatado (P<0,01), aumento de alguns nutrientes à medida da reutilização das camas. Houve aumento de 20% na concentração de fósforo, 38% na de nitrogênio, 6% na de magnésio, 12% na de cálcio e 6% na de potássio. Esse autor concluiu que seria viável a reutilização da cama aviária, visando aumentar a concentração de nitrogênio, para utilizá-la como adubo orgânico.

De acordo com a Figura 2, a média geral da concentração de nitrogênio amoniacal na cama, durante as três semanas finais de vida das aves foi de 3,773 (g/kg).

Tabela 2. Valores médios de concentração de nitrogênio amoniacal na condição térmica 1 (25°C) e na condição térmica 2 (25°C-31°C), para os diferentes níveis de energia metabolizável na ração ao longo das três semanas finais de vida das aves

(25°C)				(25°C - 31°C)			
Nível de Energia	**Nitrogênio Amoniacal (g/kg)**			**Nível de Energia**	**Nitrogênio Amoniacal (g/kg)**		
Metabolizável	**28 dias**	**35 dias**	**42 dias**	**Metabolizável**	**28 dias**	**35 dias**	**42 dias**
3050 kcal/kg	1,440	2,785	2,559	**3050 kcal/kg**	2,769	3,261	1,881
3125 kcal/kg	1,290	2,919	1,386	**3125 kcal/kg**	8,313	8,381	2,607
3200 kcal/kg	2,564	3,261	3,386	**3200 kcal/kg**	5,344	4,792	4,733
3275 kcal/kg	5,517	7,453	4,182	**3275 kcal/kg**	3,362	3,103	3,256
Média	2,702	4,104	2,878	**Média**	4,946	4,884	3,119

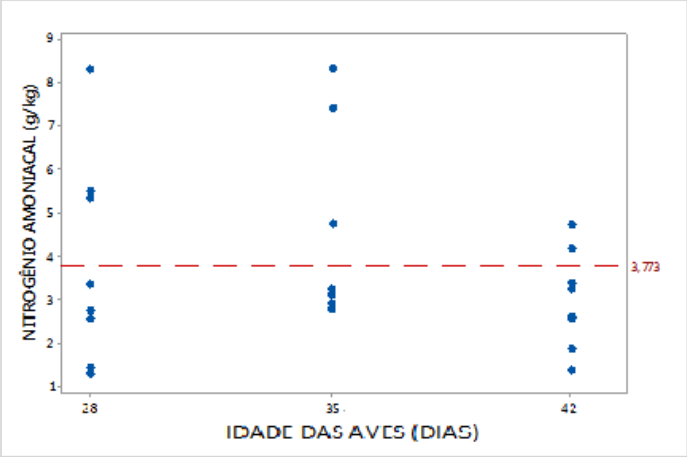


Figura 2. Média geral das concentrações de nitrogênio amoniacal na cama aviária, ao longo das três semanas finais de vida das aves.

A maior concentração de nitrogênio amoniacal foi de 8,381 (g/kg) na condição térmica (31°C - 25°C) e nível de energia metabolizável 3125 (g/kg), aos 35 dias de vida das aves, e a menor concentração foi de 1,290 (g/kg) na condição térmica de 25°C e nível de energia metabolizável 3125 (kcal/kg), aos 28 dias de vida das aves. Santos (2009) encontrou concentrações de 4,19 g/kg de nitrogênio amoniacal em cama de casca de café, aos 42 dias de criação de frangos, com densidade de 11 aves.m^{-2}. Mesmo que parecidos, no presente trabalho foram encontrados valores maiores de concentração de nitrogênio amoniacal na cama, para os níveis mais altos de energia metabolizável, aos 42 dias de vida das aves. Essa variação pode ter sido devida ao próprio material da cama utilizada, maravalha de madeira, e também à maior densidade de ocupação, 14 aves.m^{-2}.

3.2. Fósforo

O fator nível de energia metabolizável teve efeito significativo sobre a concentração de fósforo na cama aviária. Os fatores tempo e condição térmica imposta e suas interações não apresentaram efeitos significativos em tal concentração. Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios de concentração de fósforo na condição térmica 1 (25°C) e na condição térmica 2 (25°C-31°C), para os diferentes níveis de energia metabolizável na ração ao longo das três semanas finais de vida das aves.

Tabela 3. Valores médios de concentração de fósforo total na cama, na condição térmica 1 (25°C) e na condição térmica 2 (25°C-31°C), para os diferentes níveis de energia metabolizável na ração ao longo das três semanas finais de vida das aves

(25°C)				(25°C- 31°C)			
Nível de Energia Metabolizável	**Fósforo Total (g/kg)**			**Nível de Energia Metabolizável**	**Fósforo Total (g/kg)**		
	28 dias	**35 dias**	**42 dias**		**28 dias**	**35 dias**	**42 dias**
3050 kcal/kg	4,100	5,190	5,756	**3050 kcal/kg**	5,812	5,672	6,046
3125 kcal/kg	6,602	6,668	5,740	**3125 kcal/kg**	5,229	4,995	4,295
3200 kcal/kg	4,489	6,875	6,668	**3200 kcal/kg**	5,384	7,719	6,902
3275 kcal/kg	5,813	6,525	6,851	**3275 kcal/kg**	7,914	7,563	8,035
Média	5,251	6,314	6,253	**Média**	6,084	6,487	6,319

Na Figura 3, está representada a variação da concentração de fósforo total na cama, de acordo com nível de energia metabolizável da ração, e a reta ajustada por meio da análise de regressão.

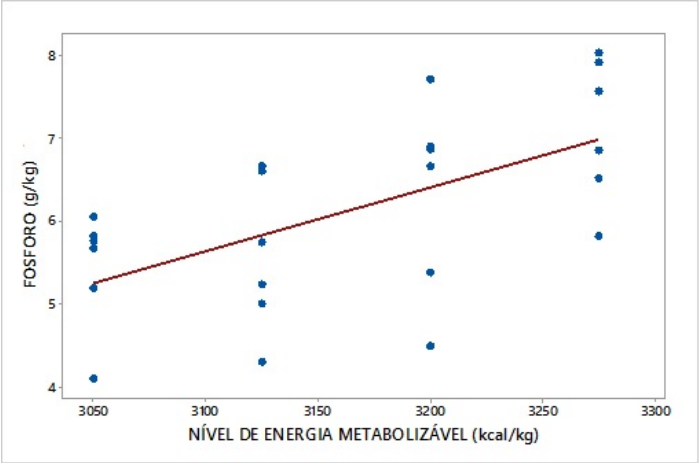


Figura 3. Variação da concentração de fósforo total na cama, de acordo com nível de energia metabolizável da ração, e reta ajustada por meio da análise de regressão.

Com base na Tabela 3 e na Figura 3, pode-se observar que houve influência dos diferentes níveis de energia metabolizável sobre a concentração de fósforo na cama aviaria. Quanto maior o nível de energia metabolizável consumido pelas aves, pôde-se notar maior concentração de fósforo na cama, principalmente nos últimos dias de vida das aves, o que é reforçado pelo modelo de regressão proposto. O valor mínimo de 4,100 (g/kg) foi encontrado aos 28 dias de idade das aves, na condição térmica de 25°C com nível de energia metabolizável de 3050(kcal/kg) e o máximo de 8,035 (g/kg), aos 42 dias, na condição térmica variável de 31°C - 25°C com nível de energia metabolizável de 3275 (kcal/kg). O aumento foi de 30,95% na concentração de fósforo, com o aumento do nível de energia metabolizável na ração.

De acordo com Belay & Teeter (1996), as aves submetidas a condições de ambiente térmico com temperaturas mais elevadas excretam maior quantidade de nutrientes em relação às submetidas ao conforto térmico. Entre eles, destaca-se o sódio, enxofre, manganês, magnésio, fósforo e potássio. No presente trabalho, porém, o fator condição térmica e suas interações não interferiram significativamente (P>0,05) na concentração de fósforo na cama.

Segundo Nicholson et al. (1996), as excretas de frango de corte possuem concentração média de fósforo em torno de 18 (g/kg), bem acima dos aqui verificados. Segundo Laurentiz et al. (2009), o fósforo e o cálcio são os nutrientes mais importantes para as aves, pois estão relacionados tanto com

a mineralização óssea quanto com o crescimento das mesmas. Sendo assim, na formulação das rações, para atender as diferentes fases, busca-se adicionar ingredientes que forneçam esses minerais. Isso faz com que os mesmos sejam eliminados nas excretas. Logo, era esperado esse aumento da concentração de fósforo ao longo do tempo de experimento, devido à sua interação com o nível de energia metabolizável, como apresentado na Tabela 1.

De acordo com (ROSTAGNO, 2005), é viável manter uma relação de cálcio/fósforo na ração, de 2:1, evitando que esses nutrientes cheguem a níveis elevados nas dietas de frangos de corte, pois haverá maior excreção do que não foi absorvido, ocasionando distúrbios ambientais, além de afetar o desempenho das aves. Com base nisso, é importante definir o destino adequado para a cama aviária.

3.3. Potássio

O fator idade das aves foi o único a ter efeito significativo sobre a variável concentração de potássio na cama. Para as condições térmicas impostas e os níveis de energia metabolizável propostos e suas interações, não foi encontrado efeito significativo (P>0,05) durante as três semanas do experimento. Na tabela 4 estão apresentados os valores médios de concentração de potássio na cama na condição térmica 1 (25°C) e na condição térmica 2 (25°C-31°C), para os diferentes níveis de energia metabolizável na ração ao longo das três semanas finais de vida das aves.

Tabela 4. Valores médios de concentração de potássio total na condição térmica 1 (25°C) e na condição térmica 2 (25°C-31°C), para os diferentes níveis de energia metabolizável na ração ao longo das três semanas finais de vida das aves

(25°C)				(25°C- 31°C)			
Nível de Energia Metabolizável	**Potássio Total (g/kg)**			**Nível de Energia Metabolizável**	**Potássio Total (g/kg)**		
	28 dias	**35 dias**	**42 dias**		**28 dias**	**35 dias**	**42 dias**
3050 kcal/kg	19,604	31,589	28,098	**3050 kcal/kg**	39,77	40,146	41,679
3125 kcal/kg	35,525	34,315	32,661	**3125 kcal/kg**	20,518	26,733	36,348
3200 kcal/kg	21,413	37,243	36,393	**3200 kcal/kg**	24,456	33,669	40,654
3275 kcal/kg	26,116	33,846	34,985	**3275 kcal/kg**	32,106	34,524	40,614
Média	25,664	34,248	33,034	**Média**	29,212	33,768	39,824

Na Figura 4, está representada a variação da concentração de potássio na cama, de acordo com a idade das aves, e a reta ajustada por meio da análise de regressão.

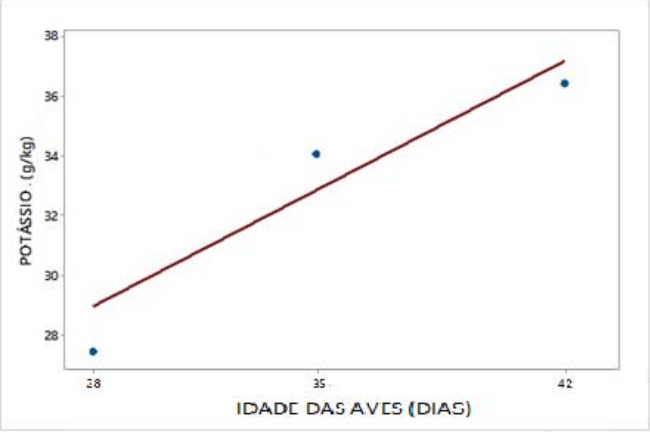


Figura 4. Variação da concentração de potássio na cama, ao longo do tempo (idade das aves), e reta ajustada por meio da análise de regressão.

Portanto, pode se observar a partir da Tabela 4 e da Figura 4 que durante as três semanas, houve uma tendência da concentração do potássio total aumentar. Pôde-se verificar valor mínimo de 19,604 (g/kg), sob a condição de conforto térmico 25°C e nível de energia metabolizável de 3050 (kcal/kg). O valor máximo atingido foi de 41,679 (g/kg), na condição térmica 2 (25°C-31°C), no nível mais baixo de energia metabolizável. O aumento na concentração de potássio foi de 32,76% com o aumento de idade das aves.

Segundo Borges (2003), a maior excreção de K+ em aves submetidas à temperaturas elevadas pode se dever ao fato de que ocorre maior ingestão de água, o que gera sua maior concentração na cama. Porém, não houve diferença estatística significativa na concentração de potássio por influência do tempo, de acordo com o teste "t" ao nível de 5% de probabilidade. Essa diferença discreta, pode ter ocorrido devido ao derramamento de ração pelas aves na cama aviária, visto que a mesma possui potássio em sua composição.

4. Conclusões

Com base no experimento conduzido e nos resultados obtidos, pôde-se concluir que o aumento do nível de energia metabolizável na ração de frangos de corte, na fase final de criação (21 aos 42 dias de idade), ocasionou aumento das concentrações de fósforo total na cama aviária.

Concentrações de Nitrogênio Total e Potássio Total na cama aumentaram com o passar do tempo ou com o aumento da idade das aves.

Com as concentrações de N, P e K verificadas no presente trabalho, pode-se afirmar que se trata de um material com potencial para ser aplicado em fertilização.

Pôde-se concluir que o aumento do nível de energia metabolizável na ração proporcionou efeitos distintos nas características da cama aviária de maravalha.

As características levantadas para o tipo estudado de cama aviária permitem o balizamento acerca das técnicas adequadas ao seu manejo e tratamento, visando minimização de impactos ambientais e daquelas de manejo do microambiente interno dos aviários com vistas ao bem-estar dos animais.

Bibliografia

Albino, L.F.T. and Barreto, S.L.T. 2003. *Criação de codornas para produção de ovos e carne*. Viçosa: Aprenda Fácil.

APHA., AWWA, WEF American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater***.** Washington, D.C, USA.

Belay, T. and Teeter, R.G. 1996. Effects of ambient temperature on broiler mineral balance partitioned into urinary and faecal loss. In *British Poultry Science*. 423-433.

Borges, S.A., Maiorka, A. and Silva, A.V.F. 2003. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. *Ciência Rural*. 975-981.

Fukayama, E.H. 2008. Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante**.** Ph.D. Thesis. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Kelley, T. R., Pancorbo, O. C., Merka, W. C. et al. 1996. Elemental concentrations of stored whole and fractionated broiler litter. *Journal of Applied Poultry Research*, 5:276-281.

Konzen, Egídio A. 2003. Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aviário. In *Informe Técnico V Seminário Técnico da Cultura de Milho EMBRAPA*. Videira.

Laurentiz, A.C., Junqueira, O.M, Filardi, R.S, Duarte, K.F., Assuena, V. and Sgavioli, S. 2009. Desempenho, composição, das tíbias, do fígado e das excretas de frangos de corte alimentados com rações contendo fitase e baixos níveis de fósforo. *Revista Brasileira Zootecnia*, 38:1938-1947.

Liang, W.-Z., Classen, J., Shah, S. et al. 2013. Ammonia fate and transport mechanisms in broiler litter. In *Water, Air, & Soil Pollution*, 1-9.

Matos, A. T. 2011. Prática de Poluição Ambiental. In *Caderno didático 40*. 29. Viçosa: DEA/UFV.

Nicholson, F.A., Chambers, B. J. and Smith, K. A. 1996. Nutrient composition of poultry manure in England an wales. *Bioresourse Technology*, 58:279- 284.

Oliveira. M. C., Bento. E. A., Carvalho. F. I. and Rodrigues.S. M. M. 2005. Características da cama e desempenho de frangos de corte criados em diferentes densidades populacionais e tipos de cama. *ARS Veterinária*. 21:303-310.

Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Donzele, J.L., et al. 2005. *Tabelas brasileiras para suínos e aves: composição de alimentos e exigências nutricionais*. Viçosa, MG: UFV/DZO.

Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Donzele J.L., Gomes, P.C., Oliveira, R.F., Lopes, D.C., Ferreira, A.S., Barreto, L.S.T. and Euclides, R.F. 2011. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.

Santos, T. M. B. dos. 1997. Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frangos de corte. 1997. MD Thesis. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Santos, R. C. 2009. Cama de casca de café tratada com condicionadores químicos e sua influência na qualidade do coxim plantar de frangos de corte. Ph.D Thesis. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Zapata, O. L. M. 2011. Caracterização e avaliação do potencial fertilizante e poluente de distintas camas de frango submetidas a reusos sequenciais na zona da mata do estado de Minas Gerais. MD Thesis. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Avaliação comportamental de suínos em terminação alojados em instalações com diferentes tipos de piso

Francine Aparecida Sousa[1], Vasco Fitas da Cruz[2], Daiane Cecchin[3], Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz[4], Pedro Ivo Sodré Amaral[5], Alessandro Torres Campos[6], Jaqueline Oliveira Castro[7], Giane Lima Nepomuceno[8]

[1] Secretaria de Agricultura de Aracruz (SEMAG), Prefeitura de Aracruz, Cep: 29192-733, Aracruz, Espirito Santo. francine.sousa@ymail.com

[2,] Departamento de Engenharia Rural, Polo da Mitra, Universidade de Évora, 7002-554, Évora, Portugal. vfc@uevora.pt

[3] Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental (TER) Universidade Federal Fluminense (UFF), Campus Praia Vermelha, Cep, 24.210-240, Niterói, Rio de Janeiro. daianececchin@id.uff.br;

[4 5 6 7 8] Departamento de Engenharia (DEG), Universidade de Federal de Lavras (UFLA) , Caixa Postal: 3037, Cep: 37200-000 (Campus Universitário) Lavras, Minas Gerais. pedroivosodre@gmail.com; campos@deg.ufla.br; patricia.ponciano@deg.ufla.br; jaqueline.castro@deg.ufla.br; gianelnepomuceno@gmail.com

Resumo

O objetivo do trabalho foi analisar o comportamento de suínos alojados em instalações com diferentes tipologias construtivas em relação ao piso. Foram avaliados dois tratamentos: baia com piso de lâmina d'água (LAM) e baia com piso parcialmente vazado (VAZ).

Os dados comportamentais foram divididos em: posição (em pé, sentado, deitado) e atividade (comendo, bebendo, fuçando, interagindo, andando e em ócio) por meio de aferição visual a cada 10 minutos (das 07:00 as 17:00 horas).

Foram feitas medições de dados ambientais, e os dados coletados foram utilizados para o calculado o indice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU).

Os comportamentos: em pé, deitado, sentado, bebendo, comendo, andando e interagindo não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as baias. Enttretanto houve deiferença para os comportamentos fuçando e em ócio.

As baias avaliadas apresentaram valores estatisticamente diferentes quanto à umidade relativa (UR) média e a temperatura ambiente, sendo a baia com lamina de água a que apresentou maior valor médio de umidade e a baia VAZ o maior valor de temperatura. No entanto a temperatura pode ser considerada como temperatura termoneutra.

Correlacionando os dados comportamentais com os dados ambientais conclui-se que os animais da baia LAM gastaram menos tempo em ócio e mais tempo na atividade fuçando possivelmente devido à influência das variáveis climáticas: UR, Tgn e ao enriquecimento ambiental causado pela presença da lâmina d'água.

Palavras-chave: Bem-estar animal, construções rurais, comportamento

Behavioral evaluation of finishing pigs housed in facilities with different types of floor

Abstract

The objective of this work was to analyze the behavior of pigs housed in facilities with different types of construction in relation to the floor. Two treatments were evaluated: pen with water depth (WDE) and pen with partially leveled floor (PAR).

The behavioral data were divided into: position (standing, sitting, lying) and activity (eating, drinking, chatting, interacting, walking and leisure) by means of visual check every 10 minutes (07:00 am to 17:00 pm).

Measurements of environmental data were made, and the data collected were used to calculate the Black Globe Temperature and Humidity Index (BGTH).

The behaviors: standing, lying, sitting, drinking, eating, walking and interacting did not present statistically significant differences between the pens. At the same time, there was a difference in the behaviors of idleness and idleness.

The evaluated pens presented statistically different values regarding the average relative humidity (RH) and the ambient temperature, with the pen with water depth having the highest average value of humidity and the pen PAR the highest temperature value. However the temperature can be considered as thermoneutral temperature.

Correlating the behavioral data with the environmental data, it was concluded that WDE pen animals spent less time on leisure and more time in the activity, possibly due to the influence of the climatic variables: RH, Temperature black globe and the environmental enrichment caused by the presence of the water depth.

Keywords: Animal Welfare, rural buildings, behavior

1. Introdução

A suinocultura brasileira tem evoluído muito nos últimos anos em sistemas de produção, nutrição, genética, sanidade, meio ambiente e mão-de-obra; porém ainda se torna necessário prestar uma atenção maior ao bem-estar animal (Veloni et al., 2013). Um vez que o conforto do suíno vem sendo alterado pela intensificação da produção, caracterizada pela restrição de espaço, movimentação e interação social, o que traz como consequência secundária o detrimento de seu conforto térmico, assim como da sua produtividade (Carvalho et al., 2013).

A definição de bem-estar é complexa e envolve vários fatores. Porém, é possível obter bem-estar positivo ao oferecer aos animais um ambiente de criação adequado, no qual ele possa expressar seus comportamentos naturais, ter longevidade e saúde, podendo assim expressar seu potencial produtivo máximo (Maia, et al., 2013).

A avaliação do bem-estar animal na exploração agropecuária pode envolver aspectos ligados ao manejo e ao ambiente e às instalações, tais como a distribuição de alimentação, possibilidade de movimentação, descanso, interação entre animais, temperatura, ventilação, luz, espaço disponível ou tipo de pavimento (Anil et al., 2002).

O ambiente térmico tem grande influência direta sobre o desempenho dos animais, altas temperaturas causam alterações no comportamento, nas respostas fisiologias, consequentemente afetam negativamente a produtividade dos suínos (Kiefer et al., 2009; Kiefer et al., 2010). Os autores Debreceni et al. (2014), afirmam que os suínos apresentam-se menos ativos quando expostos a temperaturas elevadas e nesses casos, recorrem a deitar-se em áreas frescas, preferencialmente em superfícies de piso.

O comprometimento do bem-estar resulta em retardo ou diminuição do ganho de peso, atraso no inicio da reprodução e pode até levar os animais à morte (Broom & Molento, 2004).

Neste contexto o objetivo do presente trabalho foi analisar o comportamento de suínos em terminação, alojados em duas com tipologias construtivas distintas.

2. Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em uma granja comercial de produção de suínos situada a 21º11’37” de latitude sul, 45º02’49’’ de longitude oeste e altitude média de 918 m, no município de Lavras/MG, no período de junho a setembro de 2014.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwa, ou seja, clima temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, subtropical (Dantas et al., 2007).

O sistema de criação avaliado foi de confinamento intensivo, onde os animais não tem acesso ao meio externo das instalações. Foi avaliado o comportamento dos suínos, sendo tomando os dados de 5 animais em cada baia.

Os animais foram alojados com peso médio de 28,69 kg (com lâmina d'água, LAM), 28,5 kg (com piso parcialmente vazado, VAZ), os animais permaneceram nas baias durante as fases de crescimento e terminação, apresentando peso final médio de 83,47 kg (LAM) e 87,67 kg (VAZ).

Os animais foram alojados em galpões de alvenaria, cobertos com telhas de fibrocimento, estruturas de sustentação em concreto armado, piso em concreto, com orientação leste-oeste. Cada baia foi equipada com dois comedouros automáticos e quatro bebedouros do tipo chupeta, sendo área de 72 m² (8 x 9m) cada e pé direito de 3 m, onde foram alojados 72 animais por baia. A baia LAM continha em uma das suas extremidades, um rebaixamento em seu piso, com 1 m de largura e 10 cm de profundidade, preenchido com água e nas extremidades divisórias em alvenaria de tijolos cerâmicos recoberta com uma camada de reboco pintada na cor branca, o piso era de concreto. A baia VAZ era dotada de divisórias feitas com cordoalhas e pé direito de 3 m, o piso era de concreto, com laterais de placas de concreto pré-moldadas vazadas.

Foram coletados sete dias de dados de comportamento dos suínos, analisando os comportamentos: posição: em pé, sentado, deitado, e as atividades: comendo, bebendo, fuçando, interagindo, andando e em ócio. Os dados foram coletados por meio de aferição visual a cada 10 minutos, (07:00 às 17:00 horas) em etograma.

Dados relativos ao conforto térmico ambiente nas baias e na parte externa foram coletados automaticamente, com o uso de *dataloggers* da marca Hobo, modelo U12 - 013, com precisão de ± 0,5^{o} C. Esses equipamentos registraram a temperatura (tbs) e umidade relativa do ar (UR), em intervalos de cinco minutos. Para a obtenção das temperaturas de globo negro (tgn) também foram empregados sensores externos dos *dataloggers*, inseridos em globos negros. A velocidade do ar foi registrada com auxílio de um anemômetro digital de hélices, da marca ICEL Manaus®, modelo AN-3090, com precisão de ± 3,0% da leitura. Os instrumentos de avaliação de conforto térmico ambiente foram posicionados na região central das baias a 1,20 m da altura do piso.

O ITGU foi utilizado para avaliação do ambiente térmico por ser o índice mais difundido no Brasil, além de quantificar, indiretamente, os efeitos da velocidade do ar e da radiação.

O índice ITGU foi calculado por meio da equação 1 (Buffington et al., 1981):

$$ITGU = Tg + 0{,}36\ Tpo - 330{,}08 \quad (1)$$

em que: Tg: temperatura de globo negro (K); e Tpo: temperatura do ponto de orvalho (K).

Para a análise estatística, foi adotado esquema de parcelas subdivididas para os dados relativos ao ambiente térmico (UR, tbs, tgn e ITGU), no qual as parcelas são compostas pelas distintas tipologias das instalações e as subparcelas dos horários, em delineamento de blocos casualizados (dias experimentais), constituindo-se as repetições os dias de coleta. Os dados foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste "F" e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o programa Sisvar para as análises estatísticas.

As análises estatísticas dos dados comportamentais foram conduzidas por meio da aplicação de intervalos de confiança para as medianas (95%). Para isso, as observações do comportamento foram convertidas a frequências do tempo observado, empregando-se o pacote estatístico Minitab, e então analisadas.

3. Resultados e Discussão

A UR média apresentou diferenças significativas entre as baias (P <0,05, teste Tukey) sendo a baia LAM a que registou maior valor médio (68,5%) (Tabela 1) o que já era esperado devido ao microclima no interior da baia criado pela evaporação da água presente na lâmina.

Houve diferença significativa para a temperatura ambiente, sendo que a baia VAZ apresentou valor médio maior (20,6 °C) diferenciando da baia LAM. A temperatura ambiental externa a instalações variou de 8 a 31 °C durante toda a fase de coleta de dados, sendo as temperaturas mais baixas registradas no período da madrugada. A temperatura média do ar obtida neste estudo pode ser considerada como temperatura termoneutra por estar dentro da faixa citada por Perdomo (1994) recomenda que a temperatura ideal para a fase crescimento e terminação deve ser entre 18 e 26°C. O ITGU apesar de ter apresentado diferença significativa entre as baias, os valores médios encontram se abaixo da faixa caracterizada como desconforto.

Tabela 1 - Variáveis ambientais médias observadas ao longo do dia em galpões para suinocultura em fase de crescimento e terminação com diferentes tipos de baias.

Variáveis	**Baia**	
	LAM	**VAZ**
UR (%)	69,0 ^{A}	66,0 ^{B}
tgn (°C)	19,9 ^{B}	21,2 ^{A}
tbs (°C)	19,8 ^{B}	20,6 ^{A}
ITGU	66,2 ^{B}	67,3 ^{A}

Baias: lâmina d'água (LAM) e parcialmente vazado (VAZ). Umidade relativa do ar (UR); temperatura de globo negro (tgn); temperatura de bulbo seco (tbs); índice de temperatura de globo e umidade (ITGU). Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Na avaliação dos dados comportamentais, não houve diferença significativa estatistica entre as baias para as variáveis em pé, deitado e sentado (Tabela 2). ambas baias apresentaram valor médio de UR alto, o que possivelmente proporcionaram condições ambientais mais agradáveis.

Tabela 2 -. Frequência média do tempo (%) de permanência em casa posição observadas ao longo do dia em galpões para suinocultura em fase de terminação com pisos em lâmina d'água (LAM) e parcialmente vazado (VAZ).

Baia	**Posição**		
	Em pé	**Deitado**	**Sentado**
LAM	40,00 ^{A}	56,67 ^{B}	3,33 ^{A}
VAZ	33,33 ^{A}	65,00 ^{B}	3,33 ^{A}

Baias: lâmina d'água (LAM) e parcialmente vazado (VAZ). Umidade relativa do ar (UR); Temperatura de globo negro (tgn) e Temperatura de bulbo seco (tbs). Medianas seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem pelo intervalo de confiança da mediana (95%).

Apesar de não ter ocorrido diferença estatistica entre os comportamentos, a variavel "deitado" foi observada em uma frequência maior em comparação com os demais posições. Kiefer et al. (2009) mencionam que para a mais efetiva troca de calor, o animal permanece mais tempo deitado, com o

intuito de perder calor para o meio através do mecanismo de troca de calor por condução, Campos et al. (2009) complementam que a produção de calor do animal está diretamente relacionada ao ambiente térmico.

Estudo realizado por Paiano et al. (2007) analisando comportamentos de suínos alojados em baias com lamina d'água e com piso parcialmente ripado, observaram que os animais permaneceram mais tempo deitados (dormindo) no período de maior estresse térmico (tarde) na baia que continha piso parcialmente ripado, o que não foi observado no presente experimento, uma vez que os valores médios não diferiram estatiticamente.

O comportamento "sentado" não diferiu estatisticamente entre os tratamentos. Os valores médios encontrados no presente estudo estão próximos aos observados por Dalla Costa el tal. (2009) que encontraram uma frequência de 4,42% do tempo para animais sentados em baias de espera de abatedouro. De acordo com Hötzel et al (2007) o comportamento "sentado" pode ser usado como parâmetro de estimativa do bem-estar do suíno e a redução na sua frequência pode significar comprometimento do bem-estar.

O tempo médio gasto pelos suínos diferenciou estatisticamente entre as baias nas atividades "fuçando" e "ócio" (Tabela 3), sendo que para a atividade "fuçando" a baia VAZ apresentou valor estatisticamente menor do que o observadorna LAM.

Tabela 3 - Tempo médio gasto (%) por suínos em crescimento/terminação para cada padrão comportamental, observadas ao longo do dia em galpões para suinocultura em fase de terminação com pisos em lâmina d'água (LAM) e piso parcialmente vazado (VAZ).

Baia	**Atividade**					
	Bebendo	**Comendo**	**Fuçando**	**Ócio**	**Andando**	**Interagindo**
LAM	3,33 ^{A}	13,33 ^{A}	16,67 ^{A}	50,00 ^{B}	3,33 ^{A}	3,33 ^{A}
VAZ	3,33 ^{A}	10,00 ^{A}	6,67 ^{B}	70,00 ^{A}	3,33 ^{A}	6,67 ^{A}

Medianas seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem pelo intervalo de confiança da mediana (95%).

O comportamento "fuçando" está fortemente relacionado ao comportamento "comendo" como observado por Massari et al. (2015) que os suínos domésticos exploram o ambiente à procura de alimentos. Entretanto, Stevenson (2000) comenta que suínos passam em torno de 75% do tempo em atividades como fuçando, buscando alimento e explorando o ambiente, isso em condições de criação naturais, entretanto, quando criados confinados em baias com elevada lotação, sem enriquecimento ambiental, inviabiliza a realização desses comportamentos.

No entanto, Ieler et al. (2009) trabalhando com suínos alojados em instalações com o uso de cama sobreposta, mencionam que o comportamento exploratório é associado ao hábito de fuçar vigorosamente o solo, e essa conduta pode ser um fator de estresse para animais alojados em instalações com piso de cimento, uma vez que não há a possibilidade da movimentação como na cama sobreposta.

De acordo com os resultados de Debreceni et al. (2014), o comportamento "comendo" apresenta frequência média de 16%. Apesar de estatitiscamente não ter ocorrido diferença significativa entre as baias para a variável "comendo" o valor encontrado por Debreceni et al. (2014) é um pouco mais elevado do que as frequências observadas no presente trabalho, que foram de 10 % (VAZ) 13,33% (LAM).

A baia VAZ apresentou maior frequência no comportamento "ócio" e estatisticamente foi diferente da baia LAM (Tabela 2). Segundo Broom & Fraser (2010), o ócio é caracterizado pela soma dos

comportamentos de descanso e sono. É importante, pois tem a função de conservação de energia. Os autores ainda mencionam que dentre todos os animais de produção, os suínos quando criados confinados são animais que gastam mais tempo descansando e dormindo.

Ferreira et al. (2015) ao estudarem o comportamento de suínos em crescimento em relação ao programa de luz corroboram o presente estudo devido o comportamento "ócio" ter sido mais elevado em comparação com os demais. Encontraram valor médio de 87,64% do período, o que corresponde a 21,03 horas por dia, valor bem mais elevado do que observado no presente estudo: LAM (12 horas/d) e VAZ (16,80 h), essa diferença pode entre os valores pode ter ocorrido devido as diferenças entre os experimentos, como por exemplo o tempo de luminosidade.

As demais atividades como: bebendo, comendo, andando e interagindo não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as baias.

Relacionando os dados comportamentais com os dados ambientais pode-se observar que os animais da baia LAM gastaram menos tempo em ócio e mais tempo na atividade fuçando possivelmente devido à influência das variáveis climáticas: UR, Tgn e do enriquecimento ambiental causado pela presença da lâmina d'água.

A baia LAM apresentou maior UR e menor Tgn (Tabela 1) em comparação com a outra baia. O que sugere que o microclima gerado na baia LAM, devida à UR mais alta, ocasionou também valores mais baixos de Tgn, Tbs e ITGU do que na baia VAZ.

4. Conclusões

As baias avaliadas apresentaram valores estatisticamente diferentes quanto à umidade relativa (UR) média e a temperatura ambiente, sendo a baia com lamina de água a que apresentou maior valor médio de umidade e a baia VAZ o maior valor de temperatura. No entanto a temperatura pode ser considerada como temperatura termoneutra.

Correlacionando os dados comportamentais com os dados ambientais conclui-se que os animais da baia LAM gastaram menos tempo em ócio e mais tempo na atividade fuçando possivelmente devido à influência das variáveis climáticas: UR, Tgn e ao enriquecimento ambiental causado pela presença da lâmina d'água.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade de Évora (UE), à Universidade Federal Fluminense (UFF) à Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Granja Niterói.

Bibliografia

Anil, L.; Anil, S.S.; Deen, J. 2002. Relationship between postural behavior and gestation stall dimensions in relation to sow size. *Applied Animal Behavior Science*, v.77, n.3, p.173-181.

Buffington, D.E.; Collazo-Arocho, A.; Canton, G.H.; Pitt, D.; Thatcher, W.W.; Collier, R.J. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*, Saint Joseph, v. 24, p. 711-714.

Broom, D.M.; Fraser, A. F. 2010. *Comportamento e bem-estar de animais domésticos.* 4ª edição. (p. 452). São Paulo – Manole.

BROOM, D.M.; MOLENTO, C.F.M. 2004. Bem-estar: conceito e questões relacionadas - revisão. *Archives of Veterinary Science*, v. 9, n. 2, p. 1-11.

Carvalho, C. M. C.; Antunes, R. C..; Carvalho A. P.; Caires, R. M. 2013. Bem estar na suinocultura. *Revista Eletrônica Nutritime* – V. 11, n. 2, p. 2272 – 2286- Março - Abril/2013

Campos, J.A.; Tinôco, I.F.F; Baêta, F.C.; Cecon, P.R.; Mauri, A.L. 2009. Qualidade do ar, ambiente térmico e desempenho de suínos criados em creches com dimensões diferentes. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 339-347.

Dalla Costa, O.A.; Ludke, J.V.; Costa, M.J.R.P.; Pelosso, J.V.; Coldebella, A.; Triques, N. 2009. Efeito do jejum na granja e condições de transporte sobre o comportamento dos suínos de abate nas baias de descanso e lesões na pele. *Ciência Animal Brasileira*, n.10, p.48-58.

Debreceni, O. et al. 2014. The Behaviour of the Pigs Housed in Hot Climatic Conditions. *Journal of Central European Agriculture*, v. 15, n. 1, p. 64–75.

Ferreira, R.A.; Fassani, E.J.; Ribeiro, B.P.V.B.; Oliveira, R.F.; Cantarelli, V.S.; Abreu, M.L.T. 2015. Programas de luz para suínos em crescimento. *Archives of Veterinary Science*. v. 20, n.3, p.65-70.

Hötzel, M.J.; Souza, G.P.; Machado Filho, L.C.P.; Irgang, R.; Probst, R. 2007. Estresse e reconhecimento de seres humanos em leitões recém desmamados. *Revista Biotemas.* n.4, p. 91-98.

Ieler, J.; Linzmeyer, D.A.J; Baade, E. S.; Civiero, P.A.G. 2009. Comportamento e crescimento de suínos recém-desmamados em cama sobreposta. In: *Feira de conhecimento tecnológico e científico, 10, Rio do Sul. Anais*. Rio do Sul: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense Campus Rio do Sul.

Kiefer, C.; Meignen, B.C.G.; Sanches, J.F.; Carrijo, A.S. 2009. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. *Archivos. zootecnia* v.58, n.221, Córdoba, mar. 2009.

Kiefer, C., De Moura, M. S., Da Silva, E. A., Dos Santos, A. P., Silva, C. M., Da Luz, M. F., Nantes, C. L. 2010. Respostas de suínos em terminação mantidos em diferentes ambientes térmicos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal,* v. 11, p. 496-504.

Maia, A.P.A.; Sarubbi, J.; Medeiros, B.B.L; Moura, D. J. Enriquecimento ambiental como medida para o bem-estar positivo de suínos (Revisão). *Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas.* v. 14 n. 14, p. 2862-2877. Set. 2013

Massari, J.M.; Curi, T.M.R.C.; Moura, D.J.; Medeiros, B.B.L.; Salgados, D.D. 2013. Características comportamentais de suínos em crescimento e terminação em sistema "wean to finish". *Engenharia Agrícola,* Jaboticabal, v.35, n.4, p.646-656, 2015.

Stevenson, P. 2000. Questões de bem-estar animal na criação intensiva de suínos na União Européia. Em: *I conferência virtual internacional sobre qualidade de carne suína. Anais*. Concórdia. Embrapa Suínos e Aves. 253 p. Documento 69, p. 4-10.

Veloni, M.L.; Prado, P.L.; Arssuffi, B.M.; Ballestero, M.C.M.; Oliveira, M.G.; Abreu, P.B.; Oliveira, L.G. 2013. Bem-estar animal aplicado nas criações de suínos e suas implicações na saúde dos rebanhos. *Revista Científica de Medicina Veterinária.* n. 21, julho 2013.

Área Temática:

Tecnologia Pós-colheita

Tecnología Poscosecha

Caracterização biométrica e mecânica de cultivares portuguesas de amendoeira

Ivo Oliveira[1], Anne Meyer[2], Sílvia Afonso[1], Carlos Ribeiro[3], Berta Gonçalves[1]

[1] Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas - CITAB, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real, Portugal

[2] Dept. of Chemical and Biochemical Engineering (DTU Chemical Engineering), Technical University of Denmark (DTU), DK-2800 Lyngby, Denmark

[3] Departamento de Agronomia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

Resumo

A produção mundial de amêndoa tem aumentado nos últimos anos, com a grande maioria dos produtores a recorrer a cultivares comerciais, aquando da instalação do pomar. Estas cultivares, bem descritas, em termos de comportamento das plantas, mas também relativamente às características dos frutos, têm criado um padrão para comparação, a que as cultivares tradicionais geralmente ficam aquém. As cultivares tradicionais têm normalmente associado características negativas, seja por falta de estudos, seja pela utilização de práticas agronómicas inadequadas. Isso levou ao desaparecimento dessas cultivares na instalação de novos pomares, como alternativa às cultivares comerciais, o que tem contribuído para uma significativa perda de património genético. Assim, este estudo pretende aumentar o conhecimento sobre as características biométricas e mecânicas de cinco cultivares tradicionais de amendoeira (Amendoão, Bonita, Casanova, Pegarinhos e Refego) e duas cultivares comerciais (Glorieta e Ferragnes). As cultivares tradicionais apresentaram resultados interessantes, similares aos registados nas cultivares comerciais, nomeadamente no peso com e sem casca, no rendimento de britagem, e no número de amêndoas duplas. Além disso, obtiveram-se resultados significativamente diferentes, com as cultivares Amendoão e Bonita, que apresentaram amêndoas grandes e pequenas, respetivamente, conferindo-lhes potenciais aptidões específicas quer para consumo em fresco, quer para a indústria. A força de ruptura necessária para quebrar os frutos das cultivares tradicionais foi maior do que a aplicada aos frutos das cultivares comerciais, mas sem maior implicação na percentagem de miolos danificados após britagem. Os dados obtidos representam uma primeira abordagem para a caracterização das cultivares tradicionais, com o objectivo de aumentar a sua utilização e preservação. No futuro, é fundamental a realização de estudos sobre a adaptabilidade a diferentes stresses bióticos e abióticos, aptidão industrial, composição nutricional e avaliação dos atributos sensoriais da amêndoa, para a possível inclusão destas cultivares em programas de melhoramento e de retorno aos mercados.

Palvras-chave: *Prunus dulcis*, cultivares tradicionais, descrição biométrica, características mecânicas

Biometric and mechanical characterization of Portuguese almond cultivars

Abstract

Worldwide almond production has increased in recent years, with the vast majority of producers, when planting the orchard, using commercial cultivars. These cultivars are well described, regarding tree behavior, but concerning the characteristics of the fruits, and have created a standard for comparison, to which, usually, traditional cultivars fall short. Traditional cultivars have usually been associated with negative characteristics, either due to lack of studies or the use of inappropriate agronomic practices. This led to the disappearance of these cultivars in new orchards, as an alternative to commercial cultivars, which has contributed to a significant loss of genetic heritage. Thus, this study intends to increase the knowledge about the biometric and mechanical characteristics of five traditional almond cultivars (Amendoão, Bonita, Casanova, Pegarinhos, and Refêgo) and two commercial cultivars (Glorieta and Ferragnes). In some biometric characteristics of interest, such as the kernel mass, the shelling percentage, and the number of double almonds, the traditional cultivars presented interesting results, with similar values to those recorded in the commercial cultivars under study. In addition, significantly different results were obtained with the cultivars Amendoão and Bonita, which present large and small almonds, respectively, giving them potential industry-specific aptitudes. The rupture force

necessary to break fruits of the traditional cultivars was higher than the applied to the commercial ones, but without further implication on damaged kernel after shelling. The data obtained represent a first approach for the characterization of traditional cultivars, with the aim of increasing their use and preservation. In the future, it is fundamental to carry out studies on the adaptability to different biotic and abiotic stresses, industrial aptitude, nutritional composition and evaluation of almond sensorial attributes, for the possible inclusion of these cultivars in breeding programs and to their return to markets.

Keywords: *Prunus dulcis,* traditional cultivars, biometric description, mechanical characteristics

1. Introdução

A amendoeira [*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb] é originária da Ásia Central (Micke e Kester, 1998) e encontra-se em toda a bacia do Mediterrâneo. Portugal possui excelentes condições edafo-climáticas para o seu cultivo, nas regiões de Trás-os-Montes e Algarve (Cordeiro e Monteiro, 2001). Nos últimos anos, a área portuguesa ocupada com amendoais tem aumentado, assente principalmente na utilização de cultivares (cvs.) comerciais estrangeiras, incluindo as cvs. Ferragnes e Glorieta (Cordeiro e Monteiro, 2001). Estas cultivares estão bem caracterizadas, tanto no seu país de origem, mas também em trabalhos subsequentes, que permitiram um bom nível de conhecimento, em relação ao seu comportamento, tanto agronómico como produtivo, sendo que, para as cultivares tradicionais portuguesas, existem poucos estudos conhecidos (Cordeiro e Monteiro, 2001; Barreira et al., 2008). Para além disso, as cultivares tradicionais estão normalmente associadas a baixas rentabilidades, não pelas suas características intrínsecas, mas principalmente pela sua instalação em solos marginais, em áreas inadequadas para o cultivo, utilizando práticas agronómicas desactualizadas ou inadequadas. Além disso, existe uma grande falta de estudos sobre os frutos destas cultivares, considerando parâmetros morfológicos, mas também bioquímicos. No entanto, deve-se considerar que as cultivares tradicionais, com implantação local, podem ser utilizadas para melhoramento genético (Colic et al., 2012), pois possuem características de interesse (Martins et al., 2001), não só do ponto de vista agronómico (Antonucci et al., 2012), mas também do ponto de vista qualitativo, organolético e nutricional. A caracterização de dada cultivar baseia-se principalmente no estudo dos parâmetros morfológicos, pois permitem uma avaliação rápida e simples (Colic et al., 2012). Neste trabalho, foram analisadas as características biométricas e mecânicas de cinco cultivares tradicionais portuguesas (Amendoão, Bonita, Casanova, Pegarinhos e Refego) e duas cultivares comerciais (Glorieta e Ferragnes).

2. Material e Métodos

Amostras

As amostras de amêndoas, cerca de 1Kg por cultivar, foram obtidas diretamente dos produtores, e colhidas em Setembro de 2016. Os frutos das cvs. Amendoão e Pegarinhos foram obtidos no município de Murça, e das cvs. Bonita, Casanova, Pegarinhos e Refego, obtidos no município de Torre de Moncorvo. Também foram estudadas duas cultivares comerciais, Ferragnes e Glorieta, obtidas de um produtor do município de Alfândega da Fé.

Parâmetros biométricos

De cada cultivar foram selecionados 50 frutos representativos, medindo-se comprimento (C), largura (L) e espessura (E) da amêndoa e do miolo, bem como a espessura da casca, usando um paquímetro digital, sendo estas dimensões expressas em milímetros. O peso das amêndoas e do miolo foi obtido após pesagem em balança digital e foi expresso em grama, calculando-se o rendimento à britagem (peso do miolo/peso total da amêndoa, expresso em percentagem). Foram calculados vários índices, quer na amêndoa, quer no miolo: relação comprimento/largura – C/L, relação comprimento/espessura – C/E, relação largura/espessura – L/E, volume - $V = \pi/6$ (CLE) (Mohsenin, 1980). Foi também calculado o volume interno da amêndoa. Os índices relacionados com a forma, I_1 e I_2 (Valverde et al., 2006), foram calculados como: $I_1 = E/C \times 100$; $I_2 = L/C \times 100$. A britagem das

amêndoas foi realizada utilizando um analisador de textura, Stable Micro Systems TA.HD.Plus, combinado com a sonda de prato de 75mm e uma célula de carga de 250kg.

Análise estatística

As diferenças entre médias foram determinadas por análise de variância (ANOVA), utilizando o software SPSS (Statistical Package for Social Sciences), versão 19.0 (IBM Corporation, Nova York, EUA) aplicando o teste post-hoc HSD de Tukey, após verificação dos requisitos de ANOVA, ou seja, a distribuição normal dos resíduos e a homogeneidade de variâncias. As correlações de Pearson e a análise de regressão também foram calculadas com SPSS, mas, nessa última situação, apenas se apresentam as que têm valor de R^2>0,5.

3. Resultados e Discussão

Os parâmetros biométricos das cultivares estudadas são apresentados na Tabela 1, expondo a grande maioria diferenças significativas, uma vez que são alguns destes que distinguem as cultivares. Das características estudadas, geralmente as que recebem mais atenção do ponto de vista do produtor são o peso da amêndoa e do miolo, bem como o rendimento à britagem. O peso da amêndoa variou entre 13,81±4,98 g na cv. Amendoão e 2,66±0,46 g na cv. Bonita. Os frutos das duas cultivares comerciais em estudo apresentaram peso médio de 3,70±0,77 e 4,89±0,91 g para Ferragnes e Glorieta, respetivamente. Os valores de peso observados no presente trabalho são comparáveis aos disponíveis para estas cultivares (Vargas-García e Romero, 1994; Arslan e Vursavus, 2008). Os valores registados para a cv. Glorieta são estatisticamente semelhantes aos encontrados para ambas as amostras da cv. Pegarinhos. Do ponto de vista do melhoramento vegetal nesta espécie, uma das características mais importantes é o peso do miolo, que deverá ser acima de 1 g, embora algumas cultivares comerciais apresentem peso de miolo <1,0 g (Askin et al., 2007). Das cultivares tradicionais estudadas, foram os miolos das cvs. Bonita e Pegarinhos (Moncorvo) as que apresentaram peso inferior a 1 g. Os valores mais elevados foram obtidos na cv. Amendoão (1,92±0,24 g) e os mais baixos na cv. Bonita (0,69±0,10 g), enquanto que para as cvs. Ferragnes e Glorieta foram registados valores intermédios (e estatisticamente semelhantes entre si) (1,10±0,21 g e 1,09±0,16 g). Os miolos da cv. Pegarinhos (Murça) apresentaram um peso semelhante ao registado na cv. Ferragnes e na cv. Glorieta. Outra característica de elevada importância é a percentagem de miolos duplos, uma vez que estes são classificados em categorias inferiores de amêndoa, reduzindo o potencial de lucro dos produtores (Ledbetter e Palmquist, 2006) e, como são geralmente miolos deformados, tornam os processos de britagem, calibração e despela difíceis (Socias i Company et al., 2008). A ocorrência de miolos duplos é baixa, com um máximo de três frutos apresentando miolos duplos nas cvs. Bonita, Casanova e Pegarinhos (Moncorvo), apenas dois frutos com miolos duplos na cv. Refego e um na cv. Pegarinhos (Murça), sendo que nas restantes cultivares (Amendoão, e nas duas comerciais, Ferragnes e Glorieta), não foram encontrados miolos duplos.

Tabela 1 - Biometria das amêndoas e miolos das cultivares estudadas. Cada valor é expresso como média ± desvio padrão (n = 50).

	Amendoão	Bonita	Casanova	Ferragnes	Glorieta	Pegarinhos (Moncorvo)	Pegarinhos (Murça)	Refêgo
Peso Amêndoa (g)	13,81±4,98a	2,66±0,46e	6,74±1,02b	3,70±0,77d	4,89±0,91c	5,06±1,08c	5,19±0,74c	7,50±1,11b
Comprimento (C) Amêndoa (mm)	46,17±4,86a	21,81±1,53f	36,13±2,51de	34,83±2,19e	39,33±3,36b	37,97±3,44bc	34,59±1,93e	36,91±2,39cd
Largura (L) Amêndoa (mm)	32,60±1,31a	17,13±1,25g	26,77±2,75c	21,53±1,51e	24,03±1,90d	20,63±1,86f	21,94±1,12e	27,73±1,74b
Espessura (E) Amêndoa (mm)	24,93±2,17a	14,26±1,19ef	16,25±0,88d	14,71±0,99e	16,97±1,60c	13,90±1,06e	14,87±1,12e	18,08±1,11b
C/L Amêndoa	1,42±0,14d	1,27±0,04f	1,36±0,13e	1,62±0,09bc	1,64±0,08b	1,84±0,10a	1,58±0,08c	1,33±0,07e
C/E Amêndoa	1,86±0,23e	1,53±0,10f	2,23±0,16c	2,37±0,14b	2,33±0,19b	2,74±0,21a	2,34±0,19b	2,05±0,13d
L/E Amêndoa	1,31±0,09e	1,20±0,07f	1,65±0,21a	1,47±0,08cd	1,42±0,10d	1,49±0,10bc	1,48±0,11bc	1,54±0,08b
I_1 Amêndoa	54,79±9,27b	65,54±5,58a	45,14±3,37d	42,30±2,60e	43,31±4,00de	36,76±2,95f	43,05±3,45de	49,09±3,32c
I_2 Amêndoa	71,72±11,77c	78,57±2,39a	74,30±8,08bc	61,88±3,26d	61,18±2,73d	54,41±2,93e	63,50±3,23e	75,23±3,73b
Volume Amêndoa (cm^3)	19,72±3,31a	2,82±0,54e	8,25±1,29c	5,03±1,03d	8,51±1,91c	5,78±1,33d	5,93±0,86d	0,976±1,58b
Peso Miolo (g)	1,92±0,24a	0,69±0,10f	1,21±0,16c	1,10±0,21d	1,09±0,16d	0,84±0,18e	1,04±0,13d	1,45±0,18b
Comprimento (C) Miolo (mm)	29,98±2,27a	17,25±1,18e	26,71±1,64b	24,88±1,79d	26,48±1,63bc	26,90±2,30b	25,71±1,39cd	24,87±1,37d
Largura (L) Miolo (mm)	18,37±0,96a	10,65±1,58f	15,61±0,73c	13,23±0,94d	13,64±0,85d	12,46±1,12e	13,31±0,63d	17,00±0,98b
Espessura (E) Miolo (mm)	6,81±0,50cd	7,59±0,63a	6,60±0,43de	6,98±0,69bc	6,39±0,47e	5,51±0,49f	6,48±0,60e	7,20±0,52b
C/L Miolo	1,63±0,12b	1,90±2,18ab	1,71±0,09ab	1,89±0,14ab	1,94±0,09ab	2,16±0,15a	1,93±0,09ab	1,46±0,08b
C/E Miolo	4,42±0,43b	2,28±0,19e	4,06±0,35c	3,59±0,32d	4,17±0,41c	4,91±0,56a	3,99±0,36c	3,47±0,30d
L/E Miolo	2,71±0,21a	1,41±0,22e	2,37±0,16b	1,91±0,22d	2,15±0,22c	2,27±0,24b	2,07±0,19c	2,37±0,20b
I_1 Miolo	22,87±2,63d	44,08±3,51a	23,83±2,42cd	27,53±2,47b	24,24±2,45cd	16,92±2,57e	22,26±2,26d	26,73±2,63bc
I_2 Miolo	61,58±5,30a	61,69±8,29a	56,22±3,34ab	52,26±3,88bc	51,57±2,48bc	38,06±3,28d	45,63±2,43c	62,98±3,68a
Volume Miolo (cm^3)	1,97±0,28a	0,74±0,17f	1,44±0,17c	1,21±0,23d	1,21±0,15d	0,98±0,19e	1,17±0,17d	1,59±0,20b
Rendimento de britagem (%)	14,45±2,08f	26,33±3,57b	17,98±2,22e	29,70±2,97a	22,55±2,76c	17,08±1,53f	20,20±1,57d	19,33±1,79d
Espessura casca (mm)	6,45±0,78a	2,68±0,33f	3,74±0,38c	3,01±0,35e	3,77±0,47c	3,30±0,38d	3,33±0,37d	4,45±0,47b
% Volume interno ocupado	50,45±13,64c	82,03±16,76a	59,02±13,41b	59,36±10,34b	48,27±9,20c	62,02±10,66b	65,57±12,99b	64,70±10,99b
Miolos duplos	0	3	3	0	0	3	1	2
Miolos danificados (%)	12	4	23	8	38	14	8%	12

Em relação aos rendimentos de britagem, registaram-se valores significativamente mais elevados para frutos da cv. Ferragnes (29,70±2,97%), enquanto a outra cultivar comercial Glorieta apresentou o terceiro melhor rendimento de britagem (22,55±2,76%), apresentando as amêndoas da cv. Bonita o segundo maior rendimento (26,33±3,57%). Deve-se ainda salientar que os frutos da cv. Amendoão, que apresentaram maiores pesos e dimensões, são aqueles nos quais foi registado menor rendimento de britagem (14,45±2,08%). Este parâmetro pode ser considerado como uma medida quantitativa da dureza da casca (Kodad e Socias i Company, 2008) e, pela classificação usual, 10 a 30% é indicado para cascas muito duras, 30 a 50% para cascas duras e 50 a 70% para casca mole (Socias i Company et al., 2008). Neste trabalho, todas as cultivares estudadas serão classificadas como apresentando casca muito dura. O rendimento à britagem está inversamente relacionado com a dureza da casca (Kodad, Socias i Company e Alonso, 2007), e no presente trabalho, usando o conjunto dos dados relativos a todas as cultivares, foi encontrada uma correlação negativa semelhante entre o rendimento à britagem e a força de ruptura necessária para quebrar a casca (-0,623, p<0,01)(dados não apresentados). Além disso, também foi encontrada uma boa correlação positiva entre o volume interno ocupado pelo miolo e o rendimento à britagem (0,419, p <0,01) (dados não apresentados) e a força de ruptura (0,363, p<0,01) (dados não apresentados). Esta ligação entre o menor espaço vazio na cavidade da amêndoa e o rendimento de britagem (e consequentemente a força de ruptura) foi descrita anteriormente e até utilizada como característica para a seleção de genótipos (Kodad et al., 2014). A presença de miolos danificados após a britagem das amêndoas é um factor chave em relação ao valor da produção. No presente trabalho, foram encontradas percentagens semelhantes de amêndoas danificadas em quase todas as cultivares, variando de 4% na cv. Bonita a 14% na cv. Pegarinhos (Murça) com valores intermédios para as cvs. Amendoão (12%), Ferragnes (8%), Pegarinhos (Moncorvo 8%) e Refêgo (12%). No entanto, as cvs. Casanova e Glorieta apresentaram os maiores valores de miolos danificados, atingindo até 23% em Casanova e 38% em Glorieta. Embora não tenha sido encontrada nenhuma relação clara com nenhuma das características biométricas e este elevado número de miolos danificados, deve-se destacar que estas duas cultivares apresentam valores estatisticamente semelhantes de espessura de miolos, razão C/E e volume das amêndoas. A espessura da casca também apresentou variações consideráveis entre cultivares. Este parâmetro variou de 2,67±0,33mm na cv. Bonita, até 6,45±0,78 mm na cv. Amendoão. Os valores de espessura de casca observados para as cultivares comerciais foram de 3,01±0,35 mm na cv. Ferragnes e 3,77±0,47 mm em frutos da cv. Glorieta. Em cada situação foi registada uma cultivar tradicional com valores estatisticamente semelhantes, sendo estas a Pegarinhos (Moncorvo 3,29±0,38mm) e a Casanova (3,74 ± 0,38mm), respetivamente. Com exceção dos valores da cv. Amendoão, todos os outros valores podem ser considerados semelhantes aos previamente descritos para outras cultivares (Askin et al., 2007; Caliskan e Polat, 2011). A avaliação deste parâmetro é de grande importância, podendo estar associado a outras características dos frutos, nomeadamente a composição de ácidos gordos (Askin et al., 2007), além de influenciar as propriedades mecânicas das amêndoas, incluindo a força necessária para britar a amêndoa (Khazaei et al., 2002). Os valores médios dos índices I_1 e I_2 indicam quatro classificações diferentes da forma das amêndoas: para as cvs. Ferragnes, Glorieta e Pegarinhos (Moncorvo e Murça), as amêndoas são planas, longas e estreitas (I_1<50 e I_2<70), enquanto que as das cvs. Casanova e Refêgo são consideradas planas, ligeiramente alongadas (I_1<50 e I_2-70-80). As amêndoas da cv. Amendoão são de espessura média e ligeiramente alongadas (I_1-50-60 e I_2-70-80), sendo as da cv. Bonita classificadas como redondas e ligeiramente alongadas (I_1>60 e I_2-70-80) (Saura, Cañellas e Soler, 1988). Utilizando uma classificação semelhante, para miolos, estes podem ser classificados como planos e redondos, nas cvs. Amendoão e Refêgo (I_1<30 e I_2>60) enquanto a amêndoa da cv. Bonita é classificada como globular e redonda (I_1>40 e I_2>60). Nas restantes cultivares os miolos caracterizam-se como sendo planos, longos e estreitos (I_1<30 e I_2<50) (cvs. Pegarinhos Moncorvo e Murça) ou planos e ligeiramente alongados (cvs. Casanova, Ferragnes, Glorieta) (I_1<30 e I_2–50-60). Na amêndoa, a relação C/L, variou entre 1,27±0,04 na cv. Bonita e 1,84±0,10 na cv. Pegarinhos (Moncorvo), seguindo a razão C/E a mesma tendência (1,53±0,10 e 2,74±0,21), enquanto a razão L/E foi novamente menor em frutos da cv. Bonita (1,20±0,07), porém maior na cv. Casanova (1,65±0,21). No

miolo, a relação C/E variou entre 1,46±0,08 na cv. Refêgo e 2,16±0,15 na cv. Pegarinhos (Moncorvo). A relação C/E foi menor no miolo da cv. Bonita (2,28±0,19) e maior no da cv. Pegarinhos (Moncorvo) (4,91±0,56), enquanto que a razão L/E variou de 1,41±0,22 a 2,71±0,21, no miolo das cvs. Bonita e Amendoão, respetivamente.

Alguns dos parâmetros biométricos avaliados mostraram uma forte correlação entre eles (Tabela 2). Trabalhos prévios relataram uma clara correlação entre as dimensões da amêndoa e do miolo (Valverde et al., 2006), que não foram encontradas no presente trabalho. O peso dos miolos foi o parâmetro que mais se correlacionou com algumas das outras características, nomeadamente o peso das amêndoas mas, curiosamente, esta correlação não foi encontrada nas cvs. Amendoão, Bonita e Casanova. Outras correlações foram encontradas entre o peso do miolo e a espessura, volume, comprimento ou largura da amêndoa, entre o volume do miolo e o peso ou volume da amêndoa e entre a percentagem de volume interno ocupado e a espessura da casca.

Tabela 2 – Análise de regressão entre parâmetros biométricos de amêndoa e miolo registados em diferentes cultivares (apresentadas apenas regressões com valor de R^2>0,5)

	Dependente-Independente	Regressão Linear	R^2	*P*
Ferragnes	Peso Miolo - Peso Amêndoa	Y = 0,250X + 0,167	0,735	0,000
	Peso Miolo – Espessura Amêndoa	Y = 0,157X – 1,216	0,524	0,000
	Peso Miolo – Volume Amêndoa	Y = 0,154X + 0,201	0,543	0,000
	Volume miolo – Peso Amêndoa	Y = 0,265X + 0,220	0,666	0,000
Glorieta	Peso Miolo - Peso Amêndoa	Y = 0,136X + 0,425	0,583	0,000
Pegarinhos (Moncorvo)	Peso Miolo - Peso Amêndoa	Y = 0,158X + 0,061	0,848	0,000
	Peso Miolo – Comprimentos Amêndoa	Y = 0,042X - 0,733	0,633	0,000
	Peso Miolo – Largura Amêndoa	Y = 0,082X - 0,838	0,690	0,000
	Peso Miolo – Espessura Amêndoa	Y = 0,157X - 1,305	0,654	0,000
	Volume Miolo – Volume Amêndoa	Y = 0,131X + 0,241	0,719	0,000
	Peso Miolo – Volume Amêndoa	Y = 0,125X+ 0,137	0,799	0,000
Pegarinhos (Murça)	Peso Miolo - Peso Amêndoa	Y = 0,156X + 0,234	0,668	0,000
	Volume Miolo - Peso Amêndoa	Y = 0,198X + 0,134	0,600	0,000
	Volume Miolo – Volume Amêndoa	Y = 0,166X + 0,189	0,719	0,000
	% Volume Interno Ocupado – Espessura Casca	Y = 25,982X – 20,959	0,529	0,000
Refêgo	Peso Miolo - Peso Amêndoa	Y = 0,136X + 0,422	0,559	0,000
	Peso Miolo - Volume Amêndoa	Y = 0,888X+ 0,584	0,557	0,000

No presente estudo, a força de rutura variou entre 1194,53±346,44 N na cv. Amendoão e 417,02±105,06 N na cv. Ferragnes (Figura 1). Deve-se realçar que a outra cultivar comercial deste estudo, cv. Glorieta, registou a segunda menor força de rutura (672,92±142,67 N), enquanto os valores obtidos para as cultivares tradicionais restantes estiveram sempre acima de 800 N (832,98±196,27 para cv. Pegarinhos (Murça); 898,62±241,36 para cv. Refêgo, 944,19±170,62 para cv. Bonita, 1061,11±181,29 para cv. Pegarinhos (Moncorvo) e 1184,30±257,82 para cv. Casanova). Para a maioria das cultivares testadas, estes são os primeiros dados conhecidos para a força de rutura. Encontram-se dados anteriores sobre a cv. Ferragnes (Arslan e Vursavus, 2008), apresentando resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho. Outras quatro cultivares - Gulcan 101-23, Nonpareil, Picantili e Drake também registaram valores de força de rutura semelhantes aos encontrados para a cv. Ferragnes (Aktas et al., 2007; Arslan e Vursavus, 2008).

Outros autores, ao analisar diferentes cultivares de amendoeira, verificaram variações consideráveis na força de rutura, de um mínimo de 227,9±53,4 N na cv. Monterey, até 874,4±60,4 N na cv. Y113-20, sendo referido nesse mesmo trabalho que as amêndoas mantêm esta característica específica, independentemente do ano de amostragem (Ledbetter, 2008).

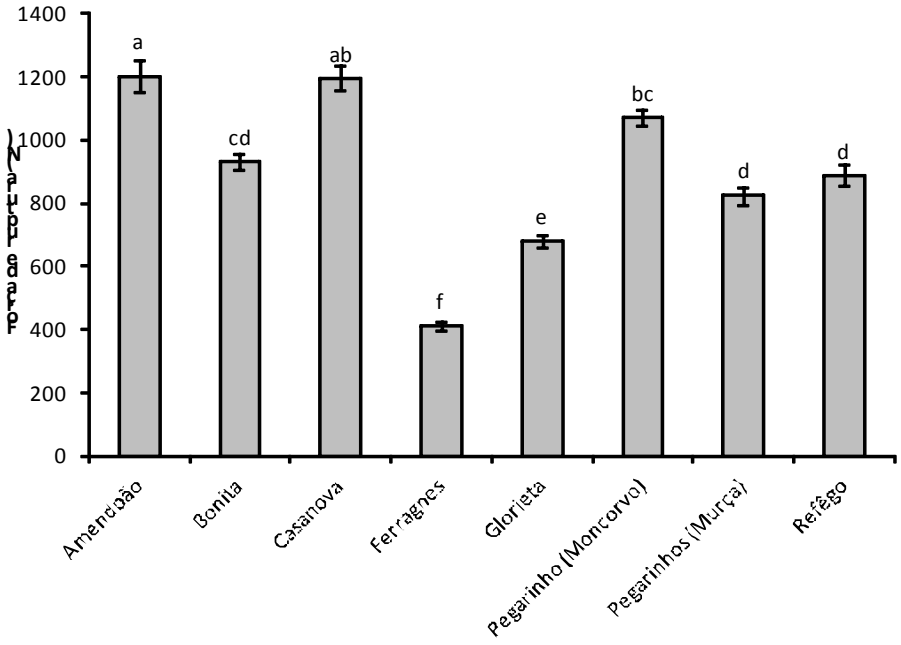


Figura 1 - Força de rutura da casca de diferentes cultivares de amendoeira. Cada valor é expresso como média ± erro padrão (n = 50). Diferentes letras significam diferenças significativas entre as cultivares (p < 0.05)

Além destas diferenças consideráveis na força de rutura, também é notável a grande variação dos dados em algumas das cultivares estudadas, especialmente em Amendoão, Casanova e Refêgo. Do ponto de vista do processamento, esta é uma característica negativa, já que o ajuste de uma força padrão para quebrar a casca pode levar a consequências indesejáveis: a presença de frutos não britados, se for usada uma força menor do que a necessária ou danos no miolo, se a força aplicada for excessiva.

A força de rutura necessária para britar os frutos foi correlacionada com outras características morfológicas, embora sem uma tendência clara, variando para cada cultivar (Tabela 3). Para a cv. Amendoão não foram encontradas correlações, sendo que na cv. Bonita, apenas o peso da amêndoa se correlacionou positivamente com a força de ruptura. De facto este foi o parâmetro morfológico que mais frequentemente se encontrou correlacionado com a força de ruptura, encontrando-se essa relação em seis das oito cultivares estudadas (com excepção de Amendoão e Refego). A espessura da amêndoa, assim como os parâmetros de volume das amêndoas e miolos também se correlacionaram com a força de ruptura, em metade das cultivares estudadas, enquanto os outros parâmetros biométricos só se correlacionaram com a força de rutura em três ou menos das cultivares estudadas. Conforme referido anteriormente, a espessura da casca foi relacionada com uma necessidade de maior força de rutura. No entanto, neste estudo, isso foi apenas verdadeiro para frutos da cv. Casanova, para os quais uma correlação positiva foi encontrada entre a espessura da casca e a força necessária para causar a rutura da casca.

Tabela 3 - Correlações entre a força de rutura (N) e os parâmetros biométricos da amêndoa e miolo de diferentes cultivares (significativo p < 0.05; ** significativo p < 0.01)*

	Amendoão	Bonita	Casanova	Ferragnes	Glorieta	Pegarinhos (Moncorvo)	Pegarinhos (Murça)	Refêgo
Peso Amêndoa (g)	0.069	**0.308***	**0.495****	**0.344***	**0.610****	**0.442****	**0.346***	0.061
Comprimento (C) Amêndoa (mm)	-0.136	0.261	**0.407***	-0.004	**0.423****	0.278	0.196	-0.113
Largura (L) Amêndoa (mm)	0.056	0.195	0.052	0.067	**0.415****	**0.316***	0.248	-0.275
Espessura (E) Amêndoa (mm)	-0.010	0.083	**0.422***	0.251	**0.304***	**0.459****	**0.304***	0.037
C/L Amêndoa	-0.161	0.133	0.262	-0.088	0.068	-0.094	-0.024	0.200
C/E Amêndoa	-0.100	0.159	0.064	-0.270	0.067	-0.146	-0.024	-0.152
L/E Amêndoa	0.069	0.100	-0.141	-0.209	0.035	-0.099	-0.132	**-0.359***
I_1 Amêndoa	0.181	-0.136	-0.095	**0.287***	-0.061	0.150	0.133	0.151
I_2 Amêndoa	0.218	-0.135	-0.203	0.092	-0.043	0.097	0.044	-0.194
Volume Amêndoa (cm^3)	-0.062	0.197	**0.362****	0.105	**0.440****	**0.387****	**0.319***	-0.138
Peso Miolo (g)	0.007	0.093	0.259	0.105	**0.398****	**0.441****	0.273	-0.082
Comprimento (C) Miolo (mm)	-0.126	0.202	**0.482****	0.176	**0.281***	0.226	0.239	0.066
Largura (L) Miolo (mm)	0.038	0.151	0.164	-0.141	**0.422****	0.296	0.197	-0.160
Espessura (E) Miolo (mm)	0.083	-0.071	0.018	**0.285***	0.010	**0.369***	0.210	-0.031
C/L Miolo	-0.164	-0.033	**0.407****	**0.308***	-0.185	-0.113	0.076	0.240
C/E Miolo	-0.152	0.251	**0.318***	-0.175	0.163	-0.112	-0.035	0.081
L/E Miolo	-0.35	0.184	0.092	**-0.341***	0.242	-0.052	-0.074	-0.068
I_1 Miolo	0.132	-0.240	**-0.311***	0.172	-0.178	0.110	0.061	-0.051
I_2 Miolo	0.133	0.066	**-0.400****	**-0.352***	0.169	0.093	-0.083	-0.235
Volume Miolo (cm^3)	0.014	0.092	**0.327***	0.153	**0.366****	**0.398***	**0.309***	-0.055
Espessura casca (mm)	0.123	0.223	**0.292***	0.129	0.284	0.301	0.165	0.091
% Volume interno ocupado	0.235	0.092	-0.004	0.230	**-0.295***	-0.058	-0.034	**0.297***

4. Conclusões

O presente trabalho representa uma primeira abordagem para a caracterização biométrica e mecânica de cultivares portuguesas de amendoeira (cvs. Amendoão, Bonita, Casanova, Pegarinhos e Refego) comparativamente a cultivares comerciais (cvs.Ferragnes e Glorieta) e pode ser usado como um ponto de partida para estudos futuros, focados em características selecionadas. Alguns parâmetros de interesse das cultivares tradicionais incluem o elevado peso do miolo de algumas cultivares ou as baixas percentagens de miolos duplos ou reduzidas perdas na britagem, com características biométricas e mecânicas semelhantes às das cultivares comerciais. Os resultados mostram que as cultivares tradicionais portuguesas têm potencial para serem utilizadas pela indústria da amêndoa, se forem devidamente selecionadas de acordo com as suas características.

Agradecimentos

Ivo Oliveira agradece à FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) a Bolsa de Pós-Doutoramento SFRH / BPD / 111005/2015. Este trabalho foi apoiado por: Fundos de Investimento Europeu FEDER / COMPETE / POCI - Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização, no âmbito do Projecto POCI-01-0145-FEDER-006958 e Fundos Nacionais pela FCT no âmbito do projecto UID / AGR / 04033.

Bibliografia

Aktas, T., Polat, R. and Atay, U. 2007. Comparison of mechanical properties of some selected almond cultivars with hard and soft shell under compression loading. *Journal of Food Process Engineering*, 30:773–789.

Antonucci, F., Costa, C., Pallottino, F., Paglia, G., Rimatori, V., De Giorgio, D. and Menesatti, P. 2012. Quantitative method for shape description of almond cultivars (*Prunus amygdalus* Batsch). *Food and Bioprocess Technology*, 5: 768-785.

Arslan, S. and Vursavus, K. K. 2008. Physico-mechanical properties of almond nut and its kernel as a function of variety and moisture content. *The Philippine Agricultural Scientist*, 91: 171-179.

Askin, M. A., Balta, M. F., Tekintas, F. E., Kazankaya, A. and Balta, F. 2007. Fatty acid composition affected by kernel weight in almond [*Prunus dulcis* (Mill.) DA Webb.] genetic resources. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20: 7-12.

Barreira, J. C. M., Ferreira, I. C. F. R., Oliveira, M. B. P. P. and Pereira, J. A. 2008. Antioxidant activity and bioactive compounds of ten Portuguese regional and commercial almond cultivars. *Food and Chemical Toxicology*, 46: 2230–2235.

Caliskan, O. and Polat, A.A. 2011. Effect of Different Environments on Pomological Characteristics of Some Almond Cultivars. *Acta Horticulturae,* 912: 523-526.

Colic, S., Rakonjac, V., Zec, G., Nikolic, D. and Aksic, M. F. (2012). Morphological and biochemical evaluation of selected almond [*Prunus dulcis* (Mill.) DA Webb] genotypes in northern Serbia. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36: 429-438.

Cordeiro, V. and Monteiro, A. 2001. Almond growing in Trás-os-Montes region (Portugal). *Acta Horticulturae*, 591: 161-165.

Khazaei, J., Rasekh, M., Borghei, A.M. 2002. Physical and Mechanical Properties of Almond and Its Kernel Related to Cracking and Peeling. *An ASAE Meeting Presentation*, Paper No 026153.

Kodad, O. and Socias i Company, R. 2008. Fruit quality in almond as related to the type of pollination in self-compatible genotypes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133: 320-326.

Kodad, O., Lebrigui, L., El-Amrani, L. and Socias i Company, R. 2014. Physical Fruit Traits in Moroccan Almond Seedlings: Quality Aspects and Post-Harvest Uses. *International Journal of Fruit Science*, 15: 36-53.

Kodad, O., Socias i Company, R. and Alonso, J. M. 2007. Fruit quality in almond: physical aspects for breeding strategies. *Acta Horticulturae*, 814: 475-480.

Ledbetter, C.A. 2008. Shell cracking strength in almond (*Prunus dulcis* [Mill.] D.A. Webb.) and its implication in uses as a value-added product. *Bioresource Technology*, 99: 5567–5573.

Ledbetter, C.A. and Palmquist, D.E. 2006. Comparing physical measures and mechanical cracking products of “Nonpareil” almond (*Prunus dulcis* [Mill.] D.A. Webb.) with two advanced breeding selections. *Journal of Food Engineering*, 76:232–237.

Martins, M., Farinha, A., Ferreira, E., Cordeiro, V., Monteiro, A., Tenreiro, R. and Oliveira, M. 2001. Molecular Analysis of the Genetic Variability of Portuguese Almond Collections. *Acta Horticulturae*, 546: 449-452.

Micke, W. and Kester, D.E. 1998. Almond growing in California. *Acta Horticulturae*. 470: 21-28.

Mohsenin, N.N. 1980. *Physical Properties of Plants and Animal Materials*, Gordon and Breach Science Publishers, New York, NY.

Saura, F., Cañellas, J. and Soler, L. 1988. *La almendra. Composición, variedades, desarrollo y maduración*. Ed. I.N.I.A. Madrid, Spain.

Socias i Company, R., Kodad, O., Alonso, J. M., and Gradziel, T. M. 2008. Almond quality: a breeding perspective. *Horticultural Reviews*, 34: 197 238.

Valverde, M., Madrid, R. and García, A. 2006. Effect of the irrigation regime, type of fertilization, and culture year on the physical properties of almond (cv. Guara). *Journal of Food Engineering*, 76:584–593.

Vargas-García, F.J. and Romero Romero, M.A. 1994. ‘'Masbovera', 'Glorieta' and 'Francolí', three new almond varieties from IRTA. *Acta Horticulturae*, 373: 75-82.

Valorização de produtos na produção de extrudidos

Altino Choupina[1], Maria de Fátima Lopes-da-Silva[2], Luís Santos[3], Luísa Beirão-da-Costa[4]

[1]Centro de Investigação de Montanha (CIMO) e Dep.to de Biologia e Biotecnologia da Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança; albracho@ipb.pt

[2]Centro de Investigação de Montanha (CIMO) e Dep.to de Produção e Tecnologia Vegetal da Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança; lopes.silva@ipb.pt

[3]Dep.to de Produção e Tecnologia Vegetal da Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança; lsantos@ipb.pt

[4]Dep.to de Agro Industria e Agronomia Tropical / Secção de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa; lbeirao@isa.utl.pt

Resumo

Constituiu objetivo deste trabalho estudar a possibilidade tecnológica de produção de extrudidos à base de farinha de castanha. Delineou-se um plano experimental do processo de extrusão-cozedura, considerando três factores (X1,X2 e X3), cinco níveis para cada fator (0; 1; 1; 1,68179; -1,68179) e seis réplicas do ponto central (0). Numa extrusora de parafuso simples, fizeram-se variar parâmetros como a proporção das matérias-primas, milho (M) e castanha (C) –80M:20C; 64M:36C; 40M:60C; 16M:84C; 0M:100C; o teor de humidade (%) das misturas a processar – 12, 14, 16, 18 e 20; e a temperatura de processamento (°C) – 150, 164, 185, 205 e 220. Avaliaram-se comparativamente as características dos produtos extrudidos obtidos nas diversas combinações das farinhas de milho e de castanha, nas múltiplas condições ensaiadas, através das modificações funcionais dos amidos, designadamente, pelo comportamento amilográfico, e por avaliação instrumental da textura, através de parâmetros como a taxa de expansão, a força de ruptura e a energia de ruptura. Com base nestes resultados estabeleceu-se, numa segunda fase, um novo plano, substituindo a variável X3 (% de incorporação de castanha) pela velocidade do parafuso (r.p.m.) - 120, 155, 170, 185 e 220 – mantendo-se fixa a composição (100% castanha). A farinha de castanha apresenta uma baixa temperatura de gelatinização (59 °C), e elevada consistência nas suas pastas. Verificou-se que o seu amido - que constitui cerca de 49%, em base seca – apresenta uma relação amilose/amilopectina de 0,75, que é superior à da maioria dos cereais, como o milho ensaiado (cerca de 0,32). As maiores alterações ocorreram nas matérias-primas com baixos teores de humidade e a temperaturas de extrusão elevadas. O comportamento amilográfico das diversas misturas e as características de textura dos produtos extrudidos mostraram que a farinha de castanha tem potencial para ser utilizada como ingrediente na formulação de produtos por extrusão.

Palavras-chave: Extrusão, Castanha, Amido, Farinhas.

Valuation of products in extreme production Abstract

The goal of this work was to study the technological possibilities of production of extrudates based on chestnut flour. An experimental plan of the extrusion process was drawn, considering three factors (X1, X2 and X3), with five levels for each factor (0; 1; 1,68179; -1,68179) and six replicates for the center point (0). In a single-screw extruder, were varied parameters such as the proportion of raw materials, corn (M) and chestnut flours (C) - 80M: 20C; 64M: 36C; 40M: 60C; 16M: 84C; 0M: 100C; the moisture content (%) of the blends to be processed - 12, 14, 16, 18 and 20; and the processing temperature (° C) - 150, 164, 185, 205 and 220. The characteristics of the extruded products obtained in the various combinations of maize and chestnut flour in the multiple conditions tested were evaluated by means of the functional modifications of starches, namely by the amilographic behaviour, and by instrumental evaluation of the texture, through parameters such as expansion rate, rupture force and rupture energy. On the basis of these results, a new plan was established, which basically differed from the first one by the substitution of variable X3 (% of nut incorporation) by screw speed (rpm) - 120, 155, 170, 185 and 220 - keeping the composition (100% chestnut) fixed. Chestnut flour has a relatively low gelatinization temperature (59 °C), and high consistency in its pastes. Its starch - which constitutes about 49% on a dry basis - has been found to have an amylose / amylopectin ratio of 0,75, which is higher than that of most cereals, such as maize tested (about 0,32). The major changes occurred in raw

materials with low moisture content and processed with high extrusion temperatures. The amylographic behaviour of the various blends and the texture characteristics of the extruded products showed that chestnut flour has potential to be used as an ingredient in the formulation of foods by extrusion-cooking.

Key-words: Extrusion, Chestnut, Starch, Flours.

1. Introdução

Portugal é um dos maiores produtores europeus de castanha, com a região de Trás-os-Montes apresentando a maior produção, de 86% das 35 000 t produzidas em Portugal (INE, 2011).

Apesar de já existirem no mercado diversos produtos alimentares à base de castanha, designadamente, castanha ultracongelada, doces de castanha, castanha confitada e diversos produtos de pastelaria que incorporam castanha como ingrediente, esta matéria-prima tem ainda potencial para obtenção de novos produtos, recorrendo a tecnologias de processamento que ainda não foram utilizadas neste fruto como, por exemplo, a extrusão-cozedura.

A extrusão é uma etapa de processamento de matéria-prima sólida que junta num único equipamento (extrusora), várias operações unitárias e modificações físico-químicas, como mistura, cozedura, batedura, corte, moldagem, gelatinização, fusão, torra, caramelização, secagem e esterilização, e processos como a texturização, culminando na saída do respetivo produto através de um orifício (Lopes-da-Silva *et al*, 2015). De entre as suas vantagens, salienta-se a elevada produtividade, a ausência de produção de efluentes, a eficiência energética e a elevada diversidade de produtos obtidos, permitindo a valorização de lotes de matérias-primas de categorias de menor valor, por redução a farinha, seguida da obtenção de produtos a partir desta por extrusão-cozedura.

Este estudo pretendeu avaliar as possibilidades da utilização de farinha de castanha em extrusão-cozedura, avaliando alterações físico-químicas e funcionais do amido de castanha e caracterizando os produtos obtidos, face às modalidades tecnológicas ensaiadas.

2. Metodologia

Foram utilizados como matérias-primas "grits" de milho e castanha pilada, ambos adquiridos no comércio. As farinhas de castanha empregues nos ensaios de extrusão foram obtidas após trituração em moinho (Armfield, cat. ref. FT2), utilizando um crivo 0,71 mm de malha. O mesmo moinho foi usado posteriormente para moer os produtos extrudidos, com crivo de malha 0,42 mm.

A operação de extrusão iniciou-se pela pré-mistura dos ingredientes, incluindo o acerto de humidade das misturas de farinhas de castanha com ou sem milho, de acordo com o estabelecido no delineamento experimental correspondente e com a humidade original das farinhas. A água foi adicionada paulatinamente à mistura, que era agitada num misturador, de modo a que adquirisse uma boa homogeneização. Após este procedimento as diversas combinações foram estabilizadas em contentores selados à temperatura ambiente por um período de 24 h antes de serem processadas.

Ensaiou-se a produção dos produtos extrudidos com o uso de extrusora laboratorial de parafuso simples (Brabender, 20 DN), com taxa de compressão 3:1, velocidade de alimentação de 40 r.p.m. e diâmetro interno do orifício de saída de 3 mm, fazendo variar parâmetros como a velocidade do parafuso, a proporção das matérias-primas, milho (M) e castanha (C), o teor de humidade (%) das misturas a processar e a temperatura de processamento. Nas três zonas da extrusora, as temperaturas eram: na secção de alimentação de 150°C; nas secções de compressão e de cozedura as temperaturas eram idênticas, em ambas variando entre 150 e 220 °C.

Após a extrusão, os produtos extrudidos foram embalados em sacos de plástico, sob vácuo, a fim de evitarem alterações de humidade até serem moídos para posteriores análises.

O teor de humidade das matérias-primas foi determinado por gravimetria após dessecação em estufa a 100-105 °C, até massa constante.

Determinou-se o teor de amido nas farinhas de castanha e de milho, bem como nas farinhas obtidas pela moagem dos extrudidos, utilizando-se o método polarimétrico de Lintner (AOAC, 1999). Os valores finais foram obtidos da seguinte forma: % de amido = leitura polarimétrica (em grau) x 10.

A determinação da relação amilose/amilopectina nos amidos de castanha e de milho foi levada a cabo por cromatografia de filtração sobre gel, tendo sido empregue o gel Sepharose CL-2B (Pharmacia Fine Chemicals) e, como eluente, uma solução 0,02% (v/v) de NaN_3 à taxa de 0,5ml.min^{-1}, garantida por bomba peristáltica (LKB Bromma 2232 Microperpex S) ligada a um detetor (LKB Bromma 2138 Uvicord S). Para a estimativa das massas moleculares dos fragmentos dos diversos amidos usaram-se três padrões de dextrano. As amostras, após agitação em DMSO a 90% (v/v), foram aquecidas em banho-maria a 96°C, arrefecidas em banho a 25°C. De cada uma delas retirou-se uma alíquota, misturou-se em etanol a 95% para precipitar o amido, que foi redissolvido em água destilada e centrifugado. Do sobrenadante recolhido, 5 ml foi aplicado na coluna.

A taxa de expansão dos produtos extrudidos foi calculada pela razão entre o diâmetro dos produtos extrudidos (medido por craveira) e o diâmetro do orifício de saída da extrusora.

A consistência das pastas de farinha de castanha, milho e produtos extrudidos foi determinada num amilógrafo (Brabender, Duisburg). Este viscosímetro de torsão regista as variações de consistência devidas a um aumento gradual da temperatura. A execução prévia de vários ensaios determinou uma percentagem de amido na suspensão a introduzir no aparelho de 8,5%. Os ensaios foram conduzidos até 92 °C, seguindo-se o arrefecimento, a uma taxa controlada de 1,5 °C/min, até 20 °C.

Na determinação instrumental dos parâmetros de textura dos produtos de extrusão usou-se um texturómetro (Stable Micro Systems, TAX-T2) com uma célula do tipo Warner-Bratzler. Os parâmetros escolhidos para o teste de compressão, que se baseia na tensão à ruptura das amostras, foram os seguintes: taxa de deformação = 5 mm s^{-1}, distância de penetração = 10 mm; *triger point* = 10 g; limite de detecção de força = 5 g; *distance threshold* = 0,5 mm; *force scaling* = 100 g; *distance scaling* = 10 mm; pontos por segundo = 50; área de contacto = 0,8 mm^2; força de contacto = 10 g. O texturómetro foi calibrado com um peso de 5 kg e a célula foi centrada em relação ao suporte da amostra. As amostras foram colocadas perpendicularmente ao eixo de corte da célula, cujo ângulo de corte é de aproximadamente 6°. Obtiveram-se gráficos Força vs Distância, a partir dos quais foram determinados os valores relativos ao pico (Força de ruptura, N), área (Energia de ruptura, N.mm), largura da base (mm), primeiro gradiente (N/m), segundo gradiente (N/m) e distância de meia altura (mm), obtendo-se os valores médios e desvios-padrão de cinco repetições de cada amostra.

O delineamento experimental do processo de extrusão-cozedura teve por base uma matriz fatorial composta, por 3 fatores, cinco níveis para cada fator e seis réplicas do ponto central (Tabela 1).

Numa primeira fase, foi definido um ensaio experimental, que incluía diferentes incorporações de farinha de castanha à farinha de milho (ensaio A – Tabela 2).

Numa segunda fase, com base no mesmo delineamento, fixou-se o teor de castanha em 100%, passando os fatores a testar a serem a percentagem de humidade, a temperatura e a velocidade do parafuso da extrusora (ensaio B - Tabela 3).

O tratamento estatístico dos resultados dos amilogramas e dos resultados de textura seguiu a Metodologia das Superfícies de Resposta (RSM), depois dos resultados obtidos nos ensaios terem sido sujeitos às análises de regressão múltipla pelo método Phillip Corridan's PC Statistic Package.

Tabela 1 – Delineamento experimental, para três fatores (X_1, X_2, X_3), com cinco níveis para cada fator (-1,68179; -1; 0; +1; +1,68179) e seis réplicas do ponto central

	Fatores	Níveis		
		X_1	X_2	X_3
Fatores:	Bloco 1	-1	-1	-1
X_1 = Humidade (%)		-1	+1	+1
X_2 = Temperatura (°C)		+1	-1	+1
X_3 = Incorporação de castanha, %		+1	+1	-1
(ensaio A)		0	0	0
ou		0	0	0
Velocidade do parafuso, r.p.m.	Bloco 2	-1	-1	1
(ensaio B)		-1	+1	-1
		+1	-1	-1
		+1	+1	+1
		0	0	0
		0	0	0
	Bloco 3	+1,68179	0	0
Níveis:		-1,68179	0	0
0 = ponto central		0	+1,68179	0
+1,68179= nível superior		0	-1,68179	0
-1,68179 = nível inferior		0	0	+1,68179
+1 = 0 + (Δ/2)/√p		0	0	+1,68179
+1 = 0 + (Δ/2)/√p		0	0	0
Sendo Δ = amplitude e p = nº fatores		0	0	0

Tabela 2 – Níveis estabelecidos, com variação da incorporação de castanha

Fatores	Níveis				
	-1,68179	-1	0	1	1,68179
X_1 (Humidade, %)	12,00	13,62	16,00	18,38	20,00
X_2 (Temperatura, ºC)	150,0	164,2	185,0	205,8	220
X_3 (Incorporação de castanha, %)	20,0	36,2	60,0	83,78	100,00

Tabela 3 – Níveis estabelecidos, mantendo a percentagem de incorporação de castanha a 100%

Fatores	Níveis				
	-1,68179	-1	0	1	1,68179
X_1 (Humidade, %)	10,0	11,6	14,0	16,5	18,0
X_2 (Temperatura, ºC)	150,0	160,1	175,0	189,9	200,0
X_3 (Velocidade do parafuso, rpm)	120,0	155,1	170,0	184,9	220,0

3. Resultados e Discussão

Caracterização das matérias-primas

O teor de amido (base seca) na farinha de castanha usada na extrusão foi de 48,9%. Quanto à razão amilose/amilopectina, para a mesma farinha, foi de 0,75 (43% amilose e 57% amilopectina), enquanto na farinha de milho usada esta relação foi de 0,32 (24% amilose e 76% de amilopectina).

A Figura 1 mostra os perfis amilográficos obtidos a partir das várias combinações das matérias-primas.

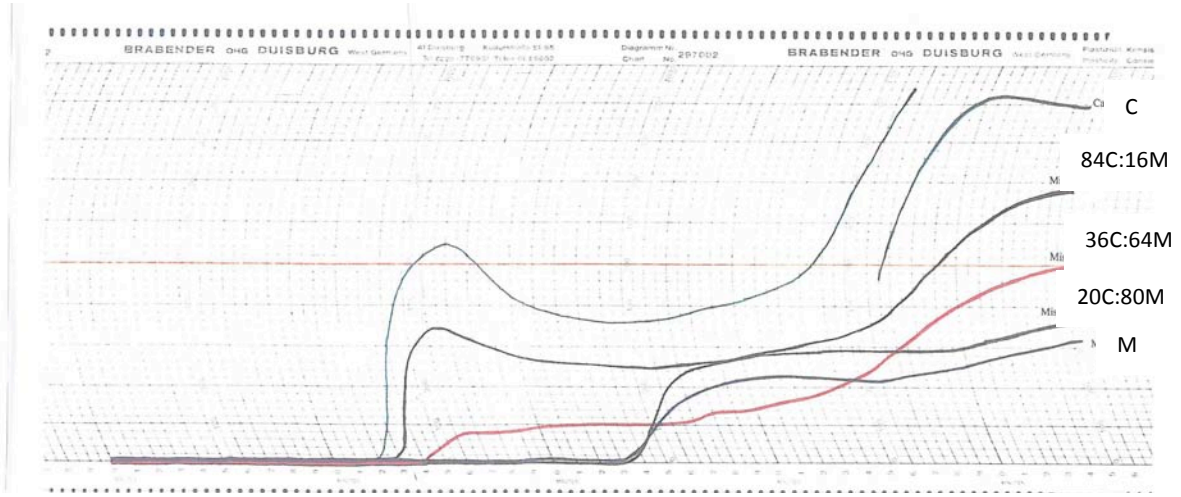


Figura 1 – Amilogramas das matérias – primas usadas na extrusão

A observação destes amilogramas mostra que, para uma mesma concentração de amido, o início de gelatinização da farinha de castanha ocorre mais cedo relativamente às outras matérias-primas (Tabela 4). O início de gelatinização vai sendo retardado à medida que a incorporação de castanha diminui e a de milho aumenta, sendo o início mais tardio na curva correspondente ao milho. É de salientar o valor da temperatura de início de gelatinização de castanha, 59°C, comparativamente com a do milho, 70°C. Esta observação vem de encontro ao que já se referiu na caracterização química quanto à relação amilose/amilopectina encontrada. De facto, iniciando-se o aumento de volume nas zonas mais desorganizadas, amorfas e intercristalinas dos grânulos, ou seja, nas regiões onde predomina a amilose, é de esperar que o amido de castanha apresente o início mais precoce de gelatinização e que este seja antecipado à medida que aumenta a incorporação de castanha.

Pelo mesmo motivo se compreendem os valores obtidos nos amilogramas para a consistência máxima, os quais, de uma forma geral, decrescem à medida que diminui a incorporação de castanha, sendo mínima para o milho.

Tabela 4 – Temperatura de início de gelatinização, consistência máxima (Unidades Brabender, U.B.) e temperatura a que se alcança para as combinações ensaiadas de matérias-primas

Matérias-primas	Temperatura de início de gelatinização (°C)	Consistência máxima (U.B.)	Temperatura no máximo de consistência (°C)
Castanha	59	545	61
Mistura 84%C + 16%M	60	340	63
Mistura 36%C + 64%M	63	100	68
Mistura 20%C + 80%M	69	280	67
Milho	70	230	72

Há portanto um aumento do fenómeno de lixiviação das moléculas de amilose à medida que se passa de milho para incorporações crescentes de castanha. Isto também poderia ser explicado pela

maior dilatação que os grânulos de amido de castanha sofrem no processo de gelatinização face aos grânulos de amido de milho, constatada por observação microscópica (dados não exibidos).

A quebra na consistência que se verificou após o registo do pico máximo, normalmente denominada liquefação do amido, foi mais acentuada na castanha. Esta quebra é devida à orientação das moléculas solúveis no sentido do escoamento (fase de reofluidificância).

Posteriormente, as moléculas de amilose que foram lixiviadas dos grânulos de amido têm tendência a reassociarem-se, ligando-se fortemente entre si por ligações de hidrogénio. Em soluções relativamente concentradas e - como é o caso da castanha - com elevado teor de amilose, isto conduz à formação de um gel "emborrachado", e posteriormente à saída de água do gel (sineresis) à medida que as ligações de hidrogénio aumentam e o gel se contrai. À medida que o gel arrefece, as cadeias tornam-se menos energéticas e as pontes de hidrogénio mais fortes, resultando um gel mais firme, que se traduz num aumento da consistência (Tabela 5).

Tabela 5 – Consistência na fase "set-back" (Unidades Brabender) para as diferentes matérias-primas

Matérias-primas	Consistência no "set-back" (U.B.)
Castanha	1380
Mistura 84%C + 16%M	685
Mistura 36%C + 64%M	495
Mistura 20%C + 80%M	360
Milho	320

Como seria de esperar, face aos resultados anteriormente obtidos, também a consistência após arrefecimento, ou seja, a retrogradação do amido, é muito mais acentuada no caso da castanha já que, sendo quantitativamente menores as zonas cristalinas, menos importância terão estas zonas para a estrutura do gel e mais acentuada a libertação de água para o exterior.

Caracterização dos produtos extrudidos

RSM dos parâmetros amilográficos

A partir dos amilogramas dos produtos extrudidos obtiveram-se os valores da consistência correspondentes a: consistência inicial a 20°C, consistência a 92°C e consistência no "set-back". Procedeu-se à determinação da equação matemática que melhor descreve a relação entre os fatores e a resposta, e dos seus coeficientes. O modelo resultante foi testado quanto ao seu grau de ajustamento, sendo a análise da superfície de resposta dada em termos da superfície mais ajustada.

Em função do valor do coeficiente de correlação (R^2) fez-se uma seleção dos resultados de RSM, tendo-se considerado, no ensaio experimental em que variava a percentagem de castanha, resultados a 20°C, a 92°C e no "set-back". No ensaio experimental exclusivamente com farinha de castanha apenas os resultados a 20°C (tabela 6). Os resultados de RSM correspondentes à consistência a 92°C e no "set-back" apresentam R^2 de 0,59 e 0,52, respetivamente. Estes valores de correlação, por serem baixos, não justificaram uma avaliação.

Tabela 6 – Equações de regressão correspondentes aos valores de resposta nos produtos extrudidos e respectivos valores de R^2

Resposta	Equação de regressão	R^2
Consistência a 20°C (U.B.)	$Y = 292,94 + 102,71\ X_1 - 191,80\ X_3 + 58,91\ X_1^2 + 68,63\ X_3^2$ (ensaio A)	0,90
	$Y = 559,48 + 74,67\ X_1 + 127,79\ X_2$ (ensaio B)	0,79
Consistência a 92°C (U.B.)	$Y = 12,58 - 40,62\ X_3 + 23,36\ X_1^2 + 14,52\ X_2^2 + 13,63\ X_3^2 - 15,62\ X_1X_2$ (ensaio A)	0,89
Consistência no "set-back" (U.B.)	$Y = 116,68 – 60,33\ X_3 + 39,43\ X_1^2$ (ensaio A)	0,71
Taxa de expansão	$Y = 1,683 - 0,1698\ X_1 - 0,293\ X_2 - 0,301\ X_3 + 0,188\ X_1X_3$ (ensaio A)	0,89
	$Y = 1,683 - 0,173\ X_1 - 0,166\ X_2$ (ensaio B)	0,86
Força de ruptura (N)	$Y = 4,274 - 2,471\ X_2 - 1,227\ X_3^2$ (ensaio A)	0,97
	$Y = 2,166 - 0,849\ X_1 - 0,891\ X_2$ (ensaio B)	0,79
Energia de rutura (N.mm)	$Y = 0,0148 - 0,00442\ X_1 - 0,00603\ X_2$ (ensaio B)	0,82

Verifica-se que a consistência amilográfica inicial (20°C) dos extrudidos depende linear e quadraticamente da percentagem inicial de humidade, e de uma forma quadrática e linearmente inversa da percentagem de incorporação de castanha. A respetiva equação matemática, sob a forma de um polinómio de 2ª ordem, está traduzida no diagrama da figura 2.

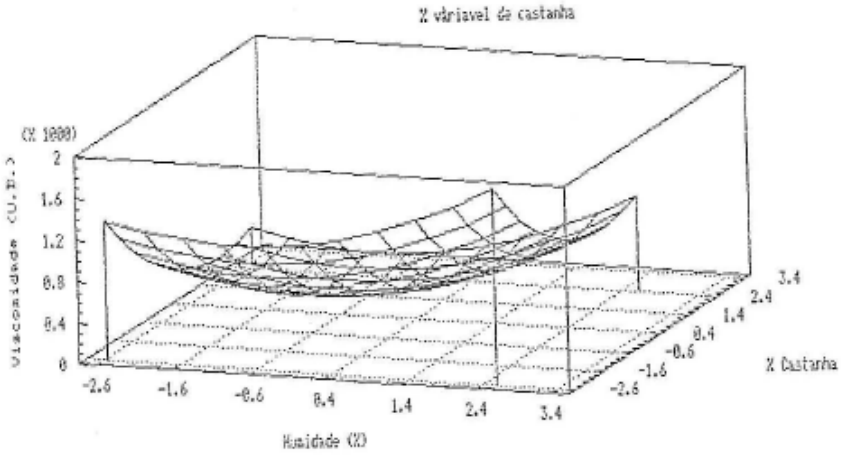


Figura 2 – Diagrama para a consistência a 20°C em função da percentagem de humidade (X_1) e da percentagem de incorporação de castanha (X_3)

A consistência a 20°C toma os maiores valores para humidades mais elevadas e para os menores valores de incorporação de castanha. Os valores mais baixos de consistência registam-se para humidades intermédias e também valores intermédios de castanha incorporada. Este último dado justifica-se porque a castanha possui uma percentagem de amido muito inferior ao milho e, adicionalmente, tem uma razão amilose-amilopectina superior ao milho. Por outro lado, é também sabido que o teor de humidade tem uma significativa influência no processo de gelatinização dos produtos extrudidos, devendo-se isso ao facto dos grânulos de amido exibirem uma maior dilatação e, consequentemente, maior desintegração (Atwell, 1986).

Já a consistência a 92°C varia quadraticamente com a temperatura, humidade e percentagem de castanha. Existe também uma interação entre a percentagem de humidade e a temperatura.
Podemos constatar que para um mesmo teor de humidade inicial, a consistência amilográfica a 92°C toma os maiores valores para temperaturas de extrusão extremas e percentagens de incorporação de castanha mínimas, o que se compreende porque a castanha possui um teor de amido bastante inferior ao do milho. Os produtos extrudidos a elevadas temperaturas têm uma consistência a 92°C mais elevada, pois o seu ponto de partida (a 20°C) é já mais elevado, porque as temperaturas elevadas provocam um maior grau de gelatinização do amido, e portanto, o perfil global da resposta é mais elevado. As temperaturas mais baixas levaram a uma menor gelatinização do amido dentro da extrusora, de forma que a gelatinização continuou depois no amilógrafo, daí a consistência elevada para estes valores de temperatura. Fixando a incorporação de castanha, os valores mais elevados de consistência (a 92°C) registam-se para temperaturas de extrusão elevadas e simultaneamente humidades baixas, e destas duas variáveis, a percentagem de humidade mostra maior importância que a temperatura de extrusão, o que é também confirmado pelos respectivos coeficientes na equação (Tabela 6).

Quanto à consistência na fase "set-back", a consistência a 92°C varia quadraticamente com o teor de humidade. Nesta fase, a temperatura constante, a consistência amilográfica das farinhas dos ensaios A, toma os valores mais altos para humidades extremas, em simultâneo com a percentagem de incorporação de castanha também extremas. Os amidos com elevado teor de amilose conduzem a baixa viscosidade durante a cozedura e a um gel firme no arrefecimento (Medcalf, 1973). É na capacidade das moléculas lineares de amilose de serem hidratadas, de se dispersarem durante a cozedura e ainda de se reassociarem facilmente no arrefecimento (retrogradação), que resulta a

consistência no "set-back", tomando aqui valores na ordem de 1000 U.B. Em soluções concentradas, a retrogradação conduz à formação de um gel "emborrachado", seguido da exudação da água do gel à medida que aumenta o número de ligações de hidrogénio (sineresis).

Quando se fez a utilização de farinha de castanha a 100% a consistência amilográfica inicial (20°C) dos extrudidos dependia linearmente da percentagem de humidade e da temperatura de extrusão, tomando os valores mais altos para temperaturas de extrusão e humidade elevadas (Figura 3).

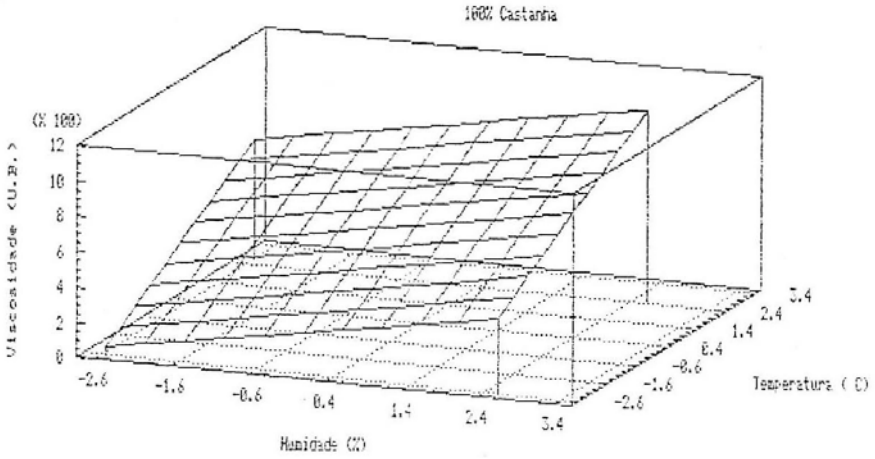


Figura 3 – Diagrama para a consistência a 20°C em função da percentagem de humidade (X_1) e da temperatura na extrusora (X_2)

Verifica-se também que esta consistência tem uma maior dependência da temperatura que da humidade, o que é confirmado pelos coeficientes respetivos na equação (Tabela 6).

Nos ensaios a percentagem de castanha variável, já se tinha constatado que, à medida que o teor de humidade das farinhas para extrusão aumenta, a consistência a 20°C também aumenta, mas aqui, nos extrudidos só de castanha, esse efeito parece ser mais evidente, porque os grânulos de amido de castanha exibem maior dilatação, e portanto, estão mais suscetíveis à desintegração que os grânulos de amido de milho. Por outro lado, este estudo revelou que a castanha uma relação amilose/amilopectina superior à do milho, sendo a amilose a principal responsável pelo aumento da consistência das pastas de amido.

RSM dos parâmetros de textura

Na sequência da avaliação instrumental da textura dos produtos obtidos por extrusão e do seu tratamento estatístico, fez-se uma seleção dos resultados de RSM em função do valor do coeficiente de correlação, R^2, tendo sido considerados os valores: a) da taxa de expansão, no ensaio experimental A (R^2=0,89) e no ensaio experimental B (R^2=0,86); b) da força de rutura, no ensaio A (R^2=0,97) e no ensaio B (R^2=0,79); c) da energia de rutura, no ensaio B (R^2=0,82), cujas equações de regressão se apresentam na Tabela 6.

Relativamente à taxa de expansão nos produtos extrudidos obtidos com misturas de castanha e de milho, a mesma varia de uma forma inversamente proporcional com a humidade, a temperatura e a percentagem de incorporação de castanha (Figura 4). A interação positiva detetada entre a humidade e a percentagem de incorporação de castanha atenua o efeito negativo destas duas variáveis.

Assim, a maior taxa de expansão (2,33 ± 0,09) ocorre nos produtos processados com uma temperatura final de 206°C, com 14% de humidade e com 36% de castanha incorporada.

Nos produtos extrudidos só com farinha de castanha, a taxa de expansão também varia de forma inversamente proporcional com a percentagem de humidade e com a temperatura, não dependendo da velocidade do parafuso (X_3) (Figura 5).

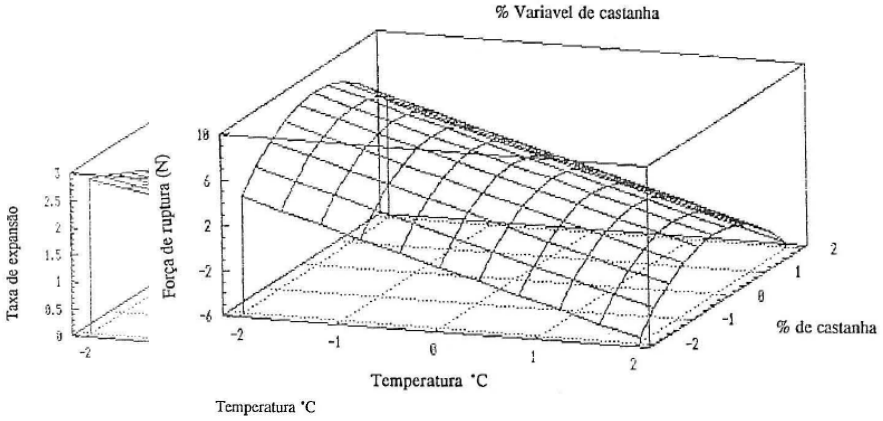


Figura 4 – Diagrama para a taxa de expansão em função da temperatura de extrusão (X_2) e da percentagem de incorporação de castanha (X_3)

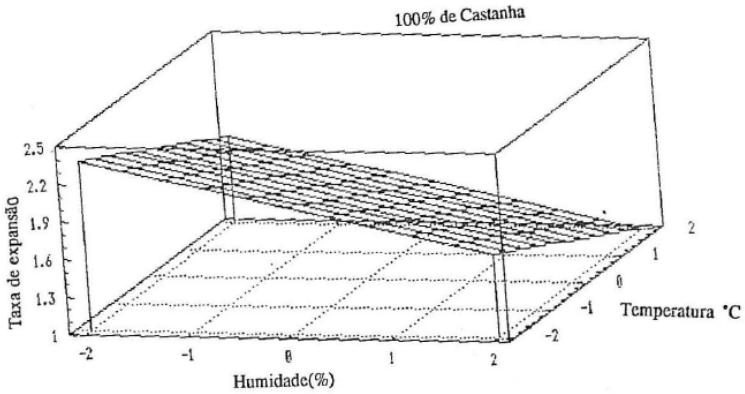


Figura 5 – Diagrama para a taxa de expansão em função da percentagem de humidade (X_1) e temperatura (X_2)

A taxa de expansão atinge valores mais elevados (1,90 ± 0,03) quando o teor de humidade da farinha de castanha é reduzido (10%) e quando a temperatura é baixa (175°C).

A diminuição da taxa de expansão com a percentagem de incorporação de castanha pode ser explicada pelo menor teor de amido desta comparativamente com o milho. A importância do teor de amido na expansão do produto final já tinha sido constatada por Mercier e Feillet (1975) e Linko *et al.*, (1986). A diminuição da taxa de expansão com o aumento do teor de humidade foi também verificada por Gomez e Aguilera (1984) e esta explicação foi complementada por Guy e Horne (1988) quando afirmaram que se o extrudido é demasiado húmido, depois de atravessar o orifício de saída da extrusora pode expandir significativamente, mas contrai-se antes de arrefecer e solidificar criando uma textura muito dura. No ensaio de produtos extrudidos com misturas de milho e castanha, a presença de farinha de milho veio conferir melhores propriedades de expansão, o que é consequência do maior teor em amido, comparativamente com a farinha de castanha.

Assim, verificou-se neste trabalho ser a quantidade e o tipo de amido mais importantes na variação da taxa de expansão do que a humidade da matéria-prima, o que vem corroborar estudos anteriores de Chinnaswamy e Hanna (1988a), os quais também adiantaram que uma maior percentagem de amilose no amido exige uma maior temperatura de extrusão para se obterem produtos extrudidos mais valorizados pelos consumidores.

Quanto ao parâmetro força de rutura, nos produtos extrudidos com misturas de castanha e de milho, para uma dada percentagem de humidade a força de rutura varia de forma inversamente proporcional com a temperatura e de forma quadraticamente inversa com a incorporação de castanha. Para uma mesma humidade, a força de rutura é máxima para percentagens de incorporação de castanha intermédias e temperaturas baixas.

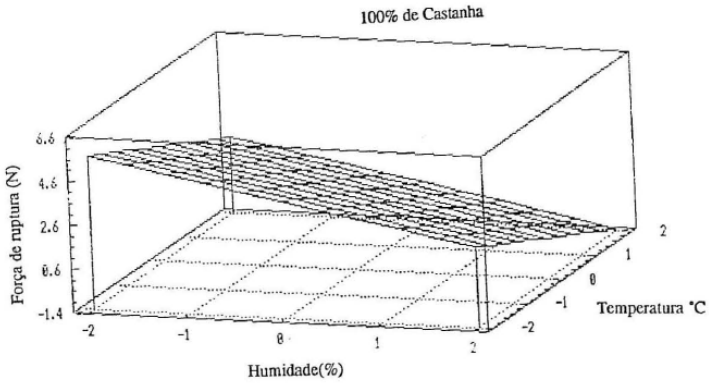


Figura 6 – Diagrama da força de ruptura em função da percentagem de humidade (X_1) e da temperatura (X_2)

Já nos produtos com 100% de castanha, a força de rutura varia linear e inversamente com a percentagem de humidade e com a temperatura, para uma dada velocidade de parafuso. O valor máximo da força de rutura ocorre para os mais baixos teores de humidade e as mais baixas temperaturas, como se pode ver na Figura 6.

O valor mais elevado da força de rutura (5,18 N) obteve-se no extrudido processado a 175°C, com 10% de humidade e com uma velocidade do parafuso de 170 r.p.m.. Este produto extrudido também é o que apresenta o maior valor para a taxa de expansão, como foi indicado anteriormente.

Relativamente à energia de rutura, no ensaio de extrudidos só de castanha, a mesma varia linear e inversamente com a percentagem de humidade e com a temperatura, ou seja, os valores mais baixos para a energia de rutura correspondem aos valores mais elevados de percentagem de humidade e de temperatura, como se pode observar no diagrama da figura 7.

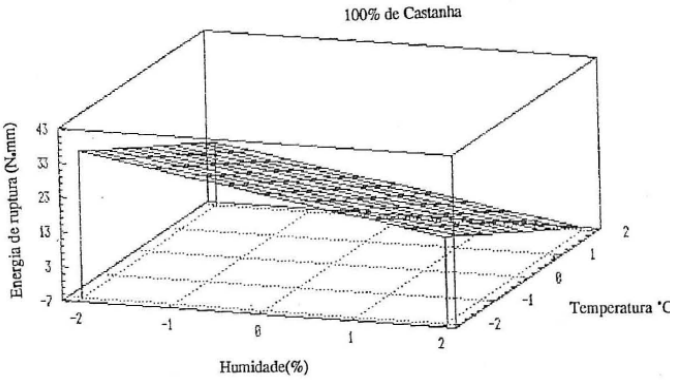


Figura 7 – Diagrama da energia de rutura em função da percentagem de humidade (X_1) e temperatura (X_2)

Os resultados da avaliação sensorial da textura (dados não apresentados) permitiram-nos verificar que as características de um bom produto extrudido são, genericamente, uma boa taxa de expansão, uma força de rutura média e em equilíbrio com a energia de rutura. Já uma força de rutura média resulta das características crocantes do produto extrudido. Por outro lado, um valor de força de rutura e um valor de energia de rutura simultaneamente elevados resultam de um produto mais plástico, o que é desvalorizado sensorialmente.

Nesta perspectiva, deve ser admitida na extrusora uma mistura a temperaturas intermédias e baixos teores de humidade ou compensar uma ligeira subida de humidade com aumento de temperatura. Estas afirmações justificam-se ainda mais nos extrudidos produzidos com castanha a 100%.

4. Conclusões

Os produtos obtidos por extrusão-cozedura são valorizados pelos consumidores, de um modo geral, pela sua taxa de expansão, elevada crocância, baixa plasticidade, elevada solubilidade na boca e pelo seu sabor.

Neste estudo, obtiveram-se produtos de extrusão à base de misturas de milho com castanha que apresentaram uma boa taxa de expansão e uma força de rutura intermédia e em equilíbrio com a

energia de rutura. São por isso produtos estaladiços e "crocantes" que apresentarão boa solubilidade na boca.

Apesar da concentração de amido ser menor na farinha de castanha que na farinha de milho, os produtos obtidos só com farinha de castanha apresentam uma taxa de expansão que constitui cerca de 76% do valor da maior taxa de expansão conseguida nos produtos de mistura, podendo isto dever-se à maior concentração de amilose e à maior massa molecular da amilopectina do amido de castanha relativamente às de milho.

Apreciando os resultados dos ensaios experimentais selecionados para avaliar algumas alterações físico-químicas nos amidos, verificou-se que a castanha possui na sua composição um elevado teor de amido – cerca de 49%, em base seca - e estas moléculas de amido de castanha possuem uma concentração de amilose elevada (na ordem dos 43%) e superior à da maioria dos cereais, como o milho ensaiado (cerca de 24%). Por outro lado, a massa molecular da amilopectina do amido de castanha é relativamente elevada e superior à da amilopectina do amido de milho. Estes dados justificam as curvas de consistência observadas nos amilogramas da farinha de castanha e explicam as alterações sofridas no processo de extrusão-cozedura. Neste processo, os grânulos de amido são alterados de forma diferente consoante as condições de extrusão. As condições mais drásticas, isto é, as que conduzem a maiores alterações são as de baixa humidade e elevada temperatura.

A dilatação dos grânulos de amido da castanha no processo de extrusão-cozedura é mais elevada que no milho, mantendo-se, no entanto, em maior extensão sem sofrer rutura.

Da apreciação global dos resultados podemos concluir que a farinha de castanha tem boas potencialidades para uma utilização como ingrediente na formulação de produtos obtidos por novas tecnologias, nomeadamente pela extrusão-cozedura.

Bibliografia

AOAC. 1999. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 16th Edition, Volume II, Arlington, Virginia

Atwell, W. 1986. *Viscosity of flour and starch in high water systems*. Fundamentais of Doughs Rheology. Ed. Hamed Faridi & Jon M. Faubion: 12-18

Chinnaswamy, E; Hanna, M. 1988a. *Relationship Between Amylose Content and Extrusion-Expansion Properties of Corn Starches*. Cereal Chemistry, 65 (2):138-143.

Gomez, M. & Aguilera, J. 1984. A physicochemical model for extrusion of corn starch*. J. Food Sci*., 49, p. 40-43.

Guy, R. & Horne, A. 1988. *Extrusion and co-extrusion of cereals*. FoodStructure – its creation and evaluation. Eds. Blanshard, J.M.V. e Mitchell, J.R. Butterworths. England. p. 331-349

Instituto Nacional de Estatística. 2011. *Recenseamento Agrícola 2009 – Análise dos principais resultados*. Edição Instituto Nacional de Estatística. Lisboa

Linko, P.; Colonna, P.; Mercier, C. 1986. High-temperature, short-time extrusion cooking. *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. 4. P. 145-235. 145-235

Lopes-da-Silva, M.; Santos, L.; Choupina, A. 2015. A extrusão em tecnologia alimentar: tipos, vantagens e inconvenientes. *Revista de Ciências Agrárias*, Volume 38, Nº1, p. 3-10

Medcalf, D. 1973. *Structure and Composition of Cereal Components as Related to their Potencial Industrial Utilization - Starch.* Industrial Uses of Cereals. p. 121 - 137

Mercier, C. e Feillet, P. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products*. Cereal Chem.* 52: 283

Experiencias con distintas espectroscopias en la evaluación de la calidad de aceitunas y de aceite de oliva

Lourdes Lleó[1], Natalia Hernández-Sánchez[1], María Gómez-del-Campo[2], Margarita Ruiz-Altisent[1]

[1] Laboratorio de Propiedades Físicas-Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación (LPF-TAGRALIA), ETSIAAB, Universidad Politécnica de Madrid, Av. Puerta de Hierro, 2 - 4, 28040 Madrid, España, lourdes.lleo@upm.es

[2] CEIGRAM, ETSIAAB, Universidad Politécnica de Madrid, Av. Puerta de Hierro, 2 - 4, 28040 Madrid, España

Resumen

El grupo LPF-TAGRALIA ha desarrollado diversos estudios empleando técnicas espectroscópicas aplicadas a la determinación no destructiva de la calidad de aceituna y del aceite de oliva.

La espectrocopia NIR ha sido aplicada a la determinación del contenido graso en aceituna fresca y en aceituna deshidratada. La espectroscopia de resonancia magnética nuclear de alta resolución se aplicó al estudio de la evolución de compuestos mayoritarios y minoritarios en aceite de oliva virgen extra. La espectroscopia de fluorescencia de alta resolución en excitación/emisión, en disposición 'front-face', se aplicó al estudio de aceites de oliva de diferentes calidades. A los espectros 3D adquiridos se les aplicaron distintos métodos de análisis multivariante, desarrollándose posteriormente un procedimiento específico que incluye los modelos quimiométricos que se mostraron óptimos para diferenciar distintos niveles de oxidación y frescura en los aceites. A partir del estudio de los espectros de alta resolución se diseñó un prototipo propio que permite de una manera mucho más sencilla y rápida adquirir las señales de fluorescencia de la clorofila y los productos de oxidación, así como de polifenoles y del α-tocoferol, a partir de la excitación simultánea con una banda amplia de longitudes de onda. Los estudios con este prototipo han permitido monitorizar la evolución de la clorofila y de los compuestos relacionados con los procesos de oxidación y se ha podido establecer diferencias en la tasa de envejecimiento entre distintos aceites varietales y entre distintas condiciones de almacenamiento.

Palabras clave: oxidación, antioxidantes, virgen extra, quimiometría

Different spectroscopies for the evaluation of the quality of olives and olive oil

Abstract

The research group LPF-TAGRALIA has developed diverse studies using spectroscopic technologies applied to non-destructive determination of the quality of olive fruits and olive oil. NIR spectroscopy was applied to the determination of the oil content in fresh olives and in dehydrated olives. High resolution nuclear magnetic resonance spectroscopy was applied to the study of the evolution of major and minor compounds in extra virgin olive oil. Fluorescence spectroscopy of high resolution in excitation /emission, in 'front-face' set-up, was applied to the study of different qualities of olive oils. Multivariate analysis was applied to the spectra and models were developed for differentiated levels of oxidation and freshness in the oils. LPF-TAGRALIA designed a prototype that allows in a much simpler and rapid way to acquire the fluorescence signal from chlorophyll and products of oxidation, as well as of polyphenols and α- tocoferol, with simultaneous excitation with a wide band of wavelengths. The studies with this prototype allowed to monitor the evolution of the chlorophyll and of the compounds related to the processes of oxidation and have established differences in the rate of aging between different oils varieties and between different conditions of storage.

Keywords: oxidation, antioxidant, extra virgin, chemometrics

1. Introducción

El cultivo y el consumo del aceite de oliva se han incrementado y extendido desde la zona mediterránea hacia otras regiones del mundo.

El creciente interés por este producto, en especial el aceite de oliva virgen extra (AOVE), se fundamenta en sus cualidades beneficiosas para la salud y en sus atributos sensoriales, ya que es rico en ácidos grasos monoinsaturados y en compuestos antioxidantes; y presenta una amplia gama de matices aromáticos y gustativos.

La comercialización del AOVE se ha vuelto cada vez más exigente en la evaluación de la calidad. El sector oleícola está sometido al cumplimiento de reglamentos que afectan a la comercialización de los aceites de oliva. Estos aceites deben categorizarse de acuerdo a numerosos parámetros físico-químicos realizados en laboratorios acreditados, así como a una valoración organoléptica por un panel de cata específico y acreditado. Dichas valoraciones son por lo general lentas, laboriosas y costosas.

Por otra parte la determinación rápida del contenido de grasa en las aceitunas es de gran interés en el proceso de extracción del aceite de oliva.

En este contexto surge el propósito de desarrollar nuevas metodologías de análisis robustas, fiables, rápidas y de bajo coste. El grupo LPF-TAGRALIA trabaja en el desarrollo de aplicaciones basadas en técnicas espectroscópicas que cumplan estos requisitos de evaluación de la calidad de aceituna y del aceite de oliva.

2. Materiales y métodos

El trabajo sobre aceites contempló un diseño de experimentos riguroso que permitió evaluar una variabilidad de estados de oxidación y frescura de los aceites considerando diversidad de orígenes (de almazaras, 13 muestras; de mercado, 17 muestras) y variedades (Arbequina, Picual, Cornicabra y Hojiblanca). También se simularon distintas condiciones de almacenamiento (en oscuridad, nevera, con exposición a luz solar) para evaluar su efecto en la evolución de los aceites, así como procesos de calentamiento y mezclas.

Se emplean distintas técnicas espectroscópicas: de reflectancia y transmitancia NIR, de transmitancia en el visible, de fluorescencia, y de RMN de alta resolución.

El estudio de transmitancia NIR/VIS y de fluorescencia incluyó un espectrofotómetro (Hamamatsu, Japan) con rango del detector desde 197 a 960 nm; lámpara UV-VIS de (L10290, Hamamatsu, Japan)

En el caso de ^{1}H RMN de alta resolución se empleó un equipo Bruker Avance III de 700.17 MHz.

En cuanto al estudio de fluorescencia se emplearon dos equipos; uno de alta resolución (LS45, Perkin-Elmer) con bandas de excitación muy estrechas (4 nm), y altos tiempos de análisis completo de cada muestra; un prototipo propio con excitación simultáneamente en una amplia banda de longitudes de onda, lo que reduce drásticamente el tiempo de evaluación de la muestra de aceite, conservando suficiente resolución. El equipo de alta resolución, con una presentación “front-face” de la muestra, barre individualmente una a una todas las bandas de excitación, obteniendo cada vez el correspondiente espectro de emisión. Este equipo es lento, aunque de gran especificidad; y permite adquirir la señal de los compuestos fluorescentes en una muestra con identificación altamente precisa de la longitud de onda de excitación correspondiente.

El estudio de reflectancia en NIR realizado en aceitunas de la variedad Arbequina (n= 122 muestras) incluyó el uso de FOSS NIR Systems 5000 en el rango 1100-2500 nm con 2 nm de resolución.

3. Resultados y discusión

La espectroscopia NIR ha sido aplicada a la determinación del contenido graso en aceituna fresca y en aceituna deshidratada. Se ha evaluado el efecto en la calidad y robustez de los modelos de predicción, de pretratamientos espectrales clásicos (SNV, MSC, etc.) y pretratamientos basados en la proyección ortogonal (OSC), obteniendo resultados muy alentadores.

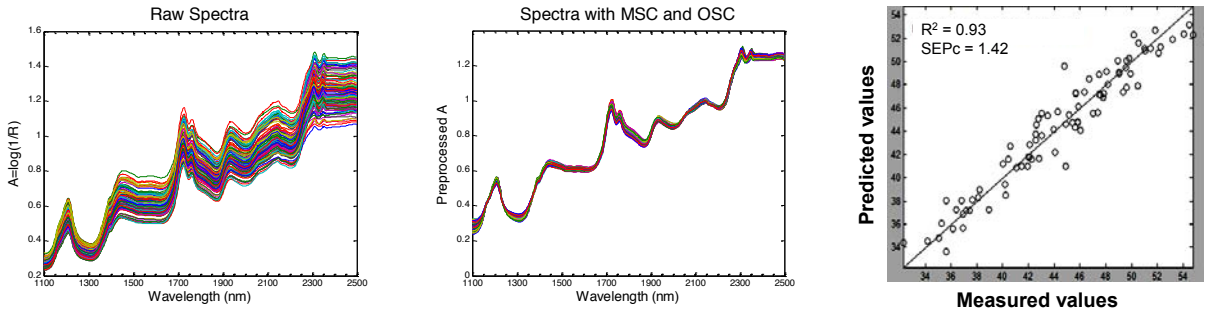


Figura 1. Espectros de aceitunas 'Arbequina' (n=122); a) crudos; b) pretratados con MSC y OSC; c) valores medidos (eje x), frente a predichos pr el modelo (eje y) del contenido de grasa (%)

La espectroscopia de resonancia magnética nuclear de alta resolución se aplicó al estudio de la evolución de compuestos mayoritarios y minoritarios en aceite de oliva virgen extra. Se simularon las condiciones de almacenamiento en estantería de un lineal. Se han identificado picos relevantes recogidos en bibliografía así como otros nuevos que aportan características diferenciadoras. El área de las regiones espectrales correspondientes a hidroperóxidos, diglicéridos, aldehídos, dobles enlaces conjugados y terpenos presentaron diferencias respecto del momento inicial del estudio. Además, tal como se observa en la figura 2, podrían proporcionar marcadores espectrales que permitirían identificar dichas calidades de aceite (aceite de oliva y aceite lampante).

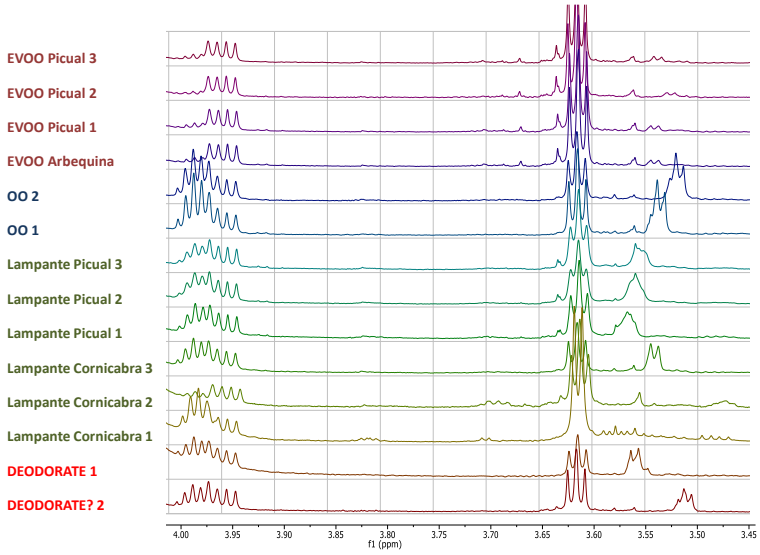


Figura 2. Espectros ^{1}H NMR de muestras de aceites de oliva virgen extra EVOO, de oliva OO, lampante y desodorizado.

La espectroscopia de fluorescencia de alta resolución permitió adquirir las señales de los compuestos fluorescentes con identificación precisa de la longitud de onda de excitación y emisión. Los resultados obtenidos con las técnicas de fluorescencia muestran su capacidad para la distinción entre

aceite de oliva virgen extra y otros aceites de oliva no extra. También para el seguimiento de la evolución en el tiempo, o envejecimiento, de distintos AOVE en diferentes condiciones de almacenamiento. Mostraron la viabilidad de la técnica para determinar las regiones correspondientes a los mismos compuestos encontrados en bibliografía.

La figura 3 muestra dos espectros tipo correspondientes a un aceite de oliva virgen extra (a) y a un aceite de oliva con cierto nivel de oxidación (b). Se identifican hasta cinco regiones características.

A los espectros adquiridos se les aplicaron distintos métodos de análisis multivariante, desarrollándose modelos quimiométricos óptimos para diferenciar distintos niveles de oxidación y frescura en los aceites. Las bandas de excitación/emisión más relevantes en esos modelos se correspondieron las observadas en los espectros: clorofila, polifenoles, α-tocoferol y productos de oxidación.

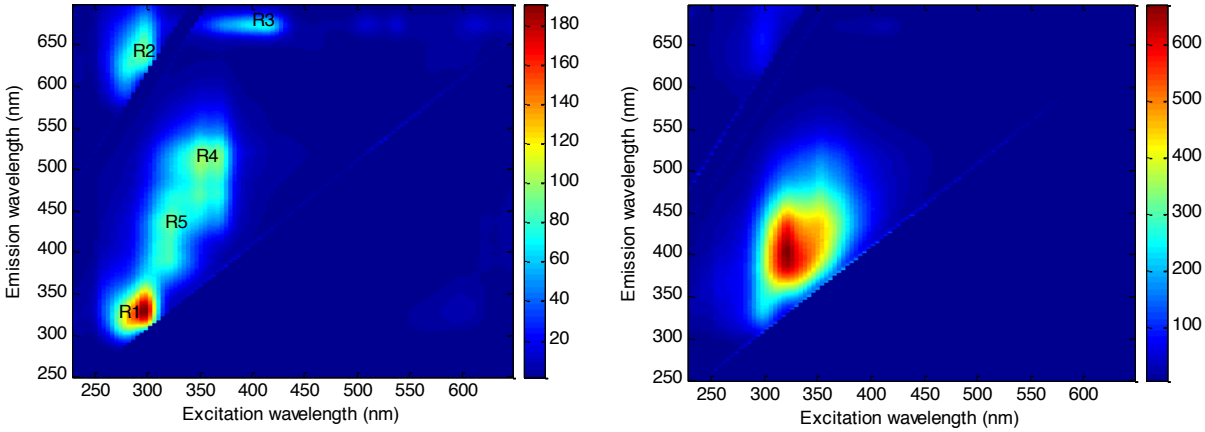


Figura 3 (a) Ejemplo de un espectro de fluorescencia 'front-face' 3D de un AOVE; (b) ejemplo de un espectro de un aceite de oliva (O6). Las regiones de emisión de alta intensidad están marcadas de R1 a R5. Obsérvese la escala de color diferente.

A partir del estudio de los espectros de alta resolución se diseñó un prototipo propio que permitió de una manera mucho más sencilla y rápida adquirir las señales de fluorescencia de la clorofila y los productos de oxidación, así como del α-tocoferol, a partir de la excitación simultánea con una banda amplia de longitudes de onda. El estudio de dichos espectros permitió corroborar el paralelismo entre el equipo de alta resolución y este mucho más simple. Los estudios con este prototipo han permitido monitorizar la evolución de la clorofila y de los compuestos relacionados con los procesos de oxidación y se ha podido establecer diferencias en la tasa de envejecimiento entre distintos aceites varietales y entre distintas condiciones de almacenamiento. La figura 4, fila superior, muestra la evolución de los espectros de fluorescencia de n=13 muestras de aceites AOVE procedentes de mercado, recién comprados, después de uno y dos meses de almacenamiento con exposición a luz indirecta. Se observa que el nivel de señal cambia con el periodo de almacenamiento; disminuye en el pico de la clorofila (en torno a 670 nm) y aumenta en el área de los productos de oxidación (400 - 550 nm). Esta relación es descrita por una función polinomial como se ilustra en la figura 4.

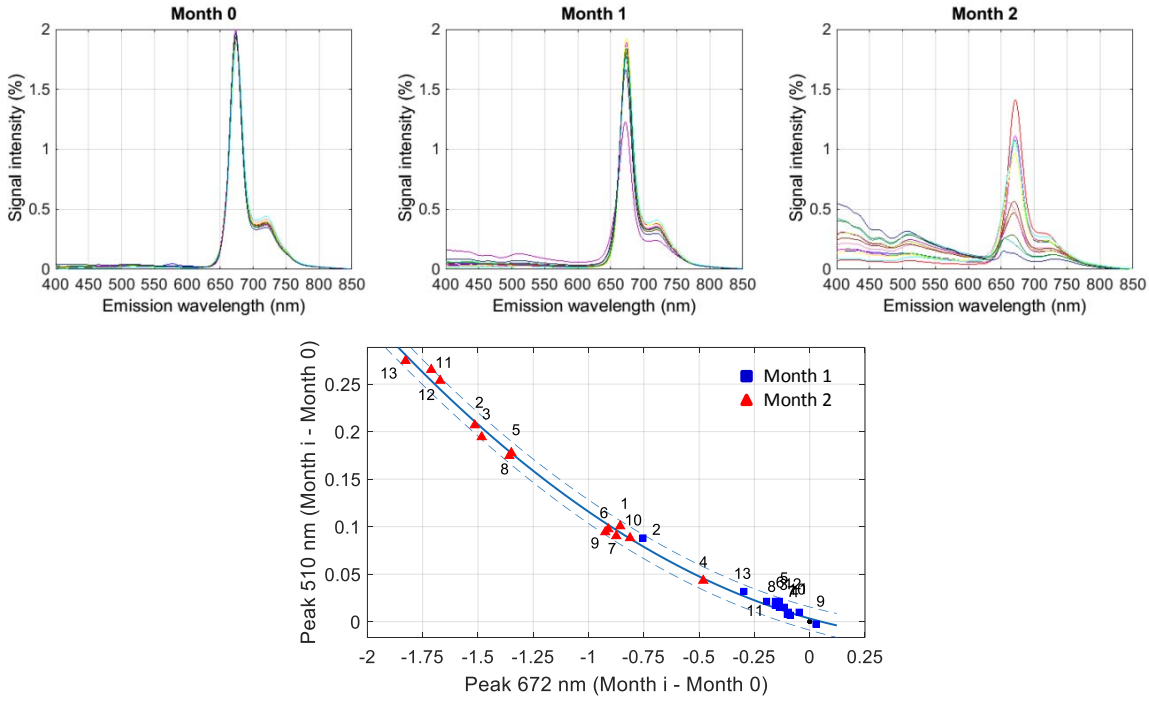


Figura 4. Fila superior: Espectros de fluorescencia 2D con excitación simultánea de 200 a 400 nm (13 muestras de AOVE del mercado minorista) en mes de control (mes 0) y después de 1 y 2 meses de almacenamiento con exposición indirecta a luz diurna. Fila inferior: Gráfico de dispersión de las diferencias entre Mes 1 y Mes 0 y entre Mes 2 y Mes 0 de la señal a 672 nm (eje x) y a 510 nm (eje y). Línea continua: curva polinomial grado de ajuste dos; líneas discontinuas: límites de confianza del 95%.

4. Conclusiones

Las diferentes técnicas espectroscópicas han demostrado su capacidad para la evaluación de la calidad de aceitunas y aceite de oliva, así como en el seguimiento de su evolución.

La espectroscopia de fluorescencia se muestra como la técnica con mayor potencial para responder a los requisitos de desarrollo de instrumentos rápidos, precisos y de bajo coste.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro Tecnológico Agroalimentario de Lugo (España), Comunidad de Madrid (S2013/ABI-2747, el TAVS-CM, España) y European Structural Funds la financiación de los trabajos. Además los autores agradecen a Juan Ramón Izquierdo del Laboratorio Arbitral Agroalimentario del MAGRAMA (España) su asesoramiento sobre la calidad de aceite de oliva, la provisión de muestras y datos analíticos. LPF-TAGRALIA es parte del CEI Moncloa Campus de Excelencia, UPM-UCM (España).

Bibliografía

Hernández-Sánchez N, Lleó L, Ammari F, Cuadrado TR, Roger JM. 2017. Fast Fluorescence Spectroscopy Methodology to Monitor the Evolution of Extra Virgin Olive Oils Under Illumination. *Food and Bioprocess Technology* 10 (5):949-961.

Hernández-Sánchez Natalia, Lourdes Lleó García, Teresa Cuadrado, María Dolores Molero Vílchez, Margarita Ruiz-Altisent. 2014. HR Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy for

authentication of olive oil quality. *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering AgEng 2014 Zurich*. ISBN: 978-0-9930236-0-6.

Hernández-Sánchez Natalia, María Victoria Gómez Del Campo, Beatriz Somoza-Rodríguez, Jean-Michel Roger. 2014. Elimination of variability sources in NIR spectra for the determination of fat content in olive fruits. *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering – AgEng 2014 Zurich*. ISBN: 978-0-9930236-0-6.

Lleó Lourdes, Natalia Hernández-Sánchez, Faten Ammari, Jean-Michel Roger. 2016. 3D front-face fluorescence spectroscopy for characterization of extra virgin olive oil and olive oil according to the spectral pattern. *CIGR* 18 (4).

A irradiação como tecnologia pós-colheita viável para conservação de cogumelos, vegetais e plantas aromáticas

José Pinela[1,2], Filipa Reis[1], Eliana Pereira[1,2], Ângela Fernandes[1,2], M. Beatriz P.P. Oliveira[2], Amilcar L. Antonio[1], Sandra Cabo Verde[3], Isabel C.F.R. Ferreira[1]

[1] Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal. iferreira@ipb.pt

[2] REQUIMTE/LAQV, Faculdade de Farmácia, Universidade do Porto, Rua Jorge Viterbo Ferreira, nº 228, 4050-313 Porto, Portugal.

[3] Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), IST, Universidade de Lisboa, E.N. 10, 2695-066 Bobadela, Portugal.

Resumo

A irradiação é um tratamento pós-colheita utilizado para processar produtos destinados à indústria alimentar e farmacêutica. Esta tecnologia é frequentemente combinada com outros processos de conservação, tais como a secagem e o embalamento, para tirar partido de possíveis efeitos sinérgicos. De facto, a elevada perecibilidade de alguns alimentos e matérias-primas torna imprescindível aplicar tratamentos de conservação capazes de aumentar o tempo de vida útil, mas com um impacto mínimo em atributos de qualidade. Este estudo pretendeu avaliar a adequabilidade da irradiação para conservar parâmetros nutricionais de cogumelos, vegetais e plantas aromáticas durante o tempo de vida útil. O cogumelo e as plantas aromáticas foram irradiados com feixe de eletrões a uma dose máxima 10 kGy e analisadas após irradiação e passados 6 e 12 meses ou 12 e 18 meses, respetivamente. Os vegetais frescos foram irradiados numa câmara experimental de ^{60}Co a uma dose máxima de 6 kGy. Estes foram analisados antes de irradiar e após 7 ou 14 dias de armazenamento a 4 °C. O tratamento de irradiação permitiu manter mais eficazmente o perfil nutricional do cogumelos e dos vegetais durante o armazenamento, comparativamente com amostras não irradiadas. Além disso, o tempo de armazenamento teve um maior impacto no perfil nutricional do cogumelo do que a irradiação (com exceção dos ácidos gordos). No caso das plantas aromáticas, apesar de a irradiação ter atenuado perdas de qualidade durante o armazenamento, não foi possível identificar uma tendência geral pois os fatores testados tiveram efeitos dissimilares nas diferentes espécies.

Palavras-chave: tecnologia pós-colheita, feixe de eletrões, radiação gama, composição nutricional, qualidade alimentar

Irradiation as a feasible post-harvest technology for preservation of mushrooms, vegetables and aromatic plants

Abstract

Irradiation is a post-harvest treatment used to process products for the food and pharmaceutical industries. This technology is often combined with other preservation factors, such as drying and packaging, to take advantage of possible synergistic effects. In fact, the high perishability of some foods and raw materials makes imperative to apply preservation treatments capable of extending shelf-life but with minimal impact on quality attributes. This study aimed to evaluate the suitability of irradiation for preserving nutritional parameters of mushrooms, vegetables and aromatic plants during shelf-life. The mushroom and aromatic plants were electron beam irradiated at a maximum dose of 10 kGy and analyzed after irradiation and after 6 and 12 months or 12 and 18 months, respectively. The fresh vegetables were irradiated in a ^{60}Co experimental chamber at a maximum dose of 6 kGy. These were analyzed before irradiating and after 7 or 14 days of storage at 4 °C. The irradiation treatment allowed maintaining more efficiently the nutritional profile of the mushroom and vegetables during storage, as compared to non-irradiated samples. In addition, the storage time had a greater impact on the nutritional profile of the mushroom than irradiation (with the exception of fatty acids). In

the case of aromatic plants, although the irradiation attenuated quality losses during storage, it was not possible to identify a general trend since the tested factors had dissimilar effects in the different species.

Keywords: post-harvest technology, electron beam, gamma radiation, nutritional composition, food quality

1. Introdução

O processo de irradiação é um tratamento pós-colheita que consiste na exposição de alimentos embalados ou a granel a uma dose controlada de radiação ionizante. É utilizada para desinfestar e sanitizar diferentes produtos, incluindo cogumelos, vegetais e plantas aromáticas, e também para retardar processos de maturação e senescência (ICGFI 1999). Trata-se de uma alternativa sustentável face aos agentes químicos vulgarmente utilizados, não deixa resíduos no alimento e na União Europeia encontra-se regulamentada para vários produtos alimentares (Directiva 1999/3/CE).

Os cogumelos, os vegetais e as plantas aromáticas são alimentos/matérias-primas altamente perecíveis, sendo necessário submetê-los a tratamentos pós-colheita que estendam o seu tempo de vida útil e garantam a sua qualidade e segurança. Estes produtos são propensos à presença de insetos, microrganismos e parasitas, os quais aceleram os processos de degradação e representam uma ameaça para a saúde pública. A irradiação ionizante tem sido apontada como uma tecnologia de conservação eficaz e sustentável (Lacroix e Ouattara, 2000; Pinela e Ferreira, 2017), mas torna-se necessário saber qual a dose mais indicada para cada produto alimentar e matéria-prima de forma a não afetar negativamente as sua propriedades nutricionais e composição química.

O tratamento de irradiação é geralmente combinado com outros processos de conservação, tais como a secagem (remoção da atividade da água) e o embalamento (prevenção de contaminações pós irradiação), o que permite aumentar consideravelmente o tempo de prateleira. O processo de secagem permite superar problemas relacionados com a superprodução de alimentos e tempos de vida útil limitados. De facto, os produtos secos, nomeadamente os cogumelos desidratados e embalados podem ter uma vida útil superior a um ano (Walde et al., 2006). No entanto, a secagem provoca alterações indesejáveis no produto tais como perda de nutrientes, ocorrência de reações enzimáticas e fenómenos de oxidação de lípidos e vitaminas (Celestino, 2010). Além disso, a flora dominante de bactérias e fungos tem a capacidade de sobreviver por longos períodos de tempo nos alimentos desidratados caso não sejam submetidos a tratamentos de desinfeção (Almeida, 2006). O uso de matérias-primas de qualidade microbiológica é também um requisito imprescindível no setor dos frutos e vegetais embalados prontos a consumir (Pinela e Ferreira, 2017) e na indústria farmacêutica (Haleem et al., 2014; Ibrahim et al., 2014).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto do tratamento de radiação ionizante (radiação gama e/ou feixe de eletrões) sobre a composição nutricional e teores em açúcares e tocoferóis de diferentes produtos agrícolas, nomeadamente cogumelos, vegetais frescos e plantas aromáticas.

2. Material e Métodos

Amostras: Exemplares silvestres de *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer (cogumelo frade), *Nasturtium officinale* R. Br. (agrião) e *Rumex induratus* Boiss. & Reut (azedas) foram colhidos na região de Bragança, Portugal. As plantas aromáticas *Aloysia citrodora* P. (lúcia-lima), *Melissa officinalis* L. (erva-cidreira), *Melittis melissophyllum* L. (betónia-bastarda) e *Mentha piperita* L. (hortelã-pimenta) foram fornecidas pela empresa Pragmático Aroma Lda. de Alfândega da Fé, Portugal, sob a forma desidratada.

Processamento das amostras: As amostras de *M. procera* foram desidratadas numa estufa a 30 °C e seguidamente irradiadas com feixe de eletrões a 0,5, 1 e 6 kGy. A análise foi realizada após irradiação e passados 6 e 12 meses de armazenamento. As amostras secas de *A. citrodora*, *M. officinalis*, *M. melissophyllum* e *M. piperita* foram reduzidas a pó e irradiadas a 10 kGy com feixe de eletrões. A

análise foi realizada após irradiação e passados 12 e 18 meses de armazenamento. O processo de irradiação com feixe de eletrões foi realizado no Instituto Nuclear de Química e Tecnologia (INCT) em Varsóvia, Polónia. Os exemplares de *N. officinale e R. induratus* foram lavados em água corrente e uma porção prontamente analisada (controlo não armazenado). O restante material fresco foi embalado em sacos esterilizados de polietileno e seguidamente irradiado a 1, 2 e 5 ou 6 kGy (doses de radiação gama estimadas), respetivamente, numa câmara experimental de ^{60}Co situada no Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN) em Lisboa, Portugal. As amostras foram armazenadas a 4 °C durante 7 e 12 dias (para *N. officinale e R. induratus*, respetivamente) e finalmente analisadas. Um grupo controlo não irradiado (0 kGy) seguiu todos os ensaios realizados.

Avaliação da composição nutricional: Os teores de água, proteínas, lípidos e cinzas foram determinados seguindo os procedimentos das normas AOAC (AOAC, 2016). O teor de glúcidos foi estimado por diferença utilizando a Equação (1) e a energia foi calculada utilizando a Equação (2).

$$\text{Glúcidos (g)} = 100 - (\text{g água} + \text{g proteínas} + \text{g lípidos} + \text{g cinzas}) \quad (1)$$

$$\text{Energia (kcal)} = 4 \times (\text{g proteínas}) + 4 \times (\text{g glúcidos}) + 9 \times (\text{g lípidos}) \quad (2)$$

Análise de compostos individuais: Açúcares, tocoferóis e ácidos gordos foram determinados seguindo os procedimentos descritos por Fernandes et al. (2014), Pereira et al. (2015) e Pinela et al. (2016a,b). A análise de açúcares e tocoferóis foi realizada num sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) acoplado a um detetor de índice de refração ou de fluorescência, respetivamente. Estes foram identificados por comparação cromatográfica com padrões comerciais e quantificados através do método do padrão interno (PI, melezitose e tocol, respetivamente). A análise dos ácidos gordos foi realizada num sistema de cromatografia gasosa acoplado a um detetor de ionização de chama (GC-FID). Estes foram identificados por comparação dos tempos de retenção relativos dos picos FAME (ésteres metílicos de ácidos gordos) das amostras com padrões comerciais e expressos em percentagem relativa de cada ácido gordo.

Análise estatística: Os dados foram tratados utilizando o *software* SPSS, versão 22.0 (SPSS Inc). As diferenças induzidas pela irradiação nos parâmetros nutricionais dos vegetais frescos foram avaliadas usando uma análise de variância a um fator (ANOVA). O cumprimento dos requisitos da ANOVA foi testado por meio dos testes de Shapiro-Wilk's e Levene. Para as amostras de *M. procera* e plantas aromáticas, foi realizada uma ANOVA com soma de quadrados tipo III utilizando o procedimento do modelo linear geral (GLM). As variáveis dependentes foram analisadas por ANOVA bidirecional, considerando os fatores FE (dose de feixe de eletrões) e TA (tempo de armazenamento). A interação (FE×TA) também foi avaliada; quando significativa, as diferenças foram analisadas a partir das parcelas de médias marginais estimadas e, quando não estatisticamente significativa (p> 0,05), os meios pertencentes a cada fator foram comparados pelo teste t-student.

3. Resultados e Discussão

3.1. Efeito na composição de *M. procera*

Os resultados da composição nutricional, energia e conteúdo em açúcares das amostras secas de *M. procera* submetidas a diferentes doses de irradiação (0,5, 1 e 6 kGy) e tempos de armazenamento (0, 6 e 12 meses) são apresentados na Tabela 1. Os teores de proteínas, lípidos e cinzas apresentaram uma tendência a decrescer com o tempo de armazenamento, fenómeno que afetou o teor de glúcidos, macronutrientes que aumentaram ao longo do tempo. Por outro lado, o tratamento de irradiação não causou alterações significativas, com exceção do menor valor proteico nas amostras irradiadas com a dose de 0,5 kGy. Relativamente aos açúcares, a trealose (≈9 g/100 g massa seca) e o manitol (≈5 g/100 g massa seca) foram os açúcares predominantes, sendo a frutose e a melezitose encontradas em menor quantidade nas amostras não armazenadas. A irradiação aplicada não

provocou alterações particulares, com exceção dos maiores teores de frutose em amostras irradiadas a 0,5 kGy; por outro lado, a trealose e o manitol foram detetados em maior quantidade nas amostras não armazenadas.

A Tabela 2 apresenta os efeitos da irradiação e do tempo de armazenamento nos teores de tocoferóis e ácidos gordos das amostras secas de *M. procera.* δ-Tocoferol foi a isoforma encontrada em maior quantidade (≈60 μg/100 g massa seca). β-tocoferol e γ-tocoferol foram também detetados em quantidades significativas, sendo o δ-tocoferol relativamente estável com o tempo de armazenamento e com as doses aplicadas. As isoformas β- e γ- foram detetados apenas nas amostras não armazenadas. No que se refere aos ácidos gordos, na espécie *M. procera* foram quantificados 25 ácidos gordos individuais, sendo o ácido linoleico (≈60%), o palmítico (≈25%) e o oleico (≈9%) os maioritários. Estes compostos lipofílicos sofreram alterações significativas tanto com as doses aplicadas como com o tempo de armazenamento (Tabela 2).

3.2. Efeito na composição das plantas aromáticas

Os resultados da composição nutricional, energia e teor em açúcares das amostras secas de *A. citrodora*, *M. officinalis*, *M. melissophyllum* e *M. piperita* em função da dose de irradiação (0 e 10 kGy) e do tempo de armazenamento (0, 12 e 18 meses) são apresentados na Tabela 3. Estes são apresentados em percentagem diferencial em relação aos valores do controlo publicados por Pereira et al. (2015). Os teores de gordura (especialmente em *A. citrodora* e *M. piperita*) e de cinzas tenderam a diminuir ao longo do tempo de armazenamento. De um modo geral, a sacarose destacou-se como sendo o açúcar presente em maior quantidade na amostra controlo (0,9 a 7,1 g/100 g massa seca), verificando-se uma diminuição estatisticamente significativa após 18 meses para a glucose (em *A. citrodora* e *M. piperita*), a sacarose, a trealose e os açúcares totais (em *M. piperita*).

O conteúdo em tocoferóis sofreu uma acentuada diminuição ao longo do tempo de armazenamento (Tabela 4), o qual foi significativamente maior após 18 meses (exceto para β-tocoferol), quando comparado com os resultados obtidos após 12 meses. O tratamento com feixe de eletrões não evitou essas reduções significativas na maioria das ocasiões, mas teve um efeito positivo nos teores de α-tocoferol (em *M. officinalis*), β-tocoferol (em *A. citrodora*), γ-tocoferol (em *M. officinalis* e *M. piperita*) e de tocoferóis totais (em *M. officinalis*). Também foi possível detetar um elevado número de ácidos gordos nas espécies aromáticas estudadas. O ácido α-linolénico foi o ácido gordo maioritário em todas as espécies. Verificou-se, na maioria dos casos, uma interação positiva entre os fatores dose de irradiação e tempo de armazenamento. No caso particular das amostras não irradiadas de *A. citrodora* e *M. piperita*, estas apresentaram o maior aumento de ácidos gordos saturados e monoinsaturados (Tabela 4), assim como as amostras irradiadas de *M. officinalis* e *M. melissophyllum*.

Tabela 1. Composição nutricional (g/100 g massa seca), energia (kcal/100 g massa seca) e teor em açúcares (g/100 g massa seca) das amostras desidratadas de M. procera submetidas a diferentes doses de irradiação por feixe de eletrões (FE) e tempos de armazenamento (TA). Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão.

		Humidade	Lípidos	Proteínas	Glúcidos	Cinzas	Energia	Frutose	Manitol	Trealose	Melezitose	Açúcares totais
FE	*0 kGy*	90±1	2±1	29±6	63±8	6±1	388±2	0,05±0,05	5±2	9±3	0,2±0,2	14±6
	0.5 kGy	91±1	2±1	24±8	68±10	6±1	387±3	0,1±0,1	4±1	7±1	0,2±0,2	12±2
	1 kGy	91±1	2±1	28±8	64±10	6±1	385±2	0,05±0,05	5±2	11±4	0,3±0,3	16±6
	6 kGy	91±1	1,8±0,5	28±8	64±9	6±1	386±3	0,05±0,05	4±1	10±2	0,2±0,2	14±4
	p-valor (n=36)	0,068	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
TA	*0 meses*	91±1	2,8±0,4	36±1	54±1	7,7±0,4	383±1	0,15±0,05	7±1	13±3	0,7±0,1	20±4
	6 meses	na	2,0±0,2	28±4	64±4	5,2±0,3	389±1	nd	3,3±0,3	7±1	nd	11±1
	12 meses	na	1,1±0,1	18±1	76±1	4,7±0,3	387±1	nd	3,5±0,5	8±1	nd	11±2
	p-valor (n=27)	na	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
FE×TA	*p-valor (n=108)*	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

na: não aplicável; nd: não detetado. Resultados publicados em Fernandes et al. (2014).

Tabela 2. Composição em tocoferóis (µg/100 g massa seca) e ácidos gordos (AG,% relativa) das amostras secas de M. procera submetidas a diferentes doses de irradiação por feixe de eletrões (FE) e tempos de armazenamento (TA). Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão.

		α-Tocoferol	β-Tocoferol	γ-Tocoferol	δ-Tocoferol	Total tocoferóis	AG saturados	AG monoinsaturados	AG polinsaturados
FE	*0 kGy*	8±5	23±33	8±12	64±10	103±43	34±2	9,5±0,4	56±2
	0.5 kGy	6±2	9±13	9±12	75±9	99±18	30±5	10,8±0,2	59±6
	1 kGy	2±1	4±6	19±27	51±10	77±38	27±3	9,5±0,5	63±3
	6 kGy	3±1	15±22	15±22	46±20	80±64	29±1	10±1	60±1
	p-valor (n=36)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
TA	*0 meses*	4±1	39±21	38±14	64±7	145±22	28±5	10±1	62±5
	6 meses	7±5	nd	nd	56±20	63±21	31±3	10±1	59±4
	12 meses	3±1	nd	nd	58±21	61±22	32±2	10±1	58±2
	p-valor (n=27)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
FE×TA	*p-valor (n=108)*	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

nd: não detetado. Resultados publicados em Fernandes et al. (2014).

Tabela 3. Variação na composição nutricional, energia e açúcares (percentagem diferencial em relação aos valores do controlo: Pereira et al., 2015) das amostras secas das plantas aromáticas em função do feixe de eletrões (FE) a 10 kGy e do tempo de armazenamento (TA). Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão.

			Lípidos	Proteínas	Cinzas	Glúcidos	Energia	Frutose	Glucose	Sacarose	Trealose	Açúcares totais
A. citrodora	Controlo (0 meses, 0 kGy)		1,6±0,1	3,0±0,1	8,2±0,1	87,1±0,1	375±1	1,0±0,1	1,3±0,1	7,1±0,3	1,2±0,1	10,7±0,4
	FE	0 kGy	-35±9	46±18	-21±3	3±1	2±1	-5±19	-37±16	-12±12	8±24	-14±13
		10 kGy	-43±10	-1±11	-27±5	6±1	2±1	-13±14	-29±14	-41±18	-5±18	-22±12
		Valor-*p* (n=18)	0,017	<0,001	<0,001	<0,001	0,248	0,199	0,119	<0,001	0,072	0,062
	TA	12 meses	-34±9	26±29	-21±3	4±1	2±1	-5±15	-26±14	-21±18	-1±19	-14±11
		18 meses	-44±8	19±26	-27±5	5±2	2±1	-13±18	-40±14	-32±23	5±25	-22±14
		Valor-*p* (n=18)	0,001	0,495	<0,001	0,008	0,021	0,164	0,005	0,143	0,463	0,072
	FE×TA	Valor-*p* (n=36)	0,758	0,336	0,066	0,411	0,226	0,454	0,539	0,021	0,533	0,400
M. officinalis	Controlo (0 meses, 0 kGy)		1,2±0,1	2,5±0,3	8,4±0,4	88±1	372±2	1,2±0,1	1,0±0,1	4,8±0,2	0,49±0,05	7,5±0,2
	FE	0 kGy	-12±11	2±8	-32±4	5±1	4±1	-9±13	-49±9	-100*	-53±8	-33±6
		10 kGy	-8±8	4±6	-28±5	5±2	4±1	-9±16	-17±17	-100*	7±20	-9±14
		Valor-*p* (n=18)	0,300	0,349	0,670	0,773	0,534	0,986	<0,001	-	<0,001	<0,001
	TA	12 meses	-8±12	6±6	-29±5	5±1	4±1	-11±16	-32±20	-100*	-27±29	-22±14
		18 meses	-12±6	1±7	-30±4	5±1	4±1	-7±14	-34±23	-100*	-20±39	-19±18
		Valor-*p* (n=18)	0,203	0,018	0,212	0,953	0,122	0,429	0,768	-	0,543	0,588
	FE×TA	Valor-*p* (n=36)	0,118	0,011	0,001	0,850	0,003	0,487	0,423	-	0,046	0,179
M. melissophyllum	Controlo (0 meses, 0 kGy)		1,8±0,1	4,6±0,2	7,6±0,1	86,0±0,4	378±1	1,0±0,1	0,8±0,1	0,9±0,1	0,28±0,03	5,5±0,3
	FE	0 kGy	3±16	1±10	-31±6	4±1	4±1	-20±8	-25±7	-6±9	504±218	11±10
		10 kGy	-6±15	-2±8	-27±3	4±1	3±1	-4±12	-5±7	-9±6	783±327	26±8
		Valor-*p* (n=18)	0,121	0,532	0,046	0,135	0,058	<0,001	<0,001	0,326	0,005	<0,001
	TA	12 meses	-2±15	1±8	-28±4	4±1	4±1	-11±12	-13±12	-5±7	748±339	25±9
		18 meses	-2±17	-2±10	-30±6	4±1	4±1	-13±14	-17±13	-9±7	540±241	12±11
		Valor-*p* (n=18)	0,998	0,338	0,385	0,295	0,569	0,684	0,284	0,089	0,041	0,001
	FE×TA	Valor-*p* (n=36)	0,809	0,623	0,025	0,070	0,134	0,671	0,446	0,065	0,727	0,688
M. piperita	Controlo (0 meses, 0 kGy)		2,4±0,1	5,1±0,3	9,2±0,2	83,3±0,5	375±1	0,47±0,05	0,30±0,05	0,7±0,1	1,0±0,1	2,4±0,2
	FE	0 kGy	-17±12	-3±14	-29±4	5±1	3±1	-13±14	-91±2	-45±28	-33±20	-75±4
		10 kGy	-3±10	-7±4	-28±4	4±1	3±1	3±20	-88±3	4±62	15±50	-67±5
		Valor-*p* (n=18)	0,001	0,593	0,405	0,001	0,253	0,012	<0,001	0,005	0,001	<0,001
	TA	12 meses	-2±9	-4±12	-29±3	4±1	4±1	-2±17	-87±2	-5±60	-1±49	-68±5
		18 meses	-18±11	-4±1	-28±4	5±1	3±1	-7±21	-92±2	-36±42	-17±40	-74±6
		Valor-*p* (n=18)	<0,001	0,893	0,763	0,043	0,008	0,416	<0,001	0,079	0,299	0,002
	FE × TA	Valor-*p* (n=36)	0,476	0,269	0,003	0,005	0,030	0,640	0,070	0,841	0,618	0,953

** Parâmetro não detetado nas amostras tratadas nestas condições.* Resultados publicados em Pereira et al. (2015).

Tabela 4. Variação nos teores de tocoferóis e ácidos gordos (AG) (percentagem diferencial em relação aos valores do controlo: Pereira et al., 2015) das amostras secas das plantas aromáticas em função do feixe de eletrões (FE) a 10 kGy e do tempo de armazenamento (TA). Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão.

			α-Tocoferol	β-Tocoferol	γ-Tocoferol	Tocoferóis totais	AG saturados	AG monoinsaturados	AG polinsaturados
A. citrodora	Controlo (0 meses, 0 kGy)		15,3±0,4	0,41±0,04	1,8±0,1	17,5±0,4	28,6±0,2	2,07±0,03	69,3±0,3
	FE	0 kGy	-77±5	-31±14	-81±5	-77±5	67±19	143±42	-28±8
		10 kGy	-74±7	-11±21	-78±7	-74±6	47±9	43±42	-16±5
		Valor-*p* (n=18)	0,148	0,003	0,236	0,113	0,001	<0,001	<0,001
	TA	12 meses	-70±4	-21±16	-75±4	-70±3	44±6	54±54	-16±5
		18 meses	-81±2	-21±24	-84±3	-81±2	70±16	132±53	-28±7
		Valor-*p* (n=18)	<0,001	0,990	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	FE×TA	Valor-*p* (n=36)	0,033	0,363	0,138	0,010	<0,001	0,568	<0,001
M. officinalis	Controlo (0 meses, 0 kGy)		29±1	1,3±0,1	1,5±0,1	32±1	41,2±0,5	6,2±0,2	52,6±0,5
	FE	0 kGy	-75±2	-63±10	-43±14	-73±2	36±2	74±9	-35±2
		10 kGy	-69±4	-52±22	-31±18	-66±5	47±6	114±60	-41±9
		Valor-*p* (n=18)	<0,001	0,054	0,037	<0,001	<0,001	0,013	0,009
	TA	12 meses	-70±5	-45±16	-25±13	-67±5	40±3	68±14	-34±3
		18 meses	-74±2	-70±7	-49±11	-73±3	44±9	120±54	-41±8
		Valor-*p* (n=18)	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,113	0,001	0,003
	FE×TA	Valor-*p* (n=36)	<0,001	0,002	0,437	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
M. melissophyllum	Controlo (0 meses, 0 kGy)		0,88±0,05	13,4±0,3	0,18±0,02	14,6±0,4	30,4±0,2	13,1±0,2	56,5±0,2
	FE	0 kGy	-71±8	-100*	-9±11	-16±10	69±4	13±7	-25±2
		10 kGy	-80±4	-100*	-20±5	-20±9	80±11	-6±3	-22±3
		Valor-p (n=18)	<0,001	-	0,220	0,223	0,001	<0,001	0,016
	TA	12 meses	-72±8	-100*	-5±9	-12±8	78±13	1±7	-24±2
		18 meses	-78±6	-100*	-17±7	-24±7	72±5	6±14	-23±4
		Valor-*p* (n=18)	0,018	-	<0,001	<0,001	0,053	0,157	0,414
	FE×TA	*Valor-p* (n=36)	0,131	-	0,234	0,653	<0,001	<0,001	<0,001
M. piperita	Controlo (0 meses, 0 kGy)		16,5±0,4	1,1±0,1	1,8±0,1	19,7±0,5	38±1	4,1±0,1	58±1
	FE	0 kGy	-64±8	-100*	-63±11	-65±8	51±13	82±57	-25±8
		10 kGy	-64±10	-100*	-52±13	-65±10	37±15	37±35	-19±9
		Valor-*p* (n=18)	0,915	-	0,011	0,828	0,004	0,008	0,066
	TA	12 meses	-56±3	-100*	-48±9	-57±3	57±7	103±36	-31±3
		18 meses	-73±2	-100*	-68±7	-73±2	31±9	16±15	-14±4
		Valor-*p* (n=18)	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	FE × TA	Valor-*p* (n=36)	0,004	-	0,973	0,005	0,073	<0,001	0,099

** Parâmetro não detetado nas amostras tratadas nestas condições.* Resultados publicados em Pereira et al. (2015).

3.3. Efeito na composição dos vegetais frescos

Os efeitos do tratamento de irradiação na composição nutricional, energia e teores de açúcares das amostras frescas de *N. officinale* e *R. induratus*, armazenadas a 4 °C durante 7 e 14 dias, respetivamente, são apresentados na Tabela 5. Os teores de água e glúcidos e a contribuição energéticas das amostras de *R. induratus* não foram significativamente afetados. O mesmo se verificou para o conteúdo em lípidos das amostras de *N. officinale*. Contudo, esta espécie apresentou um teor em glúcidos e proteínas mais baixo no final dos 7 dias de armazenamento; como consequência, o valor energético também diminuiu. No caso de *R. induratus*, o tratamento diminuiu o teor em lípidos. O teor em açúcares também foi afetado pelo tratamento de irradiação e tempo de armazenamento. Identificou-se frutose, glucose e sacarose em ambas as espécies. As amostras controlo não armazenadas revelaram os teores mais elevados de frutose e glucose e também de açúcares totais. A diminuição dos teores de frutose e glucose durante o armazenamento poderá dever-se à incapacidade do tratamento aplicado retardar a atividade metabólica dos vegetais, pois os açúcares redutores são os principais substratos no processo de respiração (Dey e Harborne, 1997). Também se verificou um aumento dos níveis de sacarose provavelmente devido a uma mobilização de reservas glucídicas.

A Tabela 6 apresenta o efeito do tratamento aplicado nos perfis de açúcares e ácidos gordos dos vegetais estudados. As amostras de *R. induratus* analisadas imediatamente após colheita apresentaram os teores mais elevados de α- e β-tocoferóis, os quais foram afetados negativamente pelo tratamento de irradiação. As isoformas γ- e δ- foram mais abundantes nas amostras armazenadas. O aumento do teor total de tocoferóis nas amostras controlo armazenadas poderá ter sido causado por condições de conservação indutoras de stresse, pois a síntese destes compostos é estimulada sob essas condições (Munné-Bosch, 2005), com o objetivo de proteger os tecidos contra as espécies reativas geradas durante o armazenamento. Contudo, é de salientar que estes antioxidantes lipofílicos poderão ter estado envolvidos na conservação de ácidos gordos polinsaturados. Teores elevados de tocoferóis foram também detetados em amostras armazenadas de *N. officinale*, sobretudo em amostras armazenadas não irradiadas e irradiadas a 5 kGy. O perfil em ácidos gordos também sofreu alterações significativas (Tabela 6). Os ácidos palmítico e α-linolénico foram os mais abundantes em ambas as espécies. Em geral, o tempo de armazenamento diminuiu a quantidade de ácidos gordos saturados e aumentou as quantidades de mono- e polinsaturados nas amostras de *N. officinale*. Em quase todos os casos (exceto amostras irradiadas a 1 kGy), foram obtidas amostras de agrião com um perfil de ácidos gordos mais saudáveis. Uma tendência contrária foi verificada para *R. induratus*, nomeadamente um aumento nos teores de ácidos gordos saturados.

Tabela 5. Efeito da irradiação na composição nutricional (g/100 g massa fresca), energia (kcal/100 g massa fresca) e teores de açúcares (mg/100 g massa fresca) das amostras frescas de N. officinale e R. induratus armazenadas a 4 °C durante 7 e 14 dias, respetivamente. Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão.

			Humidade	Cinzas	Proteínas	Lípidos	Glúcidos	Energia	Frutose	Glucose	Sacarose	Açúcares totais
N. officinale	Controlo (0 dias)		93±1^{b}	0,94±0,05^{a}	2,2±0,1^{a}	0,14±0,05	3,6±0,1^{a}	24,5±0,3^{a}	110±3^{a}	70±2^{a}	23±5^{c}	203±3^{a}
	7 dias 4 °C	0 kGy	94±1a	0,88±0,05^{ab}	1,9±0,1^{bc}	0,13±0,02	3,0±0,1^{b}	20,8±0,5^{bc}	69±3^{b}	31±4^{c}	46±4^{ab}	145±4^{b}
		1 kGy	94±1^{ab}	0,87±0,03^{ab}	1,9±0,1^{c}	0,12±0,01	3,0±0,2^{b}	20,7±0,5^{c}	43±4^{c}	17±5^{d}	42±3^{b}	102±6^{d}
		2 kGy	94±1^{ab}	0,84±0,02b	2,0±0,1^{b}	0,14±0,05	3,0±0,1^{b}	21,5±0,5^{b}	71±5^{b}	39±9^{b}	42±5^{b}	153±11^{b}
		5 kGy	94±1^{ab}	0,90±0,05^{ab}	2,0±0,1^{bc}	0,13±0,01	2,9±0,1^{b}	20,8±0,3^{bc}	42±2^{c}	39±4^{b}	50±5^{a}	132±5^{c}
		Valor-*p*	0,010	0,016	<0,001	0,261	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
R. induratus	Controlo (0 dias)		91±1	0,91±0,02^{b}	2,9±0,1^{bc}	0,39±0,02^{a}	5,5±0,5	36±3	399±19^{a}	385±17^{a}	66±4^{a}	912±33^{a}
	14 dias 4 °C	0 kGy	90±1	1,00±0,05^{a}	3,3±0,1^{a}	0,35±0,02^{b}	5,3±0,5	36±2	165±7^{c}	127±7^{b}	24±2^{c}	332±15^{b}
		1 kGy	91±1	0,99±0,05^{ab}	3,0±0,1^{b}	0,29±0,04^{c}	5,0±0,5	33±3	176±8^{c}	113±6^{c}	24±4^{c}	328±12^{b}
		2 kGy	91±1	0,99±0,05^{ab}	3,0±0,1^{bc}	0,31±0,04^{bc}	4,9±0,5	33±3	191±7^{b}	124±7^{bc}	27±3^{c}	348±15^{b}
		6 kGy	91±1	0,98±0,05^{ab}	2,9±0,1^{c}	0,30±0,03^{c}	5,0±0,5	33±3	135±9^{d}	86±4^{d}	53±4^{b}	291±14^{c}
		Valor-*p*	0,103	0,015	<0,001	<0,001	0,403	0,054	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Para cada espécie, os valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente (p<0.05). Resultados publicados em Pinela et al. (2016a,b).

Tabela 6. Efeito da irradiação nos teores de tocoferóis (mg/100 g massa fresca) e ácidos gordos (AG, % relativa) das amostras frescas de N. officinale e R. induratus armazenadas a 4 °C durante 7 e 14 dias, respetivamente. Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão.

			α-Tocoferol	β-Tocoferol	γ-Tocoferol	δ-Tocoferol	Tocoferóis totais	AG saturados	AG monoinsaturados	AG polinsaturados
N. officinale	Controlo (0 dias)		0,50±0,03^{c}	0,011±0,001^{b}	0,038±0,003^{c}	nd	0,55±0,04^{d}	57±1^{b}	1,0±0,1^{d}	42±1^{d}
	7 dias 4 °C	0 kGy	1,25±0,05^{a}	0,021±0,004^{a}	0,067±0,005^{b}	nd	1,34±0,05^{b}	40±1^{d}	2,6±0,2^{b}	57±1^{b}
		1 kGy	0,96±0,05^{b}	0,011±0,002^{b}	0,070±0,003^{b}	nd	1,04±0,05^{c}	63±1^{a}	2,6±0,1^{b}	34±1^{e}
		2 kGy	0,26±0,01^{d}	0,005±0,001^{c}	0,041±0,001^{c}	nd	0,31±0,01^{e}	35±1^{e}	2,2±0,2^{c}	63±1^{a}
		5 kGy	1,21±0,05^{a}	0,012±0,001^{b}	0,22±0,01^{a}	nd	1,44±0,05^{a}	50±1^{c}	4,8±0,4^{a}	45±1^{c}
		Valor-*p*	<0,001	<0,001	<0,001	nd	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
R. induratus	Controlo (0 dias)		3,8±0,2^{a}	0,10±0,02^{a}	1,6±0,1^{c}	0,33±0,04^{e}	5,8±0,3^{b}	40,6±04^{e}	3,4±0,2^{a}	56,0±0,4^{a}
	14 dias 4 °C	0 kGy	2,8±0,1^{b}	0,06±0,01^{b}	3,2±0,2^{a}	1,6±0,1^{b}	7,7±0,3^{a}	48,4±0,5^{b}	3,0±0,2^{b}	48,5±0,4^{c}
		1 kGy	1,3±0,1^{c}	0,03±0,01^{d}	1,7±0,1^{b}	1,5±0,1^{c}	4,5±0,2^{c}	70,0±0,5^{a}	3,4±0,1^{a}	27,7±0,5^{d}
		2 kGy	1,1±0,1^{d}	0,04±0,01^{c}	1,5±0,1^{c}	1,8±0,1^{a}	4,5±0,2^{c}	45,0±0,5^{c}	2,7±0,3^{c}	52,3±0,5^{b}
		6 kGy	0,9±0,1^{e}	0,03±0,01^{d}	1,2±0,1^{d}	1,1±0,1^{d}	3,2±0,1^{d}	41,4±0,5^{d}	2,0±0,2^{d}	56,6±0,5^{a}
		Valor-*p*	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Para cada espécie, valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente (p<0.05). nd: não detetado. Resultados publicados em Pinela et al. (2016a,b).

4. Conclusões

A irradiação com feixe de eletrões não provocou alterações na maioria dos parâmetros nutricionais das amostras desidratadas de *M. procera*. No caso das plantas aromáticas, os compostos individuais (açúcares livres, tocoferóis e ácidos gordos polinsaturados) revelaram um decréscimo ao longo do tempo de armazenamento (12 e 18 meses); contudo, a aplicação do feixe de eletrões, apesar de não impedir completamente essa redução, teve uma ação significativamente atenuante. No entanto, não foi possível identificar tendências gerais, uma vez que os fatores testados tiveram efeitos dissimilares nas diferentes espécies. Este estudo evidenciou também a adequabilidade da radiação gama para conservar atributos nutricionais de vegetais durante o armazenamento refrigerado. Os resultados deste extenso trabalho de investigação são promissores, pois destacam os tratamentos pós-colheita com feixe de eletrões e radiação gama como sendo capazes de atenuar alterações indesejáveis causadas pela secagem e pelo tempo de armazenamento, permitindo alargar o tempo de vida útil de diferentes produtos alimentares.

Agradecimentos

Ao PRODER - Projeto AROMAP, pelo apoio financeiro ao trabalho. À Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, Portugal) e ao FEDER no âmbito do programa PT2020 pelo apoio financeiro ao CIMO (UID/AGR/00690/2013), ao REQUIMTE (UID/QUI/50006/2013 - POCI/01/0145/FERDER/007265) e ao C2TN (RECI/AAG-TEC/0400/2012; UID/Multi/04349/2013). À FCT pelas bolsas atribuídas a J. Pinela (SFRH/BD/92994/2013), F. Reis (SFRH/BD/111753/2015) e Â. Fernandes (SFRH/BPD/114753/2016).

Bibliografia

Almeida, A.P.G. 2006. Avaliação da influência do processo de irradiação em especiarias utilizando a técnica de difração de raios-X. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

AOAC, 2016. *AOAC Official Methods of Analysis*, 20th Editi. ed. AOAC International.

Celestino, S.M.C. 2010. *Princípios de Secagem de Alimentos*. Embrapa Cerrados: Planaltina.

Dey, P.M. and J.B. Harborne. 1997. *Plant biochemistry*. London, UK: Academic Press.

Directiva 1999/3/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 22 de Fevereiro de 1999 relativa ao estabelecimento de uma lista comunitária de alimentos e ingredientes alimentares tratados por radiação ionizante. Jornal Oficial nº L 066 de 13/03/1999 p. 0024 - 0025

Fernandes, Â., J.C.M. Barreira, A.L. Antonio, et al. 2014. Combined effects of electron-beam irradiation and storage time on the chemical and antioxidant parameters of wild *Macrolepiota procera* dried samples. *Food and Bioprocess Technology*. 7:1606-1617.

Haleem, R.M., M.Y. Salem, F.A. Fatahallah and L.E. Abdelfattah. 2015. Quality in the pharmaceutical industry - A literature review. *Saudi Pharmaceutical Journal*. 23: 463-469.

Ibrahim, M.A., A. Mohammed, M.B. Isah and A.B. Aliyu. 2014. Anti-trypanosomal activity of African medicinal plants: A review update. *Journal of Ethnopharmacology*. 154:26-54.

ICGFI. 1999. Facts about Food Irradiation: A series of Fact Sheets from the International Consultative Group on Food Irradiation. Vienna, Austria.

Lacroix, M. and B. Ouattara. 2000. Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products - a review. *Food Research International*. 33: 719-724.

Munné-Bosch, S. 2005. The role of α-tocopherol in plant stress tolerance. *Journal of Plant Physiology*. 162:743-748.

Pereira, E., A.L. Antonio, A. Rafalski, et al. 2015. Extending the use of irradiation to preserve chemical and bioactive properties of medicinal and aromatic plants: A case study with four species submitted to electron beam. *Industrial Crops and Products*. 77:972-982.

Pinela, J. and I.C.F.R. Ferreira. 2017. Nonthermal physical technologies to decontaminate and extend the shelf-life of fruits and vegetables: Trends aiming at quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 57:2095-2111.

Pinela, P., J.C.M. Barreira, L. Barros, et al. 2016a. Modified atmosphere packaging and post-packaging irradiation of *Rumex induratus* leaves: a comparative study of postharvest quality changes. *Journal of Food Science and Technology*. 53:2943-2956.

Pinela, P., J.C.M. Barreira, L. Barros, et al. 2016b. Suitability of gamma irradiation for preserving fresh-cut watercress quality during cold storage. *Food Chemistry*. 206:50-58.

Walde S.G., V. Velu, T. Jyothirmayi and R.G. Math. 2006. Effects of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom. *Journal of Food Engineering*, 74: 108-115.

Influencia de la temperatura en la extracción de aceites de frutos secos mediante prensa de tornillo

José Emilio Pardo, Adrián Rabadán, Eulogio López, Andrés Alvarruiz, Ricardo Gómez, Miguel Olmeda, Sergio Díaz, Carmen Gómez-Cantó, Manuel Alvarez-Ortí

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Campus Universitario s/n, 02071-Albacete (España). jose.pgonzalez@uclm.es

Resumen

La extracción de aceites vegetales mediante prensas de tornillo se considera como una extracción en frío. Sin embargo, en muchas ocasiones este tipo de maquinarias necesitan un calentamiento previo de la boquilla en la que se produce la separación del aceite para que ésta se produzca de manera satisfactoria.

En este caso, se ha evaluado la extracción de aceite de almendra, pistacho y nuez en una prensa de tornillo, con anillo calefactor para la boquilla, y variador de velocidad del tornillo. Para evaluar la influencia de la temperatura en la extracción de aceite, se seleccionaron 5 puntos de la prensa y se registró la temperatura durante el proceso de extracción mediante termopares. La temperatura de la boquilla se varió entre temperatura ambiente y 200 °C. Con temperaturas bajas de procesado se observó un incremento en la temperatura del aceite debido a la fricción de la materia prima, que alcanzó valores alrededor de 60 °C en almendra y pistacho, siendo algo menores en el aceite de nuez. A temperaturas superiores (entre 100 y 200°C), la temperatura del aceite no se incrementó por encima de los 80 °C debido a la refrigeración producida por el aporte continuo de materia prima fresca. La velocidad del tornillo también jugó un papel importante en el proceso de extracción. Velocidades lentas incrementan el rendimiento, pero incrementan la temperatura de los aceites. Por otro lado, cuando se incrementa la velocidad del tornillo, el aporte continuo de materia prima fresca de manera más rápida contribuye a la refrigeración del sistema, evitando un incremento demasiado importante de la temperatura.

La temperatura influyó en gran manera en los parámetros fisico-químicos de calidad reglamentada de los aceites, pues en aquellos casos en los que el incremento de temperatura fue superior se observaron valores mayores de acidez, índice de peróxidos y medidas en el ultravioleta (K232 y K270). Por otro lado, las temperaturas elevadas pueden fomentar la aparición de ciertos compuestos de la reacción de Maillard con capacidad antioxidante que pueden contribuir a incrementar la estabilidad oxidativa de los aceites.

Por lo tanto, es importante considerar que en la elaboración de aceites vegetales mediante prensa de tornillo, la temperatura puede afectar a las características de los aceites obtenidos, incluso aunque se trabaje a temperatura ambiente.

Palabras clave: aceites vegetales, calidad reglamentada, prensado en frío, rendimiento

Influence of the temperature in the extraction of nuts oils by means of screw press

Abstract

The extraction of vegetable oils by means of screw presses is considered as a cold extraction. However, in many cases this type of machinery needs a pre-heating of the nozzle in which the separation of the oil takes place so that it is produced in a satisfactory way.

In this case, the extraction of almond, pistachio and walnut oil has been evaluated in a screw press, with heating ring for the nozzle, and screw speed variator. To evaluate the influence of the temperature on the oil extraction, 5 points of the press were selected and the temperature was recorded during the extraction process in thermocouples. The temperature of the heater ring varied between ambient temperature and 200°C. At low processing temperatures, an increase in oil temperature was observed due to the friction of the raw material, which reached values around 60 °C in almond and pistachio, being somewhat smaller in walnut

oil. At higher temperatures (between 100 and 200 °C), the oil temperature was not increased above 80 °C by the cooling produced by the continuous supply of the fresh raw material. The screw speed also played an important role in the extraction process. Slow speeds increase yields, but increase oil temperature. On the other hand, when the screw speed is increased, the continuous supply of fresh raw material in a faster way contributes to the cooling of the system, avoiding an excessive increase of the temperature.

The temperature influenced greatly the physicochemical parameters of the regulated quality of the oils, because in these cases in which the increase of the temperature was higher it observed higher values of acidity, peroxide index and measurements in the ultraviolet (K_{232} and K_{270}). On the other hand, elevated temperatures may originate the appearance of Maillard reaction compounds with antioxidant capacity that may contribute to increase the oxidative stability of the oils.

It is therefore important to consider that in the elaboration of vegetable oils by means of the screw press, the temperature can affect the characteristics of the obtained oils, even when the extraction is done at room temperature.

Keywords: vegetable oils, regulated quality, cold pressed, yield

1. Introducción

En la industria de los aceites vegetales, el prensado mediante prensas de tornillo está generalmente considerado como extracción en frío, tratando de potenciar la buena imagen que tienen los consumidores por este tipo de prensado. Sin embargo, cuando se emplean prensas de tornillo, éstas necesitan en muchas ocasiones del incremento de temperatura de la boquilla para que se produzca un correcto funcionamiento del equipo (Alvarez-Ortí et al., 2012).

El efecto de este incremento de temperatura puede tener importantes efectos en la calidad de los aceites extraídos (Sena-Moreno et al., 2016), dando lugar a productos diferentes de los extraidos mediante prensas hidráulicas, en los que no se aprecia este efecto de la temperatura.

En el presente trabajo, se evalúa el efecto de la temperatura en la extracción de aceite de almendra, nuez y pistacho, empleando una prensa de tornillo en la que se variaron las condiciones de extracción (temperatura y velocidad del tornillo).

2. Materiales y Métodos

2.1. Materia prima

Para la extracción de aceite se emplearon muestras de almendra, pistacho y nuez procedentes de los campos de cultivo del Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP). Las muestras se recogieron y se trasladaron a la Planta Piloto de Extracción de Aceites Vegetales de la ETSIAM de Albacete, donde fueron secadas y descascaradas en condiciones controladas. Las muestras se almacenaron en bolsas envasadas al vacío y en refrigeración hasta la extracción del aceite.

2.2. Extracción de aceite y medidas de la temperatura

La extracción de aceite se llevó a cabo mediante una prensa de tornillo modelo Komet Oil Press CA59G (IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, Alemania) que cuenta con un anillo calefactor con la capacidad de incrementar la temperatura hasta los 200 °C y un variador de velocidad del tornillo.

Las temperaturas empleadas en el anillo calefactor fueron: temperatura ambiente, 50 °C, 100 °C, 150°C y 200 °C; mientras que las velocidades de rotación del tornillo fueron de 17 rpm (valor 1 del variador de velocidad de la prensa), 49 rpm (valor 4) y 96 rpm (valor 8).

La temperatura se midió en distintos puntos de la prensa mediante el uso de termopares (Figura 1), y esta se registró durante todo el proceso de extracción de aceite en los 5 puntos empleados.

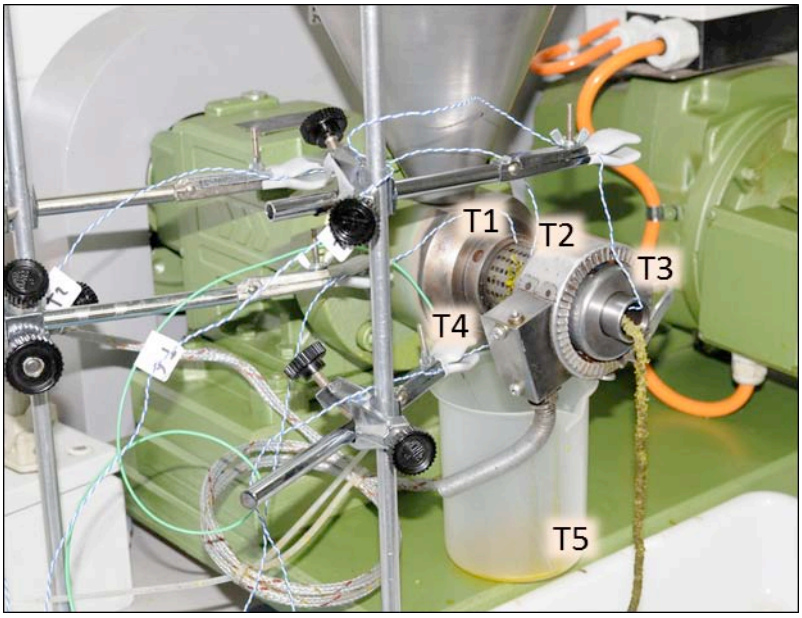


Figura 1. Localización de los termopares empleados en la medida de la temperatura en distintos puntos de la prensa de tornillo

2.3. Calidad reglamentada del aceite y estabilidad oxidativa

Se midieron los distintos parámetros de calidad reglamentada (acidez, índice de peróxidos, K_{232}, K_{270}) de acuerdo a Sena-Moreno et al. (2015, 2016). La estabilidad oxidativa se midió mediante el método rancimat, empleando una temperatura de 100 °C y una corriente de aire de 10 L/h.

3. Resultados y Discusión

Para evaluar el funcionamiento de la prensa de tornillo, se midió la temperatura en 5 puntos de la prensa (Figura 1):

T1: al inicio del tornillo, en el punto de entrada de la materia prima

T2: al final del tornillo, en el punto de extracción del aceite

T3: en la boquilla, en la salida del pellet

T4: en el aceite extraído

T5: en el vaso receptor del aceite.

La temperatura medida varió en función de la temperatura empleada en el anillo calefactor (Figura 2). Se observa que la temperatura se va incrementando progresivamente hasta que se alcanza la temperatura programada. Cuando se emplean temperaturas de funcionamiento bajas (50 °C), se observa que el aporte de masa incrementa la temperatura del aceite, debido a la fricción producida en el interior de la prensa. Sin embargo, cuando se emplean temperaturas elevadas (150 °C), el aporte continuado de masa fresca contribuye a refrigerar el sistema, originando que el aceite no supere los 70 °C.

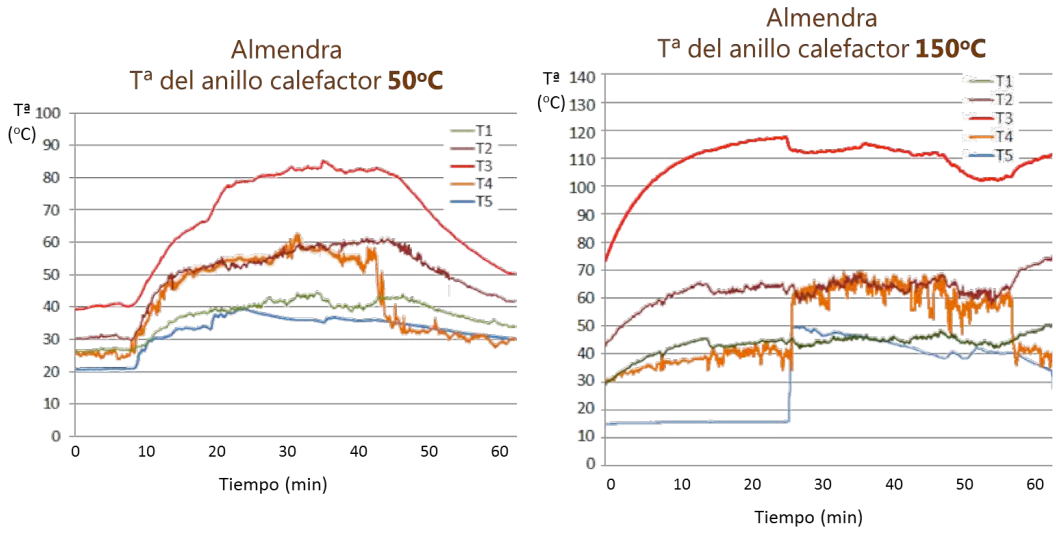


Figura 2. Variación de la temperatura en los distintos puntos de la prensa de tornillo para la extracción de aceite de almendra empleando una temperatura del anillo calefactor de 50 °C y de 150 °C

Además, se evaluó la influencia de la velocidad de rotación del tornillo en la temperatura del aceite extraído (Tabla 1). En este caso, cuando la velocidad es menor, las temperaturas de aceite se incrementaron, mientras que con las velocidades mayores, el aporte más rápido de masa fresca a la prensa contribuye a una ligera refrigeración del sistema.

Tabla 1. Temperaturas del aceite extraído de almendra, nuez y pistacho variando la temperatura del anillo calefactor y la velocidad de rotación del tornillo

ALMENDRA			
Anillo Calefactor	**17 rpm**	**49 rpm**	**96 rpm**
50 °C	48,20	52,50	57,28
100 °C	59,21	62,13	55,98
150 °C	68,04	68,35	61,52
200 °C	80,50	78,40	73,10
NUEZ			
Anillo Calefactor	**17 rpm**	**49 rpm**	**96 rpm**
50 °C	-	-	-
100 °C	52,99	53,08	60,77
150 °C	72,80	66,63	62,54
200 °C	83,90	74,10	70,90
PISTACHO			
Anillo Calefactor	**17 rpm**	**49 rpm**	**96 rpm**
50 °C	39,59	41,18	36,64
100 °C	45,38	41,65	42,70
150 °C	61,79	53,35	46,99
200 °C	75,60	65,67	53,16

En cualquier caso, la temperatura del aceite extraído mediante prensa de tornillo alcanzó temperaturas superiores a los 40 °C a pesar de emplear temperaturas de procesado bajas. Estos incrementos de temperaturas originan una pérdida de calidad del aceite, que se refleja en el incremento de la acidez, el índice de peróxidos o los valores de K_{232} y K_{270} en aquellos aceites expuestos a mayores temperaturas. Sin embargo, el efecto de la temperatura puede originar la

formación de ciertos compuestos de la reacción de Maillard con actividad antioxidante, que incrementa la estabilidad oxidativa de éstos aceites (Figura 3).

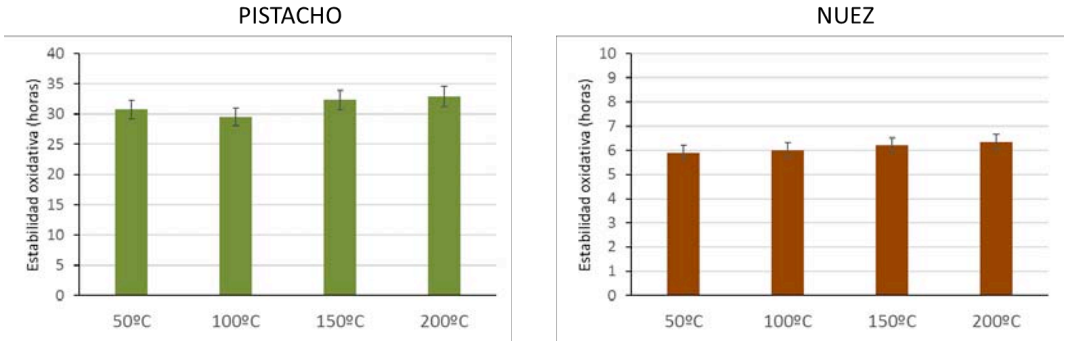


Figura 3. Estabilidad oxidativa en horas de los aceites de pistacho y nuez extraídos con una temperatura del anillo calefactor de 50, 100, 150 y 200 °C.

4. Conclusiones

La temperatura juega un papel crucial cuando se extrae el aceite de frutos secos mediante prensa de tornillo. A pesar de emplear temperaturas bajas, las temperaturas del aceite extraído puede superar los 50 °C, efecto que se acentúa cuando se emplean temperaturas de rotación del tornillo bajas. Este incremento de temperatura puede originar pérdidas de calidad de los aceites extraídos, generalmenmte reflejadas en un incremento de la acidez, el índice de peróxidos o los valores de K_{232} y K_{270}. Por otro lado, el efecto de la temperatura puede fomentar la aparición de compuestos con actividad antioxidante que incrementen la estabilidad de los aceites.

Bibliografía

Alvarez-Ortí, M., Quintanilla, C., Sena, E., Alvarruiz, A., y Pardo, J.E. 2012. The effects of a pressure extraction system on the quality parameters of different virgin pistachio (Pistacia vera L. var. Larnaka) oils. *Grasas y Aceites* 63(3): 260-266.

Sena-Moreno, E., Alvarez-Ortí, M., Zied, D.C., Pardo-Giménez, A., y Pardo, J.E. 2015. Drying temperature and extraction method influence physicochemical and sensory characteristics of pistachio oils. *European Journal of Lipid Science and Technology* 117(5): 684-691.

Sena-Moreno, E., Pardo, J.E., Pardo-Giménez, A., Gómez, R., y Alvarez-Ortí, M. 2016. Differences in Oils from Nuts Extracted by Means of Two Pressure Systems. *International Journal of Food Properties* 19(12): 2750-2760.

Usefulness of physical parameters for pistachio cultivar and cultivar origin differentiation

Adrián Rabadán, Manuel Alvarez-Ortí, Eulogio López, Andrés Alvarruiz, Ricardo Gómez, Miguel Olmeda, Carmen Gómez-Cantó, Sergio Díaz, José Emilio Pardo

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Campus Universitario s/n, 02071-Albacete (España) adrian.rabadan@uclm.es

Abstract

Pistachio kernel characteristics are influenced by cultivar in a greater way than other tree nuts. Previous studies have focused on the analysis of chemical traits of pistachio cultivar, with little attention been paid to differences in their physical parameters. To solve this disregard, differences in the kernel physical characteristics of twenty different pistachio cultivars from nine different countries (Iran, Iraq, Syria, Israel, Cyprus, Greece, Italy, Tunisia and Australia) have been evaluated. The objective of this study is to analyse the physical differences that appear in pistachios because of the cultivar effect by controlling the effects of the environment and the land management. To remove environmental and land management effects on kernel traits all pistachio varieties were grown in the same plot. The kernel size, the colour of the pistachio oil and pistachio flour and the oil viscosity were studied attending to their utility for cultivar and origin differentiation.

Regarding kernel size, significant differences were found in the kernel length and width, but not in the relation length/width. Colour intensity in pistachio oil is higher than the reported in the flours. Significant differences in the colour of pistachio by-products, pistachio oil and flour, were found. Attending to viscosity, 10 different groups of pistachio cultivars were created to differentiate the twenty cultivars considered (Duncan test, $p < 0.05$). By grouping the considered cultivars depending on their origin countries, significant differences were found in the kernel length and oil viscosity but not in the colour parameters (L*, a*, b*).

Keywords: Pistacia vera, kernel size, pistachio oil, colour, viscosity

Utilidad de los parámetros físicos para determinar la variedad y el origen de la variedad de pistacho

Resumen

Las características de los pistachos están determinadas por la variedad en mayor medida que en otros frutos secos. La mayoría de estudios se han centrado en analizar las características químicas de las variedades de pistacho, prestando poca atención a los parámetros físicos. Con el objetivo de solventar este vacío de información, se han evaluado las diferencias físicas entre los pistachos de veinte variedades distintas y nueve orígenes diferentes (Irán, Irak, Siria, Israel, Chipre, Grecia, Italia, Túnez y Australia). El objetivo de este estudio es analizar las diferencias físicas que aparecen en los pistachos debido a la influencia de la variedad, controlando los efectos del ambiente y de los tratamientos culturales. Para eliminar éstos, todos los pistachos se han cultivado en la misma parcela. El tamaño del pistacho, el color del aceite de pistacho y de la harina obtenidos y la viscosidad del aceite han sido estudiados atendiendo a su utilidad para discriminar en función de la variedad y del origen de la variedad.

Se han encontrado diferencias significativas en el largo y el ancho del pistacho, pero no en la relación largo/ancho. La intensidad de color del aceite de pistacho es mayor que la encontrada en las harinas. También se han encontrado diferencias significativas en el color de los aceites y las harinas. Atendiendo a la viscosidad, se pueden crear 10 grupos diferentes de variedades de pistacho para diferenciar las 20 variedades analizadas (Test Duncan, $p < 0.05$). Si agrupamos las variedades dependiendo de sus países de origen, encontramos diferencias significativas en el largo del pistacho y la viscosidad del aceite; pero no en los parámetros de color analizados (L*, a*, b*).

Palabras clave: Pistacia vera, tamaño, aceite de pistacho, color, viscosidad

1. Introduction

The identification of differences between pistachio cultivars has focused in the chemical parameters, mainly fatty acids, tocopherols and phytosterols (Arena et al., 2007; Tsantili et al., 2010; Catalán et al., 2016) paying little attention to physical parameters. However, physical characteristics of pistachio kernels and pistachio by-products are important properties in the pistachio market. In particular, size and colour have been reported as some of the most important characteristics in the kernel market (Seferoglu et al., 2006). Moreover, if pistachios are used to obtain secondary products, such as oils, viscosity appears as a main parameter to consider as it is related to oil quality and the design of any engineering process related to its industrial production.

Colour is an important parameter in pistachio quality. Major pigments in pistachios are chlorophylls and carotenoids. Chlorophylls (a and b) provide pistachios with their characteristic green bright colour while the predominant carotenoid, the lutein, gives them a yellow colour. Beyond its active role in pistachio coloration, these pigments show antioxidant properties that increase the nutritional benefits of pistachio consumption (Hsu et al., 2013). Raw pistachios have a chlorophyll content of about 9.72 mg per kg of wet weight and a lutein content of 8.12 mg /kg of wet weight (Pumilia et al., 2014). Studies have analysed the differences in the colour of pistachio kernels depending mainly on their origin (Zakynthinos and Rouskas, 1994; Bellomo and Fallico, 2007) or the influence of roasting in the colour of kernels or by-products (Pumilia et al., 2014; Ling et al., 2015; Ling et al., 2016). Beyond direct measures in kernels, the variations that appear on the colour of pistachio products because of the cultivar effect should be quantified, as their influence in the product quality is crucial.

The selection of the cultivar and the location have been reported to have mayor influence on the characteristics of pistachio kernels (Seferoglu et al., 2006; Tsantili et al., 2010). Few studies have analysed the differences attributed to the cultivar effect by using pistachio cultivars that have been grown in the same plot (Tsantili et al., 2010). When cultivars are grown in the same plot, the influence of ecological conditions (Silver et al., 1984; Seferoglu et al., 2006) and management practises (Sánchez et al., 2008; Carbonell-Barrachina et al., 2015) are removed, allowing the identification of the cultivar effect on pistachio characteristics.

The objective of this study is to analyse the physical differences that appear in pistachios because of the cultivar effect by controlling the effects of the environment and the land management. The kernel size, the colour of the pistachio oil and pistachio flour and the oil viscosity were studied attending to its utility for cultivar and origin differentiation.

2. Materials and methods

Pistachios were collected at an experimental orchard in the Centro de Mejora Agraria el Chaparrillo of Ciudad Real in the south of Spain. Twenty different cultivars with nine different origins (Iran, Iraq, Syria, Israel, Cyprus, Greece, Italy, Tunisia and Australia) were evaluated. The pistachios were selected manually to eliminate those with dark spots on their surface.

Oil extraction was carried out using a hydraulic press (MECAMAQ Model DEVF 80, Vila-Sana, Lleida, Spain). The remaining pressing cake was ground and sieved to obtain a flour with particle size lower than 1 mm.

The colour of the oil samples was measured using a spectrophotometer UV/Vis Jasco V-530 (Jasco Analytical, Madrid, Spain). Oil was placed in quartz cuvettes (1cm path length) for their analysis. N-hexame was used as blank reference. The colour of the flour was measured by reflection in five random zones with a Minolta CR-200 colorimeter (Minolta Camera Co., Ltd., Osaka, Japan) in each flour. The illuminant used was D65. The tristimulus values obtained were used to calculate the CIELAB chromatic coordinates: L^* (brightness), a^* (red–green component), b^* (yellow–blue component) as recommended by the Commission Internationale de l'Eclairage (CIE, 1986).

In order to determine fatty acids composition (%), the methyl-esters were prepared by vigorous shaking of a solution of oil in hexane (0.2 g in 3 ml) with 0.4 ml of 2 N methanolic potassium hydroxide solution, and analysed by GC with a Hewlett-Packard (HP 6890) chromatograph equipped with a FID Detector. A fused silica column (50 m length x 0.25 mm i.d.), coated with SGL-1000 phase (0.25 µm thickness; Sugerlabor), was used. Helium was employed as a carrier gas with a flow through the column of 1 ml min-1. The temperatures of the injector and detector were set at 250°C with an oven temperature of 210°C. An injection volume of 1µL was used (Regulation EEC 2568/91, corresponding to AOCS method Ch 2–91). Viscosity was measured by a rotary viscometer test method (Visco Basic Plus, Fungilab S.A.).

Significant differences among varieties were determined by ANOVA and Duncan test with a 95% significance level ($P < 0.05$) using the SPSS programme, release 23.0 for Windows.

3. Results and discussion

Regarding kernel size, significant differences were found in the kernel length and width, but not in the relation length/width. Cultivars *Kastel* (Israel), *Sirora* (Australia) and *Kerman* (Iran) produced the larger pistachios, while *Boundoky* pistachios (Syria) were the smallest. However, most of the cultivars showed average sizes (figure 1).

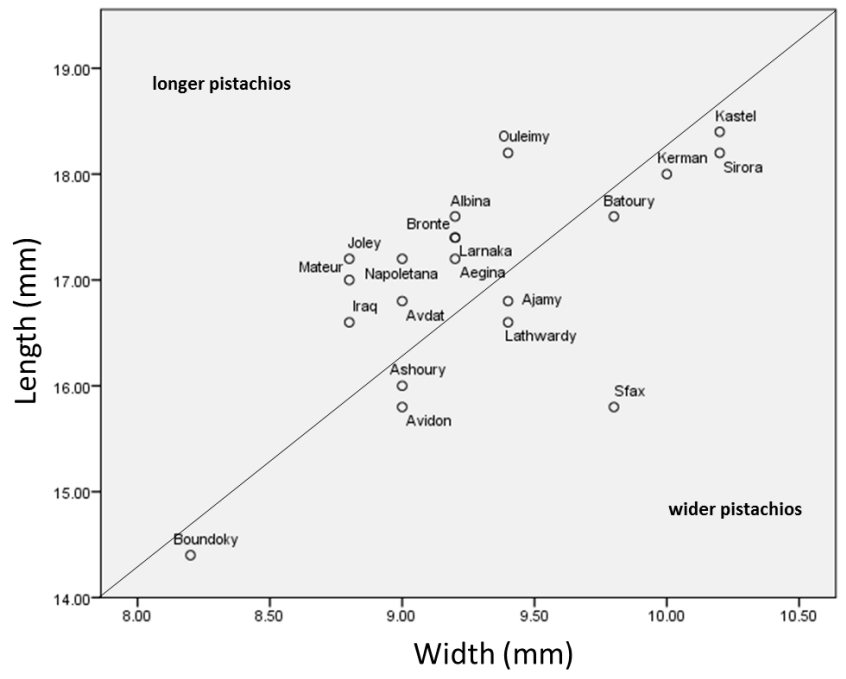


Figure 1. Length and width of pistachio kernels from twenty pistachio cultivars growth in the same plot.

Colour intensity in pistachio oil is higher than the reported in the flours. Varieties *Joley* and *Avdat* showed the lighter colours, while the Cypriot *Larnaka* produced the darkest oils. Cultivars *Albina* and *Mateur* produced the greener oils, which have been reported as more valued by consumers (Álvarez-Ortí et al., 2012). On the other hand, *Kerman* is the cultivar that produced the less green oils. Attending to the b* parameter, the highest values (this is more yellow oils) were reported in cultivars *Kerman* and *Batoury*. Our results showed oils with more intense colours than the reported for Pumilia et al., (2014) for one cultivar. Brightness values (L*) are similar.

Pistachio flours have a light greenish yellow colour. Cultivars *Kerman* and *Lathwardy* showed the greener flours, and *Kastel* and *Kerman* the highest values for the b* parameter (yellower flours).

Colour intensity in pistachio oil is higher than the reported in the flours. *Kerman* was the cultivar that produced the less green oils. Significant differences in the colour of pistachio by-products, pistachio oil and flour, were found. Colour parameter b* in oils and L* in flours allowed the differentiation of 25% and 40% of considered cultivars, respectively.

CIELAB chromatic coordinates showed correlations between oils and flours parameters (table 1). These correlations showed that the greener the oil, the less greener the flour ($r = -0.556$, $p < 0.05$). This correlation may appear due to the transference of chlorophylls from the kernel to oil during extraction, as these pigments are oil-soluble. A negative correlation exists in pistachio oil between the L* and the b* ($r = -0.686$, $p < 0.01$). This was the stronger correlation reported meaning that when the oil is more yellow, it tends to be darker. A similar correlation is observed if the a* parameter is considered, as greener oils also tend to by lighter ($r = -0.511$, $p < 0.05$). Further analysis of the mechanisms that explain the reported correlations should be needed, as they are not the main issue of the study, which focus mainly in the observed cultivar variability.

		Flour			Oil		
		L	**a**	**b**	**L**	**a**	**b**
Flour	**L**	1	-.349	.453*	.044	.326	.293
	a		1	-.525*	.100	-.556*	-.296
	b			1	-.174	.489*	.260
Oil	**L**				1	-.511*	-.680**
	a					1	.237
	b						1

*Table 1. Correlations matric showing the Pearson coefficients found among the flour and the oil parameters considered for cultivar colour analysis. * Significant at p < 0.05 and ** Significant at p < 0.01*

Viscosity values showed significant differences among pistachio cultivars, identifying oil viscosity as a useful variable for cultivar differentiation. Oils obtained from the *Avdat* and *Larnaka* cultivars showed the highest viscosity values (above 63.90 mPa·s), while *Napoletana, Sirora* and *Mateur* showed the smallest values. Attending to viscosity, 10 different groups are created to differentiate the twenty cultivars considered (Duncan test, $p < 0.05$), however only the variety *Ajamy* would be completely differentiated.

By grouping the considered cultivars depending on their origin countries, significant differences were found in the kernel length and oil viscosity but not in the colour parameters (L*, a*, b*). Cultivars from Australia produced the longest kernels and Iraq cultivars the shortest kernels. If viscosity values are considered, Iran cultivars showed the lower values while cultivars from Cyprus and Syria produced the most viscous oils.

4. Conclusions

This study certifies the usefulness of some physical parameters to confirm authenticity of kernels and pistachio by products depending on the cultivar and its origin. Differences in length and width of pistachio kernels were found when the effects of the environment and the land management were controlled. However, differences in the relation length/width were not reported. Regarding pistachio by products, colour can be identified as a useful variable for cultivar differentiation of pistachio oil and flour. Varieties also produce oils with different values for viscosity and as a result, this value could be used for cultivar authentication. By grouping cultivars depending on their origin, differences were found in the kernel length and in the oil viscosity, but not in the kernel width nor in the colour

parameters. Utility of physical parameters for pistachio cultivar differentiation and cultivar origin differentiation is certified.

Aknowledgements

This study was partially funded by a grant from the University of Castilla-La Mancha (Ref 4062/2015).

References

Álvarez-Ortí, M., Quintanilla, C., Sena, E., Alvarruiz. A., Pardo, J.E. 2012. The effects of a pressure extraction on the quality parameters of different virgin pistachio (Pistacia vera L. var. Larnaka) oils. *Grasas y aceites* 63: 260-266.

Arena, E., Campisi, S., Ballico, F., Maccarone, E. 2007. Distribution of fatty acids and phytosterols as a criterion to discriminate geographic origin of pistachio seeds. *Food Chemistry* 104: 403–408.

Carbonell-Barrachina, A.A., Memmi, H., Noguera-Artiaga, L., Gijón-López, M.C., Ciapa, R., Pérez-López, D. 2015. Quality attributes of pistachio nuts as affected by rootstock and deficit irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95: 2866–2873.

Catalán, L., Álvarez-Ortí, M., Pardo-Giménez, A., Gómez, R., Rabadán, A., Pardo, J.E. 2016. Pistachio oil: A review on its chemical composition, extraction systems, and uses. *European Journal of Lipid Science and Technology* 118: In press.

CIE. 1986. Colorimetry. 2nd ed. Publication CIE no. 1 15, 2. Ed. Central Bureau of the Commission Internationale de L´Eclairage, Vienne.

Ling, B., Yang, X., Li, R., Wang, S. 2015. Physicochemical properties, volatile compounds, and oxidative stability of cold pressed kernel oils from raw and roasted pistachio (Pistacia vera L. Var Kerman) *European Journal of Lipid Science and Technology* 117: 1368-1379.

Ling, B., Yang, X., Li, R., Wang, S. 2016. Nutritional quality, functional properties, bioactivity, and microstructure of deffated pistachio kernel flour. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 93: 689-699.

Pumilia, G., Cichon, M.J., Cooperstone, J.L., Giuffrida, D., Dugo, G., Schwartz, S.J. 2014. Changes in chlorophylls, chlorophyll degradation products and lutein in pistachio kernels (Pistacia vera L.) during roasting. *Food Research International* 65: 193-198

Sánchez-Bel, P., Egea, I., Martínez-Madrid, M.C., Flores, B., Romojaro, F. 2008. Influence of irrigation and organic/inorganic fertilization on chemical quality of almond (Prunus amygdalus cv. Guara). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 56: 10056-10062.

Seferoglu, S., Seferoglu, H.G., Tekintas, F.E., Balta, F., 2006. Biochemical composition influenced by different locations in Uzun pistachio cv. (Pistacia vera L.) grown in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 461-465.

Silver, J., Rochester, C., Bishop, D., Harris, H. 1984. Unsaturated fatty acid synthesis during the development of isolated sunflower (Helianthus annuus L.) seeds. *Journal of Experimental Botany* 35: 1507-1515.

Tsantili, E., Takidelli, C., Christopoulos, M. V., Lambrinea, E., Rouskas, D. Roussos, P.A. 2010. Physical, compositional and sensory differences in nuts among pistachio (Pistacia vera L.) varieties. *Science Horticulturae* 125: 562–568.

Hsu, C., Chao, P. Hu, S., Yang, C. 2013. The Antioxidant and Free Radical Scavenging Activities of Chlorophylls and Pheophytins. *Food and Nutrition Sciences* 4: 1-8.

Bellomo, M.G., Fallico, B. 2007. Anthocyanins, chlorophylls and xanthophylls in pistachio nuts (Pistacia vera) of different geographic origin. *Journal of Food Composition and Analysis* 20: 352–359.

Zakynthinos, C., Rouskas, D. 1994. Pistachio growing in Greece. *Acta Horticulturae* 419: 423–425.

Economic analysis of nut oil extraction using two different pressing systems

Miguel Olmeda, Manuel Alvarez-Ortí, Adrián Rabadán, Ricardo Gómez, Eulogio López, Andrés Alvarruiz, Carmen Gómez-Cantó, Sergio Díaz, José Emilio Pardo

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Campus Universitario s/n, 02071-Albacete (España) adrian.rabadan@uclm.es

Abstract

The high content of unsaturated fatty acids and the elevated presence of bioactive compounds make nut oils a healthy product with great commercial potential. One of the main constraints for the commercial development of this product is the reduced information regarding its industrial production and costs. The aim of this study is to analyse the production costs of oils from almond, walnut and pistachio obtained by two different pressing systems. The economic analysis of the two extraction procedures (screw press and hydraulic press) was based on the study of the material, equipment and labour input against returns for the small-scale processing unit at the Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes of Albacete, Spain.

Taking into account the initial investment, the yearly costs and the quantity of oil produced, the breakeven value that made nut oil extraction sustainable was, in the case of the screw press, 61.3€/l, 25.9€/l and 70.4€/l for almond oil, walnut oil and pistachio oil, respectively. If the hydraulic press was used, the prices increased due to lower extraction yield, reaching 84.5€/l, 35.1€/l and 91.0€/l for almond, walnut and pistachio oil.

Keywords: production cost, almond oil, walnut oil, pistachio oil

Estudio económico de la extracción de aceite de frutos secos utilizando dos sistemas de presión diferentes

Resumen

El elevado contenido de ácidos grasos insaturados y la elevada concentración de compuestos bioactivos hacen de los aceites de frutos secos un producto saludable con gran potencial de desarrollo comercial. Uno de los principales impedimentos para el desarrollo comercial de este producto es la reducida información disponible en cuanto a su producción industrial y los costes asociados a ésta. El objetivo de este estudio es analizar los costes de producción de los aceites de almendra, nuez y pistacho utilizando dos métodos de presión distintos. El análisis económico de estos dos métodos de extracción (prensa de tornillo y prensa hidráulica) está basado en un estudio sobre los costes de material, maquinaria y mano de obra en una planta de extracción a pequeña escala situada en la Escuela de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Albacete, España.

Teniendo en cuanta los costes de la inversión inicial, los costes anuales y la cantidad de aceite que se puede producir, el precio mínimo que haría sostenible la producción de estos aceites es, en el caso de la prensa de tornillo, de 61,3€/l, 25,9€/l y 70,4€/l para los aceites de almendra, nuez y pistacho, respectivamente. Si por el contrario se utiliza la prensa hidráulica, los precios aumentan debido al menor rendimiento de extracción, alcanzando, 84,5€/l, 35,1€/l y 91,0€/l para los aceites de almendra, nuez y pistacho.

Palabras clave: costes de producción, aceite de almendra, aceite de nuez, aceite de pistacho

1. Introduction

Traditionally, cultivation of nut trees, despite their low and variable yields, has contributed in many areas of Spain to supplement the income of farmers, while it has played an important role in the conservation of soils. Today the sector has serious problems due to the strong competition in the market, due to the presence of countries with high production potential based primarily on high industrialization of the production or lower labour costs. Nuts are commonly consumed as appetizer as snacks but; due to its high fat content, it would be interesting to extract the oil contained therein,

for use in food and cosmetics, which would increase their added value. This alternative use is poorly developed and studied today (Martínez et al., 2013).

Nut oils provide food new organoleptic characteristics (Uriarte et al., 2011). Fresh nut oil shows reduced content of free fatty acids, peroxides and phosphatides so it can be consumed directly, without refining. Fat-soluble bioactive compounds, provides nut oil with high biological and nutritional importance. Almond and pistachio oil show a similar fatty acid profile, with high content of oleic acid and low content of linoleic and linolenic acid (similar to olive oil fatty acid profile). On the other side, walnut oil shows a low content of oleic and high content of linoleic and linolenic fatty acids. Due to its health promoting characteristics, the regular consume of nut oil reduces the levels of LDL, prevents anaemia and protects the body against free radicals (Gentile et al., 2007: Kodad et al., 2011).

Different methods can be used of nut oil extraction. Higher industrial yield, but reduced oil quality, is obtained when solvents are used for oil extraction (Guerra and Zúñiga, 2003). Moreover, the compulsory refinement after solvent extraction prevents the obtainment of virgin oils. Extraction with supercritical fluids allows the obtainment of high quality oils (Marzouki et al., 2008), but with higher costs. The use of presses for oil extraction allows the production of high quality oils at affordable prices (Álvarez-Ortí et al., 2012; Da et al., 2014; Sena-Moreno et al., 2015) in an environmentally-friendly way (Khoddami et al. 2014).

The objective of this study is to analyse the production cost of extracting oil from three different nuts (almond, walnut and pistachio) using two different pressing systems (hydraulic and crew press).

2. Materials and methods

Oil extraction was developed in the pilot plant in the Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (ETSIAM) of Albacete. Two different presses: screw press (Komet Oil Press CA59G – IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, Germany) and hydraulic press (MECAMAQ Model DEVF 80, Vila-Sana, Lleida, Spain) were used for nut oil production (figure 1). Yields change depending on the cultivar of the extraction conditions. For almond, yields range from 45-52% if the screw press is used and 33-43% if the hydraulic press is used. For walnut, yields are 50-65% and 46-55%, respectively, and for pistachio 27-36% and 26-31%.

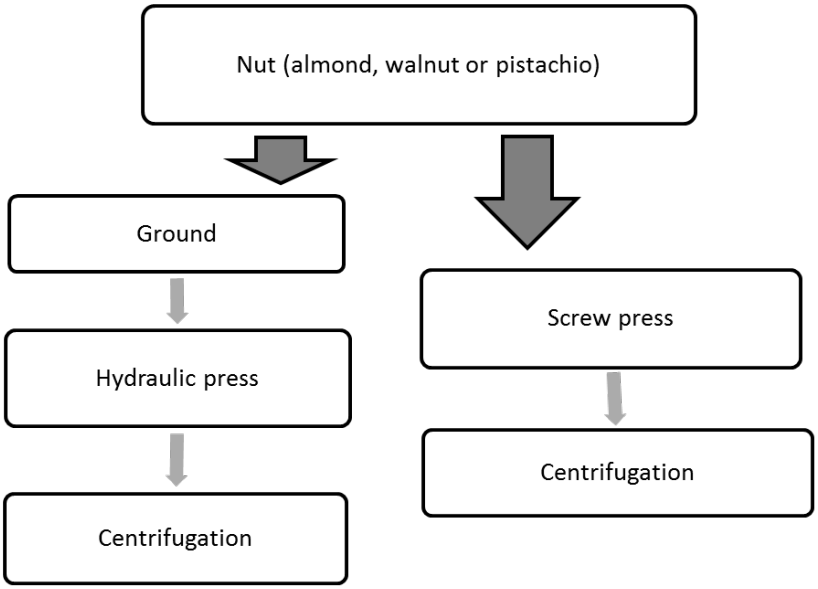


Figure 1. Processing lines of nut oil production studied.

Taking into account previous considerations, the yearly processing cost and revenue were based in a considered work of 20 days per month. Considering pre-processing operations and other non-productive times, the calculation of daily throughput was done considering an effective extraction time of 6 h in the screw press processing time and 5.5 h in the case of the hydraulic press. The total cost of equipment including running cost, maintenance cost and labour cost were calculated for one year period (table 1). The estimated production cost of one litre of nut oil was calculated attending to the annual oil production of the considered processing unit at the mentioned functional parameters for both processing lines.

Table 1. Production cost of considered production lines

Screw press		
Typology	*Value*	*Annual cost (€/year)*
Labor cost	30.000 € technician/year	30000.0
Electrical power (variable portion)	0.14 €/kWh	232.5
Electrical power (fixed portion)	3.75 €/kw	450.6
Maintenance (10% fix capital)		677.8
Investment depreciation		738.1
Total cost		32099.0
Hydraulic press		
Typology	*Value*	*Annual cost (€/year)*
Labor cost	30.000 € technician/year	30000.0
Electrical power (variable portion)	0.14 €/kWh	253.4
Electrical power (fixed portion)	3.75 €/kw	450.6
Filters	0.7 €/filter	268.8
Maintenance (10% fix capital)		1549.4
Investment depreciation		1422.8
Total cost		33945.0

Oil yield obtained presents differences depending on the nut and the press system used. Production cost is calculated as the minimum value of the product (litre of nut oil) to make the extraction process economically sustainable in both processes.

The study of the production cost of the proposed production flows is based on the analysis of raw material, equipment and labour attending to the experimental production plant at the ETSIAM. As it is a pilot plant, only one technician has been considered for each production line proposed. Pressing time is crucial for the economic analysis of nut oil production. Because of that, it has been considered as the limiting time parameter, as grounding and centrifugation for the hydraulic press extraction, and only centrifugation for the screw press extraction, do not require extra time (Rabadan et al., 2017).

Yield obtained with each pressing system was calculated attending to the weight of fresh nut in kg and the time needed for its processing in minutes. To calculate oil yield the ratio between the oil weight after centrifugation and the weight of processed nuts was considered. Extraction efficiency was calculated as the ratio between the total oil obtained with extraction and the total lipid content on nuts.

3. Results and discussion

In the hydraulic press extraction line the cost of the hydraulic press, the blender and the centrifuge were considered. For the screw press extraction line, only the price of the screw press and the centrifuge were considered. The basic instruments for oil extraction were also considered in all production lines. Required investment for the screw press production line was 8,200 €. For the production using the hydraulic press, the cost was 17,215 €.

Taking into account the initial investment, the yearly costs and the quantity of oil produced, the breakeven value that made nut oil extraction sustainable was in the case of the screw press 61.3€/l, 25.9€/l and 70.4€/l for almond oil, walnut oil and pistachio oil, respectively. If the hydraulic press was used, the prices increased due to lower extraction yield, reaching 84.5€/l, 35.1€/l and 91.0€/l for almond, walnut and pistachio oil. The different content of oil in nuts, have direct influence in the prices of oils. Walnut oil obtained using the screw press is the cheapest oil that can be produced, while the production of pistachio oil using the hydraulic press would be the most expensive. Almond oil could be produced with costs slightly smaller than those for pistachio oil.

Production costs are heavily influenced by raw nut price and labour. As a result of nut oil extraction, valuable nut defatted flour appears as a secondary product. To be conservative, in the calculated production costs, the selling of this by-product has not been considered. However, by selling this product a significant reduction in the production cost of oils could be achieved.

4. Conclusions

This study provides information about the production cost associated to oil extraction from almond, walnut and pistachio. Calculated prices indicate that nut oils are more expensive than other plant oils of general consumption. However, these oils obtained using presses can be a product with commercial opportunities if they present high quality standards and strong differentiation. High production costs, encourage the selling of nut oils in small glass bottles, 100ml and 250ml, to emphasize that image of distinctive product.

It should be taken into account that oil yields, extraction times and production cost have been calculated for a small scale processing unit in a research centre. Readjustments and improvements could be developed if a larger scale plant is considered, but the strict control of the process needed to obtain high quality nut oil could limit the development of economies of scale.

Aknowledgements

This study was partially funded by a grant from the University of Castilla-La Mancha (Ref 4062/2015).

References

Álvarez-Ortí, M., Quintanilla, C., Sena, E., Alvarruiz. A., Pardo, J.E. 2012. The effects of a pressure extraction on the quality parameters of different virgin pistachio (Pistacia vera L. var. Larnaka) oils. *Grasas y aceites* 63: 260-266.

Da, C., Hongzhi, L., Li, L., Hui, H., Qiang, W., 2014. Quality comparison of almond oil extracted with different processes and correlation analysis of quality indexes. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association* 2: 47-52.

Guerra, E., Zúñiga, M. 2003. Tratamiento enzimático en la extracción de aceite de pipa de uva, Vitis vinifera, por prensado en frío. *Grasas y Aceites* 54: 53-57.

Khoddami, A., Che Man, Y. B. & Roberts, T.H. 2014. Physicochemical properties and fatty acid profile of seed oils from pomegranate (Punica granatum L.) extracted by cold pressing. *European Journal of Lipid Science and Technology* 116: 553-562.

Martínez, M.L., Penci, M.C., Marin, M.A., Ribotta, P.D., Maestri, D.M. 2013. Screw press extraction of almond (Prunus dulcis (Miller) D.A. Webb). Oil recovery and oxidative stability. *Journal of Food Engineering* 119: 40–45.

Marzouki, H., Piras, A.M., Rosa, A.D. 2008. Extraction and separation of volatile and fixed oils from berries of Laurus nobilis L. by supercritical CO2. *Molecules* 13: 1702-1711.

Rabadán, A., Álvarez-Ortí, M., Pardo, J.E., Gómez, R., Pardo-Giménez, A., Olmeda, M., 2017. A comprehensive approach to pistachio oil production. *British Food Journal* 119: 921-933.

Sena-Moreno, E., Pardo, J.E., Catalán, L., Gómez, R., Pardo, A., Álvarez-Ortí, M. 2015. Drying temperature and extraction method influence physicochemical and sensory characteristics of pistachio oils*. European Journal of Lipid Science and Technology* 117: 684–691.

Uriarte, P.S., Goicoechea, E. & Guillén, M.D. 2011. Volatile components of several virgin and refined oils differing in their botanical origin. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 1871-1884.

Gentile, C., Tesoriere, L., Butera, D., Fazzari, M., Monastero, M., Allegra, M., Livrea, M.A. 2007. Antioxidant activity of Sicilian pistachio (Pistacia vera L. var. Bronte) nut extract and its bioactive component. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 543-648.

Kodad, O., Estopa;an, G., Juan, T., Mamouni, A., Socias, R. 2011. Tocopherol concentration in almond oil: Genetic variation and environmental effects under warm conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 6137-6141.

Influencia de las condiciones de procesado en la calidad del aceite de frutos secos

Ricardo Gómez, Manuel Alvarez-Ortí, Adrián Rabadán, Eulogio López, Andrés Alvarruiz, Miguel Olmeda, Sergio Díaz, Carmen Gómez-Cantó, José Emilio Pardo

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Campus Universitario s/n, 02071-Albacete (España). jose.pgonzalez@uclm.es

Resumen

Los frutos secos son alimentos ricos en nutrientes que se caracterizan por tener un elevado contenido en aceite, con muchas propiedades saludables debido a su perfil de ácidos grasos y la presencia de otros compuestos bioactivos y antioxidantes. Durante el procesado de los frutos secos, estos deben ser sometidos a un proceso de secado inmediatamente después de la recolección, que puede influir en las características del aceite extraído, principalmente si se realiza en secaderos a temperaturas superiores a 70ºC. Además, un secado insuficiente o realizado en malas condiciones puede originar la aparición de manchas en los frutos secos provocadas por el crecimiento fúngico. El empleo de esta materia prima origina aceites con un color más oscuro y valores más altos de acidez e índice de peróxidos.

Por otro lado, para potenciar las características sensoriales, los frutos secos se pueden someter a un proceso de tostado. El tostado de la materia prima puede llevar consigo la aparición de productos de la reacción de Maillard con capacidad antioxidante que pueden incrementar la estabilidad de los aceites. Además, el tostado previo origina aceites con mayor intensidad de aroma y sabor, mejor valorado en general por los consumidores, además de un color más intenso.

Durante la extracción del aceite, también hay que vigilar la temperatura, que puede originar una pérdida de calidad, incrementándose los valores de acidez, índice de peróxidos y valores de absorbancia en el ultravioleta (K_{232} y K_{270}) debido a reacciones de oxidación aceleradas por las condiciones térmicas. Además, estas condiciones de elevadas temperaturas y presiones pueden originar pequeños cambios en la composición química del aceite.

Finalmente, durante el almacenamiento hay que evitar la exposición a la luz y conservarlos preferiblemente en condiciones de refrigeración para evitar su enranciamiento debido a que la elevada proporción de ácidos grasos insaturados los hace ser poco estables en general.

Palabras clave: Calidad reglamentada, secado, tostado, extracción, almacenamiento

Influence of processing conditions on the quality of nuts oils

Abstract

Nuts are foods rich in nutrients that are characterized by having a high oil content, with many health properties due to their fatty acids profile and the presence of other bioactive and antioxidants compounds. During the processing of the nuts, they must undergo a drying process immediately after harvesting, which can influence the characteristics of the extracted oil, mainly if it is carried out in dryers at temperatures above 70ºC. In addition, insufficient drying or poor drying conditions can lead to the appearance of stains on nuts caused by fungal growth. The use of this raw material originates oils with a darker color and higher values of acidity and peroxide index.

On the other hand, to enhance the sensorial characteristics, the nuts can be subjected to a roasting process. The roasting of the raw material may lead to the appearance of products of the Maillard reaction with antioxidant capacity that can increase the stability of the oils. In addition, the previous roasting originates oils with greater intensity of aroma and flavor, better valued in general by the consumers, in addition to a more intense color.

During the extraction of the oil, the temperature must also be monitored, which can cause a loss of quality, increasing the values of acidity, peroxide index and ultraviolet absorbance values (K_{232} and K_{270}) due to oxidation reactions accelerated by thermal conditions. In addition, these conditions of high temperatures and pressures can cause small changes in the chemical composition of the oil.

Finally, during storage, exposure to light should be avoided and preferably preserved under cooling conditions to avoid rancidity due to the high proportion of unsaturated fatty acids.

Keywords: Regulated quality, drying, roasting, extraction, storage

1. Introducción

Los frutos secos presentan un elevado contenido en aceite, en el que predominan los ácidos grasos insaturados y en el que se incluyen una extensa batería de compuestos con actividad antioxidante y bioactiva como tocoferoles, esteroles o polifenoles que los hacen un ingrediente saludable para la dieta (Ros, 2010). El aceite puede extraerse mediante diferentes sistemas, siendo los preferidos los sistemas de presión (prensa hidráulica o de tornillo), puesto que dan un aceite de calidad empleando únicamente medios físicos (Catalán et al., 2016; Roncero et al., 2016).

En el procesado de los frutos secos, éstos deben ser sometidos a distintas operaciones para asegurar su calidad. Debe procederse a un proceso de secado en el que la humedad disminuya por debajo de un 5% para evitar crecimientos fúngicos y la acumulación de aflatoxinas, pero que puede originar cambios físico-químicos o nutricionales (Kashani Nejad et al., 2003). Además, para potenciar sus características sensoriales, muchos frutos secos se someten a operaciones de tostado, en el que pueden alcanzarse temperaturas elevadas.

En cualquier caso, es importante el control de todas las operaciones durante el procesado, evitando la aparición de compuestos que puedan dar lugar a un producto con características diferentes a las deseadas.

En este trabajo se estudian las diferentes operaciones del procesado, desde la recogida hasta el almacenamiento del aceite extraído de los frutos secos (almendra, nuez, pistacho). Además, se analizan los diferentes factores que pueden afectar a las características físico-químicas y sensoriales de los aceites.

2. Materiales y Métodos

La materia prima (almendras, nueces y pistachos) se recogieron de los campos de cultivo del Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP). Se transportaron a la Planta Piloto de Extracción de Aceites Vegetales de la ETSIAM de Albacete donde fueron sometidas a procesos de secado en condiciones controladas.

El aceite se extrajo con dos sistemas de presión diferentes: una prensa hidráulica de una presión nominal de 80 t (MECAMAQ Modelo DEVF 80, Vila-Sana, Lleida, España) y una prensa de tornillo Komet Oil Press CA59G (IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, Germany).

Los análisis de la composición química de los aceites (ácidos grasos, esteroles, polifenoles, tocoferoles), de los parámetros de calidad reglamentada (acidez, índice de peróxidos, K_{232}, K_{270}) y los valores de la estabilidad oxidativa se realizaron de acuerdo a Sena-Moreno et al (2015, 2016).

El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS para Windows.

3. Resultados y Discusión

En la figura 1 se presenta un diagrama de flujo con las distintas operaciones de la industria de extracción de aceites de frutos secos. La primera consideración debe ser las características de la materia prima, que debe cuidarse para la obtención de aceites de la máxima calidad (Alvarez-Ortí et al., 2012).

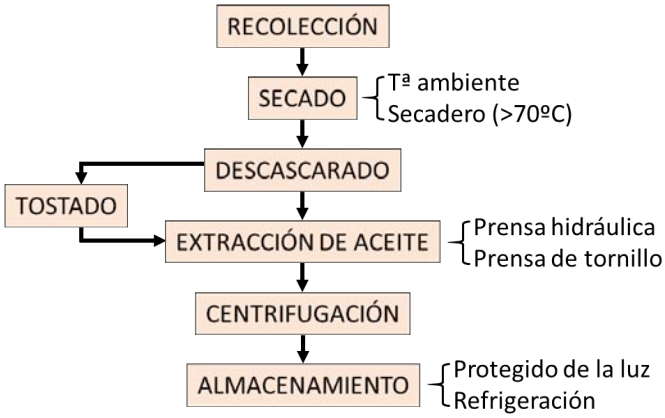


Figura 1. Diagrama de flujo de la extracción de aceite de frutos secos

Entre las operaciones que pueden influir en gran manera en la calidad final del aceite extraído se encuentra el secado, que debe producirse inmediatamente después de la recolección para evitar la proliferación de hongos productores de aflatoxinas. De esta forma, el contenido de humedad de los frutos secos se debe disminuir por debajo del 5 %. Es importante considerar la temperatura de secado, pues puede jugar un papel importante en la calidad del aceite final, dando lugar a productos con características diferenciadas (Figura 2).

Otro tratamiento habitual que se le suele aplicar a los frutos secos es el tostado, con el objetivo de mejorar sus cualidades sensoriales. En este caso, la temperatura juega un papel primordial, pues este tostado se suele realizar con temperaturas que superan los 100ºC. En este caso, se obtienen aceites en general más valorados por los consumidores (a excepción del aceite de nuez), debido a un incremento en la intensidad del sabor, del olor y la presencia de un color más intenso (Figura 3). Sin embargo, este incremento de temperatura origina una pérdida de la calidad reglamentada del aceite, que se refleja en un aumento de la acidez, el índice de peróxidos o los valores de los coeficientes de extinción molar (K_{232} y K_{270}), indicativos de procesos de oxidación.

Los aceites extraídos de frutos secos tostados presentan un color más oscuro debido a la aparición de compuestos de la reacción de Maillard (Figura 4). En el caso del aceite de pistacho, el color del aceite de pistachos tostados varía hacia un color verde hierba, mientras que el aceite de pistachos naturales presenta un color amarillo intenso.

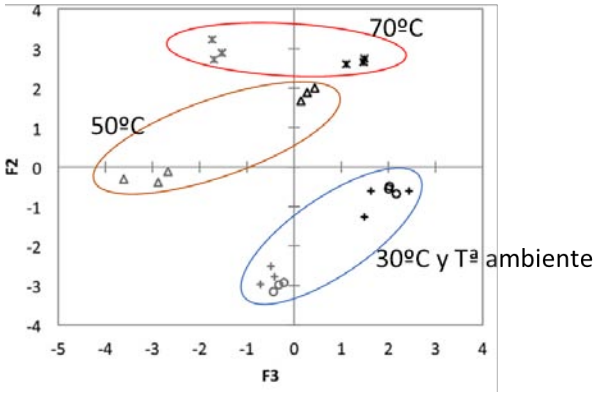


Figura 2. Análisis de componentes principales con las características físico-químicas de los aceites extraídos de pistachos sometidos a diferentes temperaturas de secado (Sena-Moreno et al., 2015)

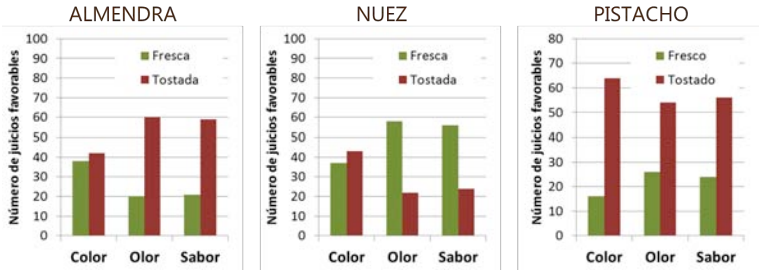


Figura 3. Preferencia de los consumidores en relación a aceites elaborados a partir de frutos secos frescos o tostados.

Figura 4. Efecto del tratamiento de tostado en el aceite de nuez.

La elección del método de extracción también puede influir en las características de los aceites de frutos secos. Los métodos preferidos para extraer aceites de calidad son los sistemas de presión, si bien, en función del tipo de prensa (hidráulica-tornillo) pueden originarse aceites con características diferentes (Figura 5). En general, los aceites obtenidos con la prensa de tornillo presentan mayor acidez y un valor mayor del índice de peróxidos. Por otro lado, la temperatura a la que se someten los aceites en esta prensa provoca la aparición de compuestos con actividad antioxidante, originando

una mayor proporción de compuestos fenólicos que contribuyen a que estos aceites presenten una mayor estabilidad oxidativa.

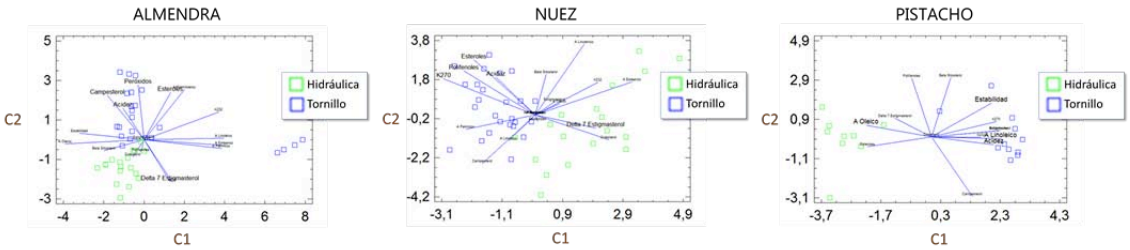


Figura 5. Análisis de componentes principales con la composición físico-química y los parámetros de calidad reglamentada de aceites de almendra, nuez y pistacho extraídos con prensa hidráulica y de tornillo.

Por último, también cabe mencionar el efecto que puede tener el almacenamiento en estos aceites. La proporción de ácidos grasos insaturados es elevada, por lo que estos productos son susceptibles de sufrir reacciones de oxidación que originen un enranciamiento rápido. Por ello, es importante evitar la exposición a la luz directa, y es recomendable su almacenamiento en condiciones de refrigeración para prolongar su vida útil.

4. Conclusiones

Existen varias operaciones que se realizan durante el procesado del aceite de frutos secos que pueden tener una gran influencia en las características del producto final. Es importante realizar un secado en condiciones controladas para asegurar la máxima calidad del aceite evitando la aparición de características indeseadas. Además, el tostado de los frutos secos previo a la extracción de aceites origina aceites más valorados por los consumidores, aunque puede originar incrementos en la acidez, el índice de peróxidos o los valores de K_{232} y K_{270}. El procesado mediante prensa de tornillo o prensa hidráulica también origina aceites que se diferencian en sus características físico-químicas y los parámetros de calidad reglamentada. En el caso de los aceites de frutos secos es importante el almacenamiento protegido de la luz directa y en condiciones de refrigeración para incrementar su vida útil.

Bibliografía

Alvarez-Ortí, M., Quintanilla, C., Sena, E., Alvarruiz, A. y Pardo, J.E. 2012. The effects of a pressure extraction system on the quality parameters of different virgin pistachio (Pistacia vera L. var. Larnaka) oils. *Grasas y Aceites* 63(3): 260-266.

Catalán, L., Alvarez-Ortí, M., Pardo-Giménez, A., Gómez, R., Rabadán, A., y Pardo, J.E. 2016. Pistachio oil: A review on its chemical composition, extraction systems, and uses. *European Journal of Lipid Science and Technology* article in press DOI: 10.1002/ejlt.201600126

Kashani Nejad, M., Tabil, L.G., Mortazavi, A. y Safe Kordi, A. 2003. Effect of drying methods on quality of pistachio nuts. *Drying Technology* 21: 821–838.

Roncero, J.M., Alvarez-Ortí, M., Pardo-Giménez, A., Gómez, R., Rabadán, A., y Pardo, J.E. 2016. Virgin almond oil: Extraction methods and composition. *Grasas y Aceites* 67(3): e143

Ros, E. 2010. Health Benefits of Nut Consumption. *Nutrients* 2: 652-682.

Sena-Moreno, E., Pardo, J.E., Catalán, L., Gómez, R., Pardo-Giménez, A. Y Alvarez-Ortí, M. 2015. Drying temperature and extraction method influence physicochemical and sensory characteristics of pistachio oils. *European Journal of Lipid Science and Technology* 117: 684-691.

Sena-Moreno, E., Pardo, J.E., Pardo-Giménez, A., Gómez, R., y Alvarez-Ortí, M. 2016. Differences in Oils from Nuts Extracted by Means of Two Pressure Systems. *International Journal of Food Properties* 19(12): 2750-2760.

Evaluación espectroscópica de un nuevo producto a base de pulpa de café

Belén Diezma[1], Eva C.Correa, Virginia Díaz-Barcos[3], César A. Echeverry[4], Beatriz Meneses[4], Ricardo Oteros[4]

[1] Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación, LPF_TAGRALIA, Departamento de Ingeniería Agroforestal, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, belen.diema@upm.es

[2] LPF_TAGRALIA, Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, evacristina.correa@upm.es

[3] Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, virginia.diaz@upm.es

[4] SUPRACAFÉ, S.A. Polígono Industrial Prado de Regordoño, C/ Torrres Quevedo, 15, 28936 Móstoles, Madrid, España

Resumen

En este trabajo se ha explorado la implementación de la espectroscopia visible (VIS) e infrarroja (NIR) y de la imagen hiperespectral en el rango VIS-NIR (400-1000 nm) para la evaluación de la pulpa de café deshidratada. La espectroscopia NIR ha mostrado su potencial para la segregación de muestras de pulpa con diferentes contenidos en humedad. Tanto la espectroscopia VIS como la imagen hiperespectral han mostrado su viabilidad para identificar el producto como de pulpa roja o amarilla o a una mezcla de ambas, a pesar de que en el producto deshidratado dejan de percibirse los tonos rojos o amarillos. Las herramientas quimiométricas aplicadas desvelan que las regiones del espectro entre 400 y 500 nm, banda de absorción de carotenos, y entre 500 y 535 nm, región de absorción relacionada con las antocioaninas, son las más significativas en los modelos de clasificación, lo que indica que la espectroscopia visible es capaz de percibir cualitativamente las posibles diferencias en los patrones de pigmentos presentes en la pulpa deshidratada de las variedades rojas y de las variedades amarillas.

Palabras clave: Imagen hiperespectral, Espectroscopia VIS/NIR, Revalorización subproductos, Subproductos café

Spectroscopic evaluation of a new product of coffee pulp cherry

Abstract

In this work we have explored the implementation of visible spectroscopy (VIS) and infrared (NIR) and hyperspectral imaging in the VIS-NIR range (400-1000 nm) for the evaluation of dehydrated coffee pulp. NIR spectroscopy has shown its potential for the segregation of pulp samples with different moisture contents. Both the VIS spectroscopy and the hyperspectral image have shown their viability to identify the product as red or yellow pulp or a mixture of both, although the red or yellow tones are no longer perceived in the dehydrated product. The applied chemometric tools reveal that the regions of the spectrum between 400 and 500 nm, carotene absorption band, and between 500 and 535 nm, absorption region related to the anthocyanins, are the most significant in the classification models, indicating That the visible spectroscopy is able to qualitatively perceive the possible differences in the pigment patterns present in the dehydrated pulp of the red varieties and of the yellow varieties.

Keywords: Hyperspectral imaging, VIS/NIR spectroscopy, Valorization of food processing by-products, Coffee by-products

1. Introducción

El café, producto cultivado en unos 80 países de las regiones tropicales y subtropicales, constituye el segundo mercado más importante después del petróleo. Entre 2000 y 2012 se produjo un aumento de la producción de café en verde de casi un 17%, probablemente debido a la mejora de las

producciones superficiales de las variedades cultivadas (Campos-Vega et al., 2015). La importancia económica del café es debida fundamentalmente a su consumo como bebida, una infusión preparada a partir de los granos tostados y molidos. La mayor parte del café consumido corresponde a las especies *Coffea arabica* (tipo Arábica) y *Coffea canephora* (tipo Robusta); la primera es considerada de mayor calidad debido a sus propiedades organolépticas y alcanza precios superiores en los mercados internacionales (Esquivel y Jiménez, 2012).

Para separar la semilla de la pulpa, se utiliza un término que se conoce como beneficio del café. Este proceso puede llevarse a cabo por vía húmeda o por vía seca e incluye todas aquellas operaciones que eliminan la pulpa, mucílago y pergamino, dejando los granos de café en verde listos para ser tostados. Estos procesos van acompañados de abundantes subproductos que, hasta hace poco, se habían considerado como desechos: pulpa, mucílago, aguas de lavado y pergamino. Las grandes cantidades de estos materiales que se generan durante el procesado de café, generan un enorme problema medioambiental y representan un claro riesgo de contaminación en los países productores. De ahí la necesidad de tratarlos, valorizarlos y plantear soluciones tecnológicas económicamente viables que permitan minimizar su producción y optimizar sus posibles aprovechamientos.

Una de las primeras etapas en el procesado húmedo del café es el despulpado. En esta operación se elimina mecánicamente el epicarpio del fruto junto con parte del mesocarpio, obteniéndose un subproducto que se conoce como pulpa. La pulpa es un material fibroso mucilaginoso que constituye aproximadamente el 42% del peso del fruto; es rica en carbohidratos y proteínas, y contiene además cantidades apreciables de minerales, potasio, taninos, cafeína y polifenoles totales, lo que permite considerarla como potencial fuente de antioxidantes. Su contenido en agua supone aproximadamente el 79% de su peso (Marín-López et al., 2003). La pulpa es, por tanto, uno de los principales subproductos, tanto por el volumen como por los problemas ambientales que origina en las zonas de producción. Se dice café lavado, al que se obtiene por vía húmeda, ya que tras el despulpado son sometidos a una operación de fermentación natural para la eliminación del mucílago adherido a la semilla. Dicha fermentación favorece la licuefacción del mucílago que acaba por liberarse del grano mediante una operación posterior de lavado, que es la que da nombre a estos tipos de cafés (Figura 1).

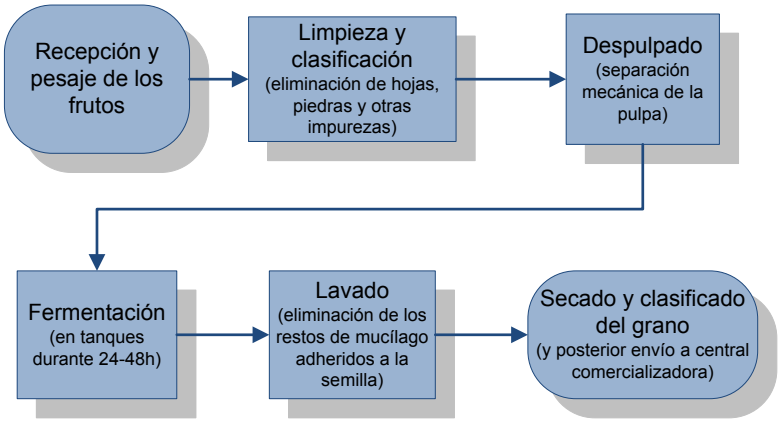


Figura 1. Diagrama de flujo general de procesado de café por vía húmeda en beneficiadero (modificado de Raichle et al., 2012)

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco de un proyecto promovido por la empresa SUPRACAFÉ, que procesa cafés de alta calidad de la especie arábica, tratados en su mayor parte por la vía húmeda y con garantía de origen y de productor. Desde 2012, la empresa desarrolla un proyecto comercial de investigación y producción explorando la puesta en valor de nuevas variedades de café en colaboración con su filial SUPRACAFE COLOMBIA en la región del Cauca. Es en el seno de esta alianza

donde surge la iniciativa de tratar de revalorizar la pulpa de café, mediante su deshidratado en origen y su posterior exportación.

Con los objetivos de ampliar su oferta de productos y mejorar las condiciones de los procesos productivos en los países de origen, SUPRACAFÉ evalúa el potencial de la pulpa de café deshidratada procedente de distintas variedades de café de pulpa roja o pulpa amarilla para ser utilizada como sustrato base en la elaboración de distintos tipos de infusiones. La evaluación rápida y no destructiva de las condiciones de deshidratado y del color de la pulpa de café deshidratada a su llegada a la industria, permitiría establecer categorías según el color y su homogeneidad y adoptar decisiones acerca del procesado posterior del producto. El objetivo del presente trabajo es estudiar el potencial de la espectroscopia VIS/NIR y la imagen hiperespectral (400-1000 nm) para la inspección y categorización de pulpa de café deshidratada.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales: material vegetal y equipos

El material vegetal analizado es este trabajo consiste en pulpa de café desecada, obtenida en origen en Colombia en la finca Los Naranjos (SUPRACAFÉ COLOMBIA, región del Cauca), mediante despulpado mecánico o manual y secado sobre plataformas perforadas elevadas bajo cubierta, que fueron enviadas desde Colombia a España, en dos ocasiones a lo largo de la campaña, en pequeños envases (Figura 2).

Figura 2. Pulpa de café durante el proceso de deshidratado en la finca Los Naranjos (izquierda) y presentación de la muestra de pulpa deshidratada las determinaciones espectroscópicas en el laboratorio de la UPM para (derecha)

La adquisición de espectros e imágenes hiperespectrales se realizó en 4 días de ensayo. En la **Error! Reference source not found.** se incluye la descripción de los ensayos, señalando si la muestra corresponde al envío 1 o 2, los días transcurridos entre la recepción del material y el ensayo, las variedades analizadas, el procedimiento de despulpado (manual o a máquina, h y M, respectivamente), y la humedad de las muestras. Con la finalidad de verificar el efecto que el contenido en humedad tiene en las determinaciones, en el Ensayo 3, las muestras se midieron antes y después de llevarlas a peso seco mediante desecación en estufa.

La adquisición de imágenes hiperespectrales se realizó con una equipo de barrido (*push broom*) que consiste en una cámara de tipo CCD (Andor Luca) equipada con un espectrógrafo Headwall Photonics HyperspecTM VNIR que trabaja en el rango espectral comprendido entre 400 y 1000 nm. La adquisición y el almacenamiento de la imagen se configura en un PC a través de una aplicación informática específica Headwall HyperespecTM. La iluminación es suministrada por dos lámparas halógenas cuya intensidad puede regularse mediante una fuente de alimentación variable. La luz es transmitida a través de un cable de fibra óptica hasta un reflector de luz lineal. La muestra se coloca sobre una plataforma que se desplaza gobernada por un controlador de posicionamiento y movimiento de precisión con motor AC (Micos-MOCO).

Los espectros se adquirieron con el espectrómetro fotónico multicanal Hamamatsu que dispone de dos unidades, una para medir en el rango del visible extendido (módulo C7443 detector en el rango de 196-958 nm y resolución menor a ±2 nm) y una segunda unidad que mide en el rango del infrarrojo cercano NIR (módulo PMA-1 con detector en el rango de 896-1686 nm y resolución menor a ±9 nm). El sistema óptico está formado por una fibra óptica bifurcada, que conduce la luz desde una lámpara de 100 W de tungsteno hasta la muestra donde la radiación incidente se modifica por interacción con ella, volviendo al detector a través de la misma fibra óptica.

Tabla 1. Resumen de los ensayos realizados sobre pulpa de café y características del producto estudiado.

Ensayo	Variedades analizadas	Características del producto
1 **Envío 1** **Día 0**	Caturro amarillo (M) Caturro rojo (M) Tabi rojo (M) Típica amarillo	Despulpado a máquina (M) Humedad según procesado en origen 6 repeticiones/variedad
2 **Envío 1** **Día 45**	Caturro amarillo (M) Caturro rojo (M) Tabi rojo (M) Típica amarillo (M)	Despulpado a máquina (M) Humedad según procesado en origen 6 repeticiones/variedad
3 **Envío 1** **Día 55**	Caturro amarillo (M) Caturro rojo (M) Castillo rojo (M) Tabi rojo (M) Típica amarillo (M)	Despulpado a máquina (M) Humedad según procesado en origen + producto deshidratado hasta peso constante 6 repeticiones/variedad y nivel de humedad
4 **Envío 2** **Día 0**	Típica amarillo (h y M) Tabi rojo (M) Borbón rojo (h) Caturro amarillo (h) Caturro rojo (M)	Despulpado a mano (h) y a máquina (M) Humedad según procesado en origen 6 repeticiones/variedad

2.2. Métodos

El manejo y análisis de datos se llevó a cabo con el programa Matlab Mathworks®. Los análisis que se incluyen en este artículo se han llevado a cabo sobre espectros normalizados mediante el método *standard normal variate* (SNV, a cada espectro se le sustrae su media y se divide por su desviación típica) (Fearn et al., 2009). Se realizaron análisis de componentes principales para evaluar la variabilidad de las poblaciones espectrales de forma no supervisada y análisis discriminantes con mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) para categorizar según tipos de variedades.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados de espectroscopia NIR

Las muestras correspondientes al primer envío y sin someter a secado en estufa se consideraron conjuntamente para realizar un primer análisis de componentes principales. En la Figura 3, se presentan los espectros medios normalizados por muestra de los tres primeros ensayos y categorizados por variedades. Se observa que los patrones espectrales son muy similares en la mayor parte de las muestras, distinguiéndose, sin embargo dos muestras correspondientes a la variedad Típica amarillo y una correspondiente a Caturro rojo, presentando un espectro medio diferente al obtenido para el resto de muestras; se señalan con líneas verticales las longitudes de onda en las que

más se manifiestan estas diferencias. En la Figura 4 se muestran los espectros de las muestras del Ensayo 3 antes y después del secado en estufa; las muestras secadas en estufa presentan el mismo patrón espectral que las identificadas previamente como atípicas en las muestras de los Ensayos 1, 2 y 3 en la Figura 3.

En la Figura 5 se presenta la proyección de los espectros en el primer componente principal (*scores* en PC1) obtenido en el análisis de componentes principales; se observa que las muestras de la variedad Típica amarillo del Ensayo 1 y la Caturro rojo del Ensayo 2 presentan valores positivos en el PC1, mientras que el resto de las muestras antes de ser secadas en estufa, presentan valores negativos. Las muestras del Ensayo 3, tras ser secadas en estufa hasta peso constante pasan a tener valores positivos.

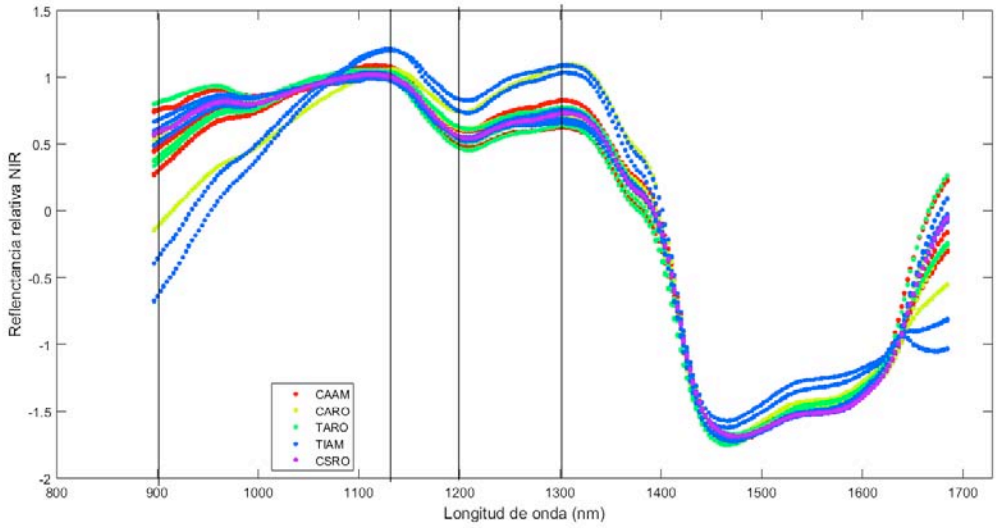


Figura 3. Espectros medios NIR normalizados por muestras categorizados por variedades (Caturro amarillo CAAM, Caturro rojo CARO, Tabi rojo TARO, Típica amarillo TIAM y Castillo rojo CSRO) y correspondientes al primer envío

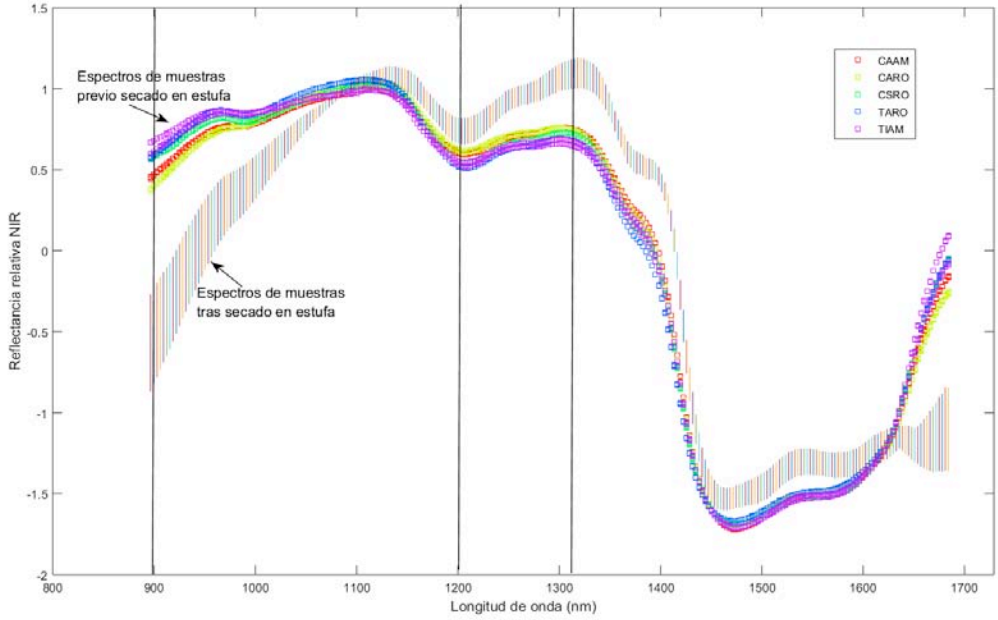


Figura 4. Espectros medios NIR normalizados por muestras categorizados por variedades (Caturro amarillo CAAM, Caturro rojo CARO, Tabi rojo TARO, Típica amarillo TIAM y Castillo rojo CSRO) y correspondientes al ensayo 3 antes y después de su secado en estufa

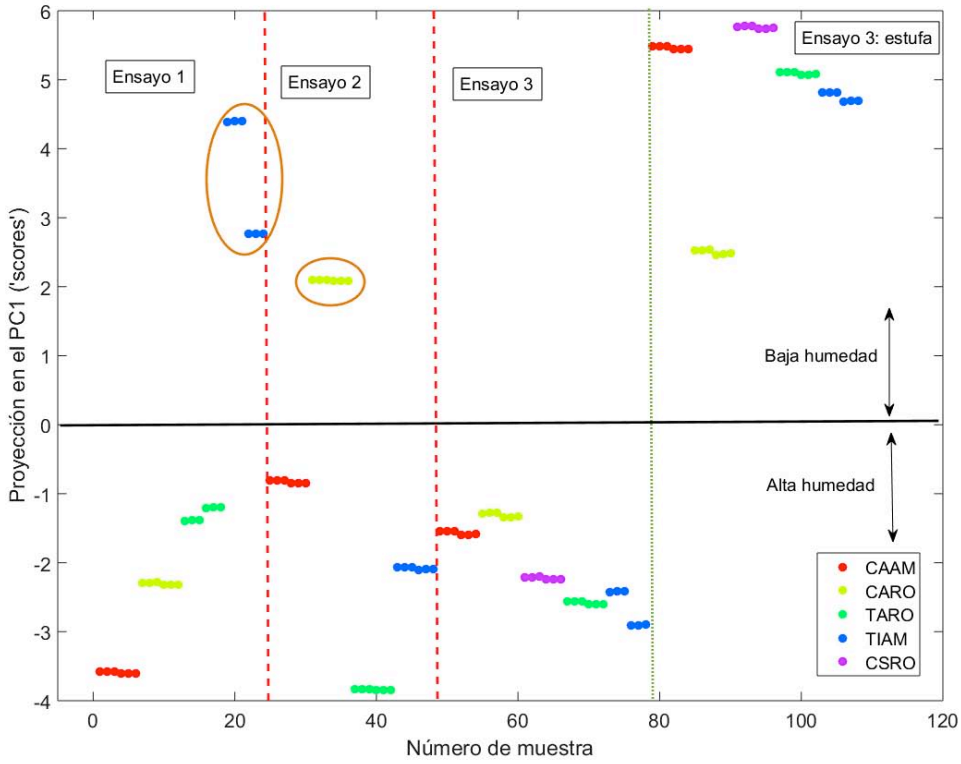


Figura 5. Proyección de los espectros de los tres primeros ensayos en el primer componente principal PC1, muestras con humedad según procesado en origen

El Real Decreto, 3176/1983, de 16 de noviembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración, Circulación y Comercio de Especies Vegetales para Infusiones de uso en Alimentación, parcialmente en vigor, especifica en el apartado 2.1 del artículo 11 que la humedad de los vegetales para su uso en infusiones debe ser inferior al 15%. Este grado de secado garantiza la imposibilidad de crecimiento de microorganismos dada la baja actividad de agua asociada a este grado de humedad. El contenido en humedad de las muestras analizadas se sitúa entre el 6,7% y el 11,9%, valores adecuados para mantener la estabilidad de las muestras desde su procesado hasta el consumo, pero con una variabilidad por lotes que puede ser necesario evaluar. Las muestras identificadas como atípicas, presentaron los menores valores de humedad (6,7%), lo que indica que la espectroscopia NIR puede implementarse para categorizar las muestras que llegan a fábrica en función de su contenido en humedad.

3.2. Resultados de espectroscopia VIS e hiperespectral

En la Figura 6 se presentan los espectros VIS normalizados de las muestras analizadas, categorizados por variedades. Se observa que entre 400 y 500 nm la reflectancia presenta valores mínimos para todos los espectros. El espectro de absorción de los carotenos, frecuentemente presentes en frutos, muestra sus picos de absorbancia entre los 400 nm y los 500 nm, correspondientes al color azul y verde, por lo que la luz roja-anaranjada-amarilla que refleja le proporciona su color característico. Las antocianinas, típicamente presente en los frutos rojos, tienen un rango de absorción amplio al final del azul del espectro visible con una absorción máxima observada en las regiones de 500-535 nm (Aguilera Ortiz et al., 2011). Ambos pigmentos tienen presencia en la pulpa de las bayas de café.

El análisis discriminante mediante mínimos cuadrados parciales (PLS-DA), ha permitido clasificar las muestras de pulpas deshidratadas en variedades rojas y amarillas, con un 82% de las muestras bien clasificadas Figura 7.

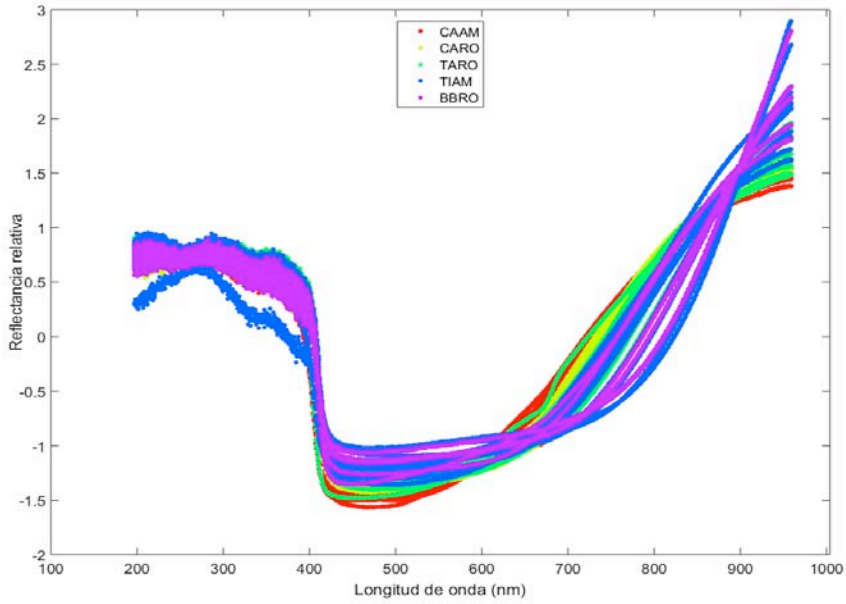


Figura 6. Espectros medios VIS normalizados por muestras categorizados por variedades (Caturro amarillo CAAM, Caturro rojo CARO, Tabi rojo TARO, Típica amarillo TIAM y Borbón rojo BBRO) y correspondientes al primer y segundo envío

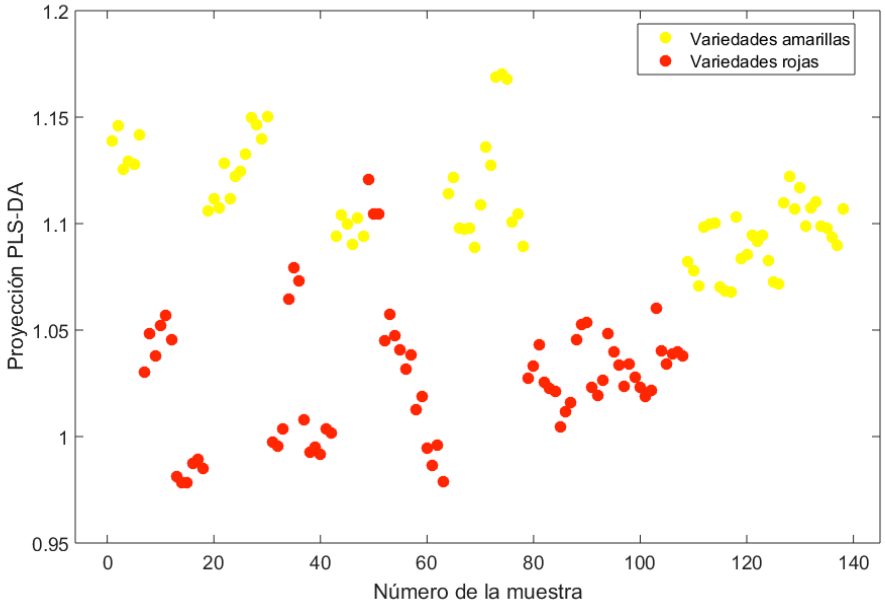


Figura 7. Proyección de los espectros VIS normalizados en la variable latente obtenida mediante PLS-DA, categorizadas por tipo de variedades

De las mismas muestras utilizadas en los ensayos de espectroscopia se adquirieron sendas imágenes hiperespectrales en el rango entre 400 y 1.000 nm. La técnica permite obtener los espectros de todos los píxeles de la imagen, lo que supone considerar la posible variabilidad espacial de las muestras con una única medida. Como ha sucedido con la espectroscopia VIS puntual, las medidas no permitieron una segregación satisfactoria de las variedades, sin embargo sí ha dado buenos resultados en la clasificación de las variedades según si la pulpa es roja o amarilla. A modo de ejemplo se incluyen las imágenes virtuales de dos variedades, Castillo rojo y Caturro amarillo (Figura 8), que corresponden al resultado de la aplicación de un modelo cualitativo PLS-DA (Figura 9 y Figura 10).

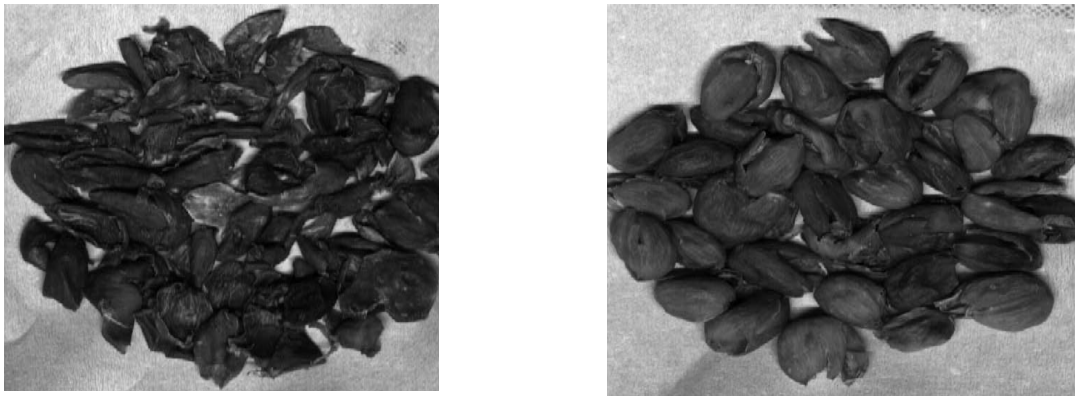


Figura 8. Plano 700 nm de las imágenes hiperespectrales de una muestra de Castillo rojo (izquierda) y Caturro amarillo (derecha)

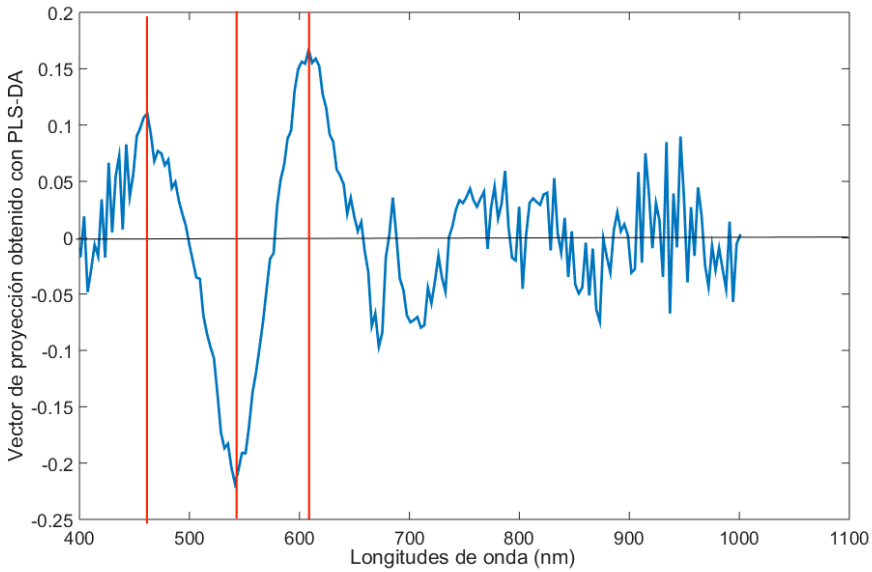


Figura 9. Vector de proyección del análisis PLS-DA. Se señalan con líneas verticales las longitudes de onda más significativas en el modelo cualitativo obtenido con PLS-DA.

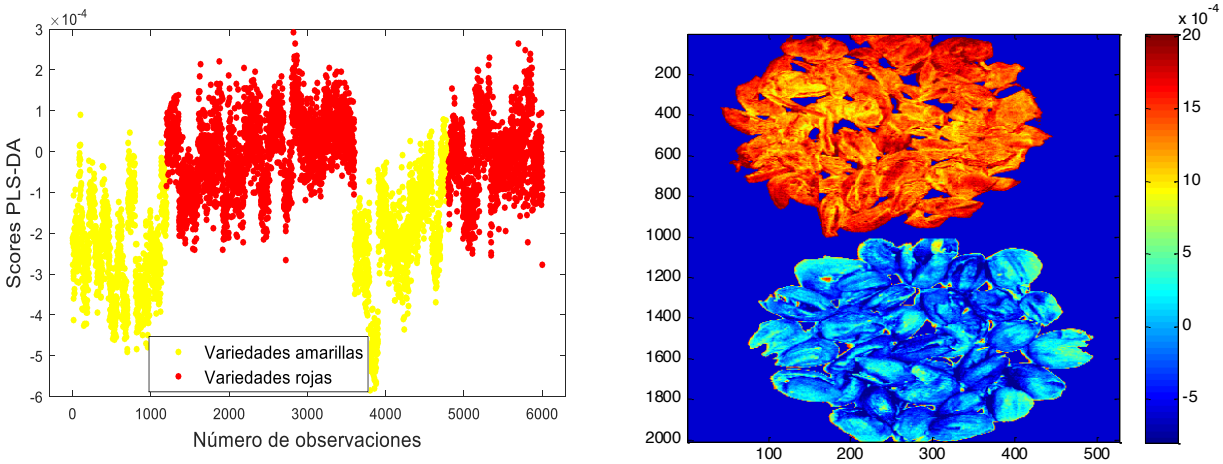


Figura 10. Proyección de la población de calibración en el espacio PLS_DA (izquierda), se observa la separación según variedades rojas y amarillas. Imágenes virtuales según modelo PLS_DA (derecha) de una muestra de Castillo rojo (arriba) y Caturro Amarillo (abajo)

4. Conclusiones

Las técnicas espectroscópicas en el rango del visible (VIS) y del infrarrojo cercano (NIR) permiten la estimación de parámetros físicos de la muestra en tiempo real, de modo no destructivo y sin necesidad de reactivos. Con los trabajos realizados en este proyecto, la espectroscopia NIR ha mostrado su potencial para la segregación de muestras de pulpa con diferentes contenidos en humedad. Si se diagnosticara un problema de variabilidad en el contenido de humedad con el que el producto llega a fábrica para su formulación final, de manera que se comprometiera su calidad organoléptica o de conservación, podría resultar de utilidad la implementación de un dispositivo NIR para la determinación rápida y no destructiva de este parámetro.

Tanto la espectroscopia VIS como la imagen hiperespectral aplicadas sobre muestras de pulpa deshidratada han mostrado su viabilidad para la evaluación y control del material en recepción en la industria y en tiempo real, en lo que refiere a la verificación de si el producto corresponde a una variedad de pulpa roja o amarilla o a una mezcla de ambas.

Estas tecnologías, por tanto, pueden ser la base de un sistema de verificación y comprobación de la calidad de la materia prima, con posibilidades de ampliar sus competencias con un diseño experimental más amplio abarcando muestras representativas de la variabilidad del producto.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CDTI por la financiación del proyecto “NUEVO PRODUCTO A BASE DE PULPA DE CAFÉ DESECADA. INFUCAFE” y a la Comunidad de Madrid y Fondos Estructurales de la Unión Europea por su apoyo a través del programa S2013/ABI-2747 (TAVS-CM).

Bibliografía

Aguilera Ortíz, M., Reza Vargas, M.C., Chew Madinaveitia, R-J., Meza Velázquez, J.A. 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista Biotecnia* 13(2): 16-22.

Esquivel, P., V.M. Jiménez. 2012. Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International* 46: 488-495.

Campos-Vega, R., G. Loarca-Piña, H.A. Vergara-Castañeda and B.D. Oomah. 2015. Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology* 45: 24-36.

Fearn, T., Riccioli, C., Garrido-Varo, A., Guerrero-Ginel, J.E. 2009. On the geometry of SNV and MSC. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 96: 22–26.

Marín-López S., J. Arcila-Purgarín, C. Montoya-Restrepo, EC O.-T. (2003) Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Cenicafé* 54:208-225.

Raichle B.W., Sinclair R.S., Ferrell J.C. (2012) Design and construction of a direct hydro powered coffee depulper. *Energy for Sustainable Development* 16:401-405. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2012.08.006.

Avaliação das potencialidades da aplicação de Atmosfera Modificada em combinação com eugenol na conservação de uva de mesa 'Crimson Seedless'

Sara Ricardo-Rodrigues[1], Sílvia Tim-Tim[3], Joana Véstia[1], Juliana Agostinho[2], Ana Derreado[3], Ana Elisa Rato[1,2], Ana Cristina Agulheiro-Santos[1,2]

[1] Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), Universidade de Évora, Pólo da Mitra, Ap. 94, 7006-554 Évora, Portugal. {sirr, joanav, aerato, acsantos}@uevora.pt

[2] Departamento de Fitotecnia, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Pólo da Mitra, Ap. 94, 7006-554 Évora, Portugal

[3] Alunas da licenciatura em Bioquímica da Universidade de Évora (2013/14)

Resumo

A uva de mesa é uma baga altamente perecível, sendo o tempo de conservação em condições naturais muito limitado. A determinação do momento ideal para colheita e a manutenção das propriedades sensoriais durante os diferentes estágios de pós-colheita (manipulação, comercialização e distribuição) são indispensáveis para corresponder aos elevados padrões de qualidade exigidos pelos consumidores.

No sentido de alargar o período de vida útil deste tipo de fruto têm sido utilizadas atmosferas modificadas (AM). Sabendo que os compostos presentes nos óleos essenciais extraídos das plantas aromáticas e medicinais (PAM) possuem propriedades antimicrobianas com eficiente controlo de fungos *in vitro* e *in vivo*, a sua utilização quando em combinação com AM pode revelar-se eficaz, como alternativa ao uso de químicos durante transporte e armazenamento da uva de mesa.

Deste modo, surge o presente estudo que pretende avaliar as potencialidades da aplicação de atmosfera modificada em combinação com eugenol na conservação de uva de mesa 'Crimson seedless', durante o período de armazenamento de 28 dias, a temperatura de 2±1°C e humidade relativa de 95%.

Os resultados permitem concluir que a aplicação de eugenol em combinação com AM em uva de mesa 'Crimson Seedless' permite a sua conservação até aos 28 dias, com boa qualidade. Evidenciou-se que a aplicação de eugenol retardou o aparecimento de fungos em relação à modalidade controlo. As embalagens com eugenol apresentaram, ao longo do tempo de conservação, frutos com melhores resultados no que respeita aos parâmetros de qualidade perda de peso, cor e sólidos solúveis totais.

Palavras-chave: Vitis vinífera L., pós-colheita, qualidade, vida útil, eugenol

Evaluation of MA in combination with eugenol during storage of table grapes 'Crimson Seedless'

Abstract

The table grape is a highly perishable berry, with shelf life very limited under natural conditions. Determining the optimal timing for harvesting and maintaining sensory properties during the different post-harvest stages (handling, marketing, and distribution) is necessary to satisfy consumer requirements. In order to extend the shelf-life of this type of fruit, the use of modified atmospheres (MA) has been considered, furthermore knowing that the compounds present in essential oils extracted from aromatic and medicinal plants have antimicrobial properties with efficient fungal control, *in vitro* and *in vivo*, their use in combination with modified atmosphere may prove to be effective improving table grapes shelf life. The present study aims to evaluate the potential of the application of modified atmosphere in combination with eugenol in the storage of table grapes 'Crimson seedless', during the period of 28 days at the temperature of 2 ± 1 ° C and Relative humidity of 95%.

The results allow concluding that the application of eugenol in combination with atmosphere modified in table grape 'Crimson Seedless' allows its conservation until the 28 days. It was evidenced that the application of

eugenol delayed the appearance of fungi in relation to the control modality. The packages with eugenol presented fruits with better results during storage period, as verified for the parameters of quality (loss of weight, color, and total soluble solids).

Keywords: Vitis vinífera L., postharvest, quality, shelf life, eugenol

1. Introdução

Atualmente existe um aumento da procura de frutos e vegetais, frescos e processados, por parte do consumidor. Este tipo de produtos são altamente perecíveis na natureza, tornando-se rapidamente o seu consumo inaceitável, se não forem aplicadas as técnicas mais corretas durante a colheita, (Sharma & Singh, 2000).

A uva de mesa, fruto com grande importância comercial em todo o mundo, é um fruto não climatérico que apresenta após a sua colheita baixa produção de etileno e baixa intensidade respiratória. Contudo a qualidade desta baga tende a deteriorar-se rapidamente durante a manipulação e conservação pós-colheita, reduzindo a sua vida útil durante a comercialização (Crisosto et al., 2004). As principais perdas de uva de mesa que ocorrem durante o período pós-colheita rondam os 27% da produção total, sendo principalmente de origem fisiológica, mecânica e por infeção microbiana, o que se reflete na deterioração da qualidade, registando-se (1) aumento da perda de peso, (2) desidratação e escurecimento da ráquis, (3) alterações na cor, (4) diminuição da firmeza, (5) diminuição da força de aderência entre o bago e pedicelo e (6) desenvolvimento do fungo Botrytis cinerea Pers. (Crisosto & Smilanick, 1986; Crisosto *et al.,* 1994; Aquino *et al.,* 2010; Alagappan, 2011; Chervin *et al.,* 2012). Tendo em conta o referido, é evidente que uma gestão eficaz da pós-colheita deste tipo de fruto é essencial para que os produtos cheguem ao consumidor com uma qualidade aceitável e por ele reconhecida.

Aliadas à refrigeração surgem diversas técnicas para conservação de uva de mesa, das quais é possível destacar as atmosferas modificadas, que consistem na utilização de filmes plásticos em simultâneo com condições de baixa temperatura. A sua utilização causa distintas alterações nas uvas conducentes a um aumento importante da vida útil das uvas. A AM tem efeito no controlo de firmeza de uva, uma vez que reduz a atividade das enzimas responsáveis pela degradação das pectinas da parede celular (Martínez-Romero *et al.,* 2003). Este tipo de atmosferas permite diminuir as perdas de peso, reduzir a atividade metabólica, diminuir as alterações da cor no bago e ráquis, reduzir a taxa respiratória e diminuir a incidência de fungos ao longo do tempo de conservação (Martínez-Romero *et al.,* 2003; Guillén *et al*., 2007).

Uma das abordagens recentes para a conservação de uva de mesa é a utilização de óleos essenciais, associada à refrigeração e mesmo às atmosferas modificadas. Os óleos essenciais de várias espécies vegetais, bem como os compostos existentes na sua formulação têm sido estudados devido às suas propriedades antimicrobianas, mostrando-se eficientes no controlo de fungos *in vitro* e *in vivo*. O mecanismo da atividade microbiana dos óleos essenciais está relacionado, principalmente com a presença de compostos fenólicos, que são capazes de dissolver a membrana microbiana e penetrar no interior das células (Braga, 2012). Entre os compostos naturais, salientam-se as propriedades antimicrobianas de fenóis como o eugenol. O eugenol (4- Alil – 2- Metoxifenol) é o componente maioritário de óleo essencial de diferentes plantas como o cravo e manjericão com percentagem que oscilam entre 60 e os 85% segundo a espécie e variedade (Lee & Shibamoto, 2001).

Recentemente foi prestada alguma atenção científica ao papel dos óleos essenciais, bem como à sua utilização na embalagem ativa de frutos e outros produtos alimentares, como se pode constatar nos trabalhos realizados por Appendini & Hotchkiss (2002), Burt (2004), Tripathi & Dubey (2004), Valero *et al.* (2006), Serrano *et al.* (2008), Rodea-González *et al.* (2012), Gyawali & Ibrahim (2014) e Sivakumar & Bautista-Baños (2014).

Neste trabalho procurou-se avaliar as potencialidades da AM combinada com a aplicação de um dos compostos existentes nos óleos essenciais, o eugenol, na conservação de uvas de mesa onde a temperatura e a humidade relativa foram controladas durante um período de armazenamento de 28 dias. A conservação de uvas da var. Crimson Seedless durante este período de tempo seria útil, para superar um momento de saturação do mercado e os preços mais baixos, e para além disso permitiria o seu transporte para mercados mais distantes.

2. Material e Métodos

A uva de mesa 'Crimson Seedless' foi colhida a 10 de Setembro de 2014, altura correspondente à plena campanha comercial, na empresa "Herdade do Vale da Rosa", em Ferreira do Alentejo, Portugal (38° 05' 23.80" N; 8° 04' 52.7 1" W).

Após a colheita os frutos foram transportados para o Laboratório de Tecnologia e Pós-colheita (ICAAM – Universidade de Évora), num período de tempo inferior a duas horas. Uma vez no laboratório os cachos foram aleatoriamente separados e preparados para cada um dos tratamentos, e eliminaram-se os bagos anómalos ou com rupturas na epiderme.

Para o presente estudo consideraram-se duas modalidades de conservação: (1) sem qualquer aplicação de óleo essencial, designada por controlo; (2) adição de eugenol (Sigma-Aldrich Co., Mo, USA, com a referência E51791-100G) na concentração de 50 mg/L, designada por eugenol.

Na modalidade na qual se adicionou eugenol foi usada uma compressa de algodão colocada no interior da cuvete, na qual se colocou 0.50 mL de eugenol. Após a aplicação do eugenol colocou-se cada cuvete dentro de uma bolsa plástica de polipropileno (PPLUS®) que foi imediatamente selada. Nas cuvetes correspondentes à modalidade controlo não se colocou compressa, contudo foram embaladas do mesmo modo que a outra modalidade em estudo.

As modalidades em estudo eram constituídas por 3 repetições tendo-se a cada saída de câmara retirado 5 bagos por cada repetição, 2 da parte superior, 2 da parte intermédia e 1 da parte terminal de cada cacho.

As saídas de câmara ocorreram aos dias 3, 7, 14 e 28 de conservação, sendo nestas datas os frutos retirados da câmara de refrigeração (temperatura de 2 ± 1 °C e humidade relativa de 95%) e realizados os testes para avaliação de qualidade que a seguir se descrevem. No dia da colheita procedeu-se à pesagem de todos os cachos e nos dias de análise foram pesados os cachos retirados da câmara, utilizando uma balança digital PB1502 (Mettler Toledo AG, Greifensee, Suíça) de modo a obter a percentagem de perda de peso (n=3). A determinação do conteúdo em O2 e CO2 no interior da embalagem (n=3) foi realizada com medidor de gases Abiss Legend (Anéolia, Varennes Jarcy, França). A cor da epiderme foi determinada na zona equatorial do fruto (n=15) com um colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta Inc., Tóquio, Japão), considerando as seguintes condições de teste: sistema CIEL*a*b*, iluminante D65, ângulo de visão de 2° e área de 8 mm de diâmetro. A firmeza da epiderme (n=15) foi determinada com um texturómetro TA.HD.Plus (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) a uma deformação de 5 mm com uma sonda cilíndrica de 2 mm de base plana (P\2) e uma velocidade de 1mm/segundo. O conteúdo em sólidos solúveis totais (SST), expresso em °Brix, foi determinado, para cada bago (n=15), com um refratómetro digital Atago PR-101 (ATAGO CO., Ltd, Tóquio, Japão). A acidez titulável (AT), expressa em percentagem de ácido tartárico, foi avaliada, para o conjunto de bagos de cada amostra duma modalidade por data de avaliação (15 bagos), utilizando um titulador automático Crison Compact Titrador – versão S (Crison Instruments, S.A., Barcelona, Espanha). O índice de maturação foi expresso como a relação entre SST/AT. Para a determinação dos compostos fenólicos e capacidade antioxidante considerou-se a extração realizada por Rufino et al. (2007). O conteúdo em compostos fenólicos totais (n=3) foi determinado de acordo com o método colorimétrico de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton & Rossi (1965) e modificado por Singleton et al. (1999), expressando os resultados em mg de equivalente de ácido gálico (GAE) por 100 g de peso fresco (PF). A capacidade antioxidante (n=3) foi

determinada de acordo com o efeito bloqueador de radicais livres de DPPH considerando o método colorimétrico proposto por Brand-Williams et al. (1995), sendo os resultados expressos em mg de equivalentes de ácido ascórbico (AAE) por 100 g de peso fresco (PF).

Os dados obtidos foram sujeitos a uma análise de variância (ANOVA), realizada com o software STATISTICATM versão 8.0 (StatSoft, Inc., Dell, Tulsa, EUA), para um nível de significância de 0,05. As médias foram comparadas e as diferenças entre grupos identificadas com base no teste de Tukey da diferença honestamente significativa (HSD). Todos os resultados são apresentados como média ± erro padrão da média, devido ao pequeno número que constitui cada amostra.

3. Resultados e Discussão

No decorrer dos ensaios verificou-se o efeito benéfico do eugenol no controlo da proliferação de fungos, bem como o seu efeito no controlo da perda de peso ao longo da conservação. O uso da embalagem plástica PPLUS®, filme não perfurado, levou a que se formasse condensação à sua superfície o que prejudicou ao longo da conservação os bagos que se encontravam em contacto com este, uma vez que levou à ruptura da epiderme e consequente desenvolvimento de fungos, que foi menos expressivo nas embalagens que tinham eugenol.

A ANOVA para a perda de peso revelou diferenças significativas ($p<0.05$) para o tempo de conservação, modalidade e interação, sendo o fator modalidade o que melhor explica as diferenças registadas, uma vez que em média se registaram valores de perda de peso de 0.102 ± 0.01% para a modalidade controlo e de 0.042 ± 0.007% para a modalidade com eugenol. A observação da tabela 1 permite-nos verificar que com o decorrer do tempo de conservação, houve uma tendência para o aumento da desidratação dos cachos, verificando-se um comportamento mais instável na modalidade controlo, do que nos frutos embalados com a presença de eugenol. Através do teste de Tukey verificou-se que de uma forma geral a modalidade controlo no dia 7 apresentou diferenças significativas em relação aos restantes dias de conservação e modalidade. Considerando os resultados obtidos por Valero *et al*. (2006) é possível confirmar que a associação da atmosfera modificada com o eugenol teve efeitos muito positivos no controlo da perda de peso, uma vez que no estudo referido as perdas registadas variaram entre 0.3 e 0.5%, valor superior ao obtido no presente ensaio.

Tabela 1 – Valores de perda de peso (%) obtidos para as diferentes modalidades (controlo e eugenol) ao longo dos 28 dias de conservação.

Perda de Peso (%)	Mod.	Período de Conservação					
		0	3	7	14	28	Global
	Controlo	0.00±0.00 a	0.12±0.01 bc	0.17±0.04 c	0.13±0.02 bc	0.09±0.02 abc	0.10±0.02
	Eugenol	0.00±0.00 a	0.05±0.01 ab	0.05±0.02 ab	0.07±0.02 ab	0.05±0.01 ab	0.04±0.01
	Global	0.00±0.00	0.09±0.02	0.11±0.03	0.10±0.02	0.06±0.01	

No que respeita à avaliação da cor apesar das diferenças estatisticamente significativas ($p <0,05$) encontradas para as coordenadas L* e a*, é de salientar que a presente variedade de uva de mesa apresenta deficiente coloração, com grande heterogeneidade nos bagos dos cachos produzidos nas mesmas condições e até nos bagos dentro do mesmo cacho. Para a caracterização da cor dos frutos considerou-se apenas as coordenadas L* e a*, uma vez que são as que mostraram as principais alterações que decorreram (Tabela 2). Relativamente aos parâmetros de cor verificou-se que as principais diferenças encontradas estavam associadas ao fator modalidade, contudo as diferenças são muito pequenas, não sendo percetíveis visualmente. Os resultados obtidos para a coordenada L* demonstraram que a modalidade controlo apresentou valores quase sempre abaixo dos

apresentados pelas uvas nas quais se aplicou eugenol, pelo que a conservação em AM com eugenol permitiu que as uvas se mantivessem com brilho. Quanto à coordenada a*, verificou-se que o controlo tinha tendência para apresentar valores inferiores, deste modo, o uso de eugenol levou ao aumento da coordenada a*, pelo que se pode dizer que os tons avermelhados ganharam relevo nesta modalidade.

Tabela 2 - Valores médios de L e a* obtidos para as diferentes modalidades (controlo e eugenol) ao longo dos 28 dias de conservação.*

	Mod.	Período de Conservação					
		0	3	7	14	28	Global
L*	Controlo	31.30±0.49 ab	28.01±0.68 c	29.28±0.36 ac	29.37±0.48 ac	31.75±0.62 ab	29.94±0.28 a
	Eugenol	31.30±0.49 ab	30.62±1.14 abc	30.45±0.73 ac	33.75±1.26 b	30.98±0.47 abc	31.42±0.41 b
	Global	31.30±0.34 ab	29.32±0.69 b	29.86±0.41 ab	31.56±0.78 a	31.37±0.39 a	
a*	Controlo	9.22±0.79	4.47±0.64	7.14±0.71	7.13±1.00	7.19±0.59	7.03±0.37 a
	Eugenol	9.22±0.79	6.93±0.89	9.02±0.57	9.53±1.10	8.66±0.79	8.67±0.38 b
	Global	9.22±0.55 a	5.70±0.58 b	8.08±0.48 a	8.33±0.76 a	7.92±0.50 a	

No que concerne à firmeza da epiderme verificou-se que as principais diferenças encontradas estavam associadas ao fator tempo de conservação, verificando-se a diminuição dos valores de firmeza de 4.728±0.14N no dia 0 para 3.252±0.15N no dia 28 (Tabela 3). Tal como referido por Ejsmentewicz et al. (2015) a perda de firmeza está relacionada com a redução das pectinas e hemiceluloses da parede celular, uma vez que durante a conservação as uvas sofrem solubilização e despolimerização. Os resultados obtidos ao longo do tempo de conservação estão de acordo aos publicados por Martínez-Romero et al. (2003) para uva 'Flame Seedless', Valero et al. (2006) para uva 'Autumn Royal' e Pintado (2012) para uva 'Red Globe'. Contudo, verifica-se que entre modalidades o controlo permitiu obter valores de firmeza mais elevados do que o eugenol, sendo as principais diferenças registadas para os dias 3 e 7 de conservação. Apesar de no final do tempo de conservação, 28 dias, o efeito da aplicação de eugenol ser igual ao controlo, o mesmo não aconteceu no estudo de Valero et al. (2006), no qual os frutos com eugenol ao fim de 56 dias de conservação ficam mais firmes que os da modalidade controlo. É de salientar que a perda de firmeza da epiderme ao longo do tempo de conservação para cada uma das modalidades parece ter relação com a perda de peso registada, demonstrando que os bagos ao perderem água apresentam um comportamento da epiderme cada vez mais flexível. Este aspeto poderá ser mais aprofundado mediante estudo da deformação alcançada no ponto de rutura da epiderme.

Tabela 3 - Valores médios de firmeza da epiderme (N), obtidos no teste de penetração, para as diferentes modalidades (controlo e eugenol) ao longo dos 28 dias de conservação.

	Mod.	Período de Conservação					
		0	3	7	14	28	Global
Firmeza da Epiderme (N)	Controlo	4.73±0.21 ab	4.85±0.24 b	4.54±0.33 abd	3.59±0.32 cd	3.18±0.24 c	4.18±0.14 a
	Eugenol	4.73±0.21 ab	3.49±0.28 cd	3.71±0.19 acd	3.47±0.22 cd	3.32±0.18 c	3.74±0.11 b
	Global	4.73±0.14 a	4.17±0.22 ab	4.13±0.20 ab	3.53±0.19 bc	3.25±0.15 c	

Relativamente aos SST verificou-se que existem diferenças estatisticamente significativas ($p<0.05$) para o factor tempo de conservação e modalidade (Tabela 4). Os valores obtidos para as uvas em estudo encontram-se no limite estabelecido para a sua aceitação, que varia entre 18 e 22°Brix (Valero et al., 2006). Entre modalidades verificou-se que os frutos embalados em AM com aplicação de eugenol apresentam valores relativamente inferiores (18.88±0.17°Brix) aos obtidos para a modalidade controlo (19.35±0.14°Brix). Da análise realizada ao comportamento dos frutos das duas

modalidades em estudo ao longo do tempo de conservação verifica-se que a utilização do eugenol levou a um aumento menos acentuado dos valores de SST, dai os valores obtidos para esta modalidade serem inferiores. As alterações na acidez titulável são pouco expressivas, como se pode observar na tabela 4, apesar de a ANOVA ter apresentado diferenças significativas para a variável tempo de conservação, ocorrendo um aumento generalizado dos valores de acidez ao longo do tempo. Para Crisosto et al. (2003) os ácidos orgânicos desempenham um papel importante no sabor e, por tanto, na aceitação dos frutos, dentro de um determinado limite de SST. Apesar de se terem verificado valores de SST dentro dos limites estipulados, os valores de AT não se comportaram como seria de esperar, tendo apresentado flutuações importantes ao longo do tempo de conservação. O normal comportamento ao longo do período de conservação é o aumento do SST e a diminuição da acidez tal como referido em numerosos estudos efetuados em uva de mesa (Veracruz, 2005; Valero et al., 2006; Shiri et al., 2013). As diferenças registadas podem estar relacionadas com os cachos de uva utilizados, uma vez que os cachos na videira não maturam todos no mesmo período de tempo, pelo que poder-se-ão ter considerado cachos com bagos com diferentes graus de maturação, retirados em diferentes datas de análise causando as diferenças registadas.

Tabela 4 - Valores médios do conteúdo em sólidos solúveis totais (°Brix) e de acidez titulável (% Ácido Tartárico) para as diferentes modalidades (controlo e eugenol) ao longo dos 28 dias de conservação.

	Mod.	Período de Conservação					
		0	3	7	14	28	Global
SST (°Brix)	Controlo	18.31±0.26	19.13±0.32	19.73±0.29	19.83±0.27	19.74±0.23	19.35±0.14 a
	Eugenol	18.31±0.26	19.13±0.47	19.19±0.25	19.70±0.42	18.18±0.38	18.88±0.17 b
	Global	18.31±0.18 a	19.08±0.28 ab	19.46±0.19 b	19.77±0.25 b	18.96±0.26 ab	
Acidez Titulável (%Ác.Tartárico)	Controlo	0.42±0.03	0.43±0.01	0.50±0.07	0.49±0.03	0.52±0.01	0.47±0.01
	Eugenol	0.42±0.03	0.47±0.04	0.53±0.05	0.42±0.01	0.49±0.01	0.47±0.02
	Global	0.42±0.02 a	0.45±0.02 ab	0.51±0.03 b	0.46±0.02 ab	0.50±0.01 ab	

No que diz respeito aos compostos fenólicos verificou-se que as principais diferenças ocorreram ao nível da modalidade, sendo que, em média, os frutos embalados com a presença de eugenol apresentavam valores de 233.64±6.86mgGAE/100gPF enquanto o controlo apenas apresentava 215.84±4.91mgGAE/100gPF (Tabela 5). Apesar de não se registarem diferenças significativas para o que acontece a cada uma das modalidades ao longo do tempo de conservação, verificou-se que até ao dia 7 de conservação ocorreu um aumento da quantidade destes compostos, sendo mais expressivo para os frutos embalados com eugenol. É ainda de salientar que de uma forma global os valores se mantêm semelhantes entre o dia da colheita e os observados ao fim de 28 dias de conservação, pelo que do ponto de vista do consumidor não ocorre depreciação da qualidade intrínseca com o consumo de frutos conservados durante 28 dias.

Tabela 5 - Conteúdo de compostos fenólicos obtidos para as amostras sem revestimentos (CN) e com revestimentos edíveis (CAva, CAvb, CQAvb e CQ) ao longo dos 28 dias de conservação.

Compostos Fenólicos (mgGAE/100gPF)	Mod.	Período de Conservação					
		0	3	7	14	28	Global
	Controlo	218.05±6.84	210.28±7.65	224.48±21.3	206.99±4.38	221.23±12.0	215.84±4.91 a
	Eugenol	218.05±6.84	226.38±8.23	259.35±22.1	249.48±16.0	214.96±3.31	233.64±6.86 b
	Global	218.06±4.33	218.33±6.18	241.91±15.8	228.23±12.0	217.47±4.48	

4. Conclusões

A uva de mesa, tal como outros frutos, sofre numerosas alterações físico-químicas, bioquímicas e microbianas durante o período de conservação, induzindo o processo de maturação e a redução do período de vida útil.

Os resultados permitem concluir que o uso de eugenol em associação com atmosfera modificada em uva de mesa 'Crimson Seedless' permitiu a sua conservação com boa qualidade até aos 28 dias. Também foi notório que os parâmetros de qualidade utilizados expressavam bem a evolução real das uvas conservadas.

Com o decorrer do ensaio foi notório um atraso no desenvolvimento dos fungos na modalidade com eugenol pelo que se comprova o seu efeito fungiestático.

Ao longo do tempo de conservação as uvas sujeitas à aplicação de eugenol mostraram-se mais brilhantes e também com tons avermelhados que realçaram até maior período de tempo de conservação, sendo esta característica de qualidade externa de grande relevo aos olhos do consumidor quando faz a sua compra e mesmo quando está pronto para consumir.

Relativamente, à textura verificou-se que os frutos com ação do eugenol não se diferenciaram dos frutos controlo, notando-se em ambas as modalidades diminuição da firmeza da epiderme ao longo do tempo de conservação. Contudo qualquer uma das modalidades manteve as características de textura adequadas ao consumo durante o tempo de conservação de 28 dias.

Os valores de sólidos solúveis, da acidez titulável, e do índice de maturação encontram-se de acordo com os valores de bibliografia, sugerindo-se que alguns dos valores mais inesperados de acidez titulável se devam à heterogeneidade das uvas analisadas.

Quanto à avaliação nutricional verificou-se que os compostos fenólicos e a atividade antioxidante, apresentaram valores de compostos fenólicos médios, ou seja entre 100-500 mg GAE/ 100g de fruto; a atividade antioxidante apresentou maioritariamente um aumento ao longo do tempo de conservação. Conclui-se que o valor nutricional avaliado não se degrada com o decorrer do tempo de conservação nestas condições até aos 28 dias.

Para futuros estudos com uva de mesa 'Crimson Seedless' dever-se-á ter em atenção a utilização de um maior número de bagos por amostra, uma vez que as uvas desta variedade são muito heterogéneas. É ainda de referir a necessidade de realizar ensaios de vida útil, com temperatura de 20°C durante um período de 4 dias, de forma a avaliar o seu comportamento depois retiradas da câmara de conservação.

Agradecimentos

O trabalho apresentado foi realizado no âmbito do projeto financiado pelo PRODER (MORECRIMSON – "Técnicas de produção e conservação de uvas sem grainha da variedade 'Crimson'" – medida 4.1/2013, nº46190). Um especial agradecimento à empresa Vale da Rosa, participante do projeto referido, pela disponibilização do material vegetal.

Os autores agradecem ao ICAAM (Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas) pelo apoio logístico e disponibilidade de infraestruturas.

Este trabalho é financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do Projeto UID/AGR/00115/2013.

Bibliografia

Alagappan, D.R., 2011. Influence of infections of mild isolates of different grapevine viruses on berry colour , texture , flavour and storage life of "Crimson Seedless" Table Grapes. Master Thesis - Curtin University, School of science.

Appendini, P., Hotchkiss, J.H., 2002. Review of antimicrobial food packaging. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 3, 113–126. doi:10.1016/S1466-8564(02)00012-7.

Aquino, J.S., Mascarenhas, R.J., Oliveira, E.S., Oliveira, F.J., Silva, P.E.B.A., 2010. Physico-chemical and sensorial evaluation of "Benitaka" grapes commercialized in the state of Piauí-Brazil. Nutr. Rev. Soc. Bras. Alim. Nutr. *J. Brazilian Soc. Food Nutr.* 35, 29–41.

Braga, D. O. 2012. Qualidade pós-colheita de morangos orgânicos tratados com óleos essenciais na pré-colheita. Dissertação de Pós-Graduação. Universidade Federal de Lavras, Brasil.

Brand-Williams, Cuvelier, M.E., Berset, C., 1995. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Leb. Wiss. und Technol. – Food Sci. Technol.* 28, 25–30. doi:10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Burt, S., 2004. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review. *Int. J. Food Microbiol.* 94, 223–253. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022

Chervin, C., Aked, J., Crisosto, C.H., 2012. Grapes, in: Rees, D., Farrell, G., Orchard, J. (Eds.), *Crop Post-Harvest: Science and Technology - Perishables.* Blackwell Publishing Ltd., pp. 187–211.

Crisosto, C.H., Garner, D., Crisosto, G., 2003. Developing optimum controlled atmosphere conditions for "Redglobe" table grapes, in: *Proc. 8th Int. CA Conference*. ISHS, pp. 803–808.

Crisosto, C.H., Mitcham, E.J., Kader, A.A., 2004. Uva de Mesa: Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. *Postharvest Technol. Res. Inf. Center*, Univ. California, Davis 1–2.

Crisosto, C.H., Smilanick, J.L., 1986. Grape (Table), in: *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, Florist and Nursery*. United States Department of Agriculture - Agriculture Handbook Number 66 (revised).

Crisosto, C.H., Smilanick, J.L., Dokoozlian, N., Luvisi, D.A., 1994. Maintaining Table Grape Post-Harvest Quality for Long Distant Markets. *Int. Symp. Table Grape Prod.* 195–199.

Ejsmentewicz, T., Balic, I., Sanhueza, D., Barria, R., Meneses, C., Orellana, A., Prieto, H., Defilippi, B.G., Campos-Vargas, R., 2015. Comparative study of two table grape varieties with contrasting texture during cold storage. *Molecules* 20, 3667–80. doi:10.3390/molecules20033667

Guillén, F., Zapata, P.J., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., Valero, D., 2007. Improvement of the Overall Quality of Table Grapes Stored under Modified Atmosphere Packaging in Combination with Natural Antimicrobial Compounds. *J. Food Sci. Sens. Nutr. Qual. Food* 72, S185–S190. doi:10.1111/j.1750-3841.2007.00305.x

Gyawali, R., Ibrahim, S. a., 2014. Natural products as antimicrobial agents. *Food Control* 46, 412–429. doi:10.1016/j.foodcont.2014.05.047

Lee, K.G., Shibamoto, T., 2001. Antioxidant property of aroma extract isolated from clove buds [Syzygium aromaticum (L.) Merr. et Perry]. *Food Chem.* 74, 443–448. doi:10.1016/S0308-8146(01)00161-3

Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D., Serrano, M., 2003. Modified Atmosphere Packaging Maintains Quality of Table Grapes. *J. Food Sci. Sens. Nutr. Qual. Food* 68, 1838–1843.

Pintado, C.M., 2012. Utilización de atmósferas modificadas en el almacenamiento frigorífico de uva de mesa. Tesis Doctoral: Dpto. Biología Vegetal, Ecología y Ciencias de la tierra - Universidad de Extremadura.

Rodea-González, D.A., Cruz-Olivares, J., Román-Guerrero, A., Rodríguez-Huezo, M.E., Vernon-Carter, E.J., Pérez-Alonso, C., 2012. Spray-dried encapsulation of chia essential oil (Salvia hispanica L.) in whey protein concentrate-polysaccharide matrices. *J. Food Eng.* 111, 102–109. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.01.020

Rufino, M.S.M., Alves, R.E., Brito, E.S., Morais, S.M., Sampaio, C. de G., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F.D., 2007. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. *Comun. Técnico online - EMBRAPA* 1–4.

Serrano, M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valverde, J.M., Zapata, P.J., Castillo, S., Valero, D., 2008. The addition of essential oils to MAP as a tool to maintain the overall quality of fruits. *Trends Food Sci. Technol.* 19, 464–471. doi:10.1016/j.tifs.2008.01.013

Sharma, R.M., Singh, R.R., 2000. Harvesting, Postharvest Handling and Physiology of fruits and vegetables, in: Verma, L.R., Joshi, V.K. (Eds.), *Postharvest Technology of Fruits and Vegetables - Handling, Processing, Fermentation and Waste Management*. Indus Publishing Company, New Delhi, India, pp. 94–97.

Shiri, M.A., Bakhshi, D., Ghasemnezhad, M., Dadi, M., Papachatzis, A., Kalorizou, H., 2013. Chitosan coating improves the shelf life and postharvest quality of table grape (Vitis vinifera) cultivar Shahroudi. *Turkish J. Agric.* For. 37, 148–156. doi:10.3906/tar-1101-1671

Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R., 1999. Analysis of Total Phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods Enzymol.* 299, 152–178.

Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16, 144–158.

Sivakumar, D., Bautista-Baños, S., 2014. A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. *Crop Prot.* 64, 27–37. doi:10.1016/j.cropro.2014.05.012

Tripathi, P., Dubey, N.K., 2004. Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 32, 235–245. doi:10.1016/j.postharvbio.2003.11.005

Valero, D., Valverde, J.M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Serrano, M., 2006. The combination of modified atmosphere packaging with eugenol or thymol to maintain quality, safety and functional properties of table grapes. *Postharvest Biol. Technol.* 41, 317–327. doi:10.1016/j.postharvbio.2006.04.011

Veracruz, J.M.V., 2005. Nuevas Tecnologías no contaminantes para preservar la calidad de la uva de mesa durante su conservación post-recolección. Tesis Doctoral en tecnología agroalimentaria, Universidad Miguel Hernández.

Área Temática:

Projetos, Meio Ambiente e Território

Proyectos, Medio Ambiente y Territorio

Características del arbolado urbano: opinión y valoración de los ciudadanos

Claudia García-Ventura[1], Esperanza Ayuga-Téllez[2], Álvaro Sánchez de Medina-Garrido[2], Mª Ángeles Grande-Ortíz[1]

[1] Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental, ETSI de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. claudia.gventura@upm.es; m.angeles.grande@upm.es

[2] Buildings, Infrastructures and Projects for Rural and Environmental Engineering (BIPREE), Universidad Politécnica de Madrid. esperanza.ayuga@upm.es; alvaro.sanchezdemedina@upm.es

Resumen

El arbolado urbano es un bien de dominio público que constituye una parte importante del patrimonio de la ciudad, tanto económico como social y medioambiental. El objetivo de este trabajo es analizar la opinión de los ciudadanos sobre cuáles son las características que más se valoran en los arboles de la ciudad, considerando variables incluidas en métodos habituales de tasación. Para ello se ha empleado un cuestionario diseñado y difundido en internet.

La encuesta se realizó con la herramienta Google Formularios e incluía dos partes: la primera sobre variables sociodemográficas y la segunda con preguntas sobre la importancia de variables relacionadas con el arbolado urbano, puntuando de 1 (ninguna importancia) a 10 (máxima importancia), incluyendo variables de forma del árbol (6) y variables económicas (5).

El cuestionario fue difundido por redes sociales (Facebook, Twitter, LinkedIn) obteniendo 128 respuestas.

Se analizó la fiabilidad de la encuesta mediante el Alfa de Cronbach, que con un valor de 0,86 permite considerar fiable el cuestionario. Además, en el trabajo se realiza un análisis estadístico descriptivo de los resultados obtenidos.

Palabras clave: árboles, participación pública, encuesta, internet, valor patrimonial

Characteristics of urban forestry: opinion and assessment of citizens

Abstract

Urban tree is a public property that forms an important part of the economic, social and environmental heritage of a city. The aim of this work is to analyze the opinion of the citizens about which are the characteristics that are most valued in the city's trees, considering variables included in usual methods of appraisal. For this purpose, a questionnaire designed and disseminated on the internet has been used.

The survey was carried out using the Google Forms tool and it includes two parts: the first one on sociodemographic variables and the second with questions about the importance of urban tree-related variables, ranging from 1 (no importance) to 10 (maximum importance), including tree-shape variables (6) and economic variables (5).

The questionnaire was disseminated by social networks (Facebook, Twitter, LinkedIn) obtaining 128 responses.

The reliability of the survey was analysed using Cronbach's alpha, which with a value of 0.86 allows the questionnaire to be considered reliable. Besides, a descriptive statistical analysis of the results obtained was performed.

Keywords: trees, public participation, survey, internet, heritage value.

1. Introducción

Hoy día puede entenderse que la valoración es una ciencia multidisciplinar que tiene aplicaciones prácticas en muy diferentes campos (Caballer y Herrerías, 2007). La valoración del arbolado urbano

es una de las actividades que, dentro de la gestión de los espacios verdes urbanos, se realiza en diversas ciudades del mundo mediante fórmulas matemáticas que definen los llamados métodos de valoración del arbolado urbano. Las formulaciones emplean variables que difieren de un método a otro. Esto hace que, para un mismo ejemplar, los resultados de la valoración sean muy distintos según apliquemos una u otra fórmula.

La aplicabilidad de los métodos depende principalmente de factores como la localización, el régimen de propiedad y la dificultad de su aplicación (Grande-Ortiz et al., 2012). La disponibilidad de la información es clave para el uso de la misma. Esta información presenta dos tipos de variables fundamentales relacionadas directamente con el árbol, como son las variables intrínsecas del árbol (o dasométricas) y las variables económicas.

Las variables intrínsecas del árbol, o variables dasométricas, son aquellas que nos definen la forma y estructura del mismo. Las más frecuentemente utilizadas son el área basimétrica, la circunferencia normal, la altura, el diámetro normal del tronco(medido a 1,3 m de altura del suelo), la superficie normal del tronco, el volumen, la superficie de copa y la edad (Grande-Ortiz et al, 2012). La recopilación de estas variables es generalmente costosa, por lo que es deseable detectar las variables adecuadas a utilizar (Jutras et al., 2009) para conocer las relaciones entre ellas (Monteiro et al., 2016) y evitar así problemas de colinealidad (Sánchez-Medina et al., 2017).

En relación a las variables económicas, el precio de la planta en vivero, el coste de plantación, el de mantenimiento, y los costes extraordinarios son utilizados por métodos de amplia aplicación como Contato, Norma Granada y Capitalización; el precio del suelo se utiliza en el método CTLA y en el FEM (García-Ventura 2013). Esta última variable, el precio del suelo, es considerada además entre otras variables socioeconómicas en la aplicación de metodologías que buscan las relaciones entre dichos indicadores socioeconómicos y las variables intrínsecas del arbolado urbano (Greca et al., 2017). Estas variables económicas no tienen un coste tan alto a la hora de su recopilación ya que se trata de valores de mercado usualmente conocidos.

De este modo, la existencia de numerosos métodos de valoración implica una cuestión sobre cuál es el método que más se adecua a cada caso particular. Existen estudios que comparan diferentes métodos de valoración para estudiar la variabilidad de resultados entre unos métodos y otros. García-Ventura el al. (2014) comparan, entre otros, 3 métodos: CTLA (CTLA 2000), Capitalización (Caballer 1999) y Norma Granada (AEPJP 2007). El área de estudio es el arboreto de la ETSI de Montes de Madrid, en el que se buscaron las diferencias y similitudes entre los métodos y, de esta manera, poder obtener un método más adecuado para dicha localización. Asimismo, Ponce-Donoso et al. (2012) comparan 6 métodos para ver las diferencias entre los métodos chilenos y otros tantos internacionales, extendiendo el estudio a 12 métodos (Ponce-Donoso et al., 2015) con 30 ejemplares arbóreos. En ambos casos, se concluye que el valor base de las fórmulas de valoración, valor que suele incluir por regla general variables dasométricas y/o de coste económico del árbol en vivero (Grande-Ortiz et al., 2012) y la composición de la fórmula tienen un alto impacto en el resultado final de la valoración.

Además de las aproximaciones empíricas anteriormente citadas, existe otra cuestión fundamental, referida a la valoración subjetiva de los ciudadanos sobre el arbolado urbano de su entorno ¿son estos métodos, elaborados por expertos, aproximaciones fiables a lo que los ciudadanos valoran en el arbolado de su ciudad? Esta cuestión es difícil de responder, ya que el establecimiento y la gestión de los espacios verdes en las ciudades requieren una compleja red de grupos de interés con diferentes expectativas (Ugolini et al., 2015). La única forma de aproximar este conocimiento es la realización de encuestas en las que los ciudadanos respondan de una manera directa sobre los parámetros que los expertos consideran fundamentales a la hora de reflejar un valor económico del arbolado.

Los espacios verdes urbanos, sus beneficios y/o sus posibles perjuicios han sido objeto de encuestas desde hace algunos años. En muchos de los casos relacionando su presencia con los beneficios en la

salud (Schipperij et al., 2010a; 2010b, Lee 2015; Beyer 2014), en otros casos relacionados con variables dasométricas como el porcentaje de cubierta arbórea, que es incluso correlacionada con la disminución de la obesidad, la mejora de la presión arterial o el asma (Ulmer et al., 2016). Asimismo, encuestas sobre valores estéticos (Hauru et al., 2014) o sociales (Thompson et al., 2013) son frecuentes en los espacios verdes urbanos. También ha sido muy utilizado a través de encuestas el método de contingencia, es decir, preguntar al ciudadano sobre cuánto estaría dispuesto a pagar por tener próximo a su vivienda un entorno verde. Las respuestas a estas cuestiones no siempre están de acuerdo con los valores monetarios correspondientes (Lo y Jim 2015; Zhang y Zheng, 2011).

En todos estos casos, la manera usual de preguntar al ciudadano es mediante encuestas o cuestionarios realizados "in situ" por expertos (Zare et al., 2015), y de este modo conocer las preferencias sobre aspectos tan diversos como la configuración de la plantación de plantas en la calle (Wai-Yin et al., 2015), la gestión general de los espacios verdes (Stobbart y Johnston, 2012), la implicación de las instituciones (Gurung et al., 2012) o la percepción sobre las enfermedades de los árboles urbanos (Nali y Lorenzini, 2009).

Los modelos de encuestas "on line" están empezando a utilizarse en los últimos años como sustitutos o complementariamente a las encuestas tradicionales, aunque son escasos los estudios publicados hasta la fecha basados en herramientas existentes en la web. Se han empleado herramientas como Yahoo o Excite para encuestas a ciudadanos sobre sus hábitos de salud en el hogar (Impicciatore 1997) o Google Formularios para realizar evaluaciones en cursos de enseñanza secundaria, tanto a nivel de satisfacción de los alumnos sobre una asignatura concreta (de la Fuente Valentín 2009) como para fomentar y evaluar el autoaprendizaje (Kato et al., 2016).

El principal objetivo de este trabajo es obtener una primera aproximación a la importancia que para los usuarios de zonas verdes urbanas tienen las características de forma del arbolado así como las económicas. Se pretenden evaluar los resultados en función del número de respuestas obtenidas así como las posibles diferencias en función del sexo y nivel de estudios. De esta manera, se puede establecer una ponderación de cada una de ellas en la valoración del árbol urbano.

2. Materiales y Métodos

2.1. Elaboración de la encuesta

La encuesta constaba de tres partes. Una primera en la que se realizaba una breve presentación del cuestionario y los objetivos por los que se realiza y difunde. Una segunda en la que se recopilan datos de tipo sociológico: sexo, rango de edad (menor de 18, 18-30, 31-45, 46-60 o más de 60 años), nivel de estudios (ESO o Bachillerato: Nivel I, Estudios Superiores/Grado: Nivel II, Máster/Doctorado: Nivel III) y Lugar de residencia (ciudad).

En la tercera parte de la encuesta se muestran cuestiones sobre la valoración en importancia (1 ninguna importancia, 10 máxima importancia, 0 No sabe/No contesta) sobre variables relacionadas con el arbolado urbano y contenidas en varias metodologías habituales de valoración.

Se seleccionaron las variables para que se incluyeran las principales características del arbolado urbano de nuestro entorno (ciudades españolas principalmente). García-Ventura (2013) realizó una comparativa sobre distintas metodologías de valoración aplicadas al arboreto de la ETSI de Montes: CTLA, FEM, Capitalización (Capit.), Norma Granada (NG) y Contato, obteniendo que los métodos más adecuados estadísticamente para el área de estudio considerada (Madrid) son los dos últimos. Por otro lado, Sánchez-Medina et al. (2015) en la encuesta realizada mediante fotografías de árboles del arboreto incluye a los anteriores el método de Burnely, COPIMA y STEM. Los resultados muestran que el método Burnley es el más seleccionado por los encuestados.

En total se han considerado 8 métodos de los que extraer las variables de la encuesta. Descripciones más detalladas de las metodologías de valoración indicadas se pueden encontrar en Grande-Ortiz et al (2012) y Ponce-Donoso et al (2013).

De los métodos analizados se extrajeron las variables a evaluar: variables de forma del árbol, relacionadas con sus dimensiones (diámetro normal d_n, altura h, diámetro de la copa d_c, volumen de la copa V_c, edad t, tamaño de las raíces) y variables económicas (precio planta en vivero p_v, coste de plantación c_p, coste de mantenimiento c_m, coste de eliminación c_e y precio del suelo p_s).

En la tabla 1 se indican las variables seleccionadas y en qué métodos de valoración se incluyen.

Tabla 1. Variables empleadas en los métodos de valoración considerados en este trabajo.

	BURNLEY	CAPIT.	CONTATO	COPIMA	CTLA	FEM	NG	STEM
d_n				X	X	X	X	
h	X					X		
d_c	X		X			X		
V_c								
t		X	X		X	X		X
Raíces				X	X		X	
p_v	X	X	X		X		X	X
c_p		X	X		X		X	X
c_m		X	X				X	X
c_e		X	X				X	
p_s					X	X		

Para la materialización de la encuesta se empleó la herramienta Google Formularios, que cuenta con las opciones de edición necesarias. Cada pregunta consta de un título, texto explicativo y respuesta en forma de escala (de 0 a 10; 0 No sabe/No contesta). La respuesta a cada pregunta era obligatoria. En la figura 1 se muestra la sección del cuestionario relativa a las variables económicas.

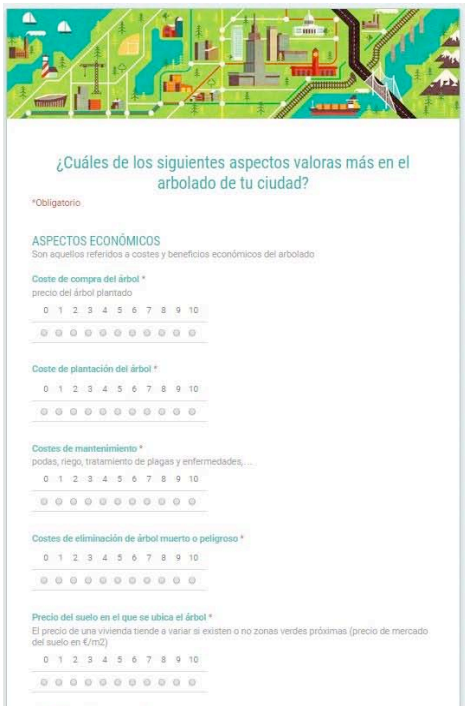


Figura 1. Tercera parte del cuestionario (Google Formularios) sobre variables económicas del árbol.

2.2. Difusión de la encuesta. Herramientas.

La encuesta fue difundida a través de medios electrónicos. La aplicación proporciona un enlace que puede ser enviado en los formatos habituales de correo electrónico. Pero también es posible enlazarlo en otro tipo de redes sociales. En este caso se emplearon Facebook, Twitter y LinkedIn a través de los perfiles de uno de los autores (como se muestra en las figuras 2 y 3).

Figura 2. Perfil de Twitter de uno de los autores del trabajo en el que se divulga la encuesta.

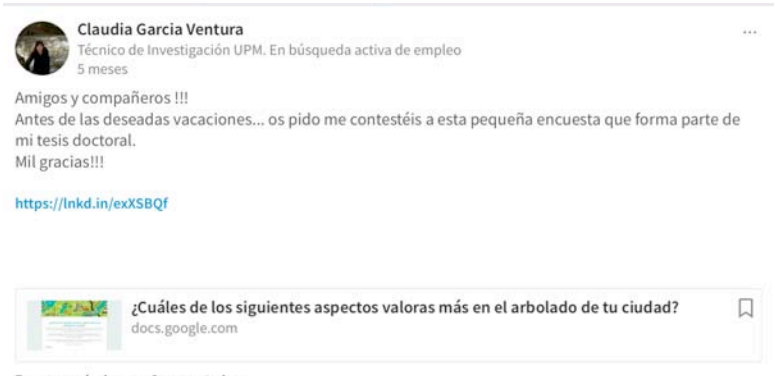


Figura 3. Entrada para divulgar la encuesta en el perfil de LinkedIn de uno de los autores.

La herramienta empleada permite extraer los resultados obtenidos en formato .xls, facilitando el procesamiento de los datos.

2.3. Métodos estadísticos

Los datos se extrajeron de la base de datos de Google al programa Excel para su posterior procesamiento estadístico con el programa Statgraphics Centurion y SPSS Statistics 22, realizando los siguientes análisis:

- Estadística descriptiva.

- Alfa de Cronbach (Nuñez et al., 2016)

- ANOVA para diferencias entre las valoraciones de las variables por sexo y nivel de estudios. En esta sección se describen los métodos experimentales utilizados en el estudio. Debe hacerse referencia al material empleado, a las técnicas usadas, y una descripción detallada de los experimentos de manera que se permita la reproducción del trabajo. Se debe incluir también en esta sección una descripción de los métodos estadísticos utilizados.

3. Resultados y Discusión

En total se obtuvieron 128 respuestas, superior al número calculado en el trabajo previo de García-Ventura et al. (2017).

El sexo y nivel de estudios de las personas que respondieron a la encuesta se resume en la tabla 2.

Tabla 2. Variables empleadas en los métodos de valoración considerados en este trabajo.

		Hombre	Mujer	TOTAL
NIVEL DE ESTUDIOS	**Nivel I**	16	8	24
	Nivel II	36	33	69
	Nivel III	18	17	35
	TOTAL	70	58	128

Las respuestas No sabe/No contesta se dieron en los siguientes casos: raíces (1,6%; 2), precio de vivero y coste de plantación (5,5%; 7), coste de mantenimiento (2,3%; 3), costes extracción (3,9%; 5), precio suelo (7%, 9).

Se ha obtenido, además, el análisis descriptivo de las variables, cuyos principales resultados se reflejan en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis descriptivo de las variables.

		Media	Mediana	Moda	DT	CV	Mín	Máx
VARIABLES DE FORMA	d_c	7,5	8	9	2,1	28%	1	10
	V_c	7,5	8	8	2,0	26%	2	10
	Raíces	7,2	8	10	2,4	33%	1	10
	t	7,0	7	10	2,5	36%	1	10
	h	6,9	7	7	1,8	26%	2	10
	d_n	6,5	7	8	2,3	35%	2	10
VARIABLES ECONÓMICAS	c_m	7,2	8	10	2,4	33%	1	10
	c_e	6,4	7	5	2,8	44%	1	10
	p_s	5,9	6	6	2,8	47%	1	10
	c_p	5,8	6	7	2,5	43%	1	10
	p_v	5,8	6	3	2,5	44%	1	10

Las variables de forma tienen, en general, valores mayores que las económicas, siendo el diámetro y el volumen de la copa las que obtiene mayor puntuación (7,5). El tamaño de la copa se emplea como valor multiplicador en los métodos mixtos Contato y Burnley. Del resto de las variables de forma, la menos valorada es el diámetro normal del tronco (6,5), lo cual resulta significativo puesto que en cuatro de las siete metodologías de valoración utilizadas se emplea el diámetro normal como valor multiplicador principal.

Las variables menos valoradas son el precio de vivero y coste de plantación (5,8). Respecto al resto de las variables económicas, destaca con mayor valoración el coste de mantenimiento (7,2), que solo se emplea en la mitad de los métodos analizados.

Las medias de todas las variables se encuentran situadas por encima de 5,5. Los coeficientes de variación son, en general, altos. Están incluidos entre el 25% y el 50% de variabilidad, es decir, existe una alta disparidad de criterios entre los encuestados.

En la tabla 4 se muestran las diferencias por grupos de población en las valoraciones medias.

Tabla 4. Valoraciones medias según sexo y nivel de estudios.

		HOMBRES				MUJERES			
		Nivel I	Nivel II	Nivel III	MEDIA	Nivel I	Nivel II	Nivel III	MEDIA
VARIABLES DE FORMA	d_c	8	7	8	8	8	7	7	7
	V_c	7	8	8	8	7	7	7	7
	Raíces	8	7	6	7	8	8	7	8
	t	8	6	7	7	8	7	7	7
	h	7	7	7	7	7	7	6	7
	d_n	7	6	6	7	7	6	6	7
	MEDIA	7	7	7		7	7	6	
VARIABLES ECONÓMICAS	p_v	6	5	5	5	6	7	6	6
	c_p	6	5	5	5	6	7	6	6
	c_m	7	7	7	7	6	7	8	7
	c_e	6	6	5	6	8	7	7	7
	p_s	6	5	5	5	6	7	6	6
	MEDIA	6	6	6		6	7	6	

Al analizar estadísticamente estos datos, se rechaza la hipótesis de que las valoraciones medias son iguales entre las personas con diferente nivel de estudios para el caso del tamaño de las raíces (p-Valor= 0,039). Así mismo, se acepta que existen diferencias de valoración entre sexos para los costes de compra de árbol (p-Valor= 0,0292), coste de eliminación (p-Valor= 0,0065) y precio del suelo en el que se ubica (p-Valor= 0,0338) con un nivel de significación del 5%. En el resto de casos no se pudo rechazar la igualdad de valoraciones.

En la tabla 4 se observa que con mayor nivel de estudios se valora menos el tamaño de las raíces. En el caso de los costes señalados anteriormente se observa que la valoración media que otorgan las mujeres es mayor que la de los hombres.

El valor del Alfa de Cronbach permite evaluar la fiabilidad de los cuestionarios. Según Maese et al (2015), para asegurar la consistencia interna del mismo se considera que el valor mínimo satisfactorio sea de 0,7. Sin embargo otros autores consideran un valor algo inferior para validar las preguntas del cuestionario, como Lorenzo et al. (2016) que toman como aceptable 0,64 en escalas de restauración paisajística percibida y de 0,72 para la calidad ambiental percibida en su cuestionario de preferencia de los ciudadanos sobre la vegetación en espacios verdes de la ciudad de Madrid. En este trabajo se obtiene un valor del Alfa de Cronbach de 0,855 para el cuestionario empleado, lo cual indica una buena fiabilidad.

4. Conclusiones

La valoración que los encuestados asignan a las características del arbolado evaluadas puede considerarse media, superior a 5,5 sobre 10. Sin embargo ese valor aumenta en las variables de forma consideradas, por ende, más importantes. Así, las variables más valoradas fueron las relativas al tamaño de la copa (7,5), lo cual sorprende dado que 4 de los 7 métodos de valoración analizados no las consideran en el cálculo del valor final del árbol; seguida del tamaño de las raíces y costes de mantenimiento (7,2).

Respecto a las variables menos valoradas, destaca la escasa importancia que conceden los encuestados a las variables precio del suelo en el que se ubica el árbol y coste de plantación (5,8). También se sitúan, entre las menos valoradas, diámetro del tronco, incluida en cuatro de las ocho metodologías analizadas en este trabajo.

En cuanto al análisis de las poblaciones, en este caso, se detectaron diferencias entre valores medios por nivel de estudios en el caso del tamaño de las raíces y por sexos en el caso de costes de compra del árbol, costes de eliminación, y precio del suelo en el que se ubica. En posteriores trabajos se debería por tanto, establecer estratos de la población para así mejorar la representatividad de las respuestas.

La fiabilidad del cuestionario es alta por lo que se puede considerar una herramienta válida para el análisis de la opinión pública sobre el arbolado urbano y para recabar más información a este respecto.

Bibliografía

AEPJP 2007. *Método para la valoración de árboles y arbustos ornamentales: Norma Granada: revisión* 1999. Madrid : Asociación Española de Parques y Jardines Públicos..

BEYER K.M.M., KALTENBACH, A., SZABO, A., BOGAR, S., NIETO, F.J., MALECKI, K.M. 2014. Exposure to neighborhood Green space and metal health: evidence from the survey of the heath of Wisconsin. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11(3): 3453-3472.

Caballer V. 1999. *Valoración de árboles frutales, forestales medioambientales y ornamentales*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Caballer V., H. Herrerías. 2007. Tasación y Valoración. Situación actual y perspectivas de futuro. *Estudios de economía aplicada* 25(1): 23-48.

Contato-Carol, M. L., E. Ayuga-Téllez, M.A. Grande-Ortiz. 2008. A comparative analysis of methods for the valuation of urban trees in Santiago del Estero, Argentina. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(3), 341-352.

CTLA. 2000. *Guide for plant appraisal, 9ª Ed.* Savoy, IL. Council of Tree and Landscape Appraisers, ISA. 143pp.

De la Fuente Valentín, L., A. Pardo, C. Delgado-Kloos. 2009. Using third party services to adapt learning material: a case study with Google Forms. In: *Proceeding of the 4th EC-TE*L 2009, Nice (France). U. Cress, V. Dimitrova, and M. Specht (Eds.): 744–750.

García-Ventura, C., Ayuga-Téllez, E., Grande-Ortiz, M.A., Sánchez-Medina, A. 2014. Comparison of three valuation methods for three tree species at the Arboretum of the Forestry Engineers School (Madrid). In: *Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineering AnEng2014* Zurich. (Acceso 25/04/2017) http://www.geyseco.es/geystiona/adjs/comunicaciones/304/C06150001.pdf

García-Ventura, C. 2013. Comparación de métodos de valoración de arbolado urbano y su aplicación al Arboreto de la ETSI de Montes (Madrid). Proyecto Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

Grande-Ortiz, M.A., E. Ayuga-Téllez., M.L. Contato-Carol. 2012. Methods of tree appraisal: a review of their features and application possibilities. *Arboriculture & Urban Forestry* 38(4): 130-140.

Greca M.S., J.F. Gonçalves, P.J.M. Alves, D.J. Nowak, R. Hoech, A. Ellis, P. Farinha-Marques, M. Cunha. 2017. Assessing mistmaches in ecosystem services proficiency across the urban fabric of Porto (Portugal): The influence of structural and socioeconomic variables. *Ecosystem services* 23: 82-93.

Gurung, A., R, Karki, R, Bista,., S.E. Oh. 2012. Peoples' perception towards urban forestry and institutional involvement in metropolitan cities: a survey of Lalitpur city in Nepal. *Small-Scale Forestry* 11(2): 193-205.

Hauru, K.,S. Koskinen, D.J. Kotze, S. Lehvävirta. 2014. The effects of decaying log son the aesthetic experience and acceptability of urban forests – Implications for forest management. *Landscape and Urban Planning* 123: 114-123.

Impicciatore, P., C. Pandolini, N. Casella, M. Bonati. 1997. Reliability of health information for the public on the world wide web: systematic survey of advice on managing fever in children at home. *BMJ* 314: 1875-1881.

Jim, C.Y. 2006. Formulaic expert method to integrate evaluation and valuation of heritage trees in compact city. *Environmental Monitoring and Assessment* 116, 53-80.

Jutras, P., S.O. Phraser, P. Dutilleul. 2009. Identification of significant Street tree inventory parameters using multivariate statistical analyses. *Arboriculture & Urban Forestry* 35(2): 53-62.

Kato, T., Y. Kambayashi.,Y. Kodama. 2016. A report on the practice toward the self-regulatory learning using Google Forms. *In: Proceedings 5th IIAI International congress on advanced applied informatics* IIAI-AAI 2016: 332-335.

Lee, J., D. Lee. 2015. Nature experience, recreation activity and health benefits of visitors in mountain and urban forests in Vienna, Zurich and Freiburg. *Journal of Mountain Science*. 12 (6): 1551-1561.

Lo, A.Y., C.Y. Jim. 2015. Protest response and willingness to pay for culturally significant urban trees: Implications for Contingent Valuation Method. *Ecological Economics* 114: 58-66.

Lorenzo, E., J. A. Corraliza, S. Collado, V. Sevillano. 2016. Preference, restorativeness and perceived environmental quality of small urban spaces. *Psyecology*, 7(2), 152-177.

Monteiro, M.V., K.J. Doick, P. Hardely. 2016. Allometric relationship for urban trees in Great Britain. *Urban Forestry & Urban Greening* 19: 223-236.

Nali, C., G. Lorenzini. 2009. Residents' perception of tree diseases in the urban environment. *Arboriculture & Urban Forestry* 35(2): 87-93.

Nuñez, J.D., D. M. Iniesta, A. A. Rosales, D. J. V., Y. A. B López. 2016. Coeficiente alfa de Cronbach para medir la fiabilidad de un cuestionario difuso. *Cultura Científica y Tecnológica* (59). 146-156.

Ponce-Donoso, M. and O. Vallejos-Barra. 2015. Valoración de árboles urbanos, comparación de fórmulas. Rev. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo* 48(2):195-208.

Ponce-Donoso, M. and O. Vallejos-Barra, G. Danilik-Mosquera. 2012. Comparación de fórmulas chilenas e internacionales para valorar el arbolado urbano. *Bosque* 33(1):69-81.

Schipperijn, J., O. Ekholm, U.K. Stigsdotter, M. Toftager, P. Bentsen, F. Kamper-Jorgensen and T.B. Randrup. 2010. Factors influencing the use of green space: Results from a Danish national representative survey. *Landscape and Urban Planning* 95: 130-137.

Schipperijn, J., U.K. Stigsdotter, T.B. Randrup and J. Troelsen. 2010. Influences on the use of urban green space-A case study in Odense, Denmark. *Urban Forestry & Urban Greening* 9: 25-32.

Stobbart, M. and M. Johnston. 2012. A survey of urban tree management in New Zealand. *Arboriculture & Urban Forestry* 38(&): 247-257.

Thompson, C.W., J. ROE and P. Aspinall. 2013. Woodland improvements in deprived urban communities: What impact do they have on people's activities and quality of life? *Landscape and Urban Planning* 118: 79-89.

Ugolini, F., L. Masseti, G. Sanesi, G.and D. Pearlmutter. 2015. Knowledge transfer between skateholders in the field of urban forestry and green infrastructure: Results of a European survey. *Land Use Policy* 49: 365-381.

Ulmer, J.M., K.L. Wolf, D.R. Backman, R.L.Treheway, C.J.A. BLAIN, J.P.M. O´Neil-Dunne and L.D. Frank. 2016. Multiple health benefits of urban tree canopy: the mounting evidence for a green prescription. Health Place 42: 54-62.

Wai-YING, N.G., C. Chi-Kwan, G. Powell and T.M. Leung. 2015. Preferences for street configuration and street tree planting in urban Homg Kong. *Urban Forestry & Urban Greening* 14(1): 30-38.

Zare, S., M. Namiriranian, Feghhi, J. and H.S. Fami. 2015. Factors encouraging and restricting participation in urban forestry (Case study of Teheran, Iran). *Arboricultural Journal* 37(4): 224-237.

Zhang, Y. and B. Zheng B. 2011. Assessments of citizen willingness to support urban forestry: an empirical study in Alabama. *Arboriculture & Urban Forestry* 37(3): 118-125.

Modelo Territorial para Evaluar la Compatibilidad de la Modernización de Explotaciones Vitícolas en Zonas de Especial Protección para las Aves

Francisco Montero-García[1], Antonio Brasa-Ramos[1], Gerrit-Jan Carsjens [2] , Francisco Montero-Riquelme[1]

[1] Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Universidad de Castilla-La Mancha, Campus Universitario, 02006 Albacete, España, antonio.brasa@uclm.es

[2] Land Use Planning Group, Wageningen University, P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen, Holanda, gerrit-jan.carsjens@wur.nl

Resumen

Muchas explotaciones vitícolas de Castilla-La Mancha están transformando a espaldera sus viñedos tradicionales en vaso. En Castilla-La Mancha existen 38 Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) que abarcan 15.776 km^2, es decir, el 20% de su superficie total. Seis de ellas están especialmente dedicadas a la protección de las aves esteparias, entre las cuales destaca la Avutarda (*Otis tarda*) cuya población estimada es de unos 5.000 ejemplares. En estas zonas, los cambios de sistema de cultivo son cuestionados por su posible impacto sobre el hábitat natural de las aves, a pesar de que se trata de la principal actividad económica del medio rural. En este trabajo se pretende aplicar un modelo territorial desarrollado mediante SIG que permita identificar las áreas de la ZEPA que son adecuadas para su posible transformación en espaldera sin comprometer los objetivos de conservación de las aves esteparias. Se plantea un caso de estudio en la ZEPA esteparia Mancha Norte, España. El modelo incluye tres componentes: (i) Análisis de la estructura territorial del viñedo, que pretende identificar la distribución espacial de las áreas productivas, (ii) análisis de fragmentación del hábitat de la avutarda, y (iii) Análisis de viabilidad, como integración de los dos anteriores para clasificar las áreas viables. El modelo ayuda en la toma de decisiones de planificación de los usos del suelo. Sin embargo, se necesita más investigación sobre las posibles repercusiones socio-económicas y ambientales de la modernización de las prácticas vitícolas.

Palabras clave: SIG, Viñedo, Avutarda, Fragmentación

Land-use Model to Assess the Suitability of Trellis Vineyards in Special Protection Areas for Steppe Birds

Abstract

Many vineyards in Spain are upgrading to modern systems by using trellis. This transition to trellis vineyards is not always understood as compatible with the environmental preservation goals in Special Protection Areas. A GIS-based model was used to assess the suitability of Special Protection Areas for the development of trellis systems in a Special Protection Area for steppe birds in Castilla-La Mancha, Spain, the region with the largest concentration of vineyards in the world. This model consists on the vineyard structure analysis, habitat fragmentation analysis, and finally an integrated suitability analysis. The results showed that 51% of the study area was suitable for transition to trellis systems; 82% of the actual existing vineyards fall inside this suitable area. In the remaining unsuitable areas, an increase in trellis systems should be avoided. The model contributes to improving policy decision-making on land-use derived from development and conservation conflicts in the Mediterranean agricultural landscapes, although further research is still needed regarding to socio-economic and environmental consequences of modernizing viticulture practices.

Keywords: Grapevine; Great Bustard; Habitat fragmentation; Vineyard Structure; GIS

1. Introducción

El viñedo es uno de los cultivos de secano tradicionales de los paisajes agrícolas mediterráneos (Montero-Riquelme and Brasa Ramos, 2005). Es un cultivo importante desde el punto de vista socio-económico, pero también por su condición de cultivo leñoso permanente y su papel en la gestión

sostenible de recursos hídricos, contra la erosión y la desertificación (Martín de Santa Olalla, 1994). Forma parte del mosaico de paisajes agrícolas mediterráneos que desempeñan un papel multifuncional, más allá de la mera producción de materias primas o alimentos, proporcionando otra serie de servicios socialmente ventajosos como protección de la biodiversidad, desarrollo rural y seguridad alimentaria (Egea and Pérez y Pérez, 2016; Biasi and Brunori, 2015).

Los paisajes agrícolas mediterráneos son objeto de cambios derivados de la modernización de las técnicas agronómicas de producción vegetal (Pérez-Hugalde et al., 2011). En lo que se refiere al viñedo, su cultivo en secano mediante la forma de conducción tradicional en vaso está siendo sustituido por sistemas de conducción en espaldera (Assandri et al., 2017). Éstos permiten una mayor densidad de plantas, así como una mayor distancia al suelo de los racimos, lo cual justifica la necesidad de infraestructuras de postes y alambres; así, se facilitan las labores agronómicas, permiten la recolección mecanizada (Torquati et al., 2015) y posibilitan la aplicación de fertilizantes y fitosanitarios mediante el agua de riego de manera precisa, lo que se traduce en optimización de recursos y mejora de rendimientos en calidad (Ewert et al., 2015) y cantidad (García García et al., 2012), proporcionando al viticultor una posición más competitiva en el mercado.

Sin embargo, desde posiciones conservacionistas se argumenta en contra por ser perjudiciales para la biodiversidad (Alonso et al., 2003; Gabriel et al., 2010; Jeliazkov et al., 2016). Particularmente en la Península Ibérica, preocupa el descenso en las poblaciones de aves esteparias como el sisón (*Tetrax tetrax*) o el alcaraván (*Burhinus oedicnemus*) (Pinto et al., 2005; Cardador et al., 2015). Sin embargo, la especie más sensible a cambios en el hábitat es la Avutarda (*Otis tarda*) y, por tanto, la más afectada por el desarrollo agrario. Se trata de una de las aves voladoras más emblemáticas de Europa por su gran tamaño y envergadura (hasta 20 kg y 150 cm) y está declarada vulnerable y amenazada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Stattersfield et al., 2000). Pinto *et al*. (2005) estiman que la Península Ibérica alberga casi la mitad de la población total europea y que su hábitat ideal es un mosaico de paisajes constituido por cereales y leguminosas de secano, prados naturales y barbechos. Aun cuando los viñedos tradicionales no forman parte ideal de su hábitat natural, le pueden proporcionan refugio y alimento (Madroño, 2004). Por el contrario, los viñedos en espaldera están considerados hábitat inviable, ya que los muros vegetales con postes y alambres limitan su campo de visión y representan un riesgo de colisión (Pinto et al., 2005).

En las ZEPAS esteparias, las autoridades se encuentran condicionados ante las solicitudes de los agricultores para transformar viñedos en espaldera, por lo cual necesitan conocer en qué medida es compatible el desarrollo en uno de los principales sectores económicos de la agricultura española, con los objetivos de conservación del medio ambiente en las ZEPA. Los conflictos "conservación-desarrollo" han sido ampliamente discutidos en la literatura científica, así como los enfoques, modelos e instrumentos de apoyo para la planificación y gestión ambiental (de la Rosa et al., 2004; Lamelas et al., 2009; Martín-López et al., 2011; Pino et al., 2000; Xu et al., 2006; Tassinari et al., 2013; Vonk and Geertman, 2008), pero existen pocas referencias a viñedos en espaldera en ZEPA.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo basado en sistemas de información geográfica para identificar en qué áreas de las ZEPA se pueden permitir los viñedos en espaldera sin comprometer los objetivos de la conservación de aves esteparias. Se aplica a través de un caso de estudio en una de las ZEPA dedicadas a las aves esteparias de Castilla-La Mancha, España.

2. Materiales y Métodos

El modelo consta de tres componentes: un análisis de la estructura del viñedo, un análisis de la fragmentación del hábitat y un análisis de viabilidad. La entrada principal del modelo se alimenta de datos geoespaciales de usos del suelo e infraestructuras. El Análisis de la Estructura del Viñedo (AEV) permite identificar la distribución espacial de áreas cultivadas con viñedo. La Fragmentación del Habitat (FH) identifica la fragmentación de áreas del hábitat de la avutarda. La combinación de los resultados de AEV y FH culmina con el Análisis de Viabilidad que permite clasificar los espacios en

diferentes categorías de viabilidad para permitir que sus viñedos se transformen en espaldera. En las próximas secciones se presenta el área de estudio y los tres componentes del modelo en detalle.

2.1. El área de estudio

Castilla-La Mancha es una región del sureste de España con 79.463 km^2 y una población de 2,05 millones de habitantes, altamente dispersa (el 56% de los 919 municipios tienen menos de 500 habitantes). La agricultura es el sector económico principal y constituye el motor de desarrollo regional. El viñedo ocupa el segundo lugar en el área cultivada (21%) después de cereales (49%) y antes que el olivar (11%) y representa un 21% de la producción total agraria de Castilla-La Mancha.

En Castilla-La Mancha existen 38 ZEPA que abarcan 15.776 km^2 (20% de la superficie total regional), seis de las cuales están dedicadas a la protección de aves esteparias. La población de aves esteparias se ha estimado en 5.000 individuos (Alonso et al., 2005). En su interior existen 27.628 ha de viñedo, un 5,2% del viñedo total regional y constituye el 15,2% del área total de las seis ZEPA esteparias (Tabla 1). La Mancha Norte contiene el 77.4% de la superficie de viñedo en ZEPA de Castilla-La Mancha. Se seleccionó como caso de estudio porque tiene la mayor superficie de viñedo (21.382 ha) y la mayor densidad (19,9%), por lo que los conflictos entre permitir nuevos sistemas de espaldera y proteger las aves esteparias serán más significativos en esta zona.

Tabla 1. Superficie de viñedo en las seis ZEPA esteparias de Castilla-La Mancha, España

	Superficie de viñedo		Superficie total
ZEPA	**(ha)**	**(%)**	**(ha)**
La Mancha Norte	21382	19,9	107246
Este de Albacete	3457	13,4	25760
Campo de Montiel	2090	13,0	16110
Guadarrama	562	4,42	12719
El Bonillo	136	0,79	17280
La Campiña	0	0	2496
Total	27627	15,2	1816111

La ZEPA Mancha Norte está rodeada de numerosas villas rurales (menos de 70 habitantes) y localidades de tamaño medio (menos de 1.000 habitantes), conectadas por caminos y vías rurales, además de por una red principal de carreteras, que hace que la ZEPA está dividida en 9 subzonas.

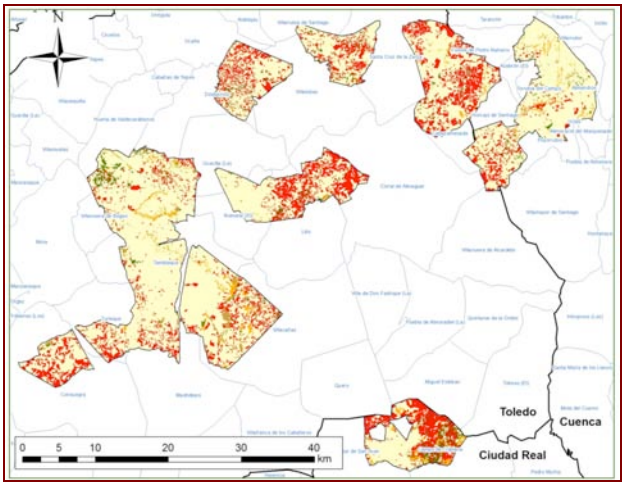
La ZEPA de La Mancha Norte abarca 107.246 ha. Su topografía es prácticamente llana o ligeramente ondulada. Los cultivos en secano ocupan el 73% de su superficie, hábitat que es considerado como adecuado para las aves esteparias. Las 21.382 ha de viñedo casi ocupan el 20% del área total en 17.633 parcelas lo que se traduce en un pequeño tamaño medio de parcela de 1,2 ha. Aproximadamente el 10% de los viñedos están en espaldera y regados (2% del área total).

La ZEPA de La Mancha Norte abarca 107.246 ha. Su topografía es prácticamente llana o ligeramente ondulada. Los cultivos en secano ocupan el 73% de su superficie, hábitat que es considerado como adecuado para las aves esteparias. Las 21.382 ha de viñedo casi ocupan el 20% del área total en 17.633 parcelas lo que se traduce en un pequeño tamaño medio de parcela de 1,2 ha. El 10% de los viñedos están en espaldera y regados (2% del área total). En la Figura 1 se aprecia la desigual distribución espacial a lo largo de la ZEPA.

2.2. Datos de entrada del modelo

Los Sistemas de Información Geográfica permiten integrar información de diversas fuentes lo que los hacen especialmente relevantes en la planificación y gestión del territorio (Lang, 1996; Montero y Brasa, 2005; Montero-García et al., 2012). En este trabajo se utilizó como software ArcGIS (ESRI, Redlands, California, USA) para visualizar y analizar los datos espaciales. Todos los mapas fueron proyectados mediante el sistema de coordenadas UTM, zona 30 Norte, Datum ETRS89. Los datos básicos geográficos se obtuvieron de distintas fuentes, del Centro Nacional de Información

Geográfica (CNIG), capas en formato shapefile y ortofotografías aéreas del PNOA, el catastro y el registro vitícola de Castilla-La Mancha. Asimismo, también se manejaron datos de Corine (inventario de datos de la cobertura terrestre de Europa) y del SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España) así como otros estudios agronómicos y técnicos de ámbito local.



Uso del suelo	Area (ha)	%	Uso del suelo	Area (ha)	%
Herbáceos extensivos	77.760	72,5	Matorral y pastos	3.227	3,01
Viñedo tradicional	19.197	17,9	Otros (olivar, frutales)	4.877	4,50
Viñedo en espaldera	2.185	2,04			

Figura 1. Distribución de los usos del suelo en la ZEPA La Mancha Norte

2.3. Análisis de la Estructura Espacial del Viñedo

El análisis sobre la estructura espacial del viñedo (AEV) se basa en un método analítico centrado en mosaicos de usos del suelo, similar al utilizado por Gaucherel (2008), Kristensen et al. (2006), Skop y Schou (1999) o Van Eetvelde y Antrop (2009). Se pretende analizar la distribución espacial de mosaicos de paisajes de viñedo (Li y Reynolds, 1994; Zurlini et al., 2007). La idea general es que las áreas con mayor concentración de viñedo deben ser consideradas poco adecuadas como hábitat de la avutarda y, por lo tanto, viables para mejora a espaldera.

La primera fase del AEV consiste en analizar la configuración espacial del viñedo basándose en métricas de continuidad. A continuación se aplica un procedimiento de teselación (Thiessen, 1911) por simple interpolación (Gaucherel, 2008) que dibuja polígonos alrededor del centroide de áreas contiguas de viñedo sin huecos ni solapamientos. Cada polígono representa un área virtual que contiene un área de viñedo continua así como una zona circundante, de tal forma que: (a) cada polígono contiene un solo centroide, (b) la totalidad del área está cubierta por polígonos y (c) cada punto dentro del polígono está más cerca de su centroide que de cualquier otro centroide.

Los polígonos resultantes se van a clasificar de acuerdo con dos criterios: disposición espacial y densidad de viñedos:

1) La disposición espacial de viñedos se calcula a partir de la distancia entre los centroides de los polígonos, clasificándose en dos categorías, concentrados y aislados. Los viñedos más concentrados originan polígonos más pequeños separados por menor distancia, mientras que viñedos más aislados resultarán en distancias mayores. Se utiliza como umbral entre ambas categorías la distancia media entre centroides de todos los polígonos. El umbral resultante en la ZEPA La Mancha Norte fue 500 m, de forma que polígonos con valores menores que 500 constituyen áreas de viñedo concentradas.

2) La densidad de viñedo se calcula como el cociente entre A_V / A_p, siendo A_V el área de viñedo (ha) dentro de un polígono y A_p el área total del polígono (ha), clasificándose los polígonos en dos categorías, de alta o de baja densidad, en función de la media de todos los cocientes; este valor umbral se calculó en la ZEPA La Mancha Norte como 0,20.

El resultado del AEV es un mapa de la configuración especial del viñedo en tres categorías de intensidad de viñedo: baja, media y alta, de acuerdo con las siguientes reglas de decisión:

- Baja intensidad: áreas aisladas con baja densidad.
- Media intensidad: áreas aisladas con densidad alta o áreas concentradas con baja densidad.
- Alta intensidad: áreas concentradas con alta densidad.

Tabla 2. Categorías de configuración del viñedo (intensidad baja, media o alta) con sus correspondientes umbrales en la ZEPA La Mancha Norte

		Disposición espacial	
		Concentrado (< 500 m)	**Aislado (≥ 500 m)**
Densidad	**Alta (≥ 0.20)**	Alta	Media
	Baja (< 0.20)	Media	Baja

2.4. Análisis de Fragmentación del Hábitat

La fragmentación del hábitat es el proceso de división de un paisaje en unidades menores y más aisladas de hábitat, rodeada por elementos lineales o por áreas con aprovechamientos mucho más intensos (Geneletti, 2004; Jaeger, 2000) y provoca una pérdida de conectividad entre el resto de unidades aisladas. Las infraestructuras lineales y las construcciones artificiales son las principales causas de fragmentación del territorio (Mancebo Quintana et al., 2010; Serrano et al., 2002). Las avutardas son aves expuestas a la fragmentación, pues viven en vastas áreas, sin barreras que interfieran, evitan la proximidad a zonas pobladas y a infraestructuras lineales (Peris et al., 1992; Alonso et al., 2001). Por tanto, el Análisis de Fragmentación del Hábitat (AFH) de este trabajo pretende identificar dichas áreas de hábitat adecuado para la Avutarda. El primer paso conlleva la identificación de áreas de interferencia de infraestructuras lineales (caminos y vías de ferrocarril) así como áreas construidas. Sus efectos ecológicos han sido ampliamente estudiados en la literatura científica (Forman, 2000; Lane et al., 2001), aunque son escasas las referencias a las avutardas. Lane et al. (2001) estimaron que los grupos de avutardas tienden a alejarse distancias de hasta 250 m. Forman (2000) utilizó distancias de 200 m a carreteras secundarias y entre 305 a 810 m a carreteras principales. En nuestro trabajo se ha utilizado una zona de afección de 200 m en ambos elementos, basándose en comunicaciones personales de expertos de Castilla-La Mancha. Se utilizó ArcGIS para delimitar estas zonas de influencia de infraestructuras. El segundo paso del AFH consistió en la clasificar las áreas libre de obstáculos como adecuadas para el hábitat en función de su tamaño, basándose en el concepto de área mínima para el hábitat (Garcia and Armbruster, 1997; Store and Jokimäki, 2003). No existen datos de área mínima para el hábitat de la avutarda en la literatura científica, aunque Lane et al. (2001) utilizan áreas cerealistas de al menos 10 km^2 como criterio para identificar hábitat potencial para grupos de avutardas, sin embargo, no se argumenta esta cifra, en tanto en cuanto se refieren a zonas de apareamiento o *leks*. En nuestro trabajo, se utiliza un área mínima de 25 ha, basándose también en comunicaciones personales. El resultado del AFH es un mapa vectorial que muestra áreas contiguas mayores de 25 ha, sin intersecciones con caminos y zonas de influencia de 200 m.

2.5. Análisis de Viabilidad

En el Análisis de Viabilidad (AV), se combinan los resultados del AEV y del AFH para identificar áreas viables e inviables para transformación del viñedo en espaldera, cuyo resultado es un mapa de polígonos viables e inviables. Las dos capas resultantes de AEV y del AFH se combinaron utilizando

herramientas de geoprocesamiento de ArcGIS (Gorr and Kurland, 2007). La viabilidad de los polígonos resultantes fue evaluada de acuerdo con las reglas de decisión de la Tabla 3.

Las áreas mayores de 25 ha son hábitat adecuado para la avutarda, en consecuencia, los objetivos de conservación ambiental serán considerados prioritarios en estas zonas. Sin embargo, en áreas donde existe alta intensidad de producción vitícola (es decir, concentrado con alta densidad) la presencia de la avutarda es altamente improbable (Lane et al., 2001; Madroño, 2004). Por tanto, las áreas de viñedo de alta intensidad se clasifican como viables para la transformación en espaldera. Las áreas amplias (>25 ha) con intensidad de viñedo baja y media se clasifican como no viables. El resto de áreas más pequeñas (<25 ha) se clasifican de acuerdo a dos opciones. En primer lugar, las áreas con baja intensidad de producción vitícola, es decir, áreas de viñedo aisladas con baja densidad, se clasifican como inviables; aun cuando la presencia de la avutarda en estas áreas es improbable, se asume que los sistemas en espaldera deberían estar restringidos a aquellas áreas donde la producción vitícola está más concentrada. En segundo lugar, las áreas con intensidad alta o media de producción vitícola se clasifican como áreas viables; la presencia de la Avutarda en estas zonas es de nuevo improbable y la intensidad de producción vitícola es grande; por tanto, en estas áreas se da prioridad a las oportunidades de desarrollo del viñedo.

Tabla 3. Reglas de decisión para el Análisis de Viabilidad

		Estructura del Viñedo		
		Intensidad baja (aislado, densidad baja)	**Intensidad media** (aislado, alta densidad o concentrado, baja densidad)	**Intensidad alta** (concentrado, alta densidad)
Habitat	Áreas > 25 ha	INVIABLE	INVIABLE	VIABLE
	Áreas < 25 ha	INVIABLE	VIABLE	VIABLE

2.6. Análisis de Sensibilidad

Este modelo incluye cuatro umbrales; dos están relacionados con la configuración especial de los viñedos del área de estudio: la distancia media de 500 m para diferenciar entre áreas de viñedo concentradas o aisladas, y la tasa media de 0,20 para diferenciar entre áreas de viñedo de alta o de baja densidad. Los otros dos umbrales están relacionados con la fragmentación del hábitat: los 200 m de la zona de influencia y las 25 hade tamaño mínimo del hábitat. Se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para cada uno de los umbrales, utilizando una variación del 20% en los valores de entrada para ver la respuesta del modelo a cambios relativos en estos valores.

3. Resultados

3.1. Análisis de la Estructura Espacial del Viñedo (AEV)

El análisis de la disposición espacial y densidad de viñedos en el área de estudio de la ZEPA La Mancha Norte generó dos mapas que se muestran en la Figura 2.

La comparación de ambos mapas muestra que la mayoría de áreas concentradas de viñedo tienden a superponerse con las áreas de alta densidad. La mayoría de áreas aisladas y de baja densidad, donde los viñedos están menos desarrollados, están localizados en el oeste y en el nordeste de la ZEPA.

La combinación de los dos mapas de la Figura 2 utilizando el sistema de clasificación de la Tabla 2 resultó en el mapa que se muestra en la Figura 3 y las correspondientes áreas de configuración del viñedo (intensidad baja, media y alta) que se resumen en la Tabla 4.

En la Tabla 4 se observa que el área total de la ZEPA La Mancha Norte se distribuye equitativamente entre las tres clases de intensidad: 34,4% alta, 33,2% media y 32,2% baja. La distribución espacial de las clases de intensidad se muestra en la Figura 3. Una comparación entre la Figura 3 y la Figura 2 muestra que la mayoría de los viñedos existentes están localizados en áreas de alta densidad (68,3% del total, 14.602 ha, o 39,6% de las 36.856 ha de áreas de alta intensidad. El resto de viñedos (27,9%) se encuentra en áreas de intensidad media y solo el 3,8% en áreas de baja intensidad.

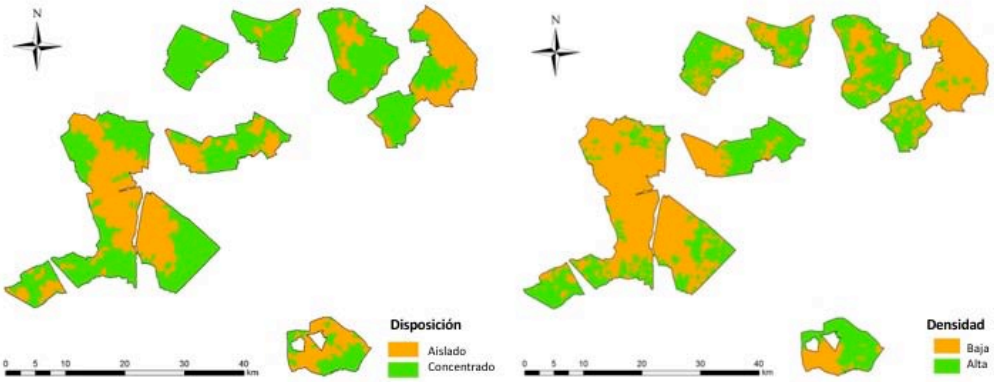


Figura 2. Disposición espacial de los viñedos en la ZEPA La Mancha Norte

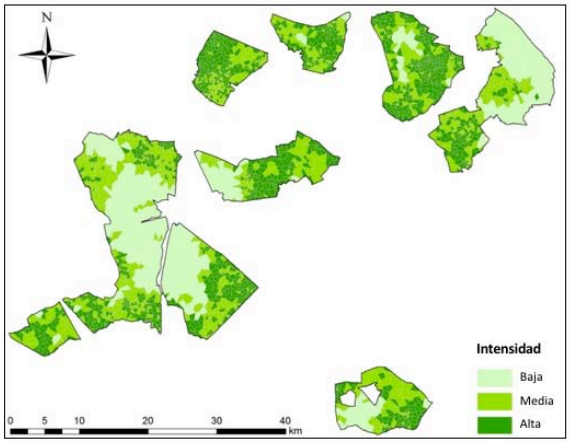


Figura 3. Configuración de los viñedos en la ZEPA La Mancha Norte

Tabla 4. Área por categoría de intensidad y área de viñedo dentro de cada categoría

Categoría de Intensidad	Área, ha	% del área total	Área viñedo, ha	% del área total de viñedo	% de la categoría
Alta	36,856	34.4	14,602	68.3	39.6
Media	35,619	33.2	5,970	27.9	16.8
Baja	34,771	32.2	810	3.8	2.3
Total	107,246	100.0	21,382	100.0	19.9

3.2. Análisis de Fragmentación del Hábitat (AFH)

Los resultados del AFH se muestran en la Tabla 5 y en la Figura 4. En total, la ZEPA incluye 609 zonas mayores de 25 ha sin fragmentar que pueden considerarse hábitat adecuado para la Avutarda. El tamaño medio de estas áreas es 76 ha y el máximo de 524 ha. La Tabla 5 muestra que la suma total de áreas grandes (<25 ha) es 51.326 ha (47,9% del área total de la ZEPA). Una ligera mayoría de los viñedos (55,5%) se encuentra en las área más pequeñas (<25 ha), abarcando 11.871 ha.

Tabla 5. Resultados del Análisis de Fragmentación del Hábitat de la Avutarda en la ZEPA La Mancha Norte

	Total, ha	**Total, %**	**Viñedo, ha**	**Viñedo, %**
Áreas > 25 ha	51326	47,9	9511	44,5
Áreas < 25 ha	55920	52,1	11871	55,5
Total	107246	100	21382	100

La Figura 4 muestra que la mayor densidad de áreas grandes tiene lugar en la subzona más amplia del oeste, donde existen más cultivos herbáceos extensivos y menos viñedo.

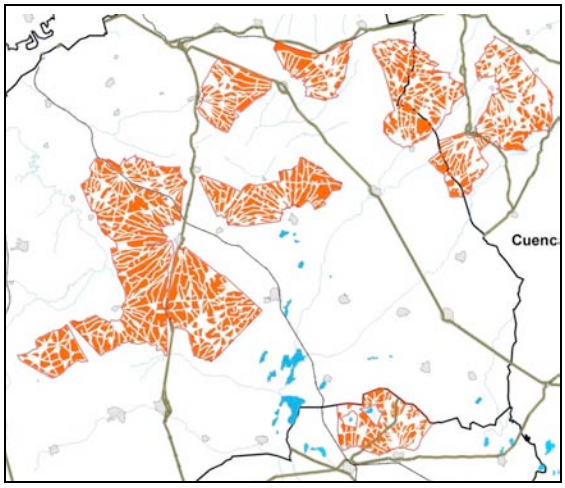


Figura 4. Áreas de hábitat adecuado > 25 ha (en naranja) en la ZEPA La Mancha Norte

3.3. Análisis de Viabilidad (AV)

Como resultado de la combinación de los mapas de AEV y de AFH utilizando las reglas de decisión de la Tabla 3, se obtiene la Figura 5 cuyos detalles pueden observarse en la Tabla 6.

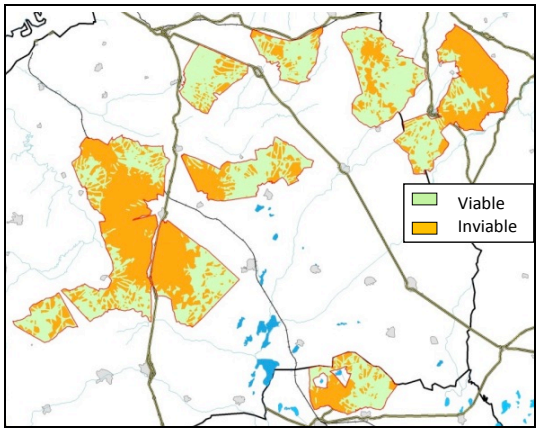


Figura 5. Mapa de espacios viables e inviables para transformación a espaldera de la ZEPA La Mancha Norte

La Tabla 7 muestra que casi la mitad (49,1%) del territorio de la ZEPA La Mancha Norte es inviable para transformación del viñedo a espaldera, 3.828 ha (17,9%) de viñedo ya establecido. La mayoría de estos viñedos están situados en hábitat adecuado para la avutarda (>25 ha) e intensidad media. En total, 35.311 ha (dos tercios de las áreas de hábitat adecuado) son inviables. La mayoría del viñedo (82,1%) está en áreas donde es posible realizar la transformación de acuerdo con la clasificación.

Tabla 6. Resultados de la clasificación de la Viabilidad en la ZEPA La Mancha Norte

Habitat	Indicadores	Categorías Estructura Viñedo			Total
		Baja intensidad	Media intensidad	Alta intensidad	
>25 ha	Viabilidad	**INVIABLE**	**INVIABLE**	**VIABLE**	
	Total, ha	17,399	17,912	16,015	51,326
	Viñedo, ha	438	3,017	6,056	9,511
	%	2.52	16.8	37.8	18.5
<25 ha	Viabilidad	**INVIABLE**	**VIABLE**	**VIABLE**	
	Total, ha	17,372	17,707	20,841	55,92
	Viñedo, ha	372	2,953	8,546	11,871
	%	2.14	16.7	41.0	21.2
Total	Total, ha	34,771	35,619	36,856	107,246
	Viñedo, ha	810	5,97	14,602	21,382
	%	2.33	16.8	39.6	19.9

Tabla 7. Superficie total viable e inviable y viñedo localizado en dichas áreas

	Total		Viñedo	
	ha	%	ha	%
Viable	54.563	50,9	17.554	82,1
Inviable	52.683	49,1	3.828	17,9
Total	107.246	100	21.382	100

3.4. Análisis de sensibilidad del modelo

La Tabla 8 muestra los resultados del análisis de sensibilidad utilizando una variación del 20% en los umbrales y estudiando su repercusión en los resultados globales ofrecidos en la Tabla 7. Los resultados muestran que el modelo es muy sensible a cambios en el umbral de distancia entre viñedos y en consecuencia a variaciones en la disposición espacial de viñedos en el área de estudio. Los cambios en la tasa de densidad de viñedo y la distancia de la zona de influencia originaron cambios muy pequeños en la superficie viable, mientras que el modelo no es sensible a cambios en el tamaño del área mínima de hábitat.

Tabla 8. Resultados del análisis de sensibilidad para el total de superficie viable y las variaciones en comparación con la Tabla 7

Threshold	Tested values (±20%)	Total suitable area	Change in total suitable area	
		ha	ha	%
Distance (500 m)	400	46,391	-8,172	-15.6%
	600	60,170	5,607	10.7%
Density (0.20)	16	57,067	2,504	4.77%
	24	52,789	-1,774	-3.38%
Effect zone (200 m)	160	51,406	-3,157	-6.02%
	240	57,460	2,897	5.52%
Minimum habitat size (25 ha)	20	53,997	-566	-1.08%
	30	55,190	627	1.19%

4. Conclusiones

El modelo basado en SIG que se presenta en este trabajo constituye un trampolín para la mejora de la gestión de los usos del suelo en los paisajes agrarios mediterráneos. El principal desafío en este entorno es equilibrar las necesidades de producción vitícola, como principal actividad socio-económica, con los efectos ambientales sobre el paisaje y la biodiversidad, particularmente sobre

especies amenazadas como las aves esteparias. Este enfoque permite identificar áreas donde se pueda desarrollar la producción vitícola sin comprometer los objetivos de conservación ambiental.

El gobierno de Castilla-La Mancha utilizó los resultados preliminares de esta investigación para revisar sus criterios de planificación para la autorización de nuevos viñedos en espaldera, que fueron traspuestos a la normativa oficial mediante una Orden de la Consejería de Agricultura de fecha 29 de noviembre de 2010. Se está desarrollando en la actualidad estudios complementarios para evaluar la efectividad de las nuevas regulaciones que mejorarán el modelo utilizado.

Bibliografía

Alonso, J.A., Martín, C.A., Alonso, J.C., Morales, M.B., Lane, S.J., 2001. Seasonal movements of male Great Bustards in central Spain. *J. F. Ornithol*. 72, 504–508.

Alonso, J.C., Palacín, C., Martín, C.A., 2003. Status and recent trends of the great bustard (Otis tarda) population in the Iberian peninsula. *Biol. Conserv*. 110, 185–195.

Alonso, J.C., Palacín, C., Martín, C.A., 2005. La Avutarda Común en la Península Ibérica: Población Actual y Método de Censo. SEO/ BirdLife, Madrid.

Assandri, G., M. Giacomazzo, M. Brambilla, M. Griggio, and P. Pedrini. 2017. Nest density, nest-site selection, and breeding success of birds in vineyards: Management implications for conservation in a highly intensive farming system. *Biol. Conserv*. 205: 23–33.

Biasi, R., and E. Brunori. 2015. The on-farm conservation of grapevine (Vitis vinifera L.) landraces assures the habitat diversity in the viticultural agro-ecosystem. Vitis - *J. Grapevine Res*. 54 (Special Issue): 265–269.

Cardador, L., Cáceres, M. De, Giralt, D., Bota, G., Aquilué, N., Arroyo, B., Mougeot, F., Cantero-Martínez, C., Viladomiu, L., Rosell, J., Casas, F., Estrada, A., Álvaro-Fuentes, J., Brotons, L., 2015. Tools for exploring habitat suitability for steppe birds under land use change scenarios. *Agric. Ecosyst. Environ.* 200, 119–125.

de la Rosa, D., Mayol, F., Diaz-Pereira, E., Fernandez, M., de la Rosa Jr, D., 2004. A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection: With special reference to the Mediterranean region. *Environ. Model. & Softw*. 19, 929–942.

Egea, P., and Pérez y Pérez, L., 2016. Sustainability and multifunctionality of protected designations of origin of olive oil in Spain. *Land Use Policy* 58: 264–275.

Ewert, J., J.H. Hanf, E. Schweickert, 2015. Strategic challenges facing South African wine co-operatives: upgrading or bulk production? *J. Wine Res*. 26(4).

Forman, R.T.T., 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conserv. Biol*. 14, 31–35.

Gabriel, D., Sait, S.M., Hodgson, J.A., Schmutz, U., Kunin, W.E., Benton, T.G., 2010. Scale matters: the impact of organic farming on biodiversity at different spatial scales. *Ecol. Letters* 13, 858–869.

García García, J., A. Martínez-Cutillas, P. Romero, 2012. Financial analysis of wine grape production using regulated deficit irrigation and partial-root zone drying strategies. *Irrig. Sci.* 30(3): 179-188.

Garcia, L.A., Armbruster, M., 1997. A decision support system for evaluation of wildlife habitat. *Ecol. Modell.* 102, 287–300.

Gaucherel, C., 2008. Neutral models for polygonal landscapes with linear networks. *Ecol. Modell*. 219, 39–48.

Geneletti, D., 2004. Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. Int. *J. Appl. Earth Obs. Geoinf*. 5, 1–15.

Gorr, W.L., Kurland, K.S., 2007. *GIS Tutorial: Workbook for ArcView 9*. ESRI Press.

Jaeger, J.A.G., 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landsc. Ecol*. 15, 115–130.

Jeliazkov, A., Mimet, A., Chargé, R., Jiguet, F., Devictor, V., Chiron, F., 2016. Impacts of agricultural intensification on bird communities: New insights from a multi-level and multi-facet approach of biodiversity. *Agric. Ecosyst. Environ*. 216, 9–22.

Kristensen, L., Olsen, J., Weiner, J., Griepentrog, H.W., Nørremark, M., 2006. Describing the spatial pattern of crop plants with special reference to crop–weed competition studies. *F. Crop. Res*. 96, 207–215.

Lamelas, M.T., Hoppe, A., de la Riva, J., Marinoni, O., 2009. Modelling environmental variables for geohazards and georesources assessment to support sustainable land-use decisions in Zaragoza (Spain). Ge*omorphology* 111, 88–103.

Lane, S.J., Alonso, J.C., Martin, C.A., 2001. Habitat preferences of great bustard Otis tarda flocks in arable steppes of central Spain: are potentially suitable areas unoccupied? *J. of Applied Ecology* 38, 193–203.

Lang, L., 1996. Geotechnology use grows in California's agriculture community. *Earth Obs. Mag*. 5, 16–20.

Li, H., Reynolds, J.F., 1994. A simulation experiment to quantify spatial heterogeneity in categorical maps. *Ecology* 75, 2446–2455.

Madroño, A., 2004. *Libro rojo de las aves de España*. Organismo Autónomo Parques Nacionales.

Mancebo Quintana, S., Martín Ramos, B., Casermeiro Martínez, M.A., Otero Pastor, I., 2010. A model for assessing habitat fragmentation caused by new infrastructures in extensive territories - evaluation of the impact of the Spanish strategic infrastructure and transport plan. *J. Environ. Manage*. 91, 1087–96.

Martín de Santa Olalla, F.J., 1994. Desertificación en Castilla-La Mancha. In: *El Proyecto EFEDA*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, Cuenca.

Martín-López, B., García-Llorente, M., Palomo, I., Montes, C., 2011. The conservation against development paradigm in protected areas: Valuation of ecosystem services in the Doñana social-ecological system (southwestern Spain). *Ecol. Econ.* 70, 1481–1491.

Montero Riquelme, F.J., Brasa Ramos, A., 2005. Land and water use management in vine growing by using geographic information systems in Castilla-La Mancha, Spain. *Agric. Water Manag*. 77, 82–95.

Montero-García, F., Montero-Riquelme, F., Brasa-Ramos, A., Carsjens, G.J., 2012. Integrating trellised vineyards in Special Protection Areas for birds, in: *Acta Horticulturae*. pp. 441–448.

Pérez-Hugalde, C., Romero-Calcerrada, R., Delgado-Pérez, P., Novillo, C.J., 2011. Understanding land cover change in a Special Protection Area in Central Spain through the enhanced land cover transition matrix and a related new approach. *J. Environ. Manage*. 92, 1128–1137.

Peris, S.J., Corrales, L., Gonzalez, N., Velasco, J.C., 1992. Surveys of wintering great bustards Otis tarda in West-Central Spain. *Biol. Conserv*. 60, 109–114.

Pino, J., Rodà, F., Ribas, J., Pons, X., 2000. Landscape structure and bird species richness: implications for conservation in rural areas between natural parks. *Landsc. Urban Plan*. 49, 35–48.

Pinto, M., Rocha, P., Moreira, F., 2005. Long-term trends in great bustard (Otis tarda) populations in Portugal suggest concentration in single high quality area. *Biol. Conserv*. 124, 415–423.

Serrano, M., Sanz, L., Puig, J., Pons, J., 2002. Landscape fragmentation caused by the transport network in Navarra (Spain). *Landsc. Urban Plan.* 58, 113–123.

Skop, E., Schou, J., 1999. Modeling the effects of agricultural production. An integrated economic and environmental analysis using farm account statistics and GIS. *Ecol. Econ*. 29, 427–442.

Stattersfield, A.J., Capper, D.R., Dutson, G.C.L., 2000. Threatened birds of the world: the official source for birds on the IUCN red list. Cambridge: BirdLife International.

Store, R., Jokimäki, J., 2003. A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modeling. *Ecol. Modell*. 169, 1–15.

Thiessen, A.H., 1911. Precipitation averages for large areas. Mon. *Weather Rev.* 39, 1082–1089.

Torquati, B., G. Giacchè, S. Venanzi, 2015. Economic analysis of the traditional cultural vineyard landscapes in Italy. *J. Rural Stud*. 39: 122–132.

Van Eetvelde, V., Antrop, M., 2009. A stepwise multi-scaled landscape typology and characterisation for trans-regional integration, applied on the federal state of Belgium. *Landsc. Urban Plan.* 91, 160–170.

Xu, X., Hou, L., Lin, H., Liu, W., 2006. Zoning of sustainable agricultural development in China. *Agric. Syst.* 87, 38–62.

Zurlini, G., Riitters, K.H., Zaccarelli, N., Petrosillo, I., 2007. Patterns of disturbance at multiple scales in real and simulated landscapes. *Landsc. Ecol*. 22, 705–721.

Variabilidade agrometeorológica na agricultura de regadio do Alentejo

Marta Santos[1], Vera Guerreiro[1], Luis Boteta[1], Gonçalo Rodrigues[1]

[1] Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio – COTR, Quinta da Saúde – Apartado 354, 7801-904 Beja, Portugal. marta.santos@cotr.pt

Resumo

Dada a necessidade da criação de estratégias de adaptação às alterações climáticas, foi desenvolvido um estudo aplicado à região do Alentejo com o objetivo da análise da variabilidade espacial e temporal da agrometeorologia e os seus impactos na agricultura regada na região do Alentejo. Para tal, recorreu-se à informação recolhida pela rede de estações SAGRA (Serviço Agrometeorológico para a Gestão da Rega do Alentejo) durante o período de 2003 a 2016, tendo sido analisada a evolução das variáveis/indicadores temperatura, precipitação, evapotranspiração de referência e os seus impactos sobre as culturas mais representativas da região – milho, girassol, olival, vinha e tomate. Os resultados mostram uma variabilidade acentuada das principais variáveis agrometeorológicas, com as necessidades de água para a cultura mais exigente, o milho, a variarem em cerca de 70%. Este estudo reforça a necessidade da determinação de estratégias adequadas para a mitigação do impacto destas variações, das quais se destacam o uso eficiente da água de rega e de energia, a aplicação de boas práticas de uso e conservação do solo, a gestão de risco face aos eventos extremos, escolha de variedades bem-adaptadas, estudo de novas variedades mais resistentes e a prática de rotação de culturas.

Palavras-chave: agricultura, alterações climáticas, uso eficiente da água, Alentejo

Agrometeorology spatial and temporal variability impact on Altentejo's agriculture

Abstract

To identify the required strategies to cope with climate change, a study was applied to the Alentejo region with the purpose of analyzing the spatial and temporal variability of agrometeorology and its impacts on irrigated agriculture in that region. Thus, the information collected by SAGRA's (Agrometeorological Service for the Irrigation Management of Alentejo) automatic stations network, from 2003 to 2016, was used, to assess the variability of temperature, precipitation, reference evapotranspiration, and its impact on the most representative crops of the region - maize, sunflower, olive orchards, vineyards and tomato. Results show a clear spatial and temporal variability of these agrometeorological variables, with the water requirements for the most demanding crop, maize, varying in about 70%. This study reinforces the need to define adequate strategies to mitigate the impact of these variations, such as the efficient use of irrigation water and energy, the application of improved land use and conservation practices, and risk management. For extreme events, the choice of well-adapted and new varieties, and the practice of crop rotation are advised.

Keywords: Agriculture, climate change, water use efficiency, Alentejo

1. Introdução

Atualmente torna-se inegável a fugacidade das constantes alterações climáticas e o seu impacto numa escala global em todas as ramificações ambientais. Perante este cenário, torna-se necessária uma adaptação evolutiva das técnicas culturais na Agricultura Mediterrânea. A conjugação de dois fenómenos – a redução da precipitação e o aumento da temperatura –, expõe Portugal, e em especial o Alentejo, às alterações climáticas, podendo originar uma seca crescente durante o ciclo vegetativo das culturas, induzida por um balanço hídrico desde cedo deficitário. O agricultor depara-

se cada vez mais com as consequências de restrições hídricas, tornando assim uma eficiente gestão de rega, imprescindível para uma agricultura sustentável, como medida de mitigação e adaptação às alterações climáticas.

A variabilidade climática, a (in)capacidade de regar, a disponibilidade de água, a fertilidade do solo, a gestão de risco face aos eventos extremos, as condições favoráveis a organismos prejudiciais às culturas, as alterações dos sistemas fitossanitários, bem como a perda de património genético vegetal adaptado às novas condições climáticas, constituem as principais variáveis críticas para a mitigação dos expetáveis efeitos das alterações climáticas em agricultura.

A melhoria do rendimento agrícola deverá passar, entre outras, e no que ao fator de produção água diz respeito, pela racionalização da sua utilização através duma gestão adequada do seu uso na rega que permita aumentar o rendimento da unidade de volume de água e a eficiência do uso da água e energia na agricultura.

A análise aqui realizada visa avaliar a variabilidade das principais variáveis agrometeorológicas, e do seu impacto sobre as necessidades de água das culturas do milho, girassol, tomate, olival, vinha, apontando estratégias de adaptação, para que continuem a proporcionar os mesmos bens e serviços de forma sustentável, viabilizando a sua longevidade face às alterações climáticas.

2. Rede SAGRA

Na sequencia da criação do serviço de assistência técnica ao agricultor, foi implementada em 2001 a rede de monitorização climática SAGRA - Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo. Esta rede, composta por 14 estações agrometeorológicas automáticas (EMA's), cujo objetivo principal é a disponibilização de informação agrometeorológica, permite analisar a evolução das variáveis face às tendências climáticas e permite estimar a Evapotranspiração de Referência (ETo), recorrendo à metodologia da FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), e o consequente consumo de água das principais culturas atendendo à sua caraterização fisiológica e agronómica. A localização das EMA's (Fig.1), teve como preocupação primária a caracterização climática das principais zonas de regadio, nos seus aspetos mais gerais, procedendo-se à escolha da sua localização específica de acordo com áreas a representar, tendo como principais preocupações que a localização fosse representativa da região (topografia, influência e exposição).

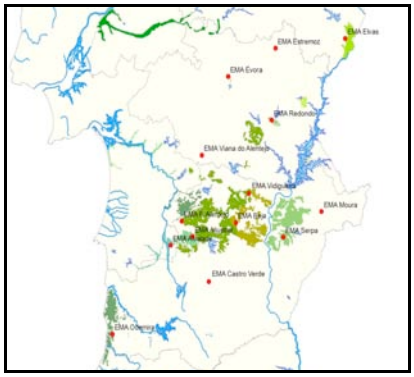


Figura 1 - Localização da Rede de Estações Agrometeorológicas Automáticas do SAGRA

3. Variabilidade agrometeorológica da região

A disponibilização de dados agrometeorológicos é de especial importância para a realização de estudos de impacto ambiental, de forma a verificar e acompanhar possíveis alterações. Indicadores como o índice de aridez e o índice de erosividade capacitam técnicos e agricultores de informação fulcral para a criação de medidas de adaptação. A variabilidade espacial e temporal do clima, e a

análise de ocorrência de eventos extremos, permitem avaliar tendências climáticas por forma a determinar quais as melhores práticas para conviver com um clima em mudança.

3.1. Índice de aridez e de erosividade

O Índice de Aridez (IA) serve de base à identificação das zonas suscetíveis à desertificação. Com base nos dados da precipitação total anual e da ETo, para o período de análise de 2003 a 2016, determinou-se o IA (Quadro 1) para o Alentejo, verificando-se que em média toda região é suscetível à desertificação, sinalizando a necessidade para a criação de medidas de adaptação às alterações climáticas.

Quadro 1 – Índice de aridez para a região do Alentejo

Índice de aridez (2003 – 2016)			
Aljustrel	**Semiárido**	Odemira	**Sub-húmido Seco**
Alvalade do Sado	**Semiárido**	Redondo	**Semiárido**
Beja	**Semiárido**	Serpa	**Semiárido**
Elva	**Semiárido**	Estremoz	**Sub-húmido Seco**
Évora	**Semiárido**	Viana	**Sub-húmido Seco**
Ferreira do Alentejo	**Semiárido**	Castro Verde	**Semiárido**
Moura	**Semiárido**	Vidigueira	**Semiárido**

Paralelamente, determina-se o Índice de Erosividade (IE) através da distribuição da precipitação, que resume a capacidade potencial da pluviosidade em causar erosão dos solos. Permite, entre outras ações, tomar a decisão de proteger os solos por forma a prevenir a sua deterioração. O IE para a região do Alentejo (Figura 2) altera-se ao longo do tempo; quando comparando os anos de 2007 e 2013. Verifica-se alguma instabilidade na região, já que em 2007 se apresentava pouco suscetível à erosão dos solos (sendo um ano onde a precipitação acumulada anual foi mais baixa) ao contrário do ano 2013 em toda a região se encontrava em alto risco de erosividade dos solos (da que o ano foi mais chuvoso).

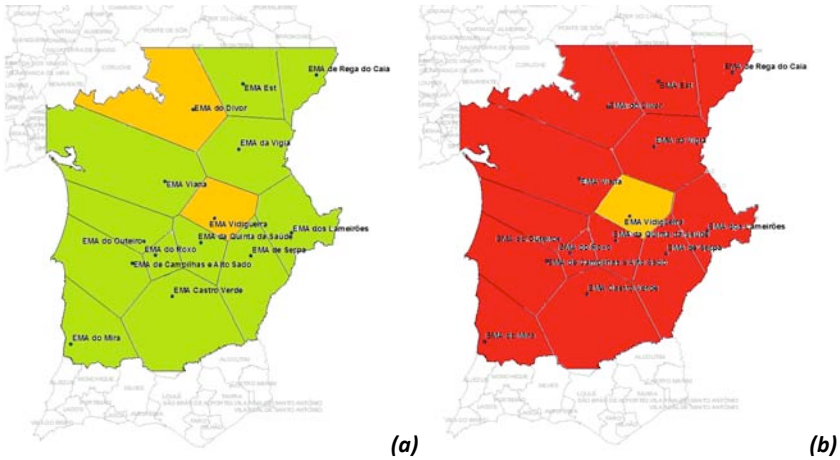


Figura 2 – Índice de erosividade (IE) para a região do Alentejo nos anos de 2007 ***(a)*** *e 2013* ***(b)*** *(verde - IE baixo; laranja - IE moderado; vermelho - IE elevado)*

3.3. Variabilidade espacial e temporal da temperatura, precipitação e evapotranspiração de referência

O clima está em constante mudança. É inegável a ocorrência de alterações climáticas e os seus impactos neste futuro mais recente. Uma forma de avaliar a presença destes eventos climáticos é a

análise da variabilidade temporal das principais variáveis agroclimáticas, nomeadamente a temperatura, precipitação e ETo, indicadores de apoio à tomada de decisão em regadio.

Avaliando estas variáveis, recolhidas pela rede SAGRA, verifica-se uma variabilidade acentuada, tanto nos meses mais frios como nos mais quentes. Para as estações em análise, de Beja, Évora, Elvas, Moura e Odemira, zonas com características edafo-climáticas distintas, verifica-se uma variação térmica e pluviométrica de notar. Analisando os dados do mês tradicionalmente mais frio, janeiro (Quadro 2), verifica-se que nos anos mais recentes não se apuram temperaturas que se possam considerar como "baixas".

Durante o ano de 2003 registaram-se temperaturas máximas superiores a 20 ºC. Contudo, nota-se uma amplitude térmica acentuada, já que a temperatura mínima para este mês baixou até aos -11 ºC (estação de Moura, no ano de 2005).

A precipitação é o parâmetro climático que apresenta mais variabilidade espacial e temporal. Para a série de dados em análise, os valores acumulados de precipitação variaram de 1 mm (durante o ano de seca de 2005) a 135 mm (em 2010, estação de Odemira). Caso semelhante é o da ETo, que varia de um mínimo verificado de 24 mm (ano de 2013, estação de Moura) até um máximo 2,5 vezes superior, de 58,6 mm (ano de 2015, estação de Odemira).

Quadro 2 – Valores máximos e mínimos das temperaturas máxima e mínima, precipitação e evapotranspiração de referência durante o mês de janeiro entre os anos de 2003 e 2016.

	Temp. Máx. (ºC)		**Temp. Min. (ºC)**		**Prec (mm)**		**ETo (mm)**	
	Máx. (Ano)	**Min.** (Ano)	**Máx.** (Ano)	**Min**. (Ano)	**Máx.** (Ano)	**Min.** (Ano)	**Máx.** (Ano)	**Min.** (Ano)
Beja	**23,6** (2008)	**15,6** (2009)	**3,4** (2016)	**-4,3** (2005)	**95,6** (2009)	**0,7** (2005)	**48,6** (2005)	**24,1** (2009)
Elvas	**25,4** (2003)	**16,7** (2010)	**1,3** (2014)	**-5,2** (2009)	**124,4** (2010)	**0,9** (2005)	**48,9** (2005)	**27,1** (2009)
Évora	**23,3** (2003)	**16,9** (2009)	**1,5** (2014)	**-7,4** (2005)	**117,3** (2009)	**1,5** (2005)	**41,3** (2005)	**24,6** (2009)
Moura	**24,5** (2003)	**17,0** (2009)	**0,8** (2016)	**-10,9** (2005)	**103,7** (2010)	**0,5** (2005)	**43,2** (2016)	**24,0** (2013)
Odemira	**24,5** (2014)	**17,6** (2009)	**5,6** (2016)	**-2,8** (2005)	**135,0** (2010)	**0,9** (2005)	**58,6** (2015)	**30,7** (2004)

Padrão semelhante apresenta também o mês frequentemente mais quente e seco, julho. A Figura 4 apresenta a variabilidade temporal das 3 principais variáveis agrometeorológicas (temperatura, precipitação e ETo), verificando-se uma variação acentuada ao longo dos 14 anos registados. Para as três regiões verifica-se um contraste permanente da ocorrência de elevados valores de ETo, em paralelo, a reduzidos (senão nulos) valores de precipitação acumulada. Estes fatores, aliados a uma amplitude térmica significativa, com temperaturas máximas a ultrapassarem os 40 ºC, reforçam a necessidade da adoção de técnicas preventivas para combate ao défice de precipitação, tendência que não se prevê que se venha a alterar (pelo menos pela tendência dos últimos 14 anos). Importa aqui também refletir sobre as diferenças entre as zonas mais costeiras em comparação com as mais continentais. Se compararmos Odemira com Moura, duas regiões em pontos opostos na longitude continental, verifica-se que os acumulados de ETo são algo díspares, com a região mais ocidental a acumular, em média, valores 50 mm abaixo dos valores registados na região mais oriental (Odemira = 144 mm; Moura = 194 mm).

Analisando esta variabilidade espacial e temporal das variáveis agroclimáticas, levanta-se uma questão: haverá impacto desta variação sobre as necessidades de água das grandes culturas da região?

Figura 4 – Variabilidade temporal e espacial da ETo ( ), precipitação ( ), temperatura máxima ( ), média ( ) e mínima ( ), para as localidades de Beja (a), Elvas (b), Évora (c), Odemira (d) e Moura (e), para os meses de julho para os anos de 2003 a 2016.

3.4. Gestão do Risco

A variabilidade climática da região do Alentejo, apela à adoção de medidas de mitigação aos impactos das alterações climáticas. Eventos com trombas de água, tornados, geadas ou secas, impactam a gestão das culturas, tornando-se necessária a definição de estratégias de adaptação a estes eventos extremos.

As práticas aqui enumeradas visam precaver o desgaste dos espaços agrícolas, para que continuem a proporcionar os mesmos bens e serviços de forma sustentável, viabilizando a sua longevidade face às alterações climáticas.

Na arquitetura do PDR 2020, a área relativa à «Gestão do risco e restabelecimento do potencial produtivo» corresponde a uma visão da estratégia nacional que assume, no âmbito da atividade agrícola, a necessidade de gestão do risco como garantia da proteção do rendimento dos agricultores. Neste contexto, o seguro agrícola é o instrumento que melhor permite garantir alguma previsibilidade, estabilidade e sustentabilidade financeira às explorações agrícolas. A monitorização climática apoia os agricultores na comprovação das aleatoriedades climáticas de forma a minimizar o risco climático das empresas agrícolas.

3.5. Variabilidade espacial e temporal das necessidades de água das culturas anuais

A determinação das necessidades hídricas das culturas é elaborada de acordo com as recomendações da FAO. Partindo dos dados recolhidos de ETo, é calculada a evapotranspiração cultural (ETc) para as principais culturas anuais de primavera-verão da zona de influência – milho, girassol e tomate – utilizando a metodologia do balanço hídrico simplificado, para a determinação das necessidades de água das culturas, NA (Figura 9).

O milho é a cultura mais consumidora de água, em que as necessidades hídricas variam entre os 500 mm (Odemira, ano de 2011) e os 860 mm (Beja, ano de 2004). Por comparação dos anos húmidos com anos secos (mais e menos chuvosos), entre localidades mais costeiras e continentais, pode haver variações que atingem os 72%. Beja, a região mais exigente no que refere a necessidades de água, a cultura do milho requere entre 650 e 860 mm. Já Odemira, apresenta valores mais baixos, sendo que as necessidades máximas são inferiores às regiões mais interiores (Beja, Elvas, Évora e Moura); para esta região as necessidades de água para a cultura do milho variam entre 500 e 600 mm.

O girassol, cultura também representativa na região, na qual a estratégia de rega tradicionalmente utilizada é a de complemento, recentemente tem havido uma inversão com a introdução da condução da cultura em extensão para fins de multiplicação, em que a estratégia da rega no girassol tem em conta a maximização da produção. Como resultado tem-se verificado um aumento das dotações de rega aplicadas pelos agricultores, aproximando-se das NA estimadas segundo a metodologia da FAO e divulgadas pelo COTR. A estimativa das NA para o girassol apresenta valores mais baixos quando comparado com a cultura do milho, variando de 180 mm (Odemira, ano de 2011) a 510 mm (Beja, ano de 2004). Aqui encontram-se diferenças muito maiores do que para a cultura do milho; comparando o ano de 2004 com o ano de 2011, temos uma redução de 65% nas necessidades de água pela cultura. Apesar de consumos mais baixos, esta cultura apresenta um padrão semelhante à cultura do milho com as necessidades de água para a região de Beja (variando de 310 a 510 mm) superiores às da região mais costeira de Odemira (que variam de 180 a 350mm). Diferenças menos significativas do que para a cultura anual de eleição para a região do Alentejo, mas denotam uma variabilidade espacial e temporal de realçar.

*Figura 9 – Variabilidade temporal e espacial das necessidades de água das culturas (em mm) do milho **(a)**, girassol **(b)** e tomate **(c)**, para as localidades de Beja, Elvas, Évora, Odemira e Moura, para os anos de 2004 a 2016.*

Uma outra cultura de referir é a do tomate. Não tão exigente como a cultura do milho, mas com maior uso de água que a cultura do girassol, o tomate apresenta o mesmo comportamento em termos de variabilidade espacial, com a região de Beja (NA entre 580 e 805 mm) a apresentar maiores necessidades de água que Odemira (NA entre 420 e 540 mm), e temporal, com variações superiores a 38% (quando comparando os anos de 2004 e 2011 para Beja).

Estas diferenças para as três culturas aqui analisadas reforçam a variabilidade temporal (provável resultado das alterações climáticas) e, também, a variabilidade espacial do clima ao longo do tempo. Com as alterações climáticas prevê-se o aumento de anos secos, assim, de modo a adequar a rega às necessidades reais das culturas é importante a utilização de ferramentas de apoio à decisão sobre as culturas a usar e o consumo água, em períodos de escassez de água.

3.6. Variabilidade espacial e temporal das necessidades de água das culturas permanentes

À semelhança das culturas anuais foi determinada a evapotranspiração cultural (ETc) para as principais culturas permanentes da zona de influência – olival intensivo, olival sebe e vinha. No caso do olival, as necessidades em água variam com a sua tipologia de acordo com a superfície ensombrada pelas árvores, dependendo do compasso e da área da copa das árvores. As necessidades de água das culturas (NA) determinam-se com base na técnica do balanço hídrico

simplificado de frequência mensal, de forma a ter em conta apenas os meses em défice hídrico. (Figura 5).

O olival em sebe é a cultura mais consumidora de água, em que as necessidades hídricas variam entre os 222 mm (Odemira, ano de 2011) e os 558 mm (Beja, ano de 2005). Por comparação dos anos húmidos com anos secos (mais e menos chuvosos), entre localidades mais costeiras e continentais, pode haver variações superiores a 100%. Beja, a região mais exigente no que refere a necessidades de água, o olival em sebe requere entre 253 e os 558 mm. Relativamente a Elvas, apresenta valores máximos ligeiramente mais baixos, sendo que as necessidades máximas para esta região, variam entre 302 e 517 mm. No caso de Moura, apresenta valores ligeiramente mais baixos, sendo que as necessidades variam entre 270 e 476 mm.

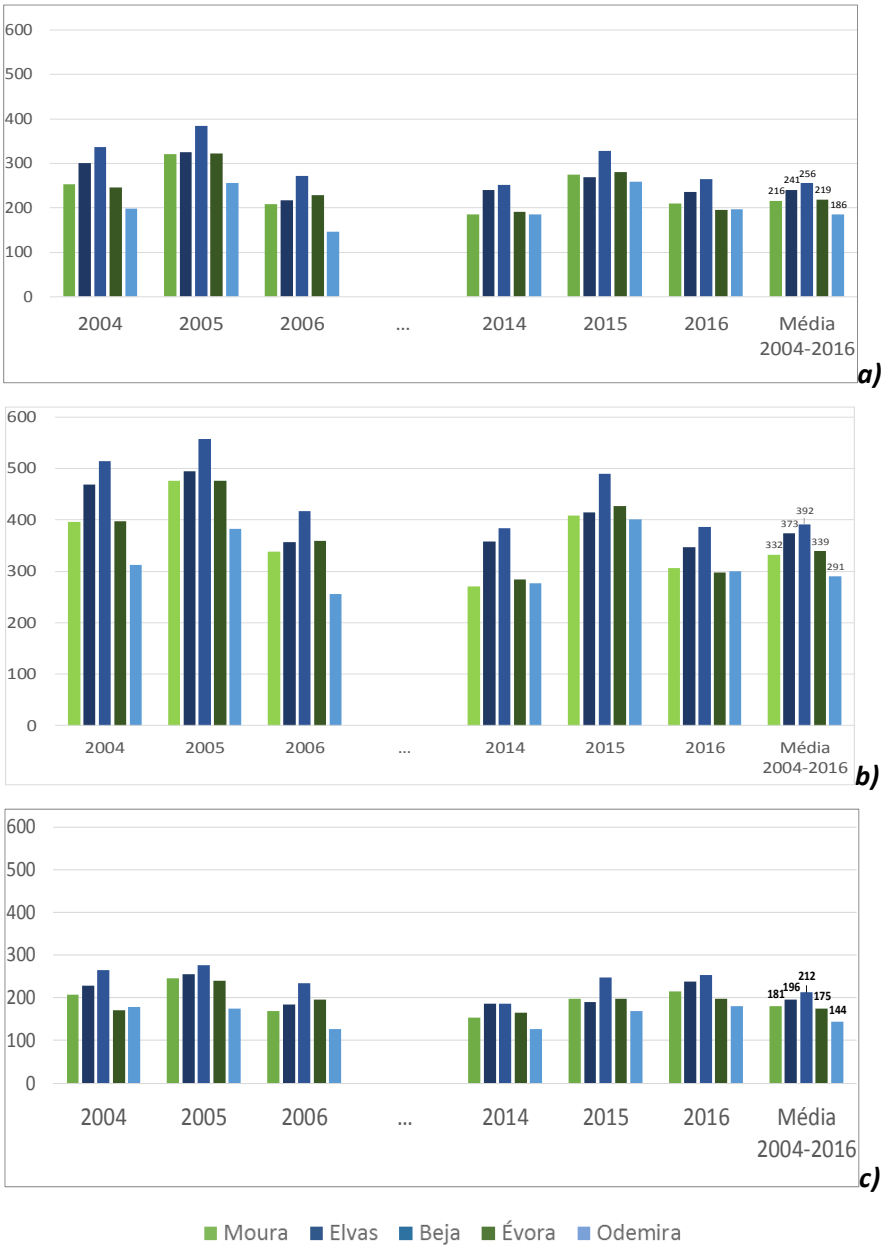


*Figura 10 – Variabilidade temporal e espacial das necessidades de água das culturas (em mm) olival intensivo compasso de 7x5 m com diâmetro médio da copa de 4 m **(a)**, olival sebe compasso de 4x1,35 m **(b)** e vinha para vinho **(c)**, para as localidades de Beja, Elvas, Évora, Odemira e Moura, para os anos de 2004 a 2016.*

O olival intensivo, a cultura mais representativa na região, apresenta valores de NA mais baixos quando comparados com o olival em sebe, variando de 135 mm (Beja, ano de 2011) a 385 mm (Beja,

ano de 2004). Relativamente a Elvas, apresenta valores máximos ligeiramente mais baixos, sendo que as necessidades máximas para esta região variam entre 158 e 348 mm. No caso de Moura, apresenta valores ligeiramente mais baixos, sendo que as necessidades máximas para esta região variam entre 167 e 321 mm.

Outra cultura permanente de grande representatividade na região é a vinha. Menos exigente que o olival em termos de necessidades de água de rega, a vinha apresenta NA máximas para a região de Beja, que variam entre 157 e 276 mm. No caso de Elvas, apresenta valores ligeiramente mais baixos, sendo que as necessidades máximas para esta região variam entre 102 e 255 mm. E no caso de Moura, as necessidades máximas para esta região variam entre 147 e 246 mm.

As três culturas permanentes aqui analisadas apresentam variações temporalmente maiores quando comparadas com as culturas anuais. Esta variação está intrínseca à grande variação temporal da precipitação, uma vez que a estimativa das necessidades hídricas destas culturas coincide com o ciclo vegetativo, período em a probabilidade de ocorrência de precipitação é elevada. Com as alterações climáticas, a variabilidade temporal e espacial climática, que se prevê que se acentue, torna ainda mais importante conhecer com exatidão as necessidades reais das culturas e generalizar a prática da gestão da rega com base na utilização de ferramentas de apoio à decisão e ao recurso de equipamento de monitorização da água no solo e/ou na planta.

4. Principais Efeitos das Alterações Climáticas na Agricultura

Dos principais impactes das tendências climáticas na agricultura, nomeiam-se a alteração do ciclo vegetativo por antecipação e encurtamento, perdas de produtividade e qualidade, encharcamento e erosão dos solos, situações de aridez, menor disponibilidade hídrica, maior incidência de pragas e doenças, escaldão de frutos e hortícolas, destruição das culturas e de infraestruturas ocasionada por ventos fortes e chuvas intensas, risco para espécies com maiores necessidades de frio, aumento do consumo de água de rega e aumento dos custos de produção.

O estado do tempo influencia praticamente todas as práticas culturais, nomeadamente a mobilização do solo, a sementeira, a aplicação de fitofármacos, a rega, a colheita. Nem sempre é possível a mobilização do solo, uma vez, que altera a estrutura e a compactação numa situação de seca ou de excessiva compactação do solo, dependendo da ocorrência de precipitação. A precipitação frequente e persistente pode prejudicar a oportunidade de sementeira estando dependente do teor de humidade de solo, quando muito elevado impossibilita a transitabilidade das máquinas. A aplicação de fitofármacos também exige tempo seco, pouco ventoso e sem ocorrência de precipitação logo após a aplicação dos mesmos, para não reduzir a eficiência do tratamento. Esse impedimento pode agravar a incidência de pragas e doenças devido à impossibilidade de realizar os tratamentos, podendo em situações extremas comprometer a cultura. A rega que serve para contrabalançar a água perdida por evaporação do solo e transpiração da cultura, depende da temperatura, humidade, radiação, velocidade do vento, precipitação e da consequente reserva de água no solo.

5. Considerações Finais

Agricultura e Ambiente sempre tiveram um papel de simbiose mútua, onde a influência num meio irá afetar proporcionalmente o outro. Torna-se então obrigatória a adaptação e o combate à variabilidade ambiental drástica, que tem ocorrido na última década em termos agrícolas, para que a produtividade e sustentabilidade a nível global se mantenha. De acordo com o Plano de Estratégia do COTR tem sido prioritário dar informação em tempo real que permita apoiar os agricultores na gestão do risco face aos fenómenos meteorológicos extremos, racionalizar o uso da água e da energia na agricultura de regadio, de modo a adequar a rega às necessidades reais das culturas, ao disponibilizar instrumentos de decisão sobre as culturas a usar e o consumo água em períodos de escassez de água – secas. O uso adequado da água, ao aumentar a eficiência da rega (diminuir as perdas de água não produtivas) e a uniformidade da rega (disponibilizar igual quantidade de água

por todas as plantas), permite a conservação solo, água e energia, e por consequente do ambiente em geral. Contribui-se assim para a sustentabilidade do regadio e o aumento da disponibilidade de água. A implementação de práticas conservativas do solo, o recurso a seguros de colheita apoiados pela monitorização climática, a escolha de variedades bem-adaptadas e estudo de novas variedades, a escolha de rotação de culturas são medidas de extrema importância para a mitigação e adaptação às alterações climáticas.

Referencias Bibliográficas

Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. 2013. *Estratégia de Adaptação da Agricultura e das Florestas às Alterações Climáticas. Portugal Continental.*

Pires, C. A. and Santos, L. 2015. *Predictabilidade Sazonal de Secas*. ISA Press.

Allen, R. G.; Raes, D.; Smith, M. and Pereira, L. S. 1998. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Roma.

Santos, F.D. 2006. Problemática das Alterações Climáticas no inicio do Século XXI. In F. D. Santos, & P. Miranda, *Alterações Climáticas em Portugal - Cenários; Impactos e Medidas de Adaptação*. Lisboa.

Balanço de energia e gases de efeito estufa no cultivo da macaúba

Adriana Corrêa Guimarães[1], Anderson Barbosa Evaristo [2,] Ignacio A. Fernández-Coppel[3] Leonardo Duarte Pimentel[4], Luis Manuel Navas[1] Pablo Martin Ramos [5], Jesus Martín-Gil [1]

[1] Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Avenida de Madrid 44, 34004 Palencia. España. acg@iaf.uva.es

[2] Departamento de Agronomia Universidade do Estado do Tocantins, 77020-122 Brasil. evaristo.ab@gmail.com

[3] Escuela de Ingenierías Industriales (CMeIM/EGI/ICGyF/IM/IPF) Ingeniería de los Procesos de Fabricación Universidad de Valladolid C/ Francisco Mendizábal, 1 47014 Valladolid. ignacio.alonso.fernandez-coppel@uva.es

[4] Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG 36570-900, Brasil

[5] Departamento de agricultura y ciencias ambientales, Universidad de Zaragoza Carretera de cauarte, s/n ,22071 Huesca, España pmr@unizar.es

Resumo

A ampliação da produção e uso da bioenergia é apontada como um dos mecanismo mais eficientes para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, existem diversas fontes de biomassa o que dificulta a comparação entre as matérias-prima utilizadas, bem como o impacto ambiental causado no processo produtivo. Vários estudos tem apontado a macaúba (Acrocomia aculeata) como uma espécie promissora para produção de biocombustíveis nas regiões tropicais. Entretanto trabalhos que mostram os benefícios ambientais do cultivo dessa palmeira como fonte de matéria prima para produção de biocombustíveis são inexistentes. Neste trabalho se utilizou a metodologia da Análise do Ciclo de Vida para valorar o comportamento ambiental do cultivo desta palmeira. O objetivo com este trabalho foi validar o potencial de produção de bioenergia e fazer uma estimativa das emissões de GHG, da captura de CO2 no cultivo e do fluxo de entrada e saída de energia durante um ciclo produtivo de macaúba, considerado em um horizonte de 30 anos do cultivo. De maneira geral, a eficiência de produção de energia por unidade de área aumenta linearmente com a produtividade da cultura, devido ao efeito de diluição dos insumos/energia envolvida no processo produtivo. As emissões de GHG, foram em torno de 150 Mg.CO2eq,ha-1 sendo que a fixação de CO2 durante o cultivo variou de 800 a 1400 Mg.CO2.ha-1.

Palavras chaves: *Acrocomia aculeata*, gases de efeito estufa, energia primaria.

Na energy-balance and greenhouse gas emissions analysis on macauba palm cultivation

Abstract

The expansion of the production and use of bioenergy is deemed as one of the most efficient mechanisms to reduce greenhouse gas (GHG) emissions. Nevertheless, the environmental impact of the production processes for many raw materials remains unexplored. Several studies have pointed to macauba palm (Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart.) as a promising species for biofuel production in the tropics, but investigations on the environmental benefits of the cultivation of this palm as a source of raw material for biofuel production have not been reported so far. The aim of this work has been to conduct an analysis of macauba production system in terms of GHG emissions and CO2 uptake for a productive cycle, considering a 30-year horizon. The energy conversion efficiency (energy outputs/inputs ratio) per unit area of land has been put in relationship with crop productivity and related to the dilution effect of production inputs. Results of the simulation estimate that GHG emissions from macauba crop would be around 150 Mg CO2eq ha-1, whereas CO2 fixation during cultivation would range from 796 to 1400 Mg CO2eq ha- 1. These results, compared with those of traditional energy crops such as sugarcane, oil palm, sunflower, corn or jatropha, suggest that macaúba crop may have the potential to outperform them in terms of efficiency. The domestication and exploitation in extensive farming of this species as an agroforestry crop, although still at an early stage, has a bright future.

Keywords: *Acrocomia aculeata,* Greenhouse gases, energy footprint.

1. Introdução

Inúmeros trabalhos têm mostrados os benefícios ambientais dos biocombustíveis em relação aos combustíveis fosseis, principalmente na redução da emissão de GHG (Morales et al, 2015; Gnansounou et al, 2009). Entretanto, existem diversas fontes de biomassa o que dificulta a comparação entre as matérias-primas utilizadas e o impacto ambiental causado no processo produtivo. O problema é agravado quando se considera cadeias agrícolas mistas, isto é, cadeias agroindustriais produtoras de alimento que geram co-produtos destinadas à produção de bioenergia, como o complexo soja, que gera proteína vegetal e biodiesel, respectivamente. Neste caso, não existe um consenso sobre o custo benefício dos impactos ambientais gerados.

Quando os biocombustíveis são produzidos a partir de culturas energéticas, os benefícios ambientais diferem em relação às culturas cultivadas, ao sistema de manejo e alteração do uso do solo (Fazio e Barbanti, 2014; Monti et al, 2009). Isso tem levado a busca por novas culturas energéticas que apresentam alta produtividade, menores custos de produção, baixo impacto ambiental e que não seja fonte de alimento tradicionalmente utilizado pelo homem.

Nesse sentido, vários estudos tem apontado a macaúba (*Acrocomia aculeata*) como uma espécie promissora para produção de biocombustíveis nas regiões tropicais (Motoike e Kuki, 2009; Evaristo, 2015). Além disso, existe a possibilidade de exploração em sistemas silvipastoris, o que poderá ser o diferencial ambiental deste cultivo (Motoike e Kuki, 2009; Pires et al, 2013). A macaúba é uma palmeira monoestipada de estipe liso podendo chegar a 16m de altura (Scariot et al, 1991). É uma planta arborescente, perene, que ocorre naturalmente nas Américas Central e do Sul, com maiores concentrações no Brasil (Henderson et al, 1997). Sua ocorrência natural está associada a áreas abertas (sem restrição luminosa) em biomas cuja vegetação natural é caracterizada por florestas tropicais e subtropicais, onde comumente é encontrada nas áreas antropizadas com pastagens ou associadas a lavouras (Scariot et al, 1995; Markley, 1956; Scariot et al, 1991). A macaúba é uma planta monoica, inflorescência em espádice, emite geralmente quatro cachos por planta ao ano (Manfio et al, 2011) e produtividade variando de 13.7 $Mg.ha^{-1}.y^{-1}$ a 50 $Mg.ha^{-1}.y^{-1}$ (CETEC, 1983; Ciconini et al, 2013) Os cachos são grandes e volumosos contendo de 150 a 500 frutos do tipo drupa, esféricos, com coloração marrom-amarelada quando maduros. O fruto é constituído pelo epicarpo (casca) bastante fibroso, mesocarpo oleaginoso (55 % a 69 % óleo), endocarpoduro altamente lignificado a qual envolve uma amêndoa rica em óleo (58 % a 63 %) (Ciconini et al, 2013; CETEC, 1983; Reis et al, 2012).

Trabalhos que mostram os benefícios ambientais do cultivo dessa palmeira como fonte de matéria prima para produção de biocombustíveis são inexistentes. Estudos que quantificam a demanda e a produção de energia primaria, a emissão GHG e captura de CO_2 em culturas energéticas são essenciais para avaliar os benefícios gerados pela a substituição dos combustíveis fosseis por biocombustíveis. Portanto, objetivo deste trabalho foi validar o potencial de produção de bioenergia e fazer uma estimativa das emissões de GHG, da captura de CO_2 no cultivo e do fluxo de entrada e saída de energia durante um ciclo produtivo de macaúba, considerado em um horizonte de 30 anos do cultivo.

2. Material e Métodos

2.1. Alcance, limites e unidade funcional

O trabalho está baseado na metodologia de análise de ciclo de vida (ACV). O alcance desse estudo concentrou-se no subsistema agrícola para a produção de biomassa para fins energéticos. e os limites do sistema incluem a produção dos insumos, combustíveis e máquinas agrícolas, transporte dos insumos, implantação, manejo e colheita dos cachos fresco (CF) da macaúba durante 30 anos de cultivo e o transporte dos CF para a unidade de processamento. Este estudo considerou do berço ao portão da fazenda.

A unidade funcional para o subsistema agrícola utilizada neste estudo foi megagrama de cacho fresco de macaúba por hectare por ano (Mg CF.ha-1.a-1). Na determinação do balanço energético a

unidade funcional foi Joule por hectare por ano. Para emissão dos GHG utilizou e carbono fixado pelo cultivo utilizou MgCO2eq. ha-1.y-1. Em todas unidades funcionais os resultado apresentados foram os valores médios referente aos 30 anos de cultivo da macaúba.

2.2. Caracterização do local de estudo e coleta de dados

As estimativas e os dados coletados nesse trabalho foram para região norte do Estado de Minas Gerais, Brasil. Esta região pertence ao bioma do Cerrado, clima segundo classificação de Koppen como Aw (tropical úmido, de savana com inverno seco e verão chuvoso) e precipitação média anual de 1.200mm. 23

Os dados coletados de produção de frutos e racemos (cachos) foram de uma população nativa de macaúba (latitude, -16°29'54.90", longitude -44°4'12.43", altitude 818 metros) em uma área de pastagem plantada (Brachiaria decumbes) com mais de 20 anos. Sendo assim para este estudo, considerou que uso atual das terras era pastagem plantada com topografia suavemente ondulada, o que representa a maior parte da ocupação do revelo da região norte do estado de Minas Gerais, Brasil (IBGE, 2006).

2.3. Inventário e cenários

A Tabela 1 apresenta os rendimentos operacionais das maquinas agrícolas, das atividades humana e dos insumos utilizados para cultivo da palmeira macaúba para 30 anos de cultivo. Os dados foram baseados nas informações das empresas Entaban Ecoenergéticas do Brasil Ltda (Entaban®), Acrotech Sementes e Reflorestamento Ltda (Acrotech®) e em publicações científicas (Pimentel et al, 2011; Motoike et al, 2013).

Tabela 1. Consumo de insumos agrícolas, maquinas agrícolas e trabalho humano para cultivo da macaúba em 30 anos.

Atividades	Und.ha^{-1}	Anos			
		0-1	2-5	6-9	10-30
Preparo e manutenção da área					
Maquinas e implementos	h	5.39	2.05	2.05	10.78
Trabalho humano	h	13.39	2.05	2.05	10.78
Plantio					
Maquinas e implementos	h	3.00	-	-	-
Trabalho humano	h	30.95	-	-	-
Manejo do cultivo					
Maquinas e implementos	h	3.83	5.33	9.92	53.13
Trabalho humano	h	14.83	69.33	73.92	389.13
Mudas	und	475	-	-	-
Calcário	t	4.00	0.70	2.80	14.70
Fertilizantes	t	0.37	2.52	6.17	44.03
Agroquímicos	Kg	10.00	13.52	8.72	45.78
Colheita					
Maquinas e implementos	h	0	4.1	28.37	175.6
Trabalho humano	h	0	59.8	255.3	3501.2

A produção de CF foi estimada com base na avaliação de 100 palmeiras nativas adultas da área de estudo. Foi quantificado o número de cachos por planta, número de frutos por cacho e peso médio do fruto e racemos. Para estimar a produtividade foi proposto 5 cenários de produtividades (tabela 2) com base nos dados coletados da plantas nativas, atribuindo um critério de seleção de plantas em função do número de cachos por planta. Para todos os cenários, os valores foram expressos em

megagrama de cachos fresco (CF) por hectare, considerando densidade de 461 plantas por hectare, no espaçamento 5 m x 5m em triangulo equilátero, conforme sugerido por Motoike et al (2013). A evolução da produtividade da macaúba em seu ciclo produtivo foi feita de forma similar ao da palma (Elaeis guineenses) conforme proposto por Corley e Tinker (2008).

Tabela 2. Cenários de produção de cachos fresco de macaúba com baseado no índice de seleção de plantas. Número de cacho/planta (NCP), produção de frutos/planta (PFP).

Parâmetros	Cenários				
	S1	S2	S3	S4	S5
Índice de Seleção*	médiapopulação	50%	30%	10%	5%
NCP	2.36	3.48	4.08	4.7	5.2
PFP (kg)**	57.87	85.33	100.04	115.24	127.50
Peso racimos (kg)	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17

* Índice de seleção baseado na avaliação do número de cachos de 100 plantas nativas de macaúba, 50%, 30%, 10% e 5% das plantas com os maiores números de cachos. **PFP = NCP x 24,52kg de frutos/cacho (produção média de frutos) considerando plantas com mais de 10 anos.

2.4. Análises do material vegetal

Uma amostra aleatória de 20 cachos colhidos foi utilizada para a quantificação das partes constituintes do fruto (casca, polpa, endocarpo e amêndoa), massa fresca, massa seca e teor umidade de cada parte constituinte do fruto e do racemo. Amostras das partes constituintes dos frutos e racemos foram retiradas para determinar a composição química elementar (C-H-N), poder calorífico superior e o teor de óleo na polpa e amêndoa. O teor de óleo da polpa e da amêndoa do fruto foi quantificado por ressonância magnética nuclear (RNM). Utilizou o aparelho MQC NMR Analyser (marca Oxford) seguindo o método proposto por ISO (1999). Para as demais análises as amostras foram secas e moídas em moinho de facas "tipo willey" e peneiradas em peneira sobrepostas com malhas de 200 e 270 mesh, sendo utilizada a fração retida nessa última.

A determinação da composição química elementar foi de acordo com a metodologia descrita por CEN/TS 15104, utilizando um analisador de elementos minerais, marca Perkin-Elmer, modelo 2400. O poder calorífico superior (PCS) de todas as partes constituintes do fruto, dos óleos da polpa e amêndoa e do racemo, foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ASTM D 2015-77 (1983) utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática. Para determinar o PCS do fruto (PCS_{fruto}) utilizou a formula abaixo:

$$PCS_{fruto} = (PCS_{casca} x PRF_{casca}) + (PCS_{polpa\ farelo}\, x\, PRF_{polpa\ farelo} + PCS_{polpa\ óleo}\, x\, M_{polpa\ óleo}) + (PCS_{endocarpo}\, x\, PRF_{endocarpo}) + (PCS_{amêndoa\ farelo}\, x\, PRF_{amêndoa\ farelo} + PCS_{amêndoa\ óleo}\, x\, M_{amêndoa\ óleo})$$

Onde:

PCS_{fruto} = Poder calorifico superior ($MJ.kg^{-1}$)

PCS = Poder calorifico superior ($MJ.kg^{-1}$)

PRF = Proporção de resíduo gerado em relação ao fruto(%)

$M_{polpa\ óleo}$ = Massa de óleo da polpa contido no fruto (g)

$M_{amêndoa\ óleo}$ = Massa de óleo da amêndoa contido no fruto (g)

O poder calorífico inferior(PCI) dos frutos e do racemo foi calculado conforme a formula , proposta por Jenkins (1990).

PCI= [(PCS-γ (r+0.09H)) (100-W)÷100]

Onde:

PCI = poder calorífico inferior do fruto(MJ.kg^{-1})

PCS = poder calorífico superior (MJ.kg^{-1})

γ = calor latente da água = 2.31MJ.kg^{-1} a 25°C

H =teor de hidrogênio (%)

W = teor de umidade da amostra (%)

r = W/ 100 - W

2.5. Balanço energético do cultivo

Com base nos dados do local de cultivo e dos coeficientes técnicos, estimou-se o uso de maquinas, insumos e trabalho. O fluxo de matéria de entrada e saída para a produção agrícola foram convertidos em energia equivalente e avaliada em análises de demanda acumulativa de energia (CED) e energia bruta (GE) A energia equivalente das entradas (energia consumida), CED, utilizadas para a produção agrícola é mostrado na tabela 3.

Tabela 3. Energia equivalente para as entradas para o cultivo da macaúba.

Recurso energético	Unidade	Equivalência –MJ	Referência
Combustível	kg	42	[52]
Graxas	kg	39	[52]
Lubrificantes	kg	40.2	[52]
Produção de mudas	ha	176.63	Calculado
Calcário	t	30	[53]
Nitrogênio	kg	60.6	[54]
Fósforo	kg	11.1	[54]
Potássio	kg	6.7	[54]
Inseticidas	kg	152	[55]
Herbicidas	l	331.65	[55]
Fabricação das maquinas	kg	14.62	[32]
Fabricação dos pneus	kg	85.83	[32]
Trabalho humano	h	2.3	[56]

A energia gasta para as operações mecanizadas foram calculados de acordo com a soma dos consumos de combustível, graxas e lubrificante para cada operação mecanizada multiplicando pela sua respectiva energia equivalente. A energia gasta na fabricação dos tratores e implementos foi calculada com base na metodologia de depreciação energética (Doering et al, 1977). O cálculo energético da produção de mudas, foi realizado com base nos dados fornecidos pela empresa Acrotech® e convertido em energia pelos fatores equivalentes utilizados na tabela 2.

Os gastos de energia em relação aos transportes dos insumos para produção (mudas, fertilizantes e agroquímicos) foram em relação ao consumo de combustíveis, graxas e lubrificantes para transporte rodoviário de acordo com a capacidade de carga e modelo do caminhão utilizado no Brasil (MMA, 2011). Para o transporte das mudas considerou um caminhão de capacidade de carga de 10t e 710km a distância percorrida da empresa que produz as mudas até a área de cultivo. No transporte dos fertilizantes considerou um caminhão de capacidade de carga de 20t, as distância de 116km e 490km para o transporte de calcário e adubos respectivamente (distância das fábricas mais próximas da área de cultivo). Em relação aos agroquímicos considerou o caminhão de capacidade de 10 t e distância percorrida de 70km. Todo combustível estimado para os tratores e caminhões foi na proporção de 95% de diesel e 5% de biodiesel conforme lei federal do Brasil. Sendo assim o valor energético deste combustível foi calculado conforme a mescla obrigatória no Brasil.

A quantificação da energia bruta (GE) foi calculado com base na formula abaixo:

$$EE_{cacho} = (PCI_{frutos} \times P_{frutos}) + (PCI_{racemos} \times P_{racemos})$$

Onde:

EE_{cf} = Energia equivalente dos cachos fresco ($GJ.ha^{-1}$)

PCI_{frutos} = Poder calorífico inferior dos frutos ($GJ.Mg^{-1}$)

$PCI_{racemos}$ = Poder calorífico inferior dos racemos ($GJ.Mg^{-1}$)

P_{frutos} = Produtividade de frutos ($Mg.ha^{-1}$)

$P_{racemos}$ = Produtividade de racemos ($Mg.ha^{-1}$)

A energia produzida total foi calculada de acordo PCI dos frutos e raquis multiplicado pela produtividade de frutos e raquis.

Baseado na CED e GE, dois diferentes indicadores foram utilizados para avaliação energética: energia liquida (NE) e eficiência energética (EE). Eles foram calculados conforme a seguintes formulas:

$$NE = GE - CED$$

$$EE = \frac{GE}{CED}$$

2.6. Inventário dos gases de efeito estufa (GHG) no cultivo

Com base nos coeficientes técnicos do cultivo e nos insumos utilizados foram estimados as emissões de GHG e convertido em CO_2 e com base na estimação do seu potencial de aquecimento global para um horizonte de tempo de 100 anos (IPCC, 2007). A estimação das emissões GHG durante os 30 anos de cultivo foram em relação à alteração do uso do solo, operações mecanizada, transporte dos insumos, aplicação e produção de fertilizantes, produção de agrotóxicos e de combustível fóssil (diesel), ao manejo do solo e pelas emissões indiretas dos fertilizantes.

Para as operações mecanizadas no cultivo e dos transportes de insumos os cálculos das emissões GHG foram estimados com base no consumo de diesel gastos em cada atividade multiplicado pelas as emissões dos GHG de acordo com PAS 2050 e IPCC (IPCC, 2006; MCTI, 2010). As emissões provenientes da produção de diesel foram calculados com base no trabalho de Vianna (2006).

As emissões diretas de GHG referentes ao manejo do solo, aplicação de fertilizantes e corretivos (calcário) e suas emissões indiretas, foram baseados conforme IPCC (2006). Os GHG emitidos durante a fabricação dos insumos para a produção agrícola (inseticidas, herbicidas, fertilizantes a base de nitrogênio, potássio e fósforo) foram calculados multiplicando a quantidade utilizada pelos coeficientes sugeridos por Macedo (2008) e UNFCCC (2014).

O CO_2 fixado no cultivo da macaúba foi estimado com base no estudo Toledo (2010), a qual estimou o estoque de carbono de plantas nativas de macaúba de idade desconhecida (estipe, folhas e raízes). Para os cachos, determinou o teor de carbono nos frutos e no racemo pela metodologia CEN/TS 15104 (2011). Em seguida multiplicou o teor de carbono pela a produtividade de cachos e feito a conversão de carbono para CO_2 (44/12).

3. Resultados e Discussão

3.1. Produtividade agrícola

A tabela 4 mostra a produtividade estimada de cacho fresco para 30 anos do cultivo da palmeira macaúba além da produção de massa seca, carbono e o teor de óleo nas partes constituintes do fruto. Os frutos representam 95% da massa seca do cacho, sendo que a polpa é a parte constituinte mais representativa do fruto, 46,8%, e contribuiu com 46,27% da massa seca do cacho (Tabela 4). Em sua composição, 45,5% é óleo o que demonstra a alta produção de óleo no cacho. Em uma 1Mg de massa seca de cacho produz 235.3 kg óleo, sendo 203,05 kg de óleo é proveniente da polpa e o restante da amêndoa. A casca é a segunda parte constituinte de maior quantidade em relação ao fruto e ao cacho, seguido pelo endocarpo e amêndoa respectivamente. O endocarpo é a parte é a que apresenta o maior teor de carbono, seguido pela casca, racemo, amêndoa e polpa. A polpa apresenta a maior parte constituinte do fruto, provavelmente, devido sua natureza fibrosa, carnuda e pelo ao conteúdo de óleo (Reis et al, 2012; Coimbra e Jorge, 2011). Os altos teores de carbono no

endocarpo e na casca devem-se devido sua constituição e função. A casca camada protetora do fruto, quando maduro sofre esclerificação e lignificação, enquanto o endocarpo, camada que protege a amêndoa, é uma estrutura muito mais compacta e rígida pelo alto grau de lignificação dos esclereídeos (Reis et al, 2012).

Tabela 4. Evolução da produtividade de cacho fresco (t.ha-1) da macaúba em 30 anos e produção de massa seca (MS) e teor carbono (C) e óleo das partes constituintes do cacho.

Cenários		Anos*					
		5	6	7	8	9	10 em diante
		t.ha^{-1}					
S1		9.8	14.1	18.3	21.0	24.5	27.9
S2		14.5	20.9	27.0	30.9	36.1	41.2
S3		17.0	24.5	31.7	36.2	42.3	48.3
S4		19.6	28.2	36.5	41.7	48.7	55.7
S5		21.7	31.2	40.4	46.2	53.9	61.6
Partes constituintes do cacho			MS (kg)	C (%)	Óleo (%)		
Fruto	Casca		259.83	47.2	-		
	Polpa		446.27	43.8	45.5		
	Endocarpo		196.59	48,0	-		
	Amêndoa		51.92	45,0	62.1		
Racemos			45.40	45.9	-		
Total cacho (kg)			1000	456.9	235.3		

* Evolução da produtividade baseado no aumento de produção de cacho ao longo dos anos com base na palma de óleo (Corley&Tinker, 2008)

A produtividade de frutos cresce em todos os cenários estimados ao longo dos anos (tabela 4). A medida que selecionou plantas com maiores números de cachos por planta a produtividade cresce, alcançado uma produtividade média 61.6 Mg.ha^{-1} de CF no S5 (5 % das plantas com maiores números de cacho de uma população nativa) após 10 anos de cultivo. Estudos mostram que em dendê o parâmetro número de cachos por planta apresenta alta herdabilidade e baixa influência ambiental (Lopes et al, 2012; Gomes et al, 2014). Nesse sentido, ao selecionar plantas com que apresentam elevado número de cacho tende gerar progênies com alto número de cachos por planta. Plantas não domesticada ou em processo de domesticação, como a macaúba, apresentam alta variabilidade genética e os ganhos iniciais por meio do melhoramento de plantas tendem ser elevados no inicio do programa de melhoramento. Portanto a escolha da população base e dos métodos de seleção pode ser determinante no que refere ao aumento da produtividade de frutos no cultivo da macaúba ao longo dos anos.

3.2. Balanço energético do cultivo

As estimativas da CED e da GE em 30 anos de cultivo da macaúba nos diferentes cenários de produtividade frutos são apresentados na figura 1. O consumo médio de energia ao longo dos anos nos diferentes cenários variou 20.9 GJ.ha^{-1} y^{-1} a 22.2 GJ.ha^{-1} y^{-1} para os cenários 1 e 5 respectivamente. Os itens de maior e menor consumo de energia para ambos os cenários foram para produção de fertilizantes e agrotóxicos e produção de máquinas e implementos, 17.85 GJ.ha^{-1} y^{-1} e 0.0791GJ.ha^{-1} y^{-1} respectivamente. Esses itens obtiveram o mesmo consumo de energia em todos os cenários. Isto ocorre porque o manejo cultural dos cultivos para todos os cenários são iguais, não ocasionando aumento na utilização de insumos como agrotóxicos e fertilizantes.

O consumo de combustíveis foi o segundo fator que mais contribui para o CED, variando de 3.55 GJ.ha^{-1} y^{-1} no S1 a 3.68 GJ.ha^{-1} y^{-1}. Essa variação entre os cenários é explicada devido ao aumento da

produtividade de cachos, que promove maior consumo de combustíveis na colheita e no transporte. O parâmetro que houve maior aumento entre os cenários foi para a energia gasta devida as atividades humanas, o qual ocorreu um aumento de 53% no S5 em relação ao S1. Da mesma forma que ocorre para o consumo dos combustíveis, a operação da colheita exige uma maior mão de obra devida o acréscimo da produtividade entre os cenários.

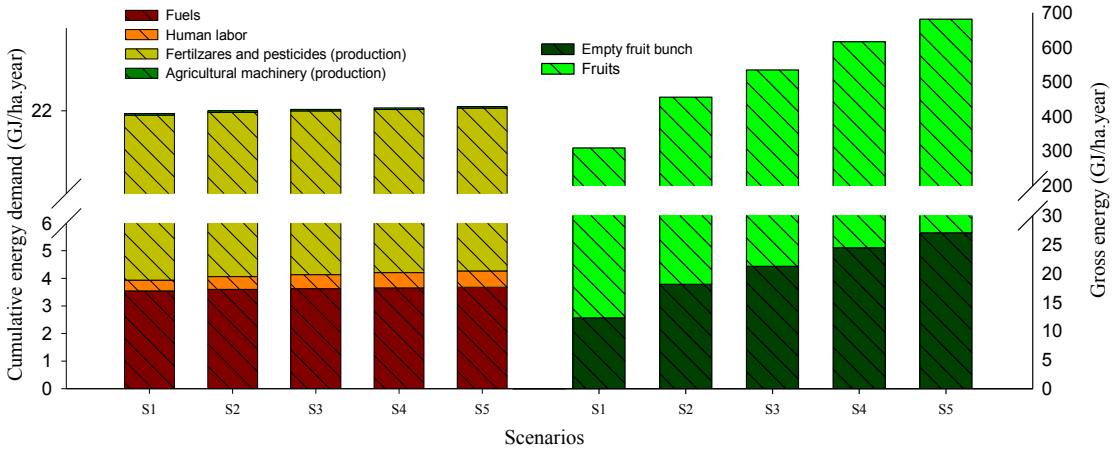


Figura 1. Estimativa do balanço de energia do cultivo da macaúba em 30 anos de cultivo para os diferentes cenários de produtividade de cachos proposto. Valores médios anual de entrada e saída de energia

Em relação a energia bruta total (frutos mais racemos), entre os cenários avaliados a estimativa do GE aumenta consideravelmente entre os cenários alcançando a 681.01 GJ.ha^{-1} y^{-1} no S5, um aumento de aproximadamente 220% em relação ao S1 (Figura 1). Os frutos compõem aproximadamente 96% GE para todos os cenários. O elevado acréscimo da GE entre os cenários são devidos ao crescimento da produtividade de cachos e do alto poder calorifico das partes que compõem os frutos. Óleos vegetais apresentam altos valores de poder calorifico podendo chegar próximo a de combustíveis fosseis como o diesel (Ramadhas et al, 2004). Nos cachos de macaúba (racemos mais frutos), 23,5% de sua constituição são óleos da polpa e amêndoa (tabela 4). O endocarporepresenta em torno de 20% da matéria seca do cacho e por ser uma estrutura bastante densa e lignificada o apresenta elevado poder calorific (Reis et al, 2012; Vilas Boas et al, 2010).

A estimativa da avaliação energética (NE e EE) do cultivo da macaúba para ambos cenários proposto, demonstra que está espécie possui um grande potencial para como cultura energética para regiões tropicais (Tabela 5). No S1, a NE e EE já é mais eficiente quando comparado as culturas anuais como girassol, milho e mamona (Tabela 5). Ao elevar o potencial produtivo das plantas, S2, o cultivo da macaúba torna-se mais eficiente energeticamente quando comparado a espécie perene como a *Jatropha curcas* (Tabela 5). Em relação aos cenários mais produtivos, S4 e S5, a eficiência a EE no cultivo da palmeira macaúba pode ultrapassar o dendê, a maior oleífera cultivada no mundo. Em relação ao CED o cultivo da macaúba apresenta os maiores níveis quando comparado a demais culturas energéticas, exceto ao milho. O cultivo dessa palmeira demonstra ser altamente dependente de insumos e combustíveis (tabela 1, figura 1) o que provoca um elevado CED para todos cenários. No entanto a elevação do CED é pequena quando eleva a produtividade da macaúba (Figura 1, Tabela 5).

A macaúba após o florescimento e polinização, forma um cacho de racemo comprido e fibroso onde os frutos estão fixados. Esses frutos apresentam uma casca fibrosa, polpa com alto teor de óleo de predominância insaturada, endocarpo altamente rígido e lignificado e amêndoa rica em óleo predominantemente saturado, o que conferem aos cachos alto valor energético (Reis et al, 2012; Nunes et al, 2015; Coimbra e Jorge, 2011). Ao selecionar plantas com maiores números de cachos a NE e EE eleva substancialmente ultrapassando culturas energéticas tradicionais. Assim, com a

domesticação e o melhoramento dessa espécie a macaúba pode ser uma das mais promissoras culturas energéticas de regiões tropicais devido a capacidade de produção de energia primaria a partir dos óleos e coprodutos gerados aos quais podem ser matéria prima para a produção de diversos biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

Tabela 5. Demanda acumulativa de energia (CED), energia liquida (NE) e eficiência energética (EE) dos cinco cenários proposto do cultivo da macaúba e de outras culturas energéticas utilizado em regiões tropicais.

Crop	CED ($GJ.ha^{-1}$)	NE ($GJ.ha^{-1}$)	EE ($GJ.GJ^{-1}$)	Reference
Macauba - S1	21.9	287.2	14.1	calculate
Macauba - S2	22.0	433.8	20.7	calculate
Macauba - S3	22.1	512.3	24.2	calculate
Macauba - S4	22.1	593.5	27.8	calculate
Macauba - S5	22.2	658.9	30.7	calculate
Coconutpalm	8.2	213	13.1	[6]
Oil Palm	12.1	571	25.1	[6]
Jatropha	5.9	130	16.7	[6]
Castor bean	8.6	108	10.5	[6]
Sugar Cane*	20.7	577	28.9	[6]
Maize	28.2	141	6.6	[6]
Sunflower	18	141	7.8	[6]

* Para cana-de-açúcar não está sendo considerados os resíduos lignocelulósicos.

3.3. Balanço de CO_2

As estimativas das emissões de gases de efeito estufa e da fixação de gás carbono pela palmeira macaúba durante o cultivo para os cenários propostos são apresentados na Figura 2. Em todos os cenários proposto as emissões de GHG foram similares ocorrendo um ligeiro aumento de aproximadamente 1 % no S1 em relação ao S5 atingindo 148.99 Mg $CO_{2eq}.ha^{-1}$. Em todos os cenários o manejo do cultivo foi o maior responsável pelas emissões GHG sendo que as emissões diretas e indiretas N_2O pelo uso de ureia e calcário são os principais responsáveis pelas emissões durante o manejo da cultura. Os fertilizantes e calcário ainda foram responsáveis por aproximadamente 36 Mg $CO_{2eq}.ha^{-1}$ referente as emissões de GHG durante a produção. Montiet et al. (2009) mostra que o maior impacto na emissões de GHG de quatro culturas energéticas perenes, miscanthus (*Miscanthussinensis*×*Giganteus* Greef &Deuter), gian treed (*Arundodonax* L.), switchgrass (*Panicum virgatum* L.) ecynara (*Cynara cardunculus* L.), são devidos ao uso de fertilizantes.

O segundo componente de maior emissão de GHG foi a alteração do uso do solo, de pastagem para cultivo de espécie perene, o qual representou 42.5 Mg $CO_{2eq}.ha^{-1}$ para ambos os cenários. As emissões de GHG devido a alteração do uso do solo pode variar bastante em relação a vegetação a que encontra antes da alteração do solo. As maiores emissões GHG é quando ocorre a conversão de florestas para culturas agrícolas, entretanto quando a conversão é de pastagem, principalmente degradadas, as emissões são menores podendo ocorrer ganhos de carbono no solo (Germer e Sauerborn, 2008; Fargione et al, 2008).

A colheita foi o único fator que representou variação entre os cenários. Nos cenários mais produtivos ocorreu um pequeno aumento nas emissões de GHG em relação ao maior consumo de diesel na colheita e transporte dos cachos. Entretanto entre o S1 e S5 houve um acréscimo de 6 % o que promoveu emissões de GHG na ordem de 5.025 Mg $CO_{2eq}.ha^{-1}$ no S5. Apesar da produtividade de cacho crescer consideravelmente entre os cenários, o pequeno aumento da emissão de GHG na colheita é pelo fato de utilizar muita mão-de-obra nessa operação.

A escolha da matéria prima para produção de biocombustíveis reflete diretamente na quantidade de GHG emitidos e por consequência nos benefícios ambientais promovido pelos biocombustíveis. Estudos de análise de ciclo de vida de biocombustíveis a partir de culturas energéticas mostram que grande parte das emissões de GHGe outros impactos ambientais são devidos as atividades agrícolas (Hansen, 2007; Fazio e Monti, 2011). Li & Mupondwa (2014) em seu estudo relatam que as emissões de GHG relativas a produção do óleo camelina (*Camelina sativa*) para a produção de biodiesel varia de 66.5 % para 70.3 % de acordo com os diferentes cenários proposto neste trabalho. González-García et al.(2013) relatam que 78 % das emissões de GHG do biodiesel a parte da colza são devidos a fase a agrícola. Nesse sentido a escolha de matéria-prima que emitem menores quantidades de GHG e tenham altas taxas de fixação de CO_2 são desejáveis do ponto de vista ambiental.

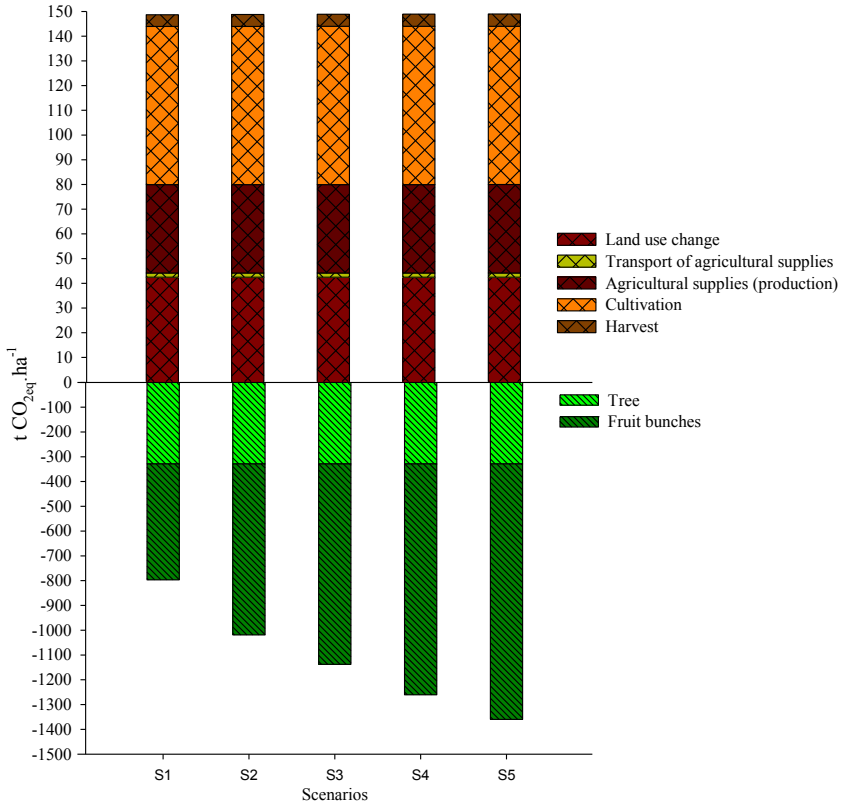


Figura 2. Estimativa da emissão de GHG e fixação de CO2eq em 30 anos de cultivo da macaúba em diferentes cenários de produtividades de cachos proposto.

No cultivo da macaúba os cachos são responsável maior parte do CO_2 fixado no cultivo, chegando a representar 81 %, S5, do CO_2 fixado pela planta durante cultivo (Figura 2). Nesse sentido com o aumento da produtividade de cachos ocorre grande fixação de CO_2 podendo alcançar no S5, 1.7 $GgCO_{2eq}.ha^{-1}$ em 30 anos de cultivo. O balanço de emissões CO_{2eq} entre os cenários varia de -977 Mg $CO_{2eq}.ha^{-1}$ no S1 até -1,539 Mg $CO_{2eq}.ha^{-1}$ no S5. Esses valores representam o grande potencial dessa espécie na mitigação dos efeitos climáticos. Germer & Sauerborn (2008) estimou que o balanço de GHG no cultivo do dendê (Oil Palm) variou -136 Mg $CO_{2eq}.ha^{-1}$ a 1,335 Mg $CO_{2eq}.ha^{-1}$ nas diferentes forma de manejo e alteração do uso do solo. A provável grande quantidade de CO_2 fixado no cultivo da palmeira macaúba é devida à alta produtividade de frutos (Motoike e Kuki, 2009; Evaristo, 2015), a composição e peso dos frutos (Evaristo, 2015) e a densidade de plantio dessa espécie. Nesse estudo considerou uma densidade de plantio de 400 plantas por hectare (Motoike et al, 2013), cerca 3 vezes mais do que o recomendado para o cultivo do dendê (Corley e Tinker, 2008).

4. Conclusão

Este estudo comprova o elevado potencial de produção de bioenergia da palmeira macaúba. Quando comparado às demais culturas energéticas, a macaúba apresenta-se com elevada eficiência energética, sendo superior a diversas culturas energéticas nos cenários mais produtivos (S4 e S5).

As emissões de GHG variam em pequenas quantidades nos diferentes cenários proposto, entretanto, a fixação de CO_2 aumenta a medida que a produtividade de fruto eleva. A macaúba pode promover grandes ganhos ambientais em relação aos biocombustíveis produzidos a partir dos seus frutos. Com o melhoramento genético desta espécies através de métodos de seleção para aumento na produtividade de cachos os benefícios ambientais podem crescer substancialmente.

Bibliografia

ASTM - American Society for Testing and Materials. 1983. Standard Method for Gross Calorific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Bomb Calorimeter.

CEN. 2011. European Committee for Standardization. EN 15104 : Solid biofuels - Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen. CEN, Brussel

CETEC. 1983. Programa Energia. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Relatório final. Centro Tecnológico de Minas Gerais, Belo Horizonte

Ciconini G, Favaro S, Roscoe R, Miranda C, Tapeti C, Miyahira M, Bearari L, Galvani F, Borsato A, Colnago L. 2013. Biometry and oil contents of Acrocomia aculeata fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Industrial Crops and Products* 45:208-214

Coimbra MC, Jorge N. 2011. Characterization of the Pulp and Kernel Oils from Syagrus oleracea, Syagrus romanzoffiana, and Acrocomia aculeata. *Journal of food science* 76 (8):1156-1161

Corley R, Tinker P. 2008. *The oil palm*. 4th edn. Blackwell Science Ltd, Oxford

Doering III OC, Considine TJ, Harling CE. 1977. *Accounting for tillage equipment and other machinery in agricultural energy analysis*. Purdue Univ., Lafayette, Ind.(USA). Agricultural Experiment Station,

Evaristo AB. 2015. Conservação pós-colheita e potencial bioenergético de frutos de macaúba (Acrocomia aculeata). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

Fargione J, Hill J, Tilman D, Polasky S, Hawthorne P. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. Science 319 (5867):1235-1238

Fazio S, Barbanti L. 2014. Energy and economic assessments of bio-energy systems based on annual and perennial crops for temperate and tropical areas. *Renewable Energy* 69 (0):233-241. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.045

Fazio S, Monti A. 2011. Life cycle assessment of different bioenergy production systems including perennial and annual crops. *Biomass and Bioenergy* 35 (12):4868-4878. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.014

Germer J, Sauerborn J. 2008. Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. *Environment, Development and Sustainability* 10 (6):697-716

Gnansounou E, Dauriat A, Villegas J, Panichelli L. 2009. Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. *Bioresource Technology 100* (21):4919-4930. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.067

Gomes Jr RA, Gurgel FdL, Peixoto LdA, Bhering LL, da Cunha RNV, Lopes R, Pina AJdA, Veiga AS. 2014. Evaluation of interspecific hybrids of palm oil reveals great genetic variability and potential selection gain. Industrial Crops and Products 52:512-518. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.036

González-García S, García-Rey D, Hospido A. 2013. Environmental life cycle assessment for rapeseed-derived biodiesel. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18 (1):61-76

Henderson A, Galeano-Garces G, Bernal R. 1997. *Field guide to the palms of the Americas*. Princeton University Press,

IPCC -Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use, vol 4. Institute for Global Environmental Strategies, Japan

IPCC -Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Summary for Policymakers. In: Solomon S, Qin D, Manning M et al. (eds) Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC, vol 4. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA,

IPCC. 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC Fifth Assessment Report. UN - WMO, Geneva, Switzerland

ISO. 1999. International Organization for Standardization- ISO 10565 Oilseeds—Simultaneous Determination of Oil and Moisture Contents—Method Using Pulsed Nuclear Magnetic Resonance Spectrometery. Geneva, Switzerland

Jenkins B. 1990. Fuel properties for biomass materials. In: International Symposium on Application and Management of Energy in Agriculture: The Role Biomass Fuels, Nova Delli.

Li X, Mupondwa E. 2014. Life cycle assessment of camelina oil derived biodiesel and jet fuel in the Canadian Prairies. *Science of the Total Environment* 481:17-26

Lopes R, da Cunha RNV, de Resende MDV. 2012. Produção de cachos e parâmetros genéticos de híbridos de caiaué com dendezeiro. *Pesq agropec bras*, Brasília 47 (10):1496-1503

Macedo IC, Seabra JE, Silva JE. 2008. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and bioenergy* 32 (7):582-595

Manfio CE, Motoike SY, Pimentel LD, Vanessa QAY, SatoI AY. 2011. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. *Ciência Rural* 41 (1):70-76

MCTI. 2010. Emissões de Gases de Efeito Estufa no Transporte Rodoviário. In: 2º Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Ministério da Ciência e Tecnologia- MCTI, Brasilia,Brasil,

MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2011. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Brasil

Monti A, Fazio S, Venturi G. 2009. Cradle-to-farm gate life cycle assessment in perennial energy crops. *European Journal of Agronomy* 31 (2):77-84

Morales M, Quintero J, Conejeros R, Aroca G. 2015. Life cycle assessment of lignocellulosic bioethanol: Environmental impacts and energy balance. R*enewable and Sustainable Energy Reviews* 42:1349-1361

Motoike S, Kuki K. 2009. The Potential of Macaw Palm (Acrocomia Aculeate) as Source of Biodiesel in Brazil. *International Review of Chemical Engineering-Rapid Communications* 1 (6):632-635

Motoike SY, Carvalho M, Pimentel LD, Kuki KN, Paes JMV, Dias HCT, Sato AY A. 2013. A cultura da Macaúba: Implantação e manejo de cultivos racionais, vol 1. Viçosa, Brazil

Nunes AA, Favaro SP, Galvani F, Miranda CH. 2015. Good practices of harvest and processing provide high quality Macauba pulp oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*

Pas B. 2011. 2050: 2011,". Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services:45

Pimentel L, Manfio C, Motoike S, Paes J, Bruckner C. 2011. Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. In: Macaúba: potencial e sustentabilidade para o biodiesel. Belo Horizonte, MG, pp 20-30

Pimentel LD, Manfio CE, Motoike SY, Paes JMV, Bruckner C, H. 2011. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1 aproximação. *Informe Agropecuário* 32:30-38

Pires TP, dos Santos Souza E, Kuki KN, Motoike SY. 2013. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. *Industrial Crops and Products* 44:200-210

Ramadhas A, Jayaraj S, Muraleedharan C. 2004. Use of vegetable oils as IC engine fuels—a review. *Renewable energy* 29 (5):727-742

Reis SB, Mercadante-Simões MO, Ribeiro LM. 2012. Pericarp development in the macaw palm Acrocomia aculeata (Arecaceae). *Rodriguésia* 63 (3):541-549

Scariot AO, Lleras E, Hay JD. 1991. Reproductive biology of the palm Acrocomia aculeata in Central Brazil. *Biotropica* 23 (1):12-22

Scariot A, Lleras E, Hay JD. 1995. Flowering and fruiting phenologies of the palm Acrocomia aculeata: patterns and consequences. *Biotropica*:168-173

UNFCCC. 2014. United Nations Framework Convention on Climate Change Approved consolidated baseline and monitoring methodology ACM0017: Production of biodiesel for use as fuel. Version 2.010. http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved. Accessed December, 15, 2015

Vianna FC. 2006. Análise de ecoeficiência: Avaliação do desempenho econômico ambiental do biodiesel e petrodiesel. 205f. Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, Brasil

Vilas Boas M, Carneiro A, Vital B, Carvalho A, Martins M. 2010. Efeito da temperatura de carbonização e dos resíduos de macaúba na produção de carvão vegetal. *Scientia Forestalis*, Piracicaba 38 (87):481-490

Planificación de la mecanización agraria de las comarcas de Albacete

Rodolfo Bernabeu[1] , Mariano Suárez de Cepeda[2], Fatima Oliveira[3] Raimundo Romero[4]

[1] ETSIAM-UCLM, Av. Ciudad Universitaria, s/n, 02071 Albacete, España. rodolfo.bernabeu@uclm.es

[2] ETSIAM-UCLM, Av. Ciudad Universitaria, s/n, 02071 Albacete, España. mariano.suarez@uclm.es

[3] Escola Superior Agrária de Coimbra, Bencanta, 3045-601 Coimbra, Portugal. foliveira@esac.pt

[4] ETSIAM-UCLM, Av. Ciudad Universitaria, s/n, 02071 Albacete, España. raimundo.romero@uclm.es

Resumen

Albacete es una provincia española que pertenece a la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. Está localizada en el sureste de la Península Ibérica y de la Meseta Central. Considerando demarcaciones históricas, factores naturales, tratamiento estadístico de los datos en el Censo Agrario y la Encuesta sobre la estructura de las explotaciones agrícolas del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), distribución de cultivos, actividad productiva de las explotaciones y tipos de explotación, se divide la provincia en comarcas. La provincia se divide en 7 comarcas: Mancha, Manchuela, Sierra de Alcaraz, Centro, Almansa, Sierra del Segura y Hellín.

El objetivo de este trabajo es estudiar el sistema de mecanización agraria de cada una de las comarcas. De esta forma se podrá determinar las medidas que permitan una planificación de maquinaria agrícola de las mismas.

El método empleado integra una serie de encuestas. En ellas se estudia la estratificación de las superficies de las explotaciones, la distribución de cultivos, la maquinaria de cada una de ellas, a partir de estas se obtienen los costes de cada uno de los tipos de explotación e índices de mecanización que relacionan conjuntamente los parámetros anteriores.

Los resultados proporcionan la estructura de mecanización de cada una de las explotaciones de las comarcas de Albacete, así como las diferencias en los niveles de mecanización de las mismas.

Como conclusiones se muestra las características más destacadas que permiten implementar modelos de planificación de mecanización de explotaciones agrarias en estas comarcas de Albacete.

Palabras clave: Maquinaria agrícola, costes, tractor, índices de mecanización.

Planning agricultural mechanization of Albacete´s regions

Abstract

Albacete is a Spanish province that belongs to the Autonomous Community of Castilla-La Mancha. It is located in the southeast of the Iberian Peninsula and the Central Plateau. The existing considerations of historical demarcations, natural factors, statistical treatment of data in the Agrarian Census and the Survey on the structure of agricultural holdings of the National Institute of Statistics (INE), crop distribution, productive activity of the farms and types of Exploitation, allow us to divide the province into counties. The province is divided into 7 districts: Mancha, Manchuela, Sierra de Alcaraz, Centro, Almansa, Sierra del Segura and Hellín.

The objective of this work is to study the system of agricultural mechanization of each one of the distrits. In this way it will be possible to determine the measures that allow a planning of agricultural machinery of the same ones.

The method used a series of surveys. In them, the stratification of the farm areas, the distribution of crops, the machinery of each one of them, are studied. From these parameters, the costs of each type of exploitation and mechanization indexes are obtained, and the relationships between them.

The results provide the structure of mechanization of each one of the farms of the distritcs of Albacete, as well as the differences in the levels of mechanization of the same ones.

As conclusions are shown the most outstanding features that allow the implementation of planning models for mechanization of agricultural holdings in these districts of Albacete.

Keywords: Agricultural machinery, costs, tractor, indices of mechanization

1. Introducción

La provincia de Albacete se encuentra situada en el sureste de la Meseta Central, dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, teniendo como límites las siguientes regiones: norte (provincia de Cuenca), este (provincia de Valencia, Alicante y Murcia), oeste (provincia de Ciudad Real) y sur (provincias de Murcia, Granada y Jaén).

Administrativamente se encuentra dividida en 87 municipios agrupados en 7 comarcas agrarias distribuidas por Fernández (2011) según la tabla 1.

Tabla 1. Estructura administrativa de las comarcas de Albacete

Comarca agraria	Superficie (ha)	% Superficie	Municipios
Almansa	128.823	8,64	6
Centro	351.006	23,53	17
Hellín	150.262	10,07	5
Mancha	295.075	19,78	10
Manchuela	162.940	10,92	23
S. Alcaraz	186.526	12,50	17
S. Segura	217.210	14,56	9
Total Provincia	1.491.842	100	87

La orografía es heterogénea, pues en el norte (Mancha, Manchuela y Centro) y en la parte suroriental (Hellín y Almansa) se encuentra un paisaje llano o suavemente ondulado. La parte suroccidental se encuentra dominada por las Sierras Segura y Alcaraz.

Las características agrarias de las comarcas de la provincia de Albacete según la distribución de cultivos por el INE (2009) se exponen en la tabla 2.

Tabla 2. Características agrarias de las comarcas de Albacete

	Cereal	Legum.	Patata	Cult. ind.	Cult.forr.	Hortal.	Barbechos	Cultivos Leñ.	Pastos	Otras tierras
Mancha	77280	11220	125	1787	2839	3701	53954	31659	17518	34088
Manchuela	24454	5423	25	1015	483	456	18494	30605	8242	16315
S. Alcaraz	20082	5906	11	924	747	175	14148	8427	16804	52487
Centro	110161	7330	908	6174	5327	9429	73331	16794	30435	41624
Almansa	21186	748	227	33	512	1163	14975	20042	12363	15535
S. Segura	5397	348	103	78	589	152	4822	13615	16750	40239
Hellín	12457	346	12	216	710	3299	10719	25543	11838	22741

Fundamentalmente, los grupos de cultivos predominantes en todas las comarcas son los cereales, los cultivos leñosos, y los barbechos que se alternan en cuanto a superficie en unas y otras comarcas.

La mecanización ha permitido introducir la máquina de trabajo en los procesos de producción de cultivos. Esta supone un valor económico del 18% respecto a la producción final total agraria, y un 31% de la agrícola.

Las explotaciones agrarias de hasta 100 has, analizadas en este estudio, suponen un 90% del total de explotaciones de la provincia de Albacete.

Las explotaciones agrícolas tienen una determinada maquinaria muy estandarizada en la mayoría de las mismas. El número de tipos de equipos actuales en Castilla-La Mancha se muestra en la tabla 3, elaborada a partir de datos de la Sección de Estudios e Informes de la Delegación de Agricultura, Desarrollo Rural y Medio Ambiente de Albacete de la Junta de Comunidades de Castilla–La Mancha.

Tabla 3. Composición del parque de maquinaria agrícola de la provincia de Albacete

Grupos de equipos	Equipos	Unidades
Equipos de tracción	Tractores	24.800
Equipos para trabajo del suelo	Arados de vertedera o de discos	11.590
	Cultivadores y chisel	13.757
	Gradas	3.278
	Subsoladores	1.684
Equipos para la siembra, abonado y protección de cultivos	Sembradoras monograno	1.004
	Sembradoras de chorrillo	5.889
	Abonadoras	5.575
	Pulverizadores	4.549
Equipos para la recolección y el transporte	Remolques	15.075

Estructura es el conjunto de relaciones que mantienen entre sí las partes de un todo. Para el establecimiento de medidas con respecto al que se desarrolla una actividad se necesita estudiar la estructura de la mecanización agraria de las comarcas de Albacete. Estas características permiten crear modelos.

2. Materiales y metodología

Las tareas de la asignatura de Planificación de Infraestructura y Mecanización Agraria (PIMA) de los alumnos del Grado de Ingeniería Agrícola y Agroalimentaria de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (ETSIAM) de Albacete de la Universidad de Castilla–La Mancha proporcionan una serie de encuestas realizadas a agricultores de toda la región, aunque mayoritariamente en la provincia de Albacete. Estos estudios permiten dimensionar parques de maquinaria de uso en común a partir de explotaciones individuales y obtener el beneficio que esta medida proporciona.

La encuesta realizada a los propietarios de las explotaciones incluye información sobre superficies y tipos de cultivos, potencias de los tractores y tipos y características de la maquinaria de las explotaciones agrícolas.

Con estos datos se estandarizan explotaciones tipo en cada una de las comarcas de la provincia de Albacete, considerando:

- Tramos de superficies. Idéntica distribución que otras estadísticas del mismo ámbito, y comprendidas entre: 0-5 has, 5-10 has, 10-20 has, 20-30 has, 30-50 has, 50-70 has, 70-100 has.

- Nº de cultivos por explotación. Se seleccionan las explotaciones que mayoritariamente tienen las mismas alternativas de cultivos según el tramo de superficie anterior. El agrupamiento de tipos de cultivos se ha realizado por subgrupos de INE (2009), y que tienen sistemas de mecanización similares.

- La media de las superficies de cada cultivo del conjunto de las explotaciones seleccionadas.

La estandarización de la maquinaria para cada explotación tipo ha sido realizada según:

- un tractor medio cuya potencia es la media de los tractores de cada explotación.

- Los tipos y características de los aperos se corresponden con los que en mayor número usan los agricultores en cada uno de los tramos de las explotaciones.

- Los estudios se realizan con arados, fundamentalmente por la existencia de estos y la aún realización de la labor, en mayor o menor grado.

Para determinar un coste de mecanización se aplica la metodología descrita en FAO (1991).

Para determinados tramos de superficie y comarcas se estudian algunos casos particulares.

3. Resultados y Discusión

1. Explotaciones de 0-5 has

En todas las comarcas, hay un abundante nº de explotaciones de 0 a 5 has. En líneas generales son de 1 solo cultivo, y principalmente leñoso. La vid en Almansa, Mancha y Manchuela. Otros leñosos en Sierra de Alcaraz y Sierra de Segura. Vid junto con otros leñosos en Centro y Hellín.

Los índices de mecanización de estas explotaciones, muy similares en todas las comarcas, se proporcionan en la tabla 4.

Tabla 4. Índices de mecanización en explotaciones tipo monocultivos (0-5 has)

Sup has	Cult.	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tractor Horas	Tract. €/h	Arado €/h	Chisel €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Cuv €/h	Otros €/h
5	Vid	1	54	6662	16	234	0	0	0	0	962	93	222
5	Olivar	1	62	6232	25	154	0	0	22	0	962	0	139
5	CIS	1	60	7591	58	79	4	0	67	139	1924	0	60
5	CIS	1	60	6592	29	136	0	9	0	139	1924	0	120

Para las explotaciones, y en consideración a los costes de mecanización sin incluir los costes de recolección, dada la variabilidad de sistemas que existen, en proceso de estudio, se considera que las explotaciones con cultivos leñosos de marco amplio poseen menores costes que los viñedos. Las que únicamente poseen cultivos extensivos son más costosas que las de leñosos debido a un mayor número de equipos con distintas funciones. Y la alternativa de la sustitución del chisel por el arado se manifiesta más económica.

Las explotaciones tipo para superficies de 0-5 has que comprenden varios cultivos y distintas comarcas se encuentran en la tabla 5.

Tabla 5. Características explotaciones de 0-5 has

Cultivo	Almansa	Centro	Hellín	Mancha	Manchuela	S. Alcaraz	S. Segura
Leñoso	2	2	2,5	2	2	2,5	3,5
Barbecho	2	1	1,5	1,5	1,5	1	1
Cereal Inv.	1	2		1,5	1,5	1,5	
Hortícola			1				0,5

La aplicación del método de costes para las explotaciones tipo se muestran en la tabla 6. Las pequeñas diferencias de potencia de los tractores entre comarcas se han unificado, de tal manera que solo se expondrán las mismas según tramos que supongan una diferencia característica importante.

Tabla 6. Índices de mecanización en explotaciones de 0-5 has

Comarca	has	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tract. h	Tract. €/h	Arado €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Otros €/h
Almansa	5	3	60	7400	49	89	7	26	696	1924	71
Centro	5	3	60	7357	47	92	7	30	348	1603	74
Hellín	5	3	60	7342	46	93	8	24	696	1603	75
Mancha	5	3	60	7395	49	90	7	27	464	1749	72
Manchuela	5	3	60	7395	49	90	7	27	464	1749	72
S. Alcaraz	5	3	60	7255	42	101	8	30	464	1480	83
S. Segura	5	3	60	7117	35	115	14	26	1392	1283	98

Los resultados están muy en concordancia con el estrato anterior. Destacar la reducción del coste por ha.

2. Explotaciones de 5-10 has

La distribución de cultivos para las explotaciones tipo de 5-10 has se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Características explotaciones de 5-10 has

Cultivo	Almansa	Centro	Hellín	Mancha	Manchuela	S. Alcaraz	S. Segura
Leñoso	5	4	5	4	5	5	5
Barbecho	2	2	2,5	3	2	2	2
Cereal Inv.	3	4	2,5	3	3	3	2
Hortícola							1

La aplicación del método de costes para las explotaciones tipo se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Índices de mecanización en explotaciones de 5-10 has

Comarca	has	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tract. h	Tract. €/h	Arado €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Otros €/h
Almansa	10	3	60	8301	92	57	4	12	232	740	38
Centro	10	3	60	8340	94	57	3	15	174	802	37
Hellín	10	3	60	8224	88	59	4	13	278	770	39
Mancha	10	3	60	8416	97	55	3	13	232	874	36
Manchuela	10	3	60	8301	92	57	4	12	232	740	38
S. Alcaraz	10	3	60	8137	84	61	4	15	232	740	41
S. Segura	10	4	60	8213	88	59	4	14	232	601	40

Las variaciones de costes en estas pequeñas explotaciones son muy variables según comarcas.

3. Explotaciones de 10-20 has

La distribución de cultivos para las explotaciones tipo se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Características explotaciones de 10-20 has

Cultivo	Almansa	Centro	Hellín	Mancha	Manchuela	S. Alcaraz	S. Segura
Leñoso	10	6	8	9	10	10	10
Barbecho	5	3	3	5	5	5	5
Cereal Inv.	5	6	6	6	5	5	5
Hortícola		6	3				

La aplicación del método de costes para las explotaciones tipo se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Índices de mecanización en explotaciones de 10-20 has

Comarca	has	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tract. h	Tract. €/h	Arado €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Otros €/h
Almansa	20	3	60	10237	184	39	2	6	139	385	19
Centro	20	4	60	10920	216	36	1	7	63	253	16
Hellín	20	4	60	10525	198	38	2	7	77	283	18
Mancha	20	3	60	10343	189	39	2	6	116	401	18
Manchuela	20	3	60	10237	184	39	2	6	139	385	19
S. Alcaraz	20	3	60	9909	168	41	2	7	139	385	21
S. Segura	20	3	60	9909	168	41	2	7	139	385	21

En este estrato, las explotaciones con 4 cultivos son ligeramente superiores en coste que las de 3.

Debido a que en este estrato se dan numerosas explotaciones de monocultivo con tractores de 75 CV, los índices de mecanización son expuestos en la tabla 11.

Tabla 11. Índices de mecanización en explotaciones de 10-20 has monocultivo

Sup has	Cult.	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tractor Horas	Tract. €/h	Arado €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Cuv €/h	Otros €/h
20	Vid	1	75	8579	62	89	0	0	0	240	23	55
20	Olivar	1	75	8409	76	77	0	10	0	240	0	45
20	CIS	1	75	10614	129	55	4	30	68	481	0	27
20	CIS	1	75	8896	79	75	0	0	68	481	0	44

Si tuviesen tractores de 60 CV, con los que podrían asimismo realizar la labor, los índices de mecanización serían los de la tabla 12.

Tabla 12. Índices de mecanización en explotaciones de 10-20 has con tramo de tractor inferior

Sup has	Cult.	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tractor Horas	Tract. €/h	Cul €/h	AyP €/h	Cuv €/h	Otros €/h
20	Vid	1	60	7650	62	74	0	240	23	55
20	Olivar	1	60	7811	100	54	6	240	0	35

Se muestran las explotaciones de leñosos con tractores de potencia inferior como de menor coste respecto a las de potencia superior.

4. Explotaciones de 20-30 has

La distribución de cultivos para las explotaciones tipo se muestra en la tabla 13

Tabla 13. Características explotaciones de 20-30 has

Cultivo	Almansa	Centro	Hellín	Mancha	Manchuela	S. Alcaraz	S. Segura
Leñoso	15	8	17	14	14	12	14
Barbecho	6	9	6	7	7	8	7
Cereal Inv.	9	13	7	9	9	10	9

La aplicación del método de costes para las explotaciones tipo se muestran en la tabla 14

Tabla 14. Índices de mecanización en explotaciones de 20-30 has

Comarca	has	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tract. h	Tract. €/h	Arado €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Otros €/h
Almansa	30	3	60	12155	275	33	1	4	77	247	13
Centro	30	3	60	12790	306	32	1	6	54	332	11
Hellín	30	3	60	11665	252	34	2	4	99	235	14
Mancha	30	3	60	12270	281	33	1	4	77	260	12
Manchuela	30	3	60	12270	281	33	1	4	77	260	12
S. Alcaraz	30	3	60	12096	272	33	1	5	70	283	13
S. Segura	30	3	60	11810	259	34	1	5	77	260	13

En este estrato de superficie se da un cambio de tractor, a un nivel de potencia superior, alternándose tractores en los niveles de potencia de los 60 y 75 CV., y excepcionalmente superior. La aplicación a tractores de 75 CV se da en la tabla 15.

Tabla 15. Índices de mecanización en explotaciones de 20-30 has

Comarca	has	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tract. h	Tract. €/h	Arado €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Otros €/h
Almansa	30	3	75	11624	174	46	5	7	152	247	20
Centro	30	3	75	11770	181	46	4	10	105	332	19
Hellín	30	3	75	11334	161	48	6	8	195	235	22
Mancha	30	3	75	11664	176	46	5	8	152	260	20
Manchuela	30	3	75	11664	176	46	5	8	152	260	20
S. Alcaraz	30	3	75	11421	165	48	5	10	136	283	21
S. Segura	30	3	75	11295	160	49	5	9	152	260	22

Se observan menores costes de mecanización para la misma distribución de cultivos con un estrato de potencia superior.

Para el caso de explotaciones con dos estratos de potencia superior, los costes en la explotación quedan para las características de la zona según tabla 16.

Tabla 16. Índices de mecanización en explotaciones de 20-30 has

Comarca	has	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tract. h	Tract. €/h	Arado €/h	Chisel €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Cuv €/h	Otros €/h
Centro	30	3	90	12264	136	61	8	0	16	173	332	0	26
Mancha	30	3	90	12246	135	61	10	0	12	251	260	0	26
S. Alcaraz	30	3	90	12014	125	64	9	0	15	225	283	0	28

Los costes con potencia de estrato muy superior a la optimizada, y que excepcionalmente se da en la encuesta de las explotaciones, lleva aparejado un coste superior.

5. Explotaciones de 30-50 has

La distribución de cultivos para las explotaciones tipo se muestra en la tabla 17

Tabla 17. Características explotaciones de 30-50 has

Cultivo	Almansa	Centro	Hellín	Mancha	Manchuela	S. Alcaraz	S. Segura
Leñoso	14	13	26	17	19	16	19
Barbecho	10	15	12	12	11	13	13
Cereal Inv.	16	21	12	18	16	18	11

La aplicación del método de costes para las explotaciones tipo se muestran en la tabla 18

Tabla 18. Índices de mecanización en explotaciones de 30-50 has

Comarca	has	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tract. h	Tract. €/h	Arado €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Otros €/h
Almansa	50	3	60	14733	398	29	1	4	43	219	9
Almansa	50	3	75	13142	242	40	3	6	85	219	14
Centro	50	3	75	14551	304	36	2	6	65	189	11
Hellín	50	3	60	15496	434	29	1	3	58	150	8
Hellín	50	3	75	13877	274	38	3	5	114	150	13
Mancha	50	3	75	14078	283	37	3	5	76	185	12
Manchuela	50	3	75	13860	274	38	3	5	85	178	13
S. Alcaraz	50	3	75	13697	266	38	3	6	76	192	13
S. Segura	50	3	75	12937	233	40	3	6	124	196	15

Aquí se da la peculiaridad de que empiezan a aparecer explotaciones con dos tractores, como muestra la tabla 19.

Tabla 19. Índices de mecanización en explotaciones de 30-50 has

Comarca	has	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tract. h	Tract. €/h	Arado €/h	Chisel €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Cuv €/h	Otros €/h
Centro	50	3	60	10004	150	43	0	0	0	19	114	13	23
			75	10044	161	48	2	0	0	0	0	0	22
Mancha	50	3	60	9978	149	43	0	0	0	19	114	13	23
			75	9425	134	54	3	0	0	0	0	0	26
S. Alcaraz	50	3	60	10057	158	42	0	0	4	0	114	0	22
			75	11275	159	49	3	0	0	0	0	0	22

Las explotaciones con dos tractores suponen un coste de mecanización muy gravoso en todas las explotaciones.

6. Explotaciones de 50-70 has

La distribución de cultivos para las explotaciones tipo se muestra en la tabla 20

Tabla 20. Características explotaciones de 50-70 has

Cultivo	Almansa	Centro	Hellín	Mancha	Manchuela	S. Alcaraz	S. Segura
Leñoso	32	18	40	20	21	13	21
Barbecho	14	23	13	19	16	23	14
Cereal Inv.	25	30	19	27	23	27	21

La aplicación del método de costes para las explotaciones tipo se muestran en la tabla 21

Tabla 21. Índices de mecanización en explotaciones de 50-70 has

Comarca	has	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tract. h	Tract. €/h	Arado €/h	Chisel €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Cuv €/h	Otros €/h
Almansa	71	3	75	17095	417	33	2	0	3	55	108	0	8
Centro	71	3	75	17385	430	32	2	0	4	45	146	0	8
Hellín	72	3	75	16444	388	33	3	0	3	72	97	0	9
Mancha	66	3	75	16799	404	33	2	0	4	51	144	0	9
Manchuela	60	3	75	15870	363	34	2	0	4	59	148	0	10
S. Alcaraz	63	3	75	16279	381	33	2	0	5	51	181	0	9
S. Segura	56	3	75	15186	333	35	2	0	6	65	196	0	10

En este estrato se dan explotaciones de 4 cultivos cuyo estudio se realiza en un tramo de explotaciones superior (70-100 has).

7. Explotaciones de 70-100 has

La distribución de cultivos para las explotaciones tipo se muestra en la tabla 22

Tabla 22. Características explotaciones de 70-100 has

Cultivo	Almansa	Centro	Hellín	Mancha	Manchuela	S. Alcaraz	S. Segura
Leñoso	40	19	50	22	23	12	34
Barbecho	21	32	22	30	23	22	25
Cereal Inv.	31	43	27	36	32	33	24
Leguminosas	6	20		22	18	26	14

La aplicación del método de costes para las explotaciones tipo se muestran en la tabla 23

Tabla 23. Índices de mecanización en explotaciones de 70-100 has

Comarca	has	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tract. h	Tract. €/h	Arado €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Otros €/h
Almansa	98	4	90	19658	444	35	3	4	61	82	8
Centro	114	4	105	21143	429	39	3	7	44	93	8
Hellín	99	3	90	19055	418	36	3	4	84	76	8
Mancha	100	4	105	20830	416	40	3	6	48	94	8
Manchuela	106	4	90	19716	446	35	2	5	45	100	8
S. Alcaraz	93	4	105	18999	344	42	3	10	47	116	10
S. Segura	97	4	90	18900	412	36	3	5	59	91	8

En este tramo se observan estratos de mecanización diferentes con tramos de potencia distintos y donde las explotaciones con cultivos extensivos tienen mayores requerimientos de maquinaria y mayores costes de explotación.

En las explotaciones con este tramo de tamaño de explotación se da la circunstancia que aparecen explotaciones que no tienen ningún leñoso, y se diversifican cultivos, llegando incluso a los 5 cultivos.

La aplicación del método de coste para determinados casos particulares se da en la tabla 24.

Tabla 24. Índices de mecanización en explotaciones de 70-100 has

Comarca	has	Nº	Pot. CV	C. tot €	Tract. h	Tract. €/h	Arado €/h	Cul €/h	Sem €/h	AyP €/h	Otros €/h
Centro	100	5	90	21263	510	34	2	6	30	86	7
Centro	100	5	105	20696	411	40	3	9	37	86	8
Centro	100	5	120	20655	337	47	5	12	53	86	10
Centro	100	5	135	20979	291	54	7	16	53	86	12
Centro	100	5	150	22742	261	62	9	20	53	86	13
Centro	100	4	105	19411	169	60	282	11	37	128	21

4. Conclusiones

La distribución de cultivos se muestra muy similar en todas las comarcas de Albacete.

La distribución de los costes de mecanización no es muy significativa en las explotaciones de pequeño tamaño, incrementándose dichas diferencias en la medida que crecen las explotaciones.

El coste de mecanización por ha se reduce según aumenta el tamaño de las explotaciones.

Los estratos de potencias inferiores o superiores a las óptimas no tienen generalmente diferencias muy significativas de costes según los casos.

Las explotaciones con dos tractores resultan muy gravosas.

Bibliografía

FAO. 1991. *La ingeniería agrícola en el desarrollo: la selección de insumos de mecanización*. Roma: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.

Fernández, J. 2011. *Caracterización de las comarcas agrarias de España. Tomo 4. Provincia de Albacete.* Madrid: MAPAMA.

INE. 2009. Censo Agrario (Acesso en 1 de abril de 2017). http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=125473572710

PROYECTO TOPPS: Herramienta para la evaluación del riesgo de contaminación por escorrentía

J. Román-Vázquez[1], E. J. González-Sánchez[1&2], Gregorio L. Blanco-Roldán[1], J.A. Gil-Ribes[1]

[1] Departamento de Ingeniería Rural, Área de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Córdoba. www.uco.es/cemtro. julio.roman@uco.es

[2] Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV). www.agriculturadeconservacion.org. egonzalez@agriculturadeconservacion.org

Resumen

La aplicación de productos fitosanitarios en agricultura es una actividad necesaria para conseguir los objetivos de producción planteados. Un uso inadecuado de los mismos, o unas condiciones de explotación desfavorables, puede hacer que las materias activas acaben transfiriéndose a los cursos de agua, provocando efectos indeseables. Esta transferencia de productos hacia las aguas, ocurre principalmente por fuentes puntuales y difusas. El mayor riesgo de contaminación de aguas por fuentes difusas se produce por la escorrentía y erosión del suelo, principalmente cuando, después de la aplicación de productos para el control de vegetación adventicia, las condiciones meteorológicas son adversas. Este riesgo de contaminación de aguas por fuentes difusas puede minimizarse, incluso evitarse totalmente, utilizando las medidas adecuadas para el control de la escorrentía y erosión. Por tanto, es necesario determinar las buenas prácticas agrarias necesarias para evitar estos efectos no deseados, ocasionados por la escorrentía y erosión a través de diagnóstico correcto de los riesgos de contaminación.

Para evaluar los riesgos de contaminación de las aguas superficiales por escorrentía, se ha desarrollado desde el proyecto TOPPS (Train Operators to Promote best Practices and Sustainability-www.proyectotopps.es), una herramienta que permite, tanto a agricultores como a asesores técnicos, cualificar de una manera sencilla y rápida dicho riesgo en función de las características físicas (tipo de suelo, entorno, paisaje, etc) y agronómicas de las explotaciones agrarias. Así pues, el correcto diagnóstico de una explotación es el principal factor por el que las acciones a desarrollar para mitigar la contaminación de aguas por escorrentía que se puedan llevar a cabo tengan la mayor eficiencia posible y por tanto conseguir que la actividad agrícola sea cada vez más sostenible.

Evaluada esta herramienta por los usuarios, un 74% la considera útil y fácil de emplear, y un 24%, aunque la considera útil, estima difícil su aplicación. Esto motiva la organización de actividades de formación que faciliten una aún mayor aplicación por parte de agricultores y técnicos.

Palabras clave: Formación, Prevención de la contaminación, Análisis de explotaciones, Escorrentía.

TOPPS PROJECT: Diagnose toll to evaluate risk pollution by runoff

Abstract

The PPP application in agriculture is a necessary activity to achieve the production objectives set. Inappropriate use or unfavourable operating conditions during PPP application can transfer the active substances to the waterways, appearing undesirable effects. This transfer of products into water courses occurs mainly by point and diffuses sources. The greatest risk of contamination of water by diffuse sources is caused by runoff and soil erosion, mainly when after the application has bad weather conditions. This water contamination risks by diffuse sources can be minimized, even avoided completely, using appropriate measures to control runoff and erosion. Therefore, it is necessary to make a correct diagnosis of contamination risks to determine the best management practices to avoid these undesirable effects.

TOPPS project (Train Operators to Promote best Practices and Sustainability-www.proyectotopps.es)has developed a tool, that allows farmers and technical advisers, to evaluate contamination risk by runoff and erosion qualifying the risk in a simple and quick way according to the physical soil characteristics (type of soil,

environment, landscape, etc.) and agronomic management of farms. Thus, the correct diagnosis is the main factor to develop actions in order to mitigate water pollution by runoff to ensure that agricultural activity is increasingly more sustainable.

This tool has been evaluated by users. 74% consider it useful and easy to use, and 24%, considered useful, although difficult to apply. This motivates the Spanish runoff TOPPS team to organize training activities that facilitate a greater use of the tool by farmers and technicians.

Keywords: Training, Prevention of pollution, Farm diagnosis, Runoff

1. Introducción

La Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y el Consejo, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, obliga a los Estados miembros a aplicar las medidas necesarias para prevenir el deterioro del estado de todas las masas de agua superficiales. Con el objetivo de conseguir una mejora de la calidad de las aguas superficiales, entre otros aspectos, se publicó el Real Decreto 1311/2012, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios.

El capítulo IV se hace mención específica a la protección del medio acuático y el agua potable contra la contaminación por productos para la protección de las plantas. El artículo 31 del Real Decreto trata sobre las medidas para evitar la contaminación difusa (escorrentía y deriva) por productos fitosanitarios en las masas de agua. El apartado primero de la misma dice: "Cuando se apliquen productos fitosanitarios se tomarán las medidas necesarias para evitar la contaminación difusa de las masas de agua, recurriendo en la medida de lo posible a técnicas que permitan prevenir dicha contaminación y, reduciendo, también en la medida de lo posible, las aplicaciones en superficies muy permeables."

Las materias activas de los productos fitosanitarios llegan a las aguas superficiales por escorrentía principalmente (McDonald et al, 2000). El agua que no es retenida por el suelo comienza a desplazarse formando flujos de escorrentía, que tienden a concentrarse en las vaguadas de las laderas. Estas corrientes de agua, son capaces de disolver los productos fitosanitarios que se encuentran en el suelo. Asimismo, en las zonas más elevadas de las explotaciones agrícolas, si el suelo está desprotegido, se produce la pérdida de partículas finas de suelo, lo que conlleva una disminución de la fertilidad y mermas en la producción. Además, estas partículas de suelo arrastradas producen contaminación aguas abajo por la deposición de sedimentos.

El proceso definido, más allá de los problemas generados en las parcelas, producen contaminación de las aguas desde un punto de vista físico, ya que los cauces que reciben los flujos de escorrentía presentarán aguas excesivamente turbias y se generarán problemas ecológicos y físicos en lugares alejados de dónde se produce la deposición de los sedimentos. Desde el punto de vista químico, tanto el agua de escorrentía como los sedimentos son transmisores de materias activas, que son transportados a los cauces, pudiendo producir la contaminación de los mismos.

Por tanto, para evitar esta transferencia de materias potencialmente contaminantes a las aguas, se hace necesario conocer como se produce este proceso, para así poder adaptar las explotaciones agrarias con el fin de conseguir cumplir los requisitos establecidos.

2. Metodología

Un buen diagnóstico del riesgo de contaminación de aguas por escorrentía, es la base para poder actuar con las medidas más adecuadas. Para ello, es esencial conocer como se produce la escorrentía y que factores influyen en la misma.

2.1 Como se produce la Escorrentía

La escorrentía superficial es el flujo de agua que se produce en el suelo cuando se ha superado la capacidad de infiltración o almacenamiento del mismo, y por tanto este se vuelve impermeable

La escorrentía se puede producir por dos vías:

- Escorrentía provocada por restricción a la infiltración, en la que la intensidad de lluvia es mayor que la velocidad de infiltración del suelo.

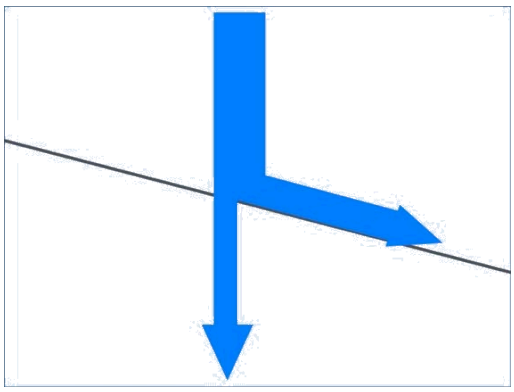


Figura 1. Diagrama de escorrentía por restricción a la infiltración

- Escorrentía provocada por la saturación del suelo. Cuando el suelo se encuentra saturado pierde la capacidad de infiltración. Este fenómeno se produce cuando la precipitación total excede la capacidad de retención de agua por parte del suelo (capacidad de campo).

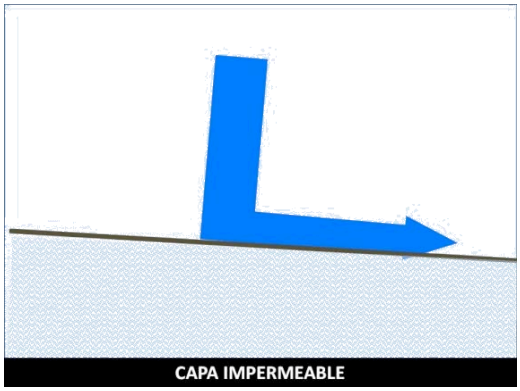


Figura 2. Diagrama de escorrentía por saturación del suelo

2.2 Factores que determinan la contaminación de aguas por productos fitosanitarios

Existen varios factores por los que las materias activas contaminantes pueden llegar a los cauces de agua superficial.

- Distancia entre superficie de agua y zona de tratamiento

Mientras más distancia exista entre la zona de tratamientos y los cauces superficies agua con riesgo de ser contaminadas, se reduce el riesgo de contaminación de estas por medio de procesos erosivos y escorrentía. No solo se reduce el riesgo aumentando la distancia, sino que hay que considerar otros aspectos que influyen en la velocidad del agua de escorrentía, tales como la pendiente, las pequeñas cárcavas del terreno, compactación, etc.

- Características del suelo

La influencia del tipo del suelo sobre la infiltración y la retención de productos fitosanitarios es otro factor a tener muy en cuenta. Conocer la textura del suelo y su estructura es básico para poder estimar en campo la permeabilidad del suelo y su capacidad de retención de agua. En este caso, un suelo con alta capacidad de almacenamiento de agua reduce considerablemente los riesgos de erosión y escorrentía. Largos periodos de contacto de los productos fitosanitarios con el suelo, hace que los microorganismos puedan degradar dichos productos de una manera más adecuada, reduciéndose así los problemas de transferencia de materia activa a las aguas.

- Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas de la zona, y muy en especial los patrones de precipitación, deben ser correctamente definidos y evaluados para proporcionar las medidas de mitigación más adecuadas para el área de estudio.

- Longitud y grado de las pendientes.

Parcelas con grandes y pronunciadas pendientes son más susceptibles a que se provoque en ellas procesos de escorrentía. Las grandes explotaciones requieren una división para reducir su tamaño y la implantación de zonas de seguridad o pequeñas barreras reduzcan el riesgo de escorrentía.

- Cobertura del Suelo

Si los suelos agrícolas se encuentran cubiertos por vegetación o restos del cultivo anteriores, los riesgos de escorrentía y erosión se ven disminuidos en gran medida. Cultivos que se desarrollan en suelos labrados, en las primeras etapas de crecimiento no cubren lo suficiente el suelo, por lo que este queda expuesto a las lluvias ocasionando altos riesgos de erosión por escorrentía y por impacto de las gotas de lluvia.

2.3 Diagnostico de explotaciones

Una vez conocidos los factores que determinan la el riesgo de contaminación de aguas superficiales por escorrentía, y con el fin de reducir la complejidad que supone la toma de decisiones, se ha elaborado a través del proyecto TOPPS concebidas como una ayuda para determinar el nivel de riesgo de contaminación por escorrentía en las explotaciones agrícolas: Diagramas de decisión y Paneles de evaluación.

La utilización de estas herramientas supone realizar un estudio previo de la parcela a diagnosticar, ya que hay que conocer características del suelo (textura, profundidad, hidromorfismo...) que son claves para elaborar una correcta evaluación.

A través de la combinación de ambas herramientas se consigue definir el riesgo de contaminación por escorrentía, categorizándose estos en cuatro niveles según su impacto: Muy bajo, bajo, medio y alto.

- Diagramas de decisión.

Los diagramas de decisión tienen como objetivo determinar el movimiento de agua en el suelo tras los sucesos de precipitación. Estas herramientas se basan en función de las características del suelo: si es susceptible a formar costra superficial, si es hidromórfico y el grado de permeabilidad del mismo. En relación a estos valores y siguiendo la información que se ha obtenido en el trabajo en campo, se puede conocer cómo cuales son los patrones de movimiento del agua en la explotación.

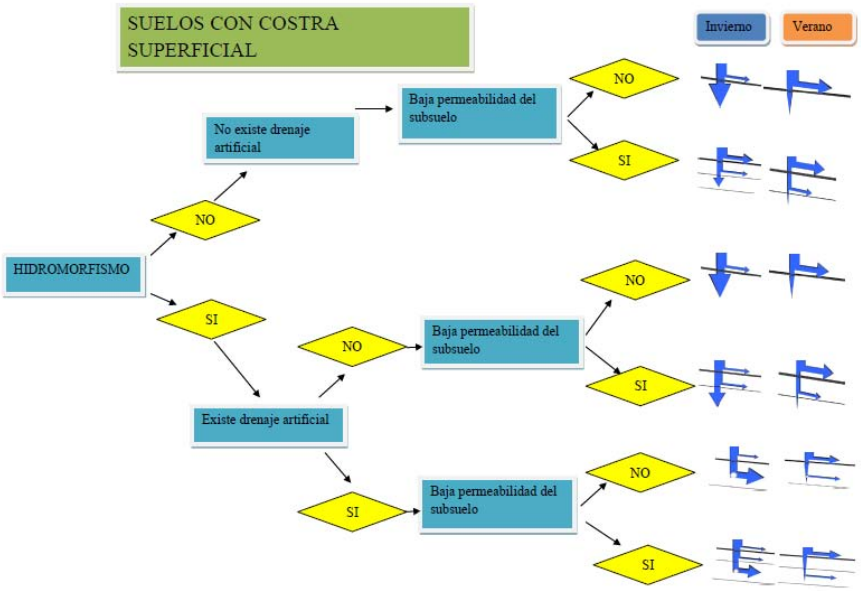


Figura 3. Diagrama de decisión para suelos que forman costra superficial

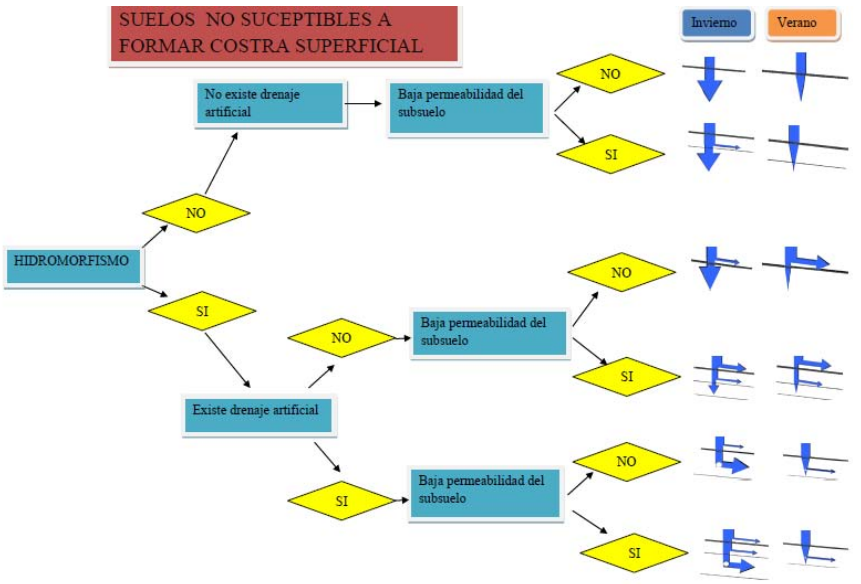


Figura 4. Diagrama de decisión para suelos que no suelen formar costra superficial

Gracias a estos diagramas se puede tener una aproximación de cuál será el principal factor por el que se produce la escorrentía en función de la época del año en la que nos encontramos. En general, la escorrentía que se produce tras las primeras lluvias del verano y otoño está causada por una restricción a la infiltración, mientras que en invierno, al estar el suelo más húmedo, la escorrentía suele aparecer por exceso de saturación.

- Paneles de evaluación

Una vez es conocida la causa por la que se produce la escorrentía, los paneles de evaluación se hacen necesarios para categorizar el riesgo de contaminación por escorrentía y erosión.

Para ello se han desarrollado dos paneles, uno por cada una de las causas por las que se genera la escorrentía, en los que a través de los datos obtenidos previamente y siguiendo las instrucciones de los mismas se puede definir el riesgo de contaminación en función de la gravedad del mismo.

<table>
<tr><th>Proximidad a cursos de agua
Paso 1</th><th colspan="3">Permeabilidad de la capa superficial del suelo
Paso 2</th><th>Grado de la Pendiente
Paso 3</th><th>Clasificación del Riesgo y escenario</th></tr>
<tr><td rowspan="8">Exoplotaciones junto a cursos de agua</td><td rowspan="3">Alta</td><td rowspan="3">No existe costra superficial
Suelo arenoso o francoarenoso
Buena estructura de los agregados y alto contenido en materia orgánica (>3%)
Bajo contenido en arcillas expansivas (< 20%)</td><td></td><td>Bajo < 2%</td><td>Muy bajo I 1</td></tr>
<tr><td></td><td>Medio 2 - 10%</td><td>Bajo I 2</td></tr>
<tr><td></td><td>Alto > 10%</td><td>Medio I 3</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Media</td><td rowspan="3">No existe costra superficial
Otras texturas</td><td></td><td>Bajo < 2%</td><td>Bajo I 2</td></tr>
<tr><td></td><td>Medio 2 - 10%</td><td>Medio I 3</td></tr>
<tr><td></td><td>Alto > 10%</td><td>Alto I 4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Baja</td><td rowspan="3">Suelo con tendencia a formar costra superficial
Suelos arcillosos o franco arcillosos
Contenido en arcillas expansivas alto (>30%)</td><td></td><td>shalBajo < 2%</td><td>Medio I 5</td></tr>
<tr><td></td><td>Medio 2 - 10%</td><td>Alto I 6</td></tr>
<tr><td></td><td>Alto > 10%</td><td>Alto I 7</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">Explotaciones alejadas de cursos de agua</td><td rowspan="3">¿Transfiere escorrentía a explotaciones adyacentes?</td><td rowspan="2">SI</td><td rowspan="2">La escorrentía alcanza los cursos de agua</td><td>SI</td><td>Alto T3</td></tr>
<tr><td>NO</td><td>Muy bajo T2</td></tr>
<tr><td colspan="2">NO</td><td>Muy bajo T1</td></tr>
</table>

Figura 5. Panel de evaluación del riesgo de contaminación por escorrentía debido a restricción a la infiltración

Una vez categorizado el riesgo, se han desarrollado una serie de escenarios que vienen definidos por unos códigos (letra y número) para dar una aproximación sobre las medidas más adecuadas, teniendo en cuenta que estas deben ser adecuadas a las características de cada zona.

Proximidad a cursos de agua Paso 1	Existencia de drenaje Paso 2	Posicion de la parcela Paso 3	Permeabilidad del subsuelo Paso 4	Capacidad de Almacenamiento de Agua (CAA) Paso 5	Clasificación del Riesgo y escenario
Explotaciones junto a cursos de agua	No existe drenaje artificial	Parte baja de las pendientes	Existe suela de labor y se interrumpe la	Toda CAA	Alto S4
			Hay suela de labor o se interrumpe la permeabilidad	< 120 mm	Alto S4
				> 120 mm	Medio S3
			No existe suela de labor	< 120 mm	Medio S3
				> 120 mm	Bajo S2
		Parte alta de las pendientes	Existe suela de labor y se interrumpe la	All WHCs	Alto S4
			Hay suela de labor o se interrumpe la permeabilidad	< 120 mm	Medio S3
				> 120 mm	Bajo S2
			No existe suela de labor	< 120 mm	Bajo S2
				> 120 mm	Muy Bajo S1
	Existe drenaje artificial	All Positions	Existe suela de labor y se interrumpe la	Toda CAA	Medio SD3
			Hay suela de labor o se interrumpe la permeabilidad	< 120 mm	Medio SD3
				> 120 mm	Bajo SD2
			No existe suela de labor		Bajo SD2
					Muy bajo SD1
Explotaciones alejadas de cursos de agua	¿Trasfiere la escorrentía a explotaciones adyacentes?	SI	La escorrentía alcanza cursos de agua	SI	Alto T3
				NO	Muy Bajo T2
		NO			Muy Bajo T1

Figura 6. Panel de evaluación del riesgo de contaminación por escorrentía debido al exceso de saturación

- Escenarios de mitigación del riesgo

I1/T1- Mantener buenas prácticas agrícolas en la explotación para minimizar los efectos de la escorrentía y la erosión.

I2 Reducir la escorrentía en el inicio mediante un adecuado manejo del suelo, adopción de sistemas de agricultura de conservación. Si esto no fuese posible, considerar la implementación de zonas de seguridad...

I3/I5 Reducir la escorrentía en el inicio mediante un adecuado manejo del suelo, adopción de sistemas de agricultura de conservación. Implementar zonas de seguridad o las medidas más adecuadas al paisaje (bandas de seguridad en las vaguadas, estructuras de retención), especialmente en cultivos de primavera.

I4/I6 Minimizar el riesgo de escorrentía y erosión mediante todas las posibles medidas que se puedan implantar en la explotación, bandas de seguridad en las parcelas y medidas más adecuadas al paisaje (bandas de seguridad en las vaguadas, estructuras de retención). Combinar las medidas de la manera más eficaz, para conseguir la mayor eficiencia posible.

I7 Minimizar el riesgo de escorrentía y erosión mediante todas las posibles medidas que se puedan implantar en la explotación, bandas de seguridad en las parcelas y medidas más adecuadas al paisaje

(bandas de seguridad en las vaguadas, estructuras de retención). Combinar las medidas de la manera más eficaz, para conseguir el mayor efecto deseado.

T2 Mantener buenas prácticas agrícolas en la explotación para minimizar los efectos de la escorrentía y la erosión. En caso de concentración de escorrentía, implementar medidas adecuadas en el comienzo de la misma para evitar la transferencia a parcelas adyacentes. En caso que ocurra esta transferencia, tratar la parcela como si la escorrentía alcanzase un curso de agua.

T3 Detener la formación de la escorrentía mediante medidas aplicadas en la parcela (siembra directo, cubiertas vegetales en leñosos y bandas de seguridad) y asegurarse de la infiltración del agua antes de que alcance los cursos de agua naturales. En caso de grandes volúmenes de escorrentía, implementar medidas de retención.

En suelos congelados: reducir el riesgo de escorrentía mediante la implantación de zonas de seguridad para así minimizar los efectos de la pendiente en la escorrentía.

S4 Minimizar el riesgo de escorrentía y erosión mediante el uso de todas las medidas disponibles que sean viables en la explotación. Combinar eficazmente cada una de ellas para maximizar los efectos deseados.

S1/SD1* Mantener las buenas prácticas agrarias en la explotación con el fin de minimizar la escorrentía y erosión.

S 2/SD 2* Reducir la escorrentía en el comienzo de la formación de la misma, utilizando las medidas más adecuadas dentro de la parcela. Si no fuese posible considerar la implantación de zonas de seguridad.

S3/SD3* Reducir la formación de escorrentía mediante el uso de todas las medidas que se pueden aplicar en la parcela de cultivo. Además, implementar zonas de seguridad o medidas externas a la parcela (ej.: bandas de seguridad en las vaguadas, estructuras de retención), cuando las medidas en el interior del campo de cultivo sean inviables.

* Para todos los suelos-recomendaciones SD: Si hay riesgo de transferencia por los drenajes, interrumpir la aplicación de productos fitosanitarios con alta movilidad mientras fluye el agua por los drenajes o existen grietas en el suelo. Si fuese posible, implementar estructuras de retención en la evacuación de los drenajes.

2.4 Evaluación de la Herramienta

Para una facilitar el uso de la herramienta, se ha elaborado desde el grupo de investigación AGR 126 “Mecanización y Tecnología Rural”, un manual para el diagnóstico de explotaciones. Este manual está disponible en la página web del proyecto (www.proyectotopps.es) y ha sido entregado a los asistentes en los 30 cursos desarrollados a lo largo de la geografía española.

Asimismo, y con afán de mejorar la herramienta, esta ha sido evaluada por los asesores y agricultores que han participado en los cursos de formación. De las personas encuestadas, un 74% la considera útil y fácil de emplear, y un 24%, aunque la considera útil, estima difícil su aplicación, principalmente por la complejidad que puede tener el evaluar factores físicos del suelo en campo.

3. Conclusiones

El correcto diagnóstico de una explotación es el principal factor por el que las acciones para la mitigación de la contaminación que se puedan llevar a cabo tengan la mayor eficiencia posible. El proyecto TOPPS ha desarrollado una serie de herramientas para facilitar, tanto a agricultores como a asesores técnicos, la evaluación de las explotaciones, y esta herramienta ha sido considerada por los usuarios de gran utilidad. Por lo tanto, se hace imprescindible continuar con la formación y difusión de la misma para conseguir una disminución de la contaminación de los cauces y por tanto, que la actividad agrícola sea cada vez más sostenible.

Agradecimientos

Los autores agradecen a ECPA (European Crop Protection Association) por la financiación del proyecto TOPPS y a AEPLA (Asociación Empresarial para la Protección de las Plantas) la colaboración en el desarrollo de las jornadas de formación.

Bibliografía

Proyecto TOPPS. 2014. *Buenas Prácticas agrícolas para reducir la deriva, la escorrentía y la erosión*. Madrid. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Aquaplaine®, Aquavallee®: Diagnosis - tools developed by Arvalis Inst. du vegetal. France.

España. Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios. *Boletín Oficial del Estado*, 15 de septiembre de 2012, sec. I. Pág. 65127.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Plan de Acción Nacional para el uso sostenible de productos fitosanitarios. Noviembre 2012

UE. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y el Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 23 de octubre de 2000

McDonald, D.D., Ingersoll, C.G., Berger, T.A., 2000. Development and evaluation of consensus based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 39, 20-31

Avaliação da Produção de Metano pela Co-digestão Anaeróbia de Resíduos

Carina Malinowsky[1*], Thaianna Cardoso[1], Isabela Bonatto[1] , Lorena R. Vieira[1], Marco Antonio Casarin[1], Luíza D. Poletto[1], Jonathan Silva[1], Armando Borges de Castilhos Júnior[1]

[1]Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil.

*Autor correspondente: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Rua Delfino Conte, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Centro Tecnológico. Bairro Trindade, Florianópolis – Santa Catarina – Cep 88040 970, Brasil. e-mail: carimalinowsky@gmail.com

Resumo

A digestão anaeróbia é uma alternativa para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos, contudo as características dos materiais passíveis de tratamento diferem o funcionamento de biodigestores. Diante disso, a co-digestão é uma opção para ultrapassar os inconvenientes da digestão, minorar oscilações de funcionamento e potencializar o rendimento por meio do equilíbrio nutricional para os microrganismos anaeróbios. O ensaio de atividade metanogênica específica (AME) é uma importante forma de avaliação e monitoramento de processos anaeróbios e tem o objetivo de avaliar o potencial de produção de biogás dos microrganismos. O ensaio AME é calculado através dos valores da taxa de produção de metano, por unidade de biomassa (SVT) e unidade de tempo. Neste contexto, apresenta-se a pesquisa que buscou avaliar o desempenho da digestão da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos em co-digestão com óleo descartado de fritura. Para elaboração do procedimento foi utilizado o sistema de medição online de biogás AMPTS II (Automatic Methane Potential Test System). Foram realizados 5 tratamentos além do branco, cada tratamento com três repetições, que consistiu em uma mistura de diferentes proporções de resíduo sólido orgânico e óleo descartado de fritura e de desejos suínos como inóculo (tratamento 1 = branco, tratamento 2= resíduo sólido orgânico, tratamento 3= óleo descartado de fritura, tratamento 4= 1/2 de resíduo sólido orgânico com 1/2 de óleo descartado de fritura e tratamento 5= 1/5 de resíduo sólido orgânico com 4/5 de óleo descartado de fritura). O tratamento 5 apresentou o melhor resultado de volume acumulado de metano e de AME, correspondendo respectivamente a 1.404 mL e 719,5 $mLCH_4/gSTV$, enquanto o tratamento 3 apresentou os menores resultados 893 mL e 420 $mLCH_4/gSTV$. Já os tratamentos 2 e 4 não demonstraram diferenças significativas quando comparados ao tratamento 5. O resultado obtido evidencia incremento da produção de metano pela utilização de resíduo sólido orgânico combinado ao óleo descartado de fritura. Assim, esse estudo colabora com o aperfeiçoamento da investigação em soluções de tratamentos combinados voltados para países em desenvolvimento.

Palavras-chave: metanogênese, óleo de descarte de fritura, resíduo sólido orgânico, dejeto suíno.

Evaluation of methane production by anaerobic co-digestion of wastes

Abstract

Anaerobic digestion is an alternative for the treatment of organic solid waste, however as characteristics of the materials that can be treated differently from the operation of the biodigesters. Therefore, a co-digestion is an option to overcome the drawbacks of digestion, reduce operating oscillations and boost yield through nutritional balance for anaerobic microorganisms. The specific methanogenic activity (AME) assay is an important way of evaluating and monitoring anaerobic processes and has the objective of evaluating the biogas production potential of the microorganisms. The AME test is calculated by the values of the methane production rate, the biomass unit (SVT) and the time unit. In this context, he presented as a research company and evaluates the performance of the digestion of the organic fraction of urban solid waste in co-digestion with discarded frying oil. AMPTS II (Automatic Methane Potential Testing System). There were 4 treatments in addition to white, each treatment with three replicates, which consisted of a mixture of different proportions of organic solid residue and was discarded of frying and desires as an organic treatment, treatment 2 = discarded oil Frying, treatment 3 = 1/2 organic solid residue with 1/2 frying oil discarded and treated 4 = 1/5 organic solid residue with 4/5 discarded frying oil). Treatment 4 presented the best result of the accumulated

volume of methane and AME, corresponding respectively to 1,404 mL and 719.5 mLCH4 / gSTV, while the treatment was 893 mL and 420 mLCH4 / gSTV. 4. The result obtained evidence of methane production by the use of combined organic solid residue for discarded frying oil. Thus, this study contributes to the further development of research into combination treatment solutions for developing countries.

Keywords: methanogenesis, frying waste oil, organic solid residue, swine waste.

1. Introdução

A suinocultura é um importante seguimento da economia brasileira, segundo Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) a produção brasileira de carne suína registrou crescimento de 4,95% em 2015 na comparação com o ano anterior, totalizando 3,643 milhões de toneladas (41,3 milhões animais), o Estado de Santa Catarina foi o estado com maior produção, com 900,46 mil toneladas produzidas.

Com aproximadamente 60% da produção de suínos concentrada na região sul do país, a problemática dos resíduos gerados é uma preocupação crescente entre os agricultores, isso porque, os suínos eliminam grande quantidade de nutrientes nas fezes, os principais são o N (nitrogênio) e o P (fósforo), possuem elevada carga orgânica, que pode ser expressa pela DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e apresenta valores correspondentes a concentrações 50 vezes maiores que às contidas no esgoto humano (Diesel et al., 2002), além do forte odor produzido pela volatização da amônia(Orrico Júnior et al., 2010).

Dentre as técnicas utilizadas para a estabilização do dejeto suíno está a digestão anaeróbia, processo de decomposição e redução da matéria orgânica sólida, realizada por microrganismos anaeróbios, em ambiente isento de oxigênio. A digestão anaeróbia pode ser dividida em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese,. Os micro-organismos responsáveis pela digestão são divididos em três grupos, bactérias fermentativas, responsáveis pela hidrólise e acidogênese, bactérias acetogênicas, que respondem pela acetogênese e bactérias metanogênicas, atuantes na metanogênese, a fase final do processo de digestão anaeróbia. Cada grupo de bactérias tem sua função dentro do complexo processo de digestão, a concretização de todas as fases é determinante para a metanogênese e consequente produção do biogás (Chernicharo, 2007, Alves et al., 2013, Lauwers et al., 2013). Porém as características de alguns materiais dificultam o bom funcionamento do biodigestor, para tal, a co-digestão é uma opção para ultrapassar os inconvenientes da digestão e para melhorar a viabilidade econômica do reator (Mata–Alvarez et al., 2014).

A co-digestão é um método utilizado para melhorar o rendimento da digestão anaeróbia de resíduos sólidos através da mistura de diferentes co-substratos estabelecendo um equilíbrio nutricional. A co-digestão pode se dar pela diluição do substrato, a mistura com outro substrato ou ambos (Mata-Alvarez et al., 2000). A determinação da proporção ideal entre os co-substratos beneficia as características de funcionamento do biodigestor (Brow e Li, 2013), melhora a relação C/N, diminui a concentração de nitrogênio (Cuetos et al., 2008) e resultam em maior rendimento de biogás.

Entre os co-substratos com potencial de aumento na produção de biogás estão o óleo vegetal de descarte (óleo de cozinha) e os resíduos sólidos orgânicos. Resíduo orgânico entende-se como a fração biodegradável do RSU com um teor de umidade entre 85 e 90% (Mata-Alvarez et al. 2000) e segundo o comunicado 145 do IPEA (2012), no Brasil, são coletados 183 mil toneladas de resíduos sólidos por dia no Brasil, desse valor 51,4% é material orgânico.

No Brasil, o consumo anual de óleos vegetais está em torno de 3,72 milhões de toneladas. O resíduo de óleo de fritura possui uma carga orgânica elevadíssima com uma DQO aproximada de 82000g de O2/Litro (Rocha, 2010). A presença deste material, diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico impedindo a transferência do oxigênio da atmosfera para a água e, os óleos e graxas em seu processo de decomposição, reduzem o oxigênio dissolvido elevando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), causando alterações no ecossistema aquático (Dabdoub, 2006).

A eficiência da digestão anaeróbia é verificada através da redução dos nutrientes e a produção de biogás, para tanto, a atividade metanogênica específica (AME) é uma importante ferramenta para o controle operacional de reatores anaeróbios, podendo ser utilizado como um parâmetro de monitoramento da "eficiência" da população metanogênica presente em um reator biológico e estabelece a carga orgânica máxima a ser aplicada (Foresti *et al*, 1999).

Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo realizar teste de atividade metanogênica específica (AME) para avaliar o substrato que proporciona maior aumento da produção de biogás em reatores tratando dejeto suíno.

2. Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis- SC. O dejeto suíno é oriundo de uma propriedade rural no município de Braço do Norte, SC. O resíduo orgânico é proveniente do descarte de alimentos do restaurante universitário da UFSC- Florianópolis, e o óleo de descarte foi coletado em pontos de entrega voluntária de óleo na UFSC.

O ensaio AME será realizado utilizando o aparelho de medições on-line de biogás AMPTS II (Automatic Methane Potential Test System), sistema de medições on-line de biogás produzido pela digestão anaeróbica. O sistema AMPTS (Figura 1) é composto por três unidades/etapas, na primeira unidade *(unidade de incubação da amostra),* estão os frascos de vidro com 500mL que contêm a amostra e o inóculo anaeróbio. O biogás é então produzido continuamente e enviado para a segunda unidade (unidade de *fixação do CO2),* onde o biogás passa para um frasco contendo uma solução alcalina, ali o CO2 e H2S são retidos pela interação química com NaOH, permitindo apenas a passagem do CH4 para a unidade de monitoramento. Na terceira unidade (*dispositivo de medição do volume de gás),* o volume de CH4 liberado da segunda unidade é medido utilizando um dispositivo de medição que funciona de acordo com o princípio do deslocamento e flutuabilidade das pás, um impulso digital é enviado para o software e todos os dados gerados são armazenados e os resultados podem ser analisados.

Figura 1 - Sistema AMPTS

O resíduo orgânico passou pelo pré- tratamento de trituração. Este processo tem o objetivo de aumentar a área superficial específica e facilitar a ação microbiana. Logo após, o inóculo e o substrato orgânico serão submetidos a análises físicas e químicas: umidade, pH, sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV). Para as análises serão utilizados os métodos preconizados por APHA (1995).

O experimento contará com cinco tratamentos, cada tratamento em triplicata, buscando encontrar a melhor proporção entre dejeto suíno: resíduos orgânicos: óleo. Na tabela 01 são detalhados os tratamentos.

Tabela 1: Características do substrato e co-substrato utilizados no AME.

Tratamento		g de substrato	g de STV do substrato	g de co-substrato	g de STV do co-substrato	Porcentagem de óleo no co-substrato	Porcentagem resíduo orgânico do RU no co-substrato
1	**Suíno**	300,08	1,68	-	-	-	-
2	**Suino + óleo**	297,9	1,68	2,06	1,68	100	0
3	**Suíno + RU**	294,4	1,67	5,6	1,67	0	100
4	**Suíno + óleo + RU (1:1)**	297	1,65	3,1	1,65	50	50
5	**Suíno + óleo +RU (4:1)**	297,6	1,67	2,4	1,67	80	20

3. Resultados e Discussão

Na figura 2 são apresentados os valores para a evolução temporal da produção de metano. É possível verificar que em todos os casos a adição de um co-substrato aumentou a produção de metano, a média acumulada do dejeto suíno foi 205ml já a média dos tratamentos com co-substrato foi 1117ml, ou seja, um aumento de 445% no volume de metano produzido.

Ao longo dos 19 dias de monitoramento o tratamento 5 apresentou o melhor resultado de volume acumulado de metano e de AME, correspondendo respectivamente a 1.404 mL e 719,5 $mLCH_4/gSTV$, enquanto o tratamento 3 apresentou os menores resultados 893 mL e 420 $mLCH_4/gSTV$. Já os tratamentos 2 e 4 não demonstraram diferenças significativas quando comparados ao tratamento 4.

O resultado obtido evidencia incremento da produção de metano pela utilização de resíduo sólido orgânico combinado ao óleo descartado de fritura. O estudo confirma os resultados obtidos por Lansing et.al., (2010), ao adicionar 2,5% de óleo de descarte no volume total do biodigestor com dejeto suíno, observaram aumento de 124% na produção de metano. Sunada et.al., (2015) avaliaram as produções e potenciais de produção de biogás e metano durante processo de co-digestão anaeróbia em biodigestores alimentados com dejetos de suínos acrescidos de óleo de descarte e microrganismos liofilizados, concluindo que as maiores produções e potenciais ocorreram nos biodigestores abastecidos com 10% de óleo e 15g/m3 de Biol®.

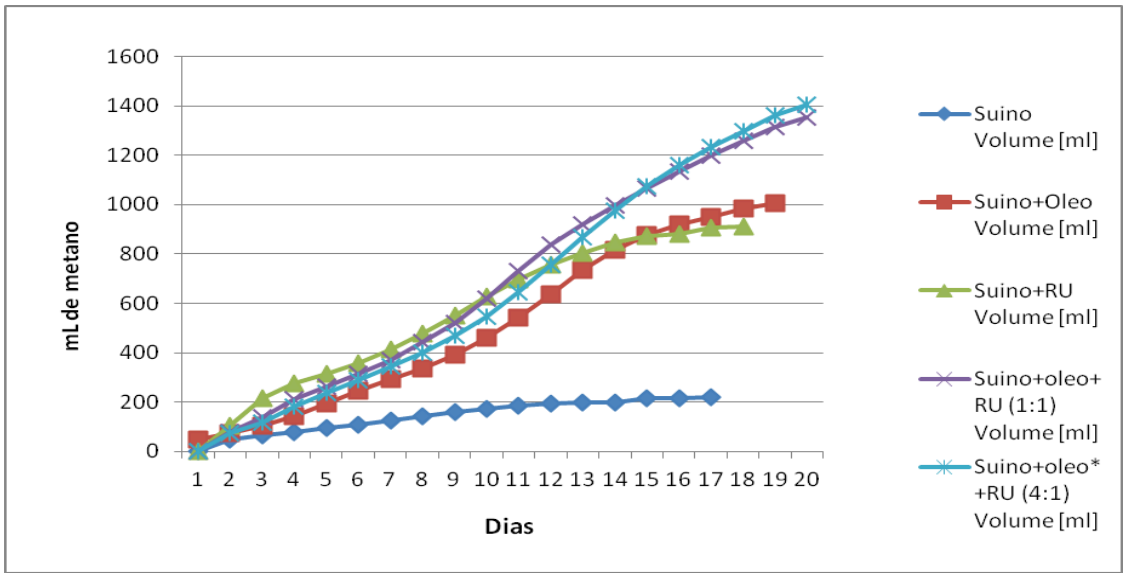


Figura 2 - Monitoramento do volume acumulado de metano.

Ao avaliar a eficiência da co-digestão anaeróbia de dejetos suínos com crescentes níveis de adição de óleo de descarte (8, 12, 16 e 20g/kg de substrato) Rodrigues (2012) observou maior potencial de produção de biogás no tratamento com menor inclusão de óleo (8g). Os resultados obtidos por Rodrigues (2012) corroboram as escolha dos tratamentos apresentados neste estudo e mostra a eficácia da adição de um co-substrato em biodigestores tratando dejeto suíno para o aumento da produção de metano.

4. Conclusões

O resultado obtido evidencia incremento da produção de metano pela utilização de resíduo sólido orgânico combinado ao óleo descartado de fritura, onde o tratamento 5 apresentou o melhor resultado de volume acumulado de metano e de AME, correspondendo respectivamente a 1.404 mL e 719,5 mLCH_4/gSTV .

Assim, esse estudo colabora com o aperfeiçoamento da investigação em soluções de tratamentos combinados voltados para países em desenvolvimento.

Bibliografia

ABPA- Associação Brasileira de Proteína Animal. 2017. Disponível em: http://abpa-br.com.br/files/RelatorioAnual_UBABEF_2015_DIGITAL.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

APHA; AWWA; WPCF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. Washington. American Public Health Association, American Water Woks Association, Water Environment Federation. Washington-DC, USA.

Alves, H.J.; C. Bley Junior; R.R. Niklevicz; E.P. Frigo; M.S.Frigo; C.H. Coimbra-Araújo. 2013. Overview of hydrogen production Technologies from biogas and the applications in fuel cells. *International journal of hydrogen energy*, v. 38, p. 5215-5225.

Brown, D. and Y. Li. 2013. Solid state anaerobic co-digestion of yard waste and food waste for biogas production.. *Bioresource Technology* 127, 275–280.

Chernicharo, C.A.L. 2007. Reatores anaeróbios – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v.5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais.

Cuetos, M.J.; X. Gomez; M. Otero and A. Moran. 2008. Anaerobic digestion of solidslaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Biochem. Eng. J*. 40, 99– 106.

Dabdoub, M.J. 2006. Biodiesel em casa e nas Escolas: Programa coleta de óleos de Fritura.

Diesel, R.; C.R. Miranda and C.C. Perdomo. 2002. *Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos*. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA. 31p. (Boletim Informativo de Pesquisa, 14).

Foresti, E.; L. Florencio; A. Van Haandel; M. Zaiat; P.F.F. Cavalcanti. 1999. Fundamentos do Tratamento Anaeróbio. In: *Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo*. Rio de Janeiro: PROSAB, ABES. Cap. 2, pp. 2952.

Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos Catadores, 2012. Comunicado n° 145. Disponível em <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/120425_comunicadoipea0145.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2014.

Lansing, S.; J. F. Martin; R. Botero Botero; T. N. Silva; E. D. Silva. 2010. Methane production in low-cost, unheated, plug-flow digesters treating swine manure and used cooking grease. *Bioresource Technology*. v. 101, p. 4362–4370.

Lauwers, J.; L. Appels; I.P. Trompson; J. Degrève; J.F.V. Impe; R. Dewil. 2013. Mathematical modelling of anaerobic digestion of biomass and waste: Power and limitations. *Progress in energy and combustion science*, v. 39, n. 4, p. 383 – 402.

Mata-Alvares, J.; S. Macé and P. Libres. 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresour. Technol*. 74. pp. 3–16.

Mata-Alvarez, J.; J. Dosta; M.S. Romero-Güiza; X. Fonoll; M. Peces; A. Astals. 2014. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewableand Sustainable Energy Reviews* 36, 412–427.

Orrico Júnior, M.A.P.; A.C.A. Orrico and J. Lucas Júnior. 2010. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.4, p.600-607.

Rodrigues, J.P. 2012. Efeito da adição de óleo e lipase sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos suínos. Dourados, MS. UFGD.

Sunada, N.S 1; A.W. Schwingel; J. Lucas Junior; A.C.A Orrico; M.A.P. Orrico Junior; M.F.F.M. Praes. 2015. Biogás e metano durante a co-digestão anaeróbia de dejetos de suínos, óleo de descarte e microrganismos liofilizados. *Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Sólidos Agropecuários e Agroindustriais*. Rio De Janeiro.

Proyecto INSPIA: Índice Europeo para una agricultura productiva y sostenible

Paula Triviño-Tarradas[1,2]; Emilio J. González-Sánchez[3,2,1]; Manuel Gómez-Ariza[3]; Antonio Holgado-Cabrera[1]; Francisco Sánchez-Ruiz[3]; Oscar Veroz-González[3]; Raúl Gómez-Ariza[3]

[1] European Conservation Agriculture Federation, Rond Point Schuman 6, b5, 1040 Etterbeek, Bruselas, Bélgica.

[2] Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales 14014, Córdoba, España.

[3] Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos. IFAPA Av. Menéndez Pidal s/n. 14004, Córdoba, España.

Resumen

El concepto de desarrollo sostenible ha evolucionado desde una percepción de protección del medio ambiente, hasta un enfoque holístico, buscando preservar el medio ambiente, logrando sostenibilidad en la economía y bienestar social. A nivel global, hay un desafío de producción importante en el sector agrícola que se debe alcanzar, al mismo tiempo que contribuir a la prosperidad económica, hacer frente al cambio climático y preservar el capital natural. Hoy en día, los enfoques convencionales agrícolas están bajo amenaza. Una agricultura más productiva y eficiente en recursos, que integre la protección de los recursos naturales en su enfoque ayudará a alcanzar todos estos desafíos, permitiéndonos no sólo tener más alimentos y piensos, sino también reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En este contexto, el proyecto INSPIA es un enfoque innovador que está demostrando que una agricultura productiva sostenible es posible gracias a la implementación de una serie de buenas prácticas agrarias (BPA), que son monitoreadas a través de un conjunto de indicadores ambientales, sociales y económicos. La finalidad de INSPIA es demostrar que existe un modelo agrícola sostenible y productivo instaurado en Europa, y que una mayor adopción es posible.

El proyecto cubre más de 50 fincas en Bélgica, Dinamarca, Francia y España. INSPIA promueve la biodiversidad, la conservación de suelos, la mejora de la calidad de las aguas, y la mejora de los servicios ecosistémicos. Este sistema holístico se basa en la combinación de la Agricultura de Conservación y el Manejo Integrado de Plagas. Los principios de la Agricultura de Conservación son: la siembra directa; el mantenimiento de una cubierta permanente del suelo; y las rotaciones de cultivos (Basch et al, 2012).

INSPIA promueve la optimización de las tecnologías e insumos agrícolas, dado que son necesarios para ayudar a los agricultores a mejorar su actividad, particularmente en términos de competitividad.

Palabras clave: Buenas prácticas, Indicadores, Índice sostenibilidad, Agricultura de Conservación.

INSPIA Project: European Index for Sustainable Productive Agriculture

Abstract

The concept of sustainable development has evolved from a perception of the protection of the environment, to a holistic approach, seeking to preserve the environment, achieve sustainability in the economy and social welfare. Globally, there is a major production challenge in the agricultural sector to be reached, at the same time that contributing to economic prosperity, coping with climate change, and preserving natural capital. Today, conventional agricultural approaches are threatened. More productive and resource efficient agriculture, that integrates the protection of natural resources in its approach, will help achieve all these challenges, allowing not only greater food production, but also to reduce greenhouse gas emissions.

In this context, the INSPIA project is an innovative approach which, is demonstrating that sustainable productive agriculture is possible thanks to the implementation of some best management practices (BMPs), that are monitored through a set of environmental, social and economic indicators. The aim of INSPIA is to demonstrate that there is a sustainable and productive agricultural model established in Europe, and that a greater adoption is possible.

The project covers more than 50 farms in Belgium, Denmark, France and Spain. INSPIA promotes biodiversity, soil conservation, improved water quality and ecosystem services. This holistic sustainable agriculture system is based on the combination of Conservation Agriculture and Integrated Pest Management. The principles of Conservation Agriculture are: No-tillage; permanent soil cover; and crop rotations (Basch *et al*, 2012).

INSPIA promotes the optimization of technologies and agricultural inputs, since they are needed to help farmers to enhance their activity, particularly in terms of competitiveness.

Keywords: Best Management Practices, Indicators, Sustainability Index, Conservation Agriculture

1. Introducción

Actualmente la percepción del desarrollo sostenible ha evolucionado notablemente en las últimas décadas, desde un simple concepto de protección del medio ambiente, hasta un enfoque más ambicioso, que busca preservar no sólo el medio ambiente, sino también conseguir la sostenibilidad económica así como la del bienestar social. En este sentido, según las proyecciones de población dadas por la FAO y de la UE, la sociedad actual se enfrentará en los próximos años a un gran reto de producción de alimentos. Según estos organismos, en el año 2050 será necesario producir un 70% más de alimentos, para aumento de un 34% de población que se espera para ese año. Por lo tanto, el reto actual de la agricultura es producir más, pero de una manera sostenible y optimizando los recursos naturales disponibles.

En esta línea, el proyecto INSPIA, "EUROPEAN INDEX FOR SUSTAINABLE PRODUCTIVE AGRICULTURE", traducido al Español como" INDICE EUROPEO PARA ALCANZAR UNA AGRICULTURA PRODUCTIVA Y SOSTENIBLE", responde al desafío planteado actualmente por la UE con respecto a la necesidad de desarrollar una agricultura productiva pero que además conserve el capital natural, ofreciendo servicios al ecosistema y ayudando a mitigar los efectos negativos del cambio climático.

Por ello, desde hace algunos años, la Federación Europea de Agricultura de Conservación (ECAF), conjuntamente con la Asociación Española de Agricultura de Conservación-Suelos Vivos (AEAC.SV), la Asociación Francesa de Agricultura de Conservación (APAD), y la Asociación Europea de Protección de Cultivos (ECPA), en su ánimo de ofrecer soluciones y respuestas hacia el logro de la sostenibilidad agraria, continúan llevando a cabo el desarrollo del proyecto europeo INSPIA desde la anualidad 2013. INSPIA se alimenta con datos verificables obtenidos de una red Europea de explotaciones agrarias, conformada en una primera fase por 56 fincas ubicadas entre Bélgica, Dinamarca, Francia y España.

2. Objetivos del proyecto INSPIA

La idea INSPIA es proporcionar a los agricultores un índice europeo de agricultura productiva sostenible basado en el seguimiento de los diferentes tipos de indicadores como son, económicos, sociales y medioambientales con la finalidad de lograr mejoras en la Sostenibilidad Agraria a través de la implementación de Buenas Prácticas Agrarias (BPAs). Por ello, el logro de la Sostenibilidad Agraria a través de INSPIA está sirviendo para sensibilizar a la sociedad en general, y en particular a los responsables políticos de la Unión Europea en favor de unas prácticas agrarias que, no sólo generan servicios al ecosistema, sino que ofrecen si cabe mayor viabilidad económica al propio agricultor.

3. Acciones del proyecto INSPIA

El proyecto INSPIA se compone de varias acciones preparatorias, de implementación, de control, de comunicación, y por supuesto de gestión y coordinación. En el tabla 1, se muestra el conjunto de acciones y actividades que lo conforman. Dentro de las entidades involucradas en el proyecto, se encuentra la Asociación Francesa de Agricultura de Conservación APAD (Association pour la Promotion d'une Agriculture Durable) y la AEAC.SV (Asociación Española de Agricultura de

Conservación. Suelos Vivos), ambas pertenecientes a ECAF, que se están ocupando de la ejecución y desarrollo a nivel local de las acciones individualizadas en cada finca. Mientras que la gestión de datos en las fincas ubicadas en Bélgica y Dinamarca se desarrolla directamente a través de ECAF.

Tabla 1.- Acciones del proyecto INSPIA.

Nivel	Código	Nombre acción
Preparatorias	A1	Descripción de las Buenas Prácticas Agrarias en la agricultura
	A2	Selección de la Red de fincas y firma de acuerdos de colaboración
	A3	Selección de Indicadores de Sostenibilidad
	A4	Metodología para recoger los datos en las fincas
Implementación	B1	Establecimiento y gestión de la red de fincas
Control	C1	Control de los Indicadores de Sostenibilidad
	C2	Caracterización de la BPAs y del nivel de satisfacción de los agricultores
	C3	Realización de la aplicación on-line (plataforma)
Comunicación	D1	Plan de comunicación
	D2	Acciones de transferencia de tecnología a nivel nacional
Coordinación	E1	Gestión y coordinación

4. Desarrollo del proyecto INSPIA

4.1. Funcionamiento cíclico de INSPIA

En primer lugar se realiza un diagnóstico inicial a cada una de las fincas pertenecientes a la Red INSPIA europea. Cada agricultor podrá obtener su Índice de Sostenibilidad, en situación de partida, basado en la medición de una serie de Indicadores (medioambientales, sociales y económicos), que deberán de ser cumplimentados en la plataforma on-line del proyecto (http://www.inspia-index.es). Una vez conocido dicho índice, los valores de los indicadores que los han propiciado y las prácticas agrarias implementadas en campo, se elaborará un informe para cada agricultor a nivel individual, con las mejoras en cuanto a las BPAs que se pueden acometer en la finca para mejorar en futuras campañas el índice de sostenibilidad.

Asimismo, y de forma paralela, INSPIA ha desarrollado y validado un listado de Buenas Prácticas Agrarias (BPAs), como prácticas de manejo de suelo, de optimización y aplicación de insumos, y otras prácticas enfocadas a la protección ambiental que se encaminan a mejorar el Índice de Sostenibilidad. Dichas BPAs, constituyen la base de las recomendaciones del informe anual que se entrega a los agricultores de la red INSPIA, para que éstos puedan progresar en la sostenibilidad de su explotación en las campañas venideras. De esta manera, año tras año, INSPIA dará comienzo de nuevo el ciclo de operaciones y con ello a un nuevo diagnóstico, monitoreo de indicadores y posterior evaluación de los mismos con respecto a las BPAs implantadas en la explotación (figura 1).

Figura 1.- Esquema de trabajo del proyecto INSPIA.

4.2. Buenas Prácticas Agrarias e Indicadores de Sostenibilidad

Tras diversos encuentros con expertos a nivel nacional e internacional, el Comité directivo del proyecto INSPIA fundamentalmente compuesto por personal técnico e investigador, ha consensuado las siguientes BPAs (tabla 2):

Tabla 2.- Listado de Buenas Prácticas Agrarias INSPIA.

Orden	Buenas Prácticas Agrarias
1	Uso de cubierta permanente del suelo (cobertura vegetal o restos de cultivos)
2	Mínima perturbación del suelo
3	Utilización de cubiertas vegetales en cultivos permanentes
4	Realización de una correcta rotación de cultivos / diversificación
5	Prácticas agrícolas en favor a las curvas de nivel
6	Abonado de acuerdo con las deficiencias de suelo y las necesidades de cultivo
7	Uso de productos fitosanitarios de acuerdo con la Estrategia de Gestión integrada de Plagas
8	Utilización de tecnologías modernas en la aplicación de productos (Agricultura de precisión)
9	Optimización de la tasa y del tiempo de riego (teniendo en cuenta los requisitos de contenido de agua del suelo, capacidad de retención de agua del suelo y de los cultivos en relación con la evapotranspiración)
10	Optimización del uso de los productos fitosanitarios (dosis y productos apropiados)
11	Implementación de zonas tampón en las lindes de las parcelas con especies vegetales diversas
12	Establecimiento y mantenimiento de franjas vegetales a lo largo de los cursos de agua
13	Construcción de estructuras de retención en contra de la pendiente para reducir la longitud de la ladera de las parcelas (fajinas, franjas de vegetación).
14	Prevención de la contaminación puntual por productos fitosanitarios en las fincas (limpieza de áreas de llenado y gestión de los productos)
15	Manejo optimizado de los residuos de la finca (áreas específicas) (residuos vegetales, efluentes, vertidos, envases vacíos de productos fitosanitarios, etc.)

Estas BPAs se pueden agrupar en torno a los siguientes temas:

- Gestión de cultivos y manejo de suelos
- Optimización de insumos y su aplicación
- Conservación del medio Ambiente y mejoras de la biodiversidad en las zonas agrícolas

Dentro de los tres grupos citados de Buenas Prácticas Agrarias se indican técnicas que mejoraran la Agro-biodiversidad, protegen la calidad de agua, evitan la degradación de los suelos agrarios, reducen la erosión y obviamente mejoran la productividad y fertilidad del suelo. Asimismo, todas estas prácticas avanzan en la idea de crecimiento sostenible desarrollado por la Comisión Europea en la comunicación "Europa 2020: Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador" (COM (2010) 2020 final). Ya que en dicho documento, al igual que en otros muchos donde se reflejan las tendencias reflejadas en la políticas agrarias y medioambientales europeas en cuanto a la necesidad de conseguir una agricultura productiva pero a la vez, más sostenible con el medio natural, se apuesta por un uso más eficaz de los recursos, optimizando el uso de la energía empleada, y tratando de mitigar en la mayor medida posible desde el sector agrario el cambio climático.

Los parámetros que van a ser monitoreados para cada explotación son los Indicadores de Sostenibilidad INSPIA. Esta lista de 25 Indicadores de Sostenibilidad (económicos, sociales y medioambientales), evaluarán y proporcionarán finalmente un índice de sostenibilidad de cada una de las fincas de la red europea en un periodo determinado (tabla 3). Actualmente, el proyecto se encuentra desarrollando una nueva plataforma de indicadores que está en proceso de validación. Se estima que la nueva plataforma de indicadores pueda estar disponible para el segundo semestre del 2017.

Tabla 3.- Indicadores de Sostenibilidad.

Orden	Nombre del indicador
1	EBITDA (por ha) (excluidos los intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones)
2	EBITDA unidad/trabajo
3	Costes de producción
4	Rendimiento Tep/ha SAU
5	Rendimiento Tep/ha superficie forrajera principal
6	Autonomía alimentaria
7	Tiempo de trabajo % ETC (Equivalente a Tiempo Completo)
8	Índice de satisfacción
9	Perturbación del suelo
10	Cobertura del suelo
11	Materia orgánica
12	Diversidad de cultivos
13	Balance N
14	Balance energético
15	Independencia energética
16	Consumo de agua
17	Utilización del suelo Ha/Tep (Tonelada equivalente Petróleo)
18	Biodiversidad en el área de superficie
19	Relación entre la superficie de la vegetación natural y la superficie total de la finca
20	Conexión de fincas con redes medioambientales
21	Estructuras de biodiversidad (nidos, colmenas, telas de araña, etc.)- hábitats
22	Nivel de NO3 (pozos)
23	Nivel de NO3 (ríos)
24	Uso de productos fitosanitarios en fincas cercanas a cursos de agua
25	Nivel de GEI

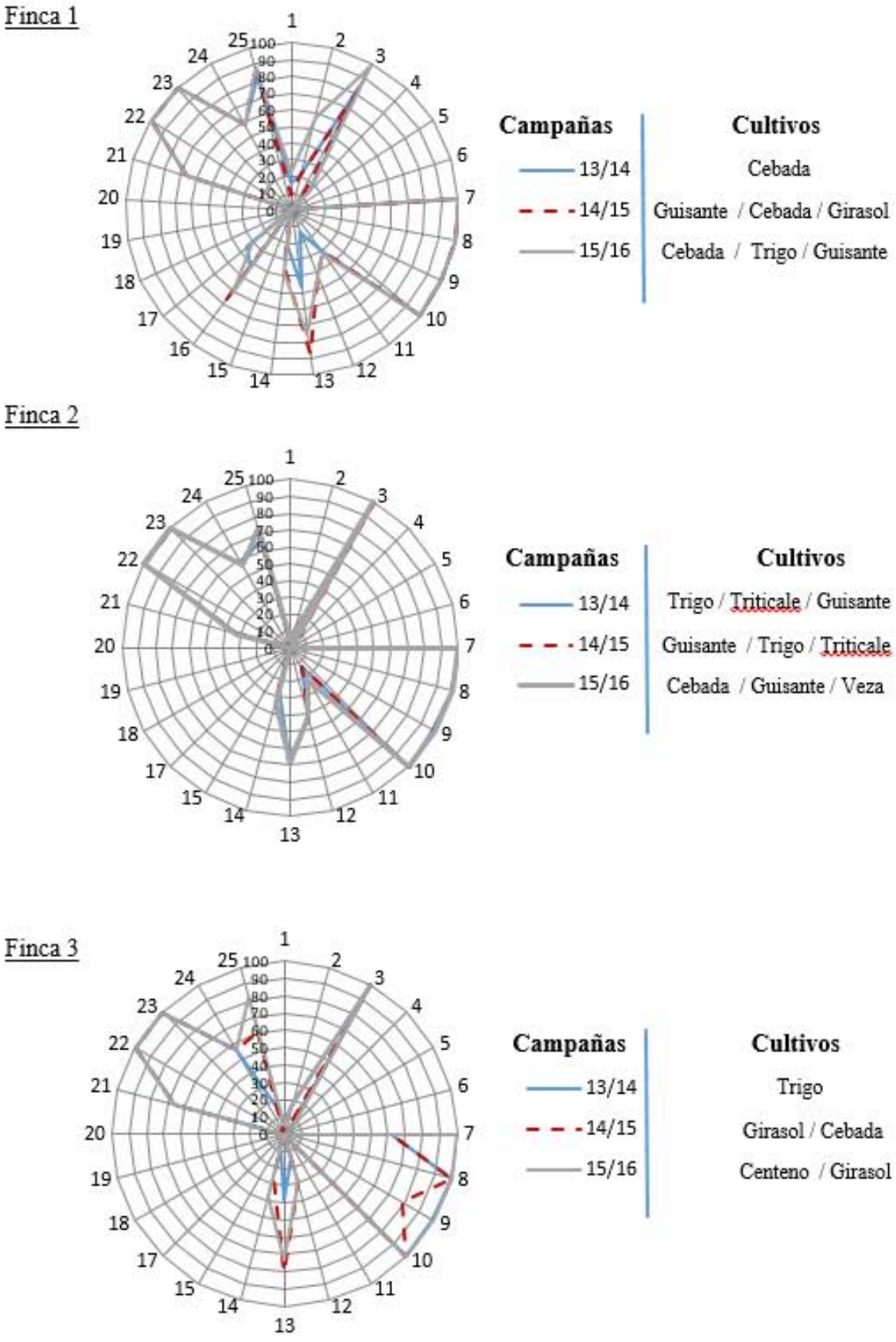


Figura 2. Datos de fincas.

4.3. Otras acciones INSPIA

Durante la realización del proyecto INSPIA se obtendrán resultados que ofrecerán datos de relevante valor en las diversas áreas de la red, donde se haya estudiado la sostenibilidad agraria, no sólo desde el punto de vista medioambiental, sino también desde el punto de vista social y económico. Este estudio, sin duda, podrá servir de base como reflejo fiel de la realidad agraria de las zonas rurales estudiadas de la Unión Europea, creando la conciencia necesaria en favor de la agricultura sostenible, y promoviendo la adopción de sus prácticas sostenibles por toda Europa.

4.4. Resumen

En el marco de este proyecto, se ofrece la posibilidad real de compartir, entender y aprender por parte de los agricultores, técnicos y otros interesados, unas Buenas Prácticas Agrarias adaptadas al paisaje agrícola que mejoran la biodiversidad del espacio rural, sin dejar de lado su principal objetivo de producción de alimentos.

El establecimiento y gestión de las fincas de la Red, su control a través de la medición de los indicadores, y la validación de los resultados obtenidos, propiciaran las recomendaciones idóneas en cuanto a las Buenas Prácticas Agrarias a implantar en cada una de las fincas en su camino hacia la sostenibilidad. Dicha implementación y demostración de las BPAs promoverá la adopción de técnicas de agricultura sostenible en toda Europa, sensibilizando, no solo a técnicos y a agricultores, sino a los responsables de las políticas de la EU en favor de una agricultura más sostenible (www.inspia-europe.eu).

Bibliografía

Basch, G.; Kassam, A.; González-Sánchez, E.J. and Streit, B. 2012. Making Sustainable Agriculture Real in *CAP 2020: The Role of Conservation Agriculture*.

Projeto HYDROREUSE - Tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais utilizando um sistema hidropónico inovador com plantas de tomate

Ana R. Prazeres[1,2,*], Flávia Fernandes[1], Silvana Luz[3], Alexandra Afonso[1,3], Mariana Regato[3], Adelaide Almeida[3], Teresa Carvalhos[3], Maria Pereira[3], Arlindo Gomes[4], Rogério Simões[4], Patrícia Palma[3], Fernando Beltrán[5], António Albuquerque[4], Javier Rivas[5], Eliana Jerónimo[1,2], Fátima Carvalho[3]

[1] Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Beja, Portugal. ana.prazeres@cebal.pt

[2] ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Évora, Portugal.

[3] Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Rua Pedro Soares, Apartado 6155, 7800-295, Beja, Portugal.

[4] Universidade da Beira Interior (UBI), Rua Marquês D'Ávila e Bolama, 6201-001, Covilhã, Portugal.

[5] Departamento de Ingeniería Química y Química Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Extremadura, Avenida de Elvas S/N, 06071, Badajoz, España.

Resumo

As águas residuais agroindustriais constituem um problema complexo em termos ambientais e de saúde pública, devido aos conteúdos em matéria orgânica, sólidos suspensos, óleos e gorduras, sais, nutrientes, etc. Assim, estes efluentes quando descarregados nos meios recetores sem qualquer tipo de tratamento ou valorização podem provocar eutrofização e consumo rápido de oxigénio, necessitando de mecanismos de gestão eficientes e atrativos do ponto de vista económico. Os processos biológicos constituem os tratamentos convencionais mais utilizados. No entanto, estes processos apresentam inúmeras desvantagens no que diz respeito à estabilidade de funcionamento dos reatores. Por outro lado, estes efluentes podem ser fontes de água, nutrientes e matéria orgânica para a reutilização agrícola. Assim, o projeto HYDROREUSE pretende estudar as propriedades físico-químicas e avaliar o risco ambiental de águas residuais agroindustriais com grande impacto. Além disso, o projeto HYDROREUSE visa estudar pré-tratamentos inovadores para a redução parcial do nível de contaminação das águas residuais agroindustriais com o objetivo de produzir soluções nutritivas para a reutilização agrícola. O projeto HYDROREUSE tem ainda como objetivo desenvolver um sistema hidropónico inovador com plantas de tomate para o tratamento e reutilização de águas residuais pré-tratadas. No sistema hidropónico pretende-se estudar as condições ótimas de funcionamento e monitorizar a eficiência de eliminação da matéria orgânica e nutrientes. Apesar da elevada eficiência de remoção deste sistema biológico, os efluentes hidropónicos podem necessitar de pós-tratamento para a descarga no meio recetor. Neste sentido, os efluentes hidropónicos irão ser tratados por diferentes processos de oxidação. O projeto baseia-se na economia verde, circular, azul e zero resíduos, uma vez que reutiliza as águas residuais como soluções nutritivas na hidroponia, minimizando os custos de exploração desta tecnologia.

Palavras-chave: impacte ambiental, agroindústria, reutilização agrícola, matéria orgânica, nutrientes

HYDROREUSE - Treatment and reuse of agro-industrial wastewaters using an innovative hydroponic system with tomato plants

Abstract

Agro-industrial wastewaters constitute a complex problem from an environmental and public health point of view due to their contents in organic matter, suspended solids, oils and fats, salts, nutrients, etc. Thus, these effluents when discharged into the receiving resources without any kind of treatment or recovery can cause eutrophication and oxygen rapid consumption, requiring efficient and economically attractive management mechanisms. Biological processes are the most commonly used conventional treatments. However, these

processes have numerous drawbacks with respect to the stability of reactor operation. On the other hand, these effluents can be sources of water, nutrients and organic matter for agricultural reuse. Thus, the HYDROREUSE project intends to study the physicochemical properties and evaluate the environmental risk of agroindustrial wastewaters with great impact. In addition, the HYDROREUSE project aims to study innovative pretreatments for the partial reduction of the contamination level of agroindustrial wastewaters with the objective of producing nutritive solutions for agricultural reuse. The HYDROREUSE project also aims to develop an innovative hydroponic system with tomato plants for the treatment and reuse of pretreated wastewaters. In the hydroponic system, we intend to study the optimal operating conditions and monitor the elimination efficiency of organic matter and nutrients. Despite the high removal efficiency of this biological system, hydroponic effluents may require a post-treatment for discharge into the receiving medium. In this sense, hydroponic effluents will be treated by different oxidation processes. The project is based on green, circular, blue and zero waste economy, as it reuses wastewaters as nutritive solutions in hydroponics, minimizing the exploiting costs of this technology.

Keywords: Environmental impact, agroindustry, agricultural reuse, organic matter, nutrients

1. Introdução

As águas residuais domésticas e industriais geram vários problemas ambientais pela concentração de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e microrganismos, necessitando de processos eficientes para o seu tratamento e/ou reutilização. A reutilização de águas residuais atinge uma relevância significativa em várias regiões áridas e semiáridas do mundo devido aos estritos requisitos impostos pela legislação ambiental e à escassez de água, nomeadamente, nos países mediterrânicos como Portugal, Espanha, Itália, Grécia, Tunísia, Israel e Jordânia (Prazeres et al., 2018).

A agricultura constitui o principal consumidor de água (Sanctis et al., 2017), causando uma grande pressão sobre os recursos hídricos disponíveis. A consciencialização ambiental presente nas últimas décadas tem conduzido ao tratamento e reutilização de fontes de águas não convencionais (Bueno et al., 2017). Assim, a reutilização de águas residuais na agricultura constitui uma abordagem com vantagens sociais, económicas e ambientais, reduzindo a pressão sobre o ambiente, como por exemplo, nos recursos de água fresca (Verlicchi, 2017). Além disso, esta prática permite minorar o nível de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, melhorar as propriedades físico-químicas dos solos, reduzir a descarga descontrolada de efluentes nos solos e nos recursos hídricos e minimizar a dependência e custos na aquisição de fertilizantes comerciais (Prazeres et al., 2017).

Neste sentido, o Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL) e o Instituto Politécnico de Beja (IPBeja) desenvolveram o projeto HYDROREUSE, o qual assume várias missões, entre as quais, a valorização de águas residuais agroindustriais por processos físico-químicos e biológicos inovadores para redução do impacte ambiental com proteção, conservação e preservação dos recursos naturais, bem como o aumento da competitividade do setor agroalimentar por estudo de tecnologias evoluídas, com maiores produtividades e ambientalmente sustentáveis (Prazeres et al., 2016). Este projeto conta também com a participação da Unidade de I&D FibEnTech da Universidade da Beira Interior e do Grupo de Investigação TRATAGUAS da Universidad de Extremadura, assim como a colaboração de cinco parceiros industriais - matadouro Sapju Carnes, S.A., Queijaria Guilherme, adega Ribafreixo Sociedade Agrícola, Lda. – Herdade do Moinho Branco, lagar Belloliva, LDA – Quinta de S. Pedro e centro de produção de morangos por hidroponia PaxBerry. O presente trabalho tem como objetivo apresentar os parceiros, objetivos, temáticas e alguns resultados inovadores obtidos no âmbito do projeto HYDROEUSE.

2. Objetivos

O objetivo fundamental do projeto HYDROREUSE consiste no estudo e desenvolvimento de várias alternativas inovadoras para a gestão de quatro tipos de águas residuais agroindustriais com impacte ambiental na região do Alentejo, mas que assumem grande relevância a nível nacional e internacional. Além disso, o projeto apresenta vários objetivos específicos, tais como, a

caracterização físico-química e microbiológica e avaliação do risco ambiental das águas residuais brutas e tratadas, desenvolvimento de tratamentos primários e secundários baseados em processos físico-químicos de precipitação/oxidação e biológicos de fitorremediação, e aplicação de processos de oxidação para afinação de efluentes (tratamento terciário) provenientes do tratamento secundário.

3. Temáticas

3.1. Caracterização físico-química das águas residuais agroindustriais

A agroindústria constitui uma atividade com grande importância a nível nacional e internacional. Contudo, origina a produção de grandes quantidades de efluentes com propriedades físico-químicas e microbiológicas que geram impacte ambiental e na saúde pública. Entre os vários impactes, pode-se destacar a eutrofização, contaminação de solos e águas, acumulação de elementos tóxicos e consumo de oxigénio. O projeto HYDROREUSE pretende estudar quatro tipos de águas residuais agroindustriais, provenientes de queijarias (Figura 1A), lagares (Figura 1B), matadouros (Figura 1C) e adegas (Figura 1D).

Figura 1. Águas residuais estudadas provenientes de queijaria (A), lagar (B), matadouro (C) e adega (D)

A Tabela 1 resume as propriedades físico-químicas das águas residuais estudadas. As águas residuais apresentam propriedades diferentes de acordo com a sua origem. As águas residuais provenientes de queijaria e lagar exibem pHs ácidos com valores inferiores a 5, enquanto as águas residuais provenientes de matadouro e adega apresentam pH próximo da neutralidade, com valores médios de 6,89 e 6,80, respetivamente. A água residual proveniente de queijaria apresenta o valor mais elevado de condutividade (valor médio de 5,23 dS m^{-1}) devido ao conteúdo em sais adicionados durante o processo de fabrico. Os efluentes agroindustriais estudados caracterizam-se por um elevado teor de matéria orgânica, apresentando um teor de carência química de oxigénio (CQO) acima de 2000 mg L^{-1}. Além disso, contém elevado teor em nutrientes como fósforo, cálcio e magnésio. A alcalinidade e dureza existentes nas águas estudadas é devido principalmente à presença de bicarbonatos e cálcio, respetivamente. A concentração de fenóis totais varia de acordo

com o tipo de água residual, observando-se os maiores valores na água residual provenientes de lagar, com um valor médio de 540,4 mg L^{-1}.

Tabela 1. Caracterização físico-química das águas residuais estudadas

Parâmetro	Unidade	Queijaria	Lagar	Matadouro	Adega
pH	escala de Sorensen	4,52±0,205	4,63±0,142	6,89±0,237	6,80±0,056
Condutividade	dS m^{-1}	5,23±0,277	2,69±0,133	2,96±0,109	1,62±0,064
Turvação	NTU	594,9±49,54	280,1±2,63	797,8±156,19	320,8±145,06
CQO	mg L^{-1}	4917±353,6	7910±330,7	4660±1040,3	2003±423,3
Fósforo	mg L^{-1}	3411,8±1255,64	1049,7±84,74	676,5±90,71	210,1±24,34
Cálcio	mg L^{-1}	236,2±28,94	210,6±42,55	144,9±21,33	110±12,86
Magnésio	mg L^{-1}	109,5±36,77	73,6±15,86	54,7±19,61	55±14,79
Alcalinidade total	mg L^{-1} $CaCO_3$	1339,7±251,14	2039,2±344,81	884,5±96,11	700,7±48,06
Bicarbonatos	mg L^{-1} $CaCO_3$	1339,7±251,14	2039,2±344,81	884,5±96,11	700,7±48,06
Dureza total	mg L^{-1} $CaCO_3$	1039,7±168,69	970,5±470,86	586,4±120,58	504,3±49,90
Dureza cálcica	mg L^{-1} $CaCO_3$	589,3±72,19	525,5±106,16	361,5±53,22	276,5±32,08
Dureza magnesiana	mg L^{-1} $CaCO_3$	450,4±151,30	445,0±435,54	224,9 80,72	227,8±60,83
Fenóis totais	mg L^{-1}	75,9±6,76	540,4±50,42	34,8±10,19	27,8±3,01
		Absorvâncias			
220 nm	cm^{-1}	0,639 ± 0,0383 (1:50)	1,027±0,0994 (1:50)	0,184±0,0473 (1:50)	0,143±0,0397 (1:50)
254 nm	cm^{-1}	0,180 ± 0,0147 (1:50)	0,366±0,0637 (1:50)	0,093±0,0315 (1:50)	0,093±0,0317 (1:50)
410 nm	cm^{-1}	0,092 ± 0,0065 (1:50)	0,076±0,0140 (1:50)	0,047±0,0152 (1:50)	0,033±0,0161 (1:50)
600 nm	cm^{-1}	0,060 ± 0,0072 (1:50)	0,031±0,0054 (1:50)	0,054±0,0198 (1:25)	0,067±0,0059 (1:20)

Resultados obtidos após 5 réplicas de uma amostragem.

3.2. Tratamento e reutilização das águas residuais agroindustriais

O projeto HYDROREUSE visa estudar e desenvolver processos de tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais por estabelecimento de uma linha de tratamento inovadora, composta por três tipos de tratamento, designadamente, processos físico-químicos de precipitação/oxidação (pré-tratamento ou tratamento primário), processos biológicos através de sistema hidropónico de dupla função (tratamento secundário) e processos físico-químicos de afinação por oxidação (tratamento terciário) (Figura 2).

As condições operacionais ótimas estão a ser estudados no pré-tratamento, tendo em conta o tipo, a concentração e o pH do agente de precipitação/oxidação, mantendo a velocidade e tempo de agitação, temperatura, pressão atmosférica e tempo de sedimentação constantes. Nesta fase está a proceder-se ao estudo e desenvolvimento de 12 processos físico-químicos de tratamento. Estes processos diminuem a carga orgânica, a turvação, o teor de nutrientes, sólidos suspensos, óleos e gorduras e a contaminação microbiológica. Porém, estes efluentes ainda são ricos em matéria orgânica e nutrientes, podendo ser utilizados como soluções nutritivas para a agricultura.

O tratamento secundário irá ser aplicado aos efluentes provenientes do tratamento primário, utilizando um sistema hidropónico constituído por plantas de tomate nas quais as raízes serão colocados num substrato inerte. No sistema hidropónico, as condições operacionais ótimas também irão ser estudadas, nomeadamente, tempo de retenção, caudal, carga hidráulica, altura da lâmina de água e modo de operação (recirculação/contínuo). O sistema hidropónico de dupla função apresenta duas vantagens importantes: tratamento da água residual por redução da carga orgânica e conteúdo de nutrientes por plantas alimentares e produção de frutos com valor comercial. Os efluentes hidropónicos obtidos podem ainda ser novamente utilizados para a irrigação de culturas.

No tratamento terciário serão utilizados processos físico-químicos de oxidação para eliminação da carga orgânica, conteúdo de nutrientes e contaminação microbiana dos efluentes hidropónicos, de forma a permitir a reutilização na indústria ou na agricultura. Os processos físico-químicos utilizados no tratamento primário e terciário podem conduzir à produção de lamas contendo matéria orgânica e nutrientes, as quais podem ser aplicadas também na agricultura com a função de fertilizante e/ou corretivo de solos.

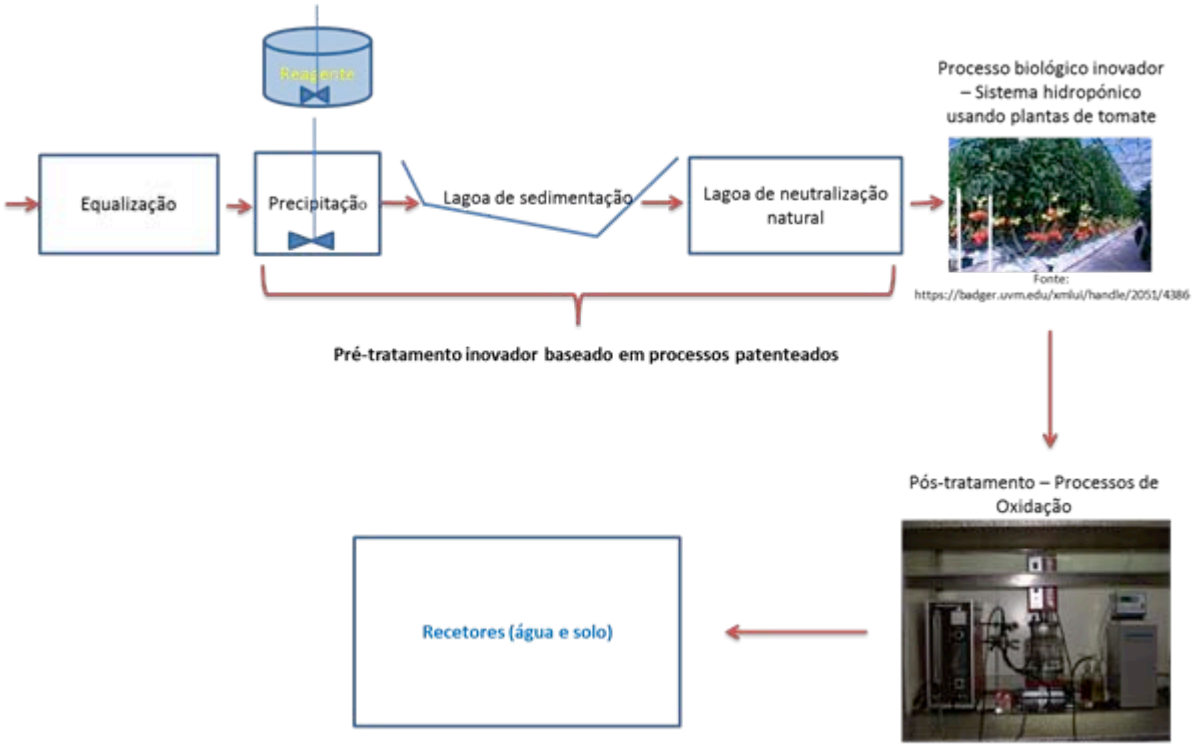


Figura 2. Linha de tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais proposta no Projeto HYDROREUSE (Prazeres et al., 2017)

4. Conclusões

O projeto HYDROREUSE permitirá estudar e desenvolver processos inovadores para o tratamento e reutilização de vários tipos de águas residuais agroindustriais (produzidas por queijarias, lagares, adegas e matadouros), características da região do Alentejo, mas com importância a nível nacional e internacional. Este projeto assume também uma importância significativa a nível da economia verde, circular, azul e zero resíduos, permitindo reduzir os custos de tratamento das águas por valorização integrada das mesmas e produção de culturas alimentares.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao programa ALENTEJO 2020 pelo financiamento do projeto HYDROREUSE - Tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais utilizando um sistema hidropónico inovador com plantas de tomate (ALT20-03-0145-FEDER-000021), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

Bibliografia

Bueno, P. D. L. C., L. Gillerman, R. Gehr and G. Oron. 2017. Nanotechnology for sustainable wastewater treatment and use for agricultural production: A comparative long-term study. *Water Research,* 110: 66-73.

Prazeres, A. R., A. Albuquerque, S. Luz, E. Jerónimo and F. Carvalho. 2018. Hydroponic system: a promising biotechnology for food production and wastewater treatment. In *Food Biosynthesis.* Grumezescu, A. M. and A. M. Holban, Chapter 11, 317-350. Elsevier. ISBN: 978-0-12-811372-1. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811372-1.00011-7.

Prazeres, A. R., F. Fernandes, A. Afonso, A. Almeida, M. Regato, A. Albuquerque, J. Rivas, E. Jerónimo and F. Carvalho. 2016. Projeto HYDROREUSE - Tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais utilizando um sistema hidropónico inovador com plantas de tomate. *Ambiente magazine,* 73: 14.

Prazeres, A. R., F. Fernandes, S. Luz, A. Afonso, R. Guerreiro, A. Silvestre, M. Regato, A. Almeida, T. Carvalhos, M. Pereira, A. Gomes, R. Simões, P. Palma, F. Duarte, F. Beltrán, A. Albuquerque, J. Rivas, E. Jerónimo and F. Carvalho. 2017. Tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais em culturas alimentares - Projeto HYDROREUSE. *Encontro Técnico EMAS "GERA 2017 – Gestão Eficiente das Redes de Águas",* Janeiro, Beja, Portugal. http://gera2017.emas-beja.pt/.

Sanctis, M. D., G. D. Moro, S. Chimienti, P. Ritelli, C. Levantesi and C. D. Iaconi. 2017. Removal of pollutants and pathogens by a simplified treatment scheme for municipal wastewater reuse in agriculture. *Science of the Total Environment*, 580: 17–25.

Verlicchi P. 2017. Advanced treatment technologies for urban wastewater reuse. Anal Bioanal Chem 409, 19–20. Series: *The Handbook of Environmental Chemistry* 45. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN: 978-3-319-23885-2, 305 pages, 2016. Fatta-Kassinos, D., D. D. Dionysiou and K. Kümmerer (Eds.).

Sistema de Información Geográfica LIFE+ Climagri

Antonio Holgado-Cabrera[1], Paula Triviño-Tarradas[1&2], Manuel Gómez-Ariza[3], Óscar. Veroz-González[3], Francisco Márquez-García[2&3], Emilio Jesús González-Sánchez[1&2&3]

[1] European Conservation Agriculture Federation (ECAF). www.ecaf.org. ptrivino@ecaf.org

[2] ETSIAM, Universidad de Córdoba. www.uco.es/cemtro. emilio.gonzalez@uco.es

[3] Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV). www.agriculturadeconservacion.org. mgomez@agriculturadeconservacion.org

Resumen

El sector agrario puede verse afectado por el cambio climático. Dicho sector, además de padecer este fenómeno, constituye una fuente de emisiones de gases de efecto invernadero. Consecuencia de ello, la agricultura se encuentra ante el reto de mitigar el cambio climático y adaptarse a los nuevos escenarios que resulten del calentamiento global. En este marco, surge el proyecto LIFE+ Climagri (LIFE13 ENV/ES/000541 - www.climagri.eu), que cuenta con una Red Europea de Fincas Demostrativas (REFD) compuesta por 12 explotaciones agrícolas (en España, Grecia, Italia y Portugal) que están siendo manejadas bajo una serie de Buenas Prácticas Agrarias (BPAs) que conforman una estrategia conjunta de mitigación-adaptación al cambio climático.

La realización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se presenta como una valiosa e innovadora herramienta para la toma de decisiones en los cultivos extensivos. En el marco del proyecto LIFE+ Climagri, se ha desarrollado un SIG, que se nutre de la información generada en la REFD. El SIG Climagri, además de ayudar a gestionar y visualizar toda la información georreferenciada que se introduzca, ofrece la posibilidad de sistematizar los procesos de toma de decisiones.

Anualmente, el agricultor puede obtener los valores de los indicadores de sostenibilidad de su explotación, así como unas recomendaciones sobre las BPAs a emplear o mejorar para mitigar y adaptarse al cambio climático. Este SIG Climagri permite el acceso, mediante el registro, a agricultores ajenos a la REFD que puedan estar interesados en el uso de esta herramienta de decisión.

Palabras clave: LIFE, Sistema de Información Geográfica, cambio climático, Buenas Prácticas Agrarias, indicadores.

Geographic Information System LIFE+ Climagri

Abstract

The agricultural sector may be affected by climate change. This sector, besides suffering from this phenomenon, constitutes a source of emissions of greenhouse gases. As a result, agriculture faces the challenge of mitigating climate change and adapting to the new scenarios resulting from global warming. In this context, it emerges the LIFE+ Climagri project (LIFE13 ENV / ES / 000541 - www.climagri.eu), which counts on a European Network of Demonstrative Farms (ENDF) composed of 12 farms (in Spain, Greece, Italy and Portugal) that are being managed under a series of Best Management Practices (BMPs) that form a climate change mitigation-adaptation strategy.

The implementation of Geographic Information Systems (GIS) is presented as a valuable and innovative decision making tool in extensive crops. In the framework of the LIFE+ Climagri project, it has been developed a GIS, which uses the information generated in the ENDF. The SIG Climagri, besides helping to manage and display all the georeferenced information that is introduced, offers the possibility of systematizing the decision-making processes.

Every year the farmer can get the values of the sustainability indicators of his farm, as well as recommendations on the BMPs to be used or improved to mitigate and adapt to climate change. This GIS

Climagri also allows the access to farmers outside the ENDF who may be interested in the use of this decision tool, once they are registered.

Keywords: LIFE, Geographic Information System, climate change, Best Management Practices, indicators.

1. Introducción

El cambio climático es una realidad de la que actualmente dudan pocos agricultores. Tanto los informes de la NASA por un lado (GISTEMP Team, 2017); Hansen et al., 2010) como los de la National Centers for Environmental Information (NOAA, 2017) por otro, corroboraron que el 2016 fue el año más cálido desde que comenzaron los registros climáticos desde el año 1880. Así pues, la temperatura media global en superficie en el pasado año batió todos los registros anteriores por un margen sorprendentemente amplio, siendo la primera vez se midieron temperaturas medias superiores en un 1,1 °C en relación a las de la era preindustrial y 0,07 °C mayor a la del año 2015, cuyas altas temperaturas ya supusieron un record. Lo realmente relevante no es que un año por sí solo sea más cálido de lo habitual, ni que en dos años seguidos se den registros de temperatura por encima de la media, cuestión que se ha dado ya en varias ocasiones con anterioridad, lo que sienta un hecho sin precedentes es que es la primera vez que tres años seguidos se registran valores de temperatura por encima de lo normal.

La agricultura constituye una de las actividades que más se ve afectada por el cambio climático, consecuencia de la estrecha relación existente entre el desarrollo de los cultivos y el clima. Los cambios previstos pueden afectar a los rendimientos agrícolas, así como a la elección de los cultivos y lugares dedicados a las producciones. Si no se produce una adaptación a tiempo y se toman medidas para mitigar los efectos del calentamiento global, las consecuencias económicas, sociales y ambientales podrían ser considerables teniendo en cuenta el importante papel que desempeña esta actividad, tanto como proveedora de alimentos, como de bienes y servicios ambientales. Ello es, si cabe, más importante considerando las previsiones de crecimiento de la demanda de productos agrarios durante las próximas décadas debido al aumento de la población mundial.

Ante este fenómeno, la agricultura se encuentra ante el reto de mitigar el cambio climático y adaptarse a los nuevos escenarios que resulten como consecuencia del calentamiento global, por lo que es necesario que todos los agentes del sector agrario contribuyan a ello tomando las medidas pertinentes para ello. Así pues, los organismos de investigación pueden, a través de sus estudios e investigaciones, aportar respuestas ante las cuestiones que se generen de la implantación de cultivos en unos ecosistemas con unas condiciones climatológicas cambiantes, el sector privado puede aportar soluciones ante las demandas tecnológicas que surjan por parte de los agricultores para realizar un manejo adecuado de los cultivos ante una situación de incertidumbre climatológica, las administraciones públicas pueden contribuir a favorecer la adopción de buenas prácticas agrarias enfocadas a la mitigación y adaptación al cambio climático a través de incentivos, y finalmente, los agricultores, han de llevar a cabo estrategias de manejo que permita a las explotaciones ser competitivas y sostenibles en el tiempo.

Mucha y variada es la información existente en la bibliografía técnica y científica al respecto de las soluciones ofrecidas al sector agrario en relación al cambio climático, tanto en su vertiente de mitigación como de adaptación. En este sentido, la elaboración de Sistemas de Información Geográfica (SIG), que integre toda esa información y la presente de manera visual y ordenada, se presenta como una valiosa e innovadora herramienta para la toma de decisiones por parte de los agricultores, facilitando la adopción de buenas prácticas agrarias y permitiendo su seguimiento y su impacto en los ámbitos medioambiental, económico y social.

En este contexto, en el marco del proyecto LIFE+ Climagri (LIFE13 ENV/ES/000541), se ha desarrollado un SIG, el cual se nutre de la información generada por un conjunto de 13 fincas demostrativas del proyecto, ubicadas en Portugal, España, Italia y Grecia, y en las cuales se han

implantado una serie de buenas prácticas agrarias orientadas a la mitigación y adaptación al cambio climático. El SIG Climagri, además de ayudar a gestionar y visualizar toda la información georreferenciada introducida, ofrece la posibilidad de sistematizar los procesos de toma de decisiones. Cada agricultor puede visualizar los datos que se van obteniendo en cada una de las fincas demostrativas adheridas al proyecto. Asimismo, y gracias a la introducción de las características propias de su explotación, dicho agricultor puede obtener recomendaciones para mitigar y adaptarse al cambio climático, a la vez que obtener su gráfico de sostenibilidad agrícola anual sobre este SIG dinámico, observando los valores que adopta cada indicador monitoreado en el marco del proyecto, en un diagrama de araña o similar.

2. Materiales y Métodos

2.1. Recopilación de los datos

Para dotar de contenidos al SIG Climagri, ha sido necesario realizar una recopilación de datos, tanto de la Red de fincas en las que se está actuando a nivel de proyecto, como de las características geográficas de las regiones en las cuales se ubican dichas fincas.

Para la recogida de información a nivel de finca, se ha recurrido a fuentes de información de tipo primario, diseñando para ello una entrevista y un cuestionario.

La entrevista supone una técnica de contacto directo entre investigador y sujeto de la investigación, con objeto de tratar uno o varios temas concretos. Según su naturaleza de clasifican en entrevistas abiertas, cerradas y semiabiertas o semicerradas. En el caso que nos ocupa, se ha optado por una entrevista de tipo semiabierta o semicerrada, constituyendo un modo de guiar al entrevistado mediante preguntas centradas en diversas temáticas del contexto a abordar, pero a la vez siendo ejecutadas de tal manera que no haya influencia en sus contestaciones para no desvirtuar su realidad. La entrevista se ha estructurado en cinco apartados, en base a la temática tratada:

- Datos personales.
- Datos de la explotación.
- Cambio Climático y Agricultura.
- Uso de Buenas Prácticas Agrícolas.
- Diagnóstico sector agrícola.

En el caso del cuestionario, se ha diseñado para recopilar la información de manejo de la explotación agraria y de las parcelas de las fincas demostrativas de una manera rápida y homogénea, facilitando su posterior tratamiento, de manera que los indicadores de seguimiento mostrados en el SIG Climagri puedan ser fácilmente calculados y comparados. En este caso las preguntas se centran en la recogida de datos relativos al manejo de los cultivos implantados (calendario de operaciones, dosis empleadas) y en diversas cuestiones de tipo ambiental y agronómico de la explotación, con respuestas cerradas que suministran datos de tipo cualitativo, en base a una puntuación (0 a 10) o de tipo cuantitativo en el caso de dosis empleadas, presión de la bomba utilizada para el riego, etc.

En relación a las características geográficas de las zonas en las que se ubican las fincas de la Red del proyecto LIFE+ Climagri, se ha recurrido a fuentes de información de tipo secundario, accediendo a las capas proporcionadas por OpenStreetMap y a la imagen de satélite provista por Google.

2.2. Estructura de la plataforma SIG

Para realizar el diseño de la plataforma informática del SIG, se ha tenido en cuenta el tipo de información que ha de almacenarse y el tipo de información que se va a suministrar al usuario. A este respecto, se espera que cualquier usuario que utilice esta herramienta, pueda crear su parcela en un mapa, introducir los datos de la misma (cultivos, producción, dimensiones, límites geográficos,

operaciones realizadas en el cultivo) y, a partir de dicha información, generar un informe de indicadores en el que, en base a las prácticas agrícolas realizadas sobre la parcela, realice una evaluación en el ámbito medioambiental, como en el económico y social, sugiriendo al usuario la realización de una serie de Buenas Prácticas que mejoren los resultados de dichos indicadores.

Para ello, la plataforma SIG se ha estructurado en torno a dos bases de datos de introducción de información y una base de datos para la salida de información con el cálculo de los indicadores de seguimiento (Figura 1).

Las denominadas "Tablas Maestras" y "Mi explotación" constituyen las bases de datos de suministro de información de la plataforma SIG. La base de datos "Tablas Maestras" proveen de los datos generales correspondientes al cultivo (precio de venta, energía asociada, cantidad de Nitrógeno), los insumos (tipo de insumo, precio de venta, cantidad de nutrientes en caso de tratarse de fertilizantes), operaciones agrícolas (tipo de operación, precio, porcentaje de solape) y maquinaria (tipo de máquina, tipo de combustible usado y consumo medio de combustible) referidos a la región en la cual se ubica la finca objeto de análisis, sirviendo esta información de referencia a la hora de introducir las operaciones específicas realizadas en cada una de las parcelas de la explotación.

La base de datos referidas a "Mi explotación" se compone de tres tablas con información específica relativa a la finca objeto de estudio. Así pues, la tabla "Fincas" contiene los datos relativos a las parcelas de la misma para una determinada campaña agrícola, como el cultivo existente en cada parcela, la superficie, y la producción obtenida. La tabla "Partes de Trabajo" recopila toda la información relativa al calendario de tareas realizado sobre un cultivo para una de las parcelas contempladas en la finca (tipo de operación, tipo de máquina empleada, tiempo de trabajo, profundidad de trabajo, producto utilizado y dosis). Por último, la tabla "Encuesta", recoge toda la información de carácter medioambiental y social general de la explotación y que sirve para el cálculo de algunos indicadores de seguimiento.

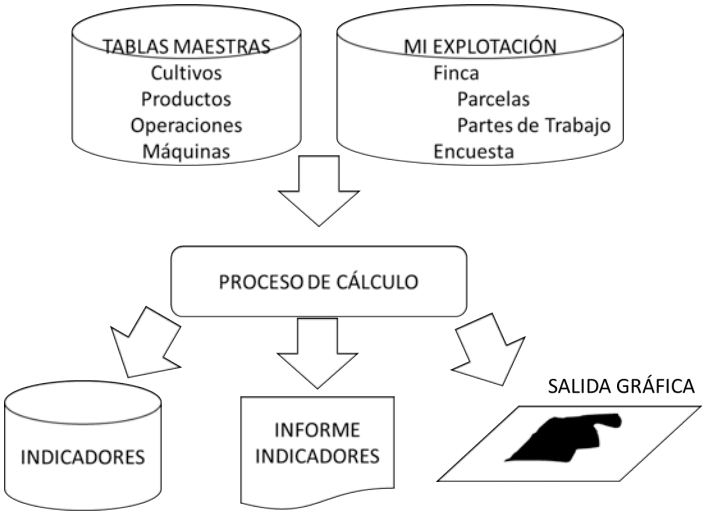


Figura 1. Esquema de proceso del SIG Climagri

2.3. Indicadores de sostenibilidad

El SIG Climagri realiza una evaluación de la sostenibilidad de la explotación en base a un total de se han definido un total de 25 indicadores, que abordan aspectos medioambientales, económicos y sociales (Tabla 1)

Tabla 1. Indicadores utilizados en el SIG Climagri para la evaluación de la sostenibilidad de la explotación agraria

Indicador	Cálculo
Margen	Ingresos (€/ha) – Costes de Producción (€/ha) (se excluyen intereses, impuestos, depreciación y amortización)
Margen/unidad de trabajo	Indicador 1/ Indicador 5
Costes de producción	Coste Operación de Cultivo (€/ha) = Coste Maquinaria (€/ha) + Coste Insumo (€/ha)
Cosecha/ha	Dato introducido por el usuario
Tiempo de trabajo	Dato introducido por el usuario
Índice de satisfacción	Dato introducido por el usuario
Índice de laboreo del suelo	Índice STIR (valor numérico calculado usando la RUSLE2)
Tasa anual de cobertura del suelo	metodología descrita por Laflen et al. (1981)
Nivel de materia orgánica	Determinación analítica de su contenido en suelo mediante el método Walkley-Black (Nelson & Sommers, 1982)
Rotación de cultivos/ diversificación	Se calcula en base a la fórmula: PD*Diversificación + PR*Rotación PD y PR: porcentaje de peso de cada factor en base a la superficie y los valores que se obtengan en diversificación y rotación. Diversificación: [(D/A + D/B + D/C + C/A + C/B + B/A)/6]*(N/4) Donde: A, B, C y D son las superficies de cada cultivo ordenadas de mayor a menor (si hay 3 cultivos, D=0; si hay 2 cultivos, D=0 y C=0). N es el número de cultivos Rotación: Superficie con cultivos diferentes en 2 años consecutivos/Superficie Tota
Eficiencia en el uso del nitrógeno	EUS = Nitrógeno Contenido en el Cultivo (UFN/ha) / Nitrógeno Aplicado (UFN/ha)
Productividad del uso del nitrógeno	PUN (kg/UFN) = Cosecha (kg/ha) / Nitrógeno Aplicado (UFN/ha)
Eficiencia energética	EE = Energía Captura (MJ/ha) / Energía Aplicada (MJ/ha)
Productividad energética	PE (kg/MJ) = Cosecha (kg/ha) / Energía Aplicada (MJ/ha)
Área de equivalencia energética	Superficie (ha) = 13.514 (ha)/Cosecha (t/ha)* Contenido de Energía (MJ/t)
Área de biodiversidad	Superficie de áreas de biodiversidad/Superficie Total La superficie de áreas de biodiversidad es un dato introducido por el usuario.
Ratio entre la superficie de vegetación natural / superficie total	∑ Área de vegetation *Cj/Área total de la explotación Cj: coeficiente cuyo valor depende del tipo de vegetación
Conexión con redes medioambientales	Valores calculados en base a las respuestas dadas por el usuario en la encuesta
Estructuras de biodiversidad	Valores calculados en base a las respuestas dadas por el usuario en la encuesta

Uso de fitosanitarios en proximidades de corrientes de agua	Uso de productos fitosanitarios en parcelas próximas a curso de agua = (0.2*D + 0.1*NT + 0.05*PC + 0.2*P + 0.01*C + 0.04*N + 0.2*B + 0.2*SM)*100, donde: D: Distancia mínima de la parcela a la corriente de agua más cercana NT: Número de tratamientos (NT) PC: Cualificación de la persona a cargo de tomar la decisión del tratamiento P: Tipo de frase de riesgo del producto C: Revisión oficial de la máquina N: Estado de las boquillas B: Utilización de márgenes en cursos de agua SM: Tipo de manejo del suelo
Nivel de gases de efecto invernadero	Ton CO_2 = 44/12 * X Ton C $N_2O\text{-}N_{DIRECTAS}$= [(F_{SN} +F_{ON} + F_{SOM}) *EF_1] (IPCC)
Riesgo de erosión	K * LS * SMS K: ERODIBLIDAD DEL SUELO (Sharpley y Williams, 1990) LS: pENDIENTE DE LADERA Factor sistema de manejo de suelo (SMS)
Consumo de combustible	Dato introducido por el usuario
Eficiencia de riego	$PAR = \frac{(PR-PS)\ x\ PV}{VR}$ (€ m^{-3}) Volumen anual de riego aplicados (m^3 ha^{-1}) (VR) Producción obtenida (kg ha^{-1}) (PR) Precio de venta (€ kg^{-1}) (PV) Producción obtenida en la comarca en condiciones de secano (kg ha^{-1}) (PS)
Escape y resiliencia	El indicador de escape y resiliencia está relacionado con la duración del ciclo (fecha de siembra y de cosecha)

3. Resultados y Discusión

Hasta la fecha se han incorporado al SIG Climagri los datos pertenecientes a la campaña 2014-2015, encontrándose en este momento en proceso de recopilación e incorporación al sistema los datos referentes a la campaña 2015-2016.

Dada la cantidad de explotaciones que componer la Red Europea de Fincas Demostrativas, que impide mostrar la totalidad de resultados obtenidos para cada una de las explotaciones y la falta de datos plurianuales que permitan una comparación de resultados en base a los sistemas de manejo empleados en cada campaña, se presenta a continuación, a modo de ejemplo, la salida obtenida de la plataforma en una de las fincas

En la tabla 2 se muestran los valores obtenidos para los indicadores, calculados conforme a lo especificado en el epígrafe de “Materiales y métodos” en la explotación seleccionada.

Tabla 2. Valores de los indicadores obtenidos en una de las explotaciones de la REFD.

Indicador	Valor
1 - Margen	708.50
2 - Margen / Unidad de trabajo	328.01
3 - Costes de producción	467.50
4 - Cosecha	5,600.00
5 - Tiempo de Trabajo	2.16
6 - Índice de satisfacción	8.00
7 - Índice de laboreo del suelo	2.00
8 - Tasa anual de cobertura del suelo	0.79
9 - Nivel de materia orgánica	2.73
10 - Rotación de cultivos / Diversificación	-*
11 - Eficiencia del uso de Nitrógeno	0.81
12 - Productividad de Nitrógeno	27.05
13 - Eficiencia Energética	2.99
14 - Productividad Energética	0.26
15 - Área de Equivalencia Energética	0.21
16 - Áreas de biodiversidad	0.16
17 - Ratio superficie de vegetación natural/superficie total	0.11
18 - Conexión con redes medioambientales	0.00
19 - Estructuras de la biodiversidad	0.91
20 - Uso de fitosanitarios en proximidades de corrientes de agua	56.00
21 - Nivel de gases de efecto invernadero	-*
22 - Riesgo de erosión	0.03
23 - Consumo de combustible	25.40
24 - Eficiencia de riego	100.00
25 - Escape y Resilencia	91.89

* Indicadores cuyo valor no puede ser calculado en la primera campaña dado que para su cálculo son necesarios datos de 2 campañas consecutivas.

Los resultados mostrados en la tabla anterior pueden ser visualizados en la plataforma de tres maneras diferentes:

- Valor individualizado para cada indicador en formato gráfico (Figura 2): Se muestra un mapa sobre el que se dibuja el contorno de cada una de las parcelas de la explotación. Dichas parcelas aparecen sombreadas con distintos colores en función del valor del indicador obtenido para cada una de ellas. Para obtener esta representación del valor de los indicadores, basta con hacer “click” sobre el mapamundi que aparece a la derecha del nombre del indicador.

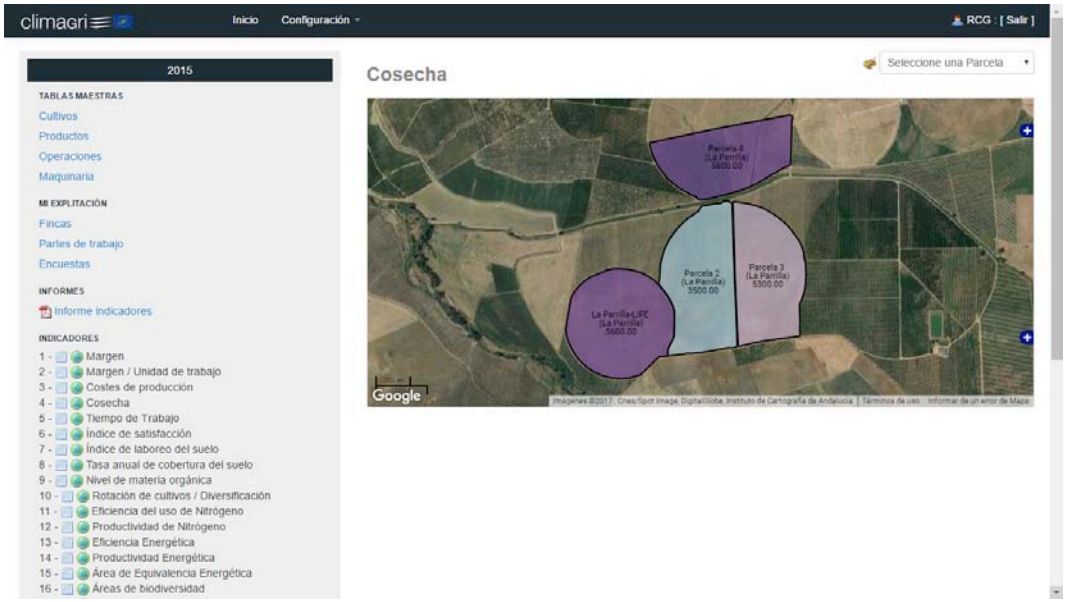


Figura 2. Mapa en el que se muestra el valor del indicador "Cosecha".

- Valor individualizado para cada indicador en formato numérico (Figura 3): Se muestra una tabla con los valores del indicador obtenidos para cada parcela de la explotación. Para obtener esta representación del valor de los indicadores, basta con hacer "click" sobre el recuadro que aparece a la derecha del nombre del indicador.

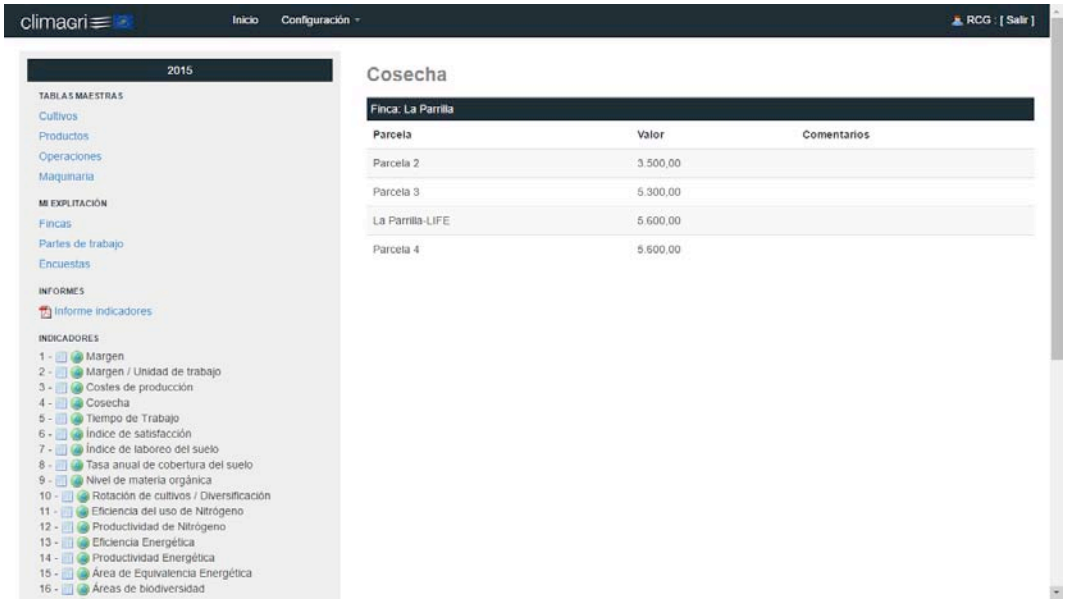


Figura 3. Tabla en la que se muestra el valor del indicador "Cosecha".

- Informe de indicadores (Figura 4): Haciendo "click" sobre el texto "Informe de indicadores" que aparece en la columna izquierda de la plataforma, el sistema genera un archivo "pdf" en el que se muestra una primera página con los datos básicos de la parcela (mapa, nombre de la parcela, cultivo y superficie) seguidos de un listado de indicadores con los valores para cada uno de ellos. En una segunda página se muestran de manera gráfica (gráfico de araña) aquellos indicadores cuyo valor permite ser normalizado. Cabe destacar que los valores

mostrados en el gráfico no son los valores reales de los indicadores, sino valores normalizados entre 0 y 100, indicando mayor sostenibilidad cuanto mayor sea el valor normalizado y, por tanto, más alejado del centro del gráfico se encuentre el punto que representa al indicador.

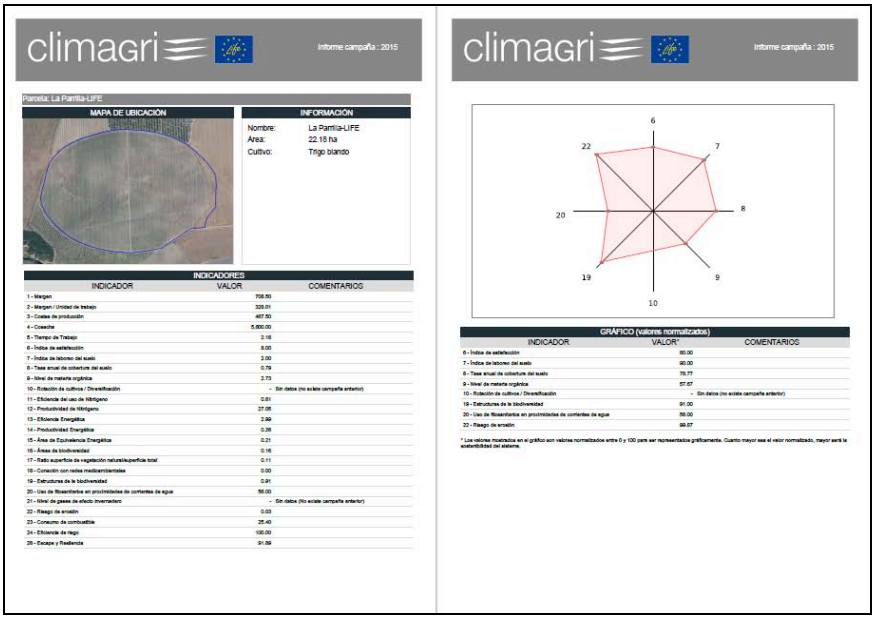


Figura 4. Informe de indicadores.

4. Conclusiones

Aunque en la actualidad se han cumplimentado los datos de una campaña agrícola para las 12 fincas demostrativas pertenecientes a la Red del proyecto, el análisis realizado sobre todas y cada una de ellas, ha servido para constatar la idoneidad del uso de una herramienta de este tipo, basada en la georreferenciación de la información agronómica, para visualizar los datos de una manera gráfica sobre el terreno digitalizado. Además, la representación de los valores calculados de los indicadores utilizados en diagrama de araña, permite analizar la evolución de los datos de manera temporal, y verificar en el futuro, cómo la implantación de las Buenas Prácticas Agrarias puede ir influyendo y modificando los valores de los distintos indicadores.

Por otro lado, herramientas de análisis como el SIG Climagri, sirven, no sólo para la caracterización de una explotación desde el punto de vista medioambiental, económico y social, sino también para establecer estrategias de mejora de manejo de cara al futuro, que permitan a las explotaciones verificar que contribuyen a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de valores de indicadores tales como el nivel de gases de efecto invernadero, o a la adaptación de los cultivos a sus efectos a través de la reducción de los indicadores relativos a eficiencia de riego y a escape y resiliencia.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Instrumento financiero LIFE de la Unión Europea su contribución al proyecto LIFE+ Climagri (LIFE13 ENV/ES/000541).

Bibliografía

Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo. 2010. Global surface temperature change, *Rev. Geophys.*, 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.

Laflen, J., Amemiya, M., y Hintz, E. 1981. Measuring Crop Residue Cover. *Journal of Soil and Water Conservation* 36, 341-343.

GISTEMP Team. 2017. *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)*. NASA Goddard Institute for Space Studies. Dataset accessed 20YY-MM-DD at https://data.giss.nasa.gov/gistemp/.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter: In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney) *Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, pp: 539-579.

NOAA National Centers for Environmental Information. 2017. State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2016. published online January 2017, retrieved on May 2, 2017 from https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613

Sharpley, A. N. Y Williams, J. R. 1990. Epic - Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin, v. 1768, p. 235 pp.

Interferometría como herramienta para el estudio localizado de la erosión por escorrentía

Francisco A. Sánchez-Crespo[1], Francisco Ayuga[2], Ana I. García[2]

[1] C/Abogados de Atocha, 39. 28710 El Molar (MADRID). fasanchezcrespo@gmail.com

[2] Grupo de investigación EIPIRMA, Universidad Politécnica de Madrid gi.eipirma@upm.es

Resumen

Las nuevas misiones espaciales como la Sentinel-1 (Proyecto Copernicus de la Agencia Espacial Europea en colaboración con la Comisión Europea) obtienen imágenes SAR (Synthetic Aperture Radar) con una alta frecuencia, resolución, cobertura y, sobre todo, disponibilidad, lo cual permite la aplicación de técnicas como la interferometría diferencial en nuevos ámbitos.

La técnica de interferometría se basa en la medición precisa del viaje de ida y vuelta de la radiación electromagnética entre un radar de apertura sintética y la superficie terrestre, registrando la intensidad y la fase de la radiación retornante en imágenes SAR. Mediante la comparación de dos imágenes SAR de una misma área de la superficie terrestre se puede generar un interferograma en donde la información de la diferencia de fase está altamente relacionada con la topografía del terreno, y las deformaciones del mismo pueden ser representadas gráficamente, en forma de mapas.

El objetivo del presente estudio es analizar la posible aplicación de la técnica de la interferometría diferencial para el estudio localizado de la erosión superficial debido a fenómenos de escorrentía, estudiando los parámetros de cálculo, las limitaciones de aplicación y la interpretación de los resultados. Para ello se utilizará dos parcelas piloto y una cuenca experimental en las proximidades de la ciudad de Madrid.

Palabras clave: Erosión, Suelos, Escorrentía, Sentinel, SAR, Interferometría.

Interferometry as a tool for localized study of runoff erosion

Abstract

New space missions like Sentinel-1 (European Commission and European Space Agency Copernicus Programme partnership) are able to obtain SAR (Synthetic Aperture Radar) images with high frequency, resolution, range and, above all, availability, which allows the use of techniques like differential interferometry in new fields.

Interferometry technique is based in the accurate measurement of the go and back travel of electromagnetic radiation between a SAR Radar and the earth surface, registering intensity and phase of returning radiation into SAR images. Comparing two images of the same earth surface area it is possible to make an interferogram, in which the information of phase difference is highly related to terrain topography, and its deformations can be graphically represented through maps.

The aim of this study is to evaluate the possibilities of using differential interferometry technique for localized monitoring of runoff erosion studies, evaluating calc parameters, use limits and results meanings. For the achievement of these goals we have used a monitored basin near Madrid City.

Keywords: Erosion, Soils, Runoff, Sentinel, SAR, Interferometry .

1. Introducción

Si bien la técnica de interferometría diferencial a partir de imágenes de radar de apertura sintética no es algo nuevo (las misiones ERS de la Agencia Espacial Europea se remontan a 1991), sí que lo es la resolución, frecuencia de revisitación, cobertura y disponibilidad de imágenes que ofrece la misión Sentinel-1 del Proyecto Copernicus (iniciativa conjunta de la Agencia Espacial Europea y la Comisión Europea), lo que posibilita nuevos usos y aplicaciones.

La misión Sentinel-1

La misión Sentinel-1 está compuesta por dos satélites equipados con radares de apertura sintética (SAR) que trabajan en la banda C de las microondas, lo cual capacita a tomar imágenes tanto de día como de noche, e independientemente de las condiciones de nubosidad.

Los satélites Sentinel-1 tienen órbitas casi polares con un desfase de 180º en el mismo plano, de tal forma que cada satélite visita una zona determinada de la superficie terrestre al menos una vez cada 12 días, y cada zona de la superficie terrestre es visitada por alguno de los dos satélites al menos una vez cada 6 días.

Los sensores equipados disponen de 4 modos de adquisición: Strip Map, Interferometric Wide Swath, Wave y Extra Wide Swath.

El modo Interferometric Wide Swath (IW) tiene una resolución media-alta (5x20 metros), muy buena cobertura (franja de 250 km) y, sobre todo, alta disponibilidad, con las imágenes listas para su descarga pocas horas después de su adquisición. Estas características lo convierten en el modo más adecuado para el presente estudio.

El modo IW captura las imágenes en tres sub-franjas usando la técnica de Observación Terrestre con Barridos SAR Progresivos (TOPSAR - Terrain Observation with Progressive Scans SAR). Cada una de estas sub-franjas se compone de varias ráfagas.

El modo TOPSAR presenta una serie de mejoras sobre el modo ScanSAR precedente, relativos al control electrónico de la orientación de las ráfagas y sincronización entre pasadas que logran mejorar el SNR (Signal to Noise Ratio) y DTAR (Distributed Target Ambiguity Ratio), logrando imágenes con menos ruido y deformaciones.

Interferometría diferencial

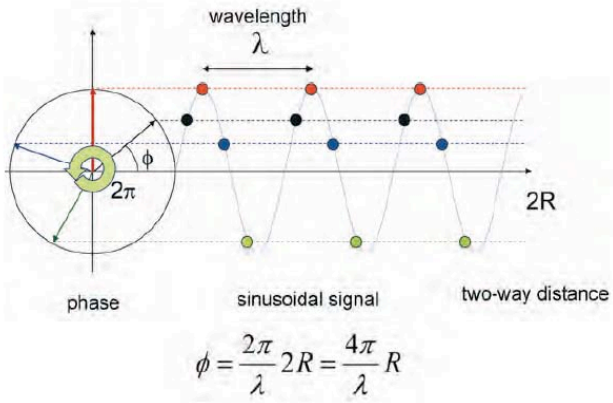


Figura 1: Diferencia de fase. Fuente ESA-TM19 InSAR Principles.

La interferometría en radares de apertura sintética (InSAR) que equipan estos satélites permite la medición precisa del viaje de ida y vuelta de la radiación, registrando la intensidad y la fase de la señal electromagnética en una imagen SAR. Una imagen SAR está compuesta por un mosaico bidimensional de elementos llamados pixeles, cada uno referenciado a una pequeña área de la superficie terrestre o celda. Cada pixel contiene la información de intensidad y fase de la radiación rebotada en su celda o superficie terrestre correspondiente.

La interferometría SAR aprovecha la diferencia de fase entre dos observaciones SAR de una misma área de la superficie terrestre, tomadas desde posiciones del sensor ligeramente distintas, para extraer la información de la distancia a la tierra.

Tras un corregistro y mediante la combinación de las diferencias de fases de las dos observaciones, se puede generar un interferograma en donde la información de la diferencia de fase está altamente relacionada con la topografía del terreno, y las deformaciones del mismo pueden ser mapeadas.

La diferencia de fase puede deberse a 5 factores:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{flat} + \Delta\varphi_{elevation} + \Delta\varphi_{displacement} + \Delta\varphi_{atmosphere} + \Delta\varphi_{noise} \quad (1)$$

Flat: Curvatura de la tierra.

Elevation: Topografía.

Displacement: Deformaciones del terreno entre ambas adquisiciones.

Atmosphere: Debidos a las diferencias de humedad, presión y temperatura entre adquisiciones.

Noise: Cambios temporales en los reflectores, volume scattering y ángulos de adquisición.

A través del análisis interferométrico se procura eliminar las fuentes de error (flat, atmosphere y noise) para quedarse tan solo con las contribuciones de interés: **elevation** (para generar modelos digitales del terreno) y **displacement** (para analizar los cambios en el terreno).

Si el desfase debido a la topografía es restado al interferograma, la diferencia de fase resultante corresponderá a los patrones de deformación entre las dos fechas de adquisición.

Simultaneamente al interferograma se genera la banda de coherencia, que muestra cuanto de similar son ambas imágenes a nivel de pixel en una escala del 0 (baja) al 1 (alta).

La pérdida de coherencia entre un par de imágenes puede deberse a varios factores:

$$\gamma = \gamma_T \cdot \gamma_G \cdot \gamma_V \cdot \gamma_P \qquad (2)$$

Temporal: No puede ser evitado, es debido a diferencias en el terreno entre ambas tomas, y precisamente uno de los objetivos de la interferometría diferencial.

Geometric: Debidos a errores en las órbitas de los satélites, puede ser parcialmente eliminado.

Volumetric: Debido a la vegetación existente, no puede ser evitado.

Processing: Debido a errores de cálculo. Debe de ser evitada.

La técnica de la Interferometría diferencial se ha empleado con éxito en el análisis de subsidencias debidas a obra civil, deslizamientos de laderas, terremotos y erupciones volcánicas.

2. Material y Métodos

Se ha procedido a realizar dos tipos de ensayos:

Verificación cuantitativa en dos parcelas piloto

Verificación cualitativa en una pequeña cuenca monitorizada

2.1. Verificación cuantitativa

Se ha realizado una verificación cuantitativa de los valores de erosión obtenidos mediante interferometría diferencial TOPSAR.

Para la verificación se ha empleado dos pequeñas parcelas, fácilmente vigilables para identificar posibles elementos presentes durante el paso de los satélites que pudieran perturbar las mediciones (personas y perros paseando, vacas, automóviles, etc) y que tengan cercano un posible punto de control (deformación cero).

Simultáneamente se ha dispuesto de un equipo LIDAR con el que realizar mediciones en ambas parcelas en fechas coincidentes con el paso de los satélites, para poder comparar los valores obtenidos mediante el LIDAR y la interferometría diferencial

Parcelas

Se han empleado dos parcelas piloto ubicadas al norte de El Molar (Madrid).

Figura 3: Parcela 1, un descampado mayormente sin cobertura vegetal y con numerosas pisadas de vehículos que favorecerían los procesos erosivos.

Figura 4: Parcela 2 un pastizal mayormente con cobertura vegetal de gramíneas, empleada hasta hace poco para el pastoreo de ganado vacuno.

Días de observación

Se han seleccionado los días de estudio en función del paso del satélite sobre las parcelas estudiadas:

	Tipo de orbita y hora UTC de vuelo			
	23/03/2017	29/09/2017	04/04/2017	10/04/2017
Sentinel -1A	A 18:11	D 06:17	A 18:10	D 06:17
Sentinel -1B	D 06:17	A 18:10	D 06:17	A 18:10

Cuadro 1: Tipo de órbita (Ascendente o Descendente) y hora (UTC) de paso.

Dado que se pretende analizar la sensibilidad de medición de procesos erosivos debidos a escorrentía, era necesario que en periodo de disponibilidad del LIDAR hubiese alguna lluvia de cierta intensidad. Tan solo se han registrado lluvias en el periodo comprendido entre el 23 y el 29 de marzo, por lo que finalmente se decide analizar tan solo dos periodos:

Periodo del 23 al 29 de marzo (mínimo periodo que comprende la precipitación).

Periodo del 23 de marzo al 10 de abril (mayor periodo registrado con LIDAR).

Como circunstancia especial, el día 10 de abril a las 18:17 UTC había 4 personas con un carrito de bebe y tres perros, que amablemente se apartaron al extremo noreste del descampado en el momento en que pasaba el satélite.

Interferometría Diferencial TOPSAR

Se ha seleccionado la órbita ascendente por tener mejor cobertura de la zona de estudio.

Se han analizado las dos polarizaciones (VV y VH).

El corregistro de los pares interferométricos se ha realizado con la técnica de mejora espectral.

Mediciones LIDAR

Ambas parcelas han sido estudiadas de la siguiente forma

Obtención en campo de una nube de puntos mediante un equipo LIDAR Faro3D para ambas parcelas y en fechas coincidentes con el paso de los satélites.

Procesado de la nube de puntos mediante el software CloudCompare.

Comparación y obtención de las diferencias entre las nubes obtenidas en distintas fechas (Sistema cloud to cloud, octree level auto (12-13), max. distance 0.5-1m y local modeling Quadratic function KNN=6)

2.2. Verificación cualitativa

Se ha realizado el estudio de las variaciones topográficas en la cuenca del arroyo del Monte (TM Daganzo de Arriba, Madrid) entre las fechas 17/11/2015 y el 29/11/2016, mediante sendas imágenes TOPSAR procedentes de la misión Sentinel-1 y la técnica de la interferometría diferencial.

Para el análisis interferométrico se emplean un par de imágenes obtenidas de Scientist Data Hub de la Agencia Espacial Europea, de tipo IW (Interferometric Wide Swath), SLC (Single Look Capture) y Banda VV.

Se utiliza la herramienta Sentinel Application Platform SNAP Desktop de la Agencia Espacial Europea. Con el análisis mediante esta herramienta de interferometría diferencial de imágenes satélite se pueden detectar pequeñas variaciones (del orden de milímetros) en la elevación del suelo, si bien hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las laminas de agua y zonas con abundante vegetación arrojan poca coherencia en los resultados, mientras que los suelos desnudos, pavimentados y edificios arrojan una alta coherencia en los resultados.

- Las variaciones en altura del terreno entre una toma y otra pueden deberse a distintos factores distintos a los procesos de erosión:

Crecimiento de la vegetación, prácticas de laboreo y cultivo y des/aparición de elementos.

Otros procesos geológicos (fenómenos de expansión de las arcillas, subsidencia del terreno, terremotos, deslizamiento de laderas, disolución de calizas, etc).

3. Resultados y discusión

3.1.- Verificación cuantitativa

Parcela 1.- Descampado

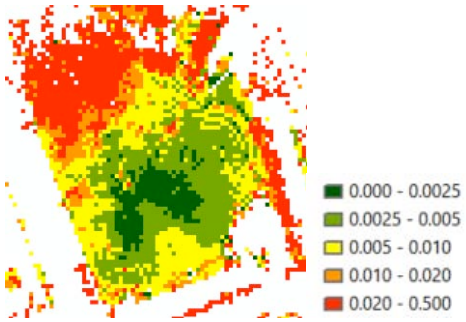
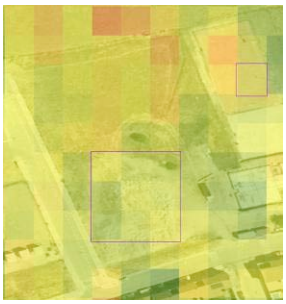
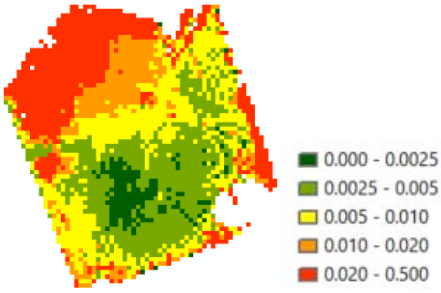
2329LIDAR	2329VH	2329VV
		
2310LIDAR	**2310VH**	**2310VV**
		

Figura 5: Resultados de mediciones en la Parcela 1.

En el modelo de diferencias generado a partir de las nubes de puntos tomados mediante LIDAR se aprecia un progresivo incremento de los valores a medida que nos alejamos del aparato de medición. Esto, más que deberse a una mayor erosión, parece más razonable que responda a una pérdida progresiva de precisión con la distancia debido a la disposición radial de la toma de puntos.

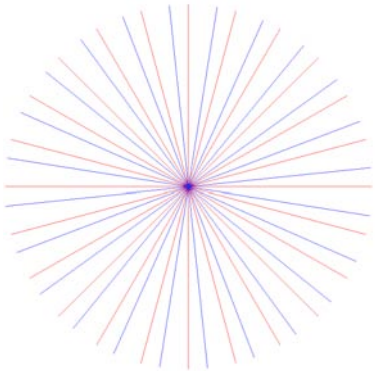


Figura 6: Diferencias en la distribución radial entre dos mediciones LIDAR.

Como puede observarse en la figura, aunque el posicionamiento de la segunda medición (en azul) coincidiese exactamente con el posicionamiento de la primera medición (en rojo), es imposible lograr que las mediciones discurran por los mismos radios. Esto provoca que, a medida que nos alejamos del centro, se pueda registrar una falsa variación de altura debido al desplazamiento horizontal del punto de medida.

Por este motivo se realiza la comparación considerando tan solo los valores del núcleo central de la medición, en los que las deformaciones registradas varían entre 0 y 2,5mm en los primeros 15m de diámetro, subiendo hasta los 5mm para unos 30m de diámetro.

Los valores obtenidos mediante interferometría son los siguientes, considerando las 9 celdas (13,92m de lado cada celda) coincidentes con el centro de la medición LIDAR y una celda de "referencia a cero" coincidente con una zona pavimentada cercana (no susceptible de erosión).

Parcela 1: DESCAMPADO				Referencia a cero	Valor LIDAR entre 0 y -0.0025 Valor redondeado al 3er decimal		
2329VH	-0.016231	-0.015881	-0.015786		0.000	0.000	0.000
	-0.015538	-0.016901	-0.015966	-0.015809	0.000	-0.001	0.000
	-0.015339	-0.015889	-0.016216		0.000	0.000	0.000
2310VH	-0.014973	-0.014152	-0.013971		-0.001	0.000	0.000
	-0.014427	-0.01421	-0.013787	-0.013684	-0.001	-0.001	0.000
	-0.013775	-0.014488	-0.014429		0.000	-0.001	-0.001
2329VV	-0.017179	-0.016516	-0.016729		-0.001	-0.001	-0.001
	-0.017057	-0.016549	-0.016984	-0.015779	-0.001	-0.001	-0.001
	-0.017036	-0.016638	-0.016433		-0.001	-0.001	-0.001
2310VV	0.040691	0.040421	0.042681		-0.002	-0.002	0.000
	0.041125	0.041289	0.04189	0.042696	-0.002	-0.001	-0.001
	0.041344	0.041811	0.042001		-0.001	-0.001	-0.001

Cuadro 2: Resultados de las mediciones InSAR en la parcela 1.

Los valores obtenidos de erosión mediante interferometría diferencial (entre 0 y 2,3mm para la polarización VV, y entre 0 y 1,3mm para VH) se encuentran dentro del rango de valores obtenidos mediante LIDAR (entre 0 y 5 mm) aunque con valores un poco bajos. Probablemente las diferencias se deban tanto al ajuste de la celda seleccionada como "referencia a cero" como a la pérdida de precisión radial del LIDAR.

El patrón y evolución de la erosión, parece correcto para ambas polarizaciones, si bien se observa un "retroceso" de la erosión en la celda superior derecha de 2310VV, que se explica al efecto de la presencia de personas, animales y carritos de bebe que se detectó en la zona noreste de la parcela en el momento del paso del satélite.

La siguiente fase del análisis cuantitativo consistirá en la realización de mediciones cruzadas múltiples mediante LIDAR, de tal forma que se pueda minimizar el efecto del error debido al desplazamiento horizontal del punto de medida.

Parcela 2.- Pastizal

En este caso, debido a la disposición y movilidad de la hierba, las mediciones con LIDAR no resultan eficaces (el efecto del error por el desplazamiento radial se incrementa notablemente), como bien puede comprobarse dado que no es razonable que bajo la acción de una misma precipitación se provoque una erosión mucho mayor (del orden de 10 veces mayor) en esta parcela con cobertura vegetal que en la parcela desnuda anteriormente estudiada.

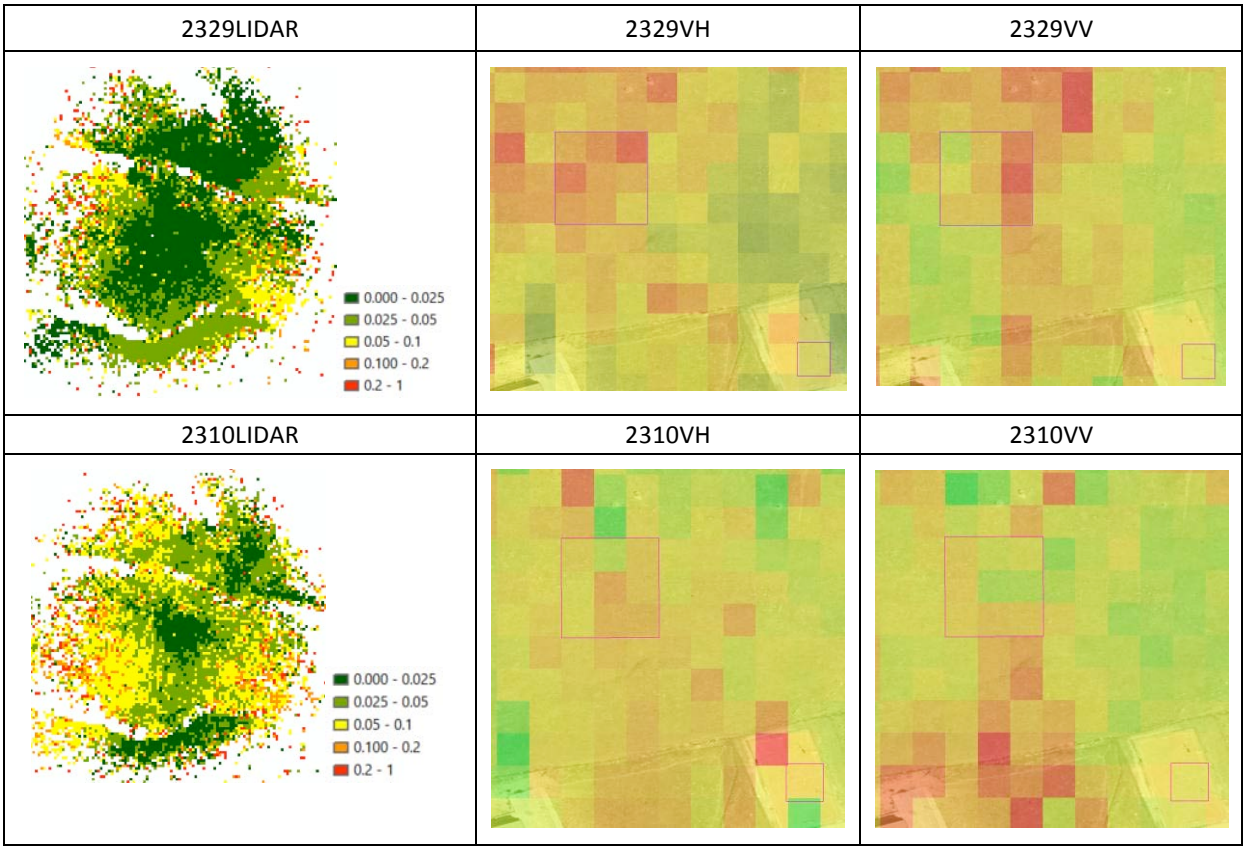


Figura 7: Resultados de mediciones en la parcela 2.

Los valores obtenidos mediante interferometría son los siguientes:

Parcela 2: PASTIZAL

				Referencia a cero	Valor redondeado al 3er decimal		
2329VH	-0.017653	-0.018262	-0.024103		-0.002	-0.002	-0.008
	-0.018781	-0.017801	-0.01758	-0.015809	-0.003	-0.002	-0.002
	-0.017944	-0.017743	-0.016771		-0.002	-0.002	-0.001
2310VH	-0.013831	-0.012138	-0.014162		0.000	0.002	0.000
	-0.013292	-0.015066	-0.014247	-0.013684	0.000	-0.001	-0.001
	-0.013476	-0.014744	-0.014646		0.000	-0.001	-0.001
2329VV	-0.015477	-0.016816	-0.018086		0.000	-0.001	-0.002
	-0.016175	-0.01704	-0.01855	-0.015779	0.000	-0.001	-0.003
	-0.016714	-0.016689	-0.018009		-0.001	-0.001	-0.002
2310VV	0.041689	0.04273	0.042336		-0.001	0.000	0.000
	0.041601	0.043757	0.043455	0.042696	-0.001	0.001	0.001
	0.041719	0.041374	0.041521		-0.001	-0.001	-0.001

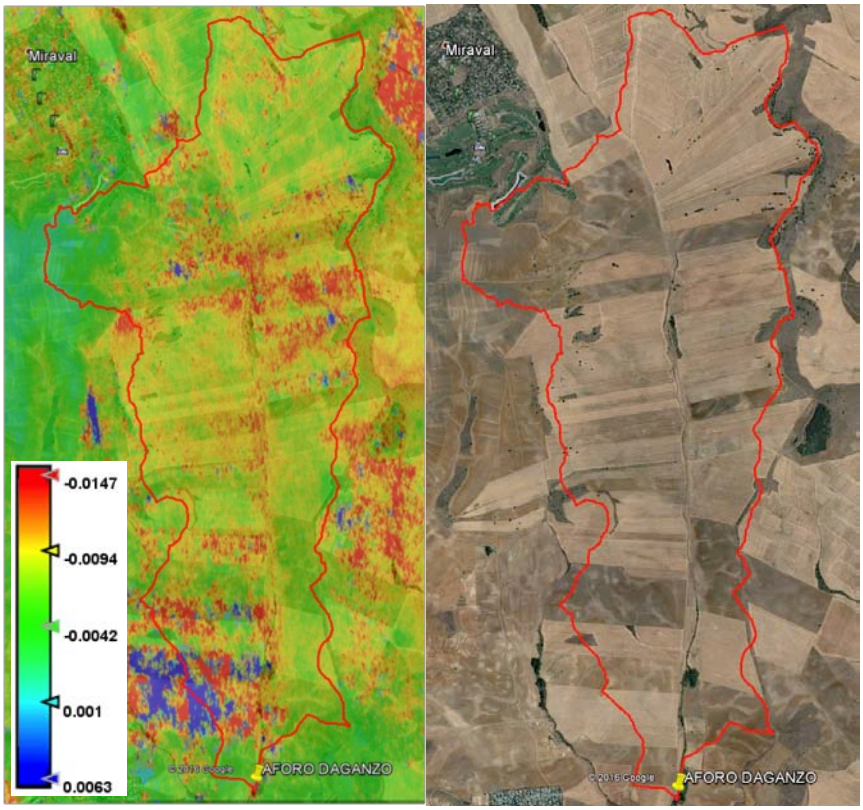
Cuadro 3: Resultados de las mediciones InSAR en la parcela 2.

Los valores de erosión se encuentran en un rango similar al de la parcela anterior (entre 0 y 3mm), exceptuando un valor discordante de 8mm en 2329VH.

El patrón de evolución de la erosión no sigue una lógica razonable, y ello es probablemente debido al efecto de la hierba: toda acción que afecte a su altura o posición (pisarla, grado de humedad, el propio crecimiento, etc) tiene efectos distorsionadores en la medición InSAR.

Dado que suelos con una cubierta vegetal consolidada son poco susceptibles de sufrir procesos de erosión debidos a fenómenos aislados como el estudiado, se propone la clasificación de los suelos en función de su banda de coherencia, para así analizar en cada grupo el origen de las deformaciones (erosión, variaciones en la cubierta vegetal, volumen scattering en árboles, variaciones de masas de agua…etc).

3.2.- Verificación cualitativa



Lo primero que se observa en los patrones de variación topográfica en la cuenca del arroyo del Monte entre las fechas de adquisición (17-29/11/2016) es una clara correlación con las parcelas agrícolas, lo cual puede indicar que la variación topográfica puede deberse a erosiones relativas a los distintos usos o bien a la realización de labores agrícolas entre ambas fechas o incluso a cambios en los cultivos (p.e. cosecha).

En las siguientes imágenes puede observarse un detalle de la diferencia de variación topográfica entre parcelas agrícolas (A) con una alta variación debida a procesos erosivos o al laboreo entre las fechas de adquisición y parcelas no cultivadas (B) con muy poca variación topográfica.

Figura 9: Resultados de Interferometría en las parcelas A y B, foto aérea y resultados de la banda de coherencia.

Como puede observarse la parcela B tiene baja coherencia y baja deformación, ambas debidas a una cobertura vegetal consolidada y una baja erosión. Sin embargo la parcela A tiene baja coherencia y alta deformación, lo cual es indicativo de cambios pronunciados en la parcela entre ambas adquisiciones, que pueden deberse a una alta erosión del suelo desnudo, a laboreo entre adquisiciones o a cambios drásticos en los cultivos.

Por otro lado hay otras zonas donde se observa una clara correlación entre zonas con las variaciones más acusadas con la existencia de cárcavas, indicativo de procesos activos de erosión:

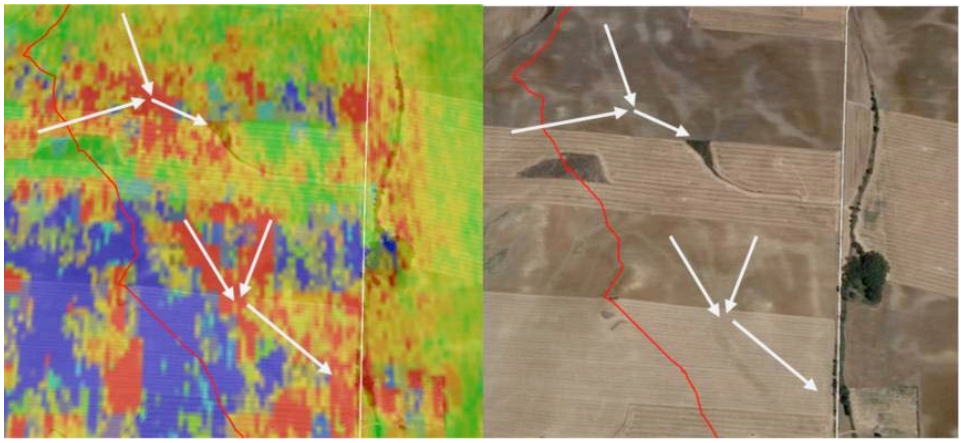


Figura 10: Resultados de Interferometría y foto aérea en zona de cárcavas.

Por último, en la zona norte de la cuenca, hay un conjunto de parcelas (Zona CN) que en vez de cultivarse como el resto de parcelas siguiendo la línea de máxima pendiente, se han cultivado procurando seguir las curvas de nivel. Se puede apreciar que en estas parcelas la variación topográfica es prácticamente inexistente, junto a una alta coherencia, indicativo de suelos con poca vegetación y con poca erosión.

Figura 11: Resultados de Interferometría en las parcelas A y B, foto aérea y resultados de la banda de coherencia.

Conclusiones

Se puede observar que los datos resultantes son coherentes, con coincidencias de los patrones de erosión con el tipo de laboreo y la existencia de cárcavas, y con coincidencias entre la disposición de las parcelas agrícolas y los patrones de variación topográfica, aunque en este último caso puede deberse a fenómenos de erosión o a un posible laboreo realizado entre las fechas de adquisición.

Teniendo en cuenta las consideraciones de utilización anteriormente mencionadas, se puede concluir que el método de análisis interferométrico tiene grandes posibilidades de poderse emplear para monitorizar procesos erosivos bajo las siguientes condiciones:

Suelos con poca vegetación (precisamente los más susceptibles a sufrir fenómenos de erosión).

En suelos arcillosos, es preciso comprobar que en el momento de ambas tomas había condiciones similares de humedad precedente.

Verificar que en la ventana de tiempo analizada no se han producido otros fenómenos geológicos paralelos (terremotos, deslizamientos de ladera, subsidencias, etc).

Es conveniente comprobar (si es posible) la aparición o desaparición de elementos en la zona de estudio y, sobre todo, en las áreas de control o "referencia a cero".

El análisis de la erosión debida a tormentas aisladas ofrecerá datos con mayor coherencia durante el periodo de parada vegetativa, al evitar la pérdida de coherencia por crecimiento de la vegetación, y es necesario verificar si se han realizado prácticas de laboreo entre las dos fechas de adquisición.

Existe la posibilidad de realizar una clasificación con dos parámetros (deformación y coherencia) para descartar parte de los casos que no se deben a la erosión, minimizando el número de casos que deben de ser contrastados "in situ".

La siguiente fase del análisis cualitativo consistirá en el seguimiento de la cuenca del arroyo del monte con el fin de tabular la correlación entre los parámetros deformación-coherencia y los distintos casos posibles.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi mujer y a mis hijos por el apoyo y comprensión que han mostrado mientras realizaba este trabajo, e incluso la ilusión que mostraban acompañándome a realizar las mediciones.

Me gustaría dar mi más sincero agradecimiento a Francisco Ayuga y Ana I. García, por el apoyo y ayuda que me están prestando para el presente estudio así como para mi tesis doctoral.

Bibliografía

CCRS Canada Centre for Remote Sensing. 2015. *Fundamentals of Remote Sensing*. Natural Resoucres Canada, www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9363

European Space Agency-European Comission. 2013. Sentinel-1 User Handbook.

A. Ferreti, A. Monti-Guarnieri, C. Prati, F. Rocca. 2007. European Space Agency. TM-19 InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation.

Michael Foumelis. 2015. European Space Agency-MOST Dragon 3 Cooperation. Sentinel-1 TOPS Interferometry.

L. Veci. 2016. European Space Agency. Sentinel-1 Toolbox-SAR Basic Tutorial.

L. Veci. 2016. European Space Agency. Sentinel-1 Toolbox-Interferometry Tutorial.

L. Veci. 2016. European Space Agency. Sentinel-1 Toolbox-TOPS Interferometry Tutorial.

CloudCompare opensource documentation. http://www.cloudcompare.org/doc/

Levantamento dos Aspectos Sociais, Culturais e Econômicos do Perfil da População para o Aproveitamento de Resíduo Sólido Urbano Orgânico no Município de Inhumas-GO

João Baptista Chieppe Júnior[1], Tharles de Sousa Andrade [2], Wilhiam Júnior Lemos Gomes[3]

[1] Departamento de Áreas Acadêmicas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Inhumas, Avenida Universitária, s/n, Vale das Goiabeiras, 75400-000, Inhumas, Goiás, Brasil. jrchieppe@gmail.com;

[2,3] Alunos Curso Bacharelado em Sistema de Informação, Departamento de Áreas Acadêmicas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Inhumas, Avenida Universitária, s/n, Vale das Goiabeiras, 75400-000, Inhumas, Goiás, Brasil. tharles.andrade@academico.ifg.edu.br; wilhiam_junior@hotmail.com.

Resumo

Esse estudo teve por objetivo desenvolver um procedimento preliminar com o Levantamento do Perfil da População do Município de Inhumas-GG, para promover o aproveitamento de resíduos sólidos urbano orgânico, fornecendo aos responsáveis pela administração pública, subsídios para que desenvolvam as atividades ligadas à triagem e compostagem desses resíduos, de forma écnica e planejada. A metodologia em questão, foi realizada de agosto 2015 à julho 2016 utilizando as técnicas de pesquisa com aplicação de questionários e entrevistas nos domicílios. A análise do perfil da população do município, em relação aos aspectos culturais, econômicos e sociais, foi realizada em 39 bairros da cidade Inhumas-GO alcançando 80 domicílios. Os resultados mostraram que a maioria dos entrevistados possui como escolaridade do ensino médio ao ensino superior e que a maior parcela dos domicílios possui como renda familiar de 1 a 3 salários, demonstrando portanto o nível econômico dos entrevistados. Em relação ao descarte identificamos que a maioria das pessoas entrevistadas afirmam que descartam os resíduos sólidos recicláveis, essa consequência é gerada pela falta de uma coleta seletiva que atenda o município de forma integral. podemos concluir que foram alcançados, onde perfil da população de Inhumas-GO, em relação aos aspectos culturais, econômicos e sociais, foi obtido pelas técnicas pesquisa aplicadas os entrevistados. Podemos concluir da pesquisa, que ficou evidente a necessidade da implementação de um coleta seletiva de maneira efetiva na cidade de Inhumas-GO. Pois há um enorme desperdício de resíduos que poderiam ser reutilizados e estão sendo descartados.

Palavras-chave: Coleta, Compostagem, Triagem, Reciclagem.

Survey of the Social, Cultural and Economic Aspects of the Population Profile for the Use of Solid Urban Organic Waste in the County of Inhumas - GO

Abstract

This study aimed to develop a preliminary procedure with Profile of the Municipality of Inhumas-GG, to promote the use of waste Solid urban organic resources, providing public administration officials with subsidies for Activities related to the sorting and composting of Technical and planned. The methodology in question was carried out from August 2015 to July 2016 Using research techniques with the application of questionnaires and interviews in the households. The analysis of the population profile of the municipality, in relation to cultural, economic and social aspects, was carried out in 39 neighborhoods of the city of Inhumas-GO reaching 80 households. The results showed that the majority of respondents Education to higher education and that the greater part of the households has amily income of 1 to 3 salaries, thus demonstrating the economic level of interviewed. With regard to disposal we have identified that most people nterviewees say they discard recyclable solid waste, this consequence is generated by the For the lack of a selective collection that meets the municipality in an integral way. We can conclude that Reached, where the profile of the population of Inhumas-GO, in relation to cultural aspects, Economic and social, was obtained by the applied research techniques the interviewees. We can conclude from the research, that it was evident the need to implement a

selective collection in an effective manner in the City of Inhumas-GO. For there is a huge waste of waste that could be Reused and are being discarded.

Keywords: Collection. Composting. Screening. Recycling.

1. Introdução

Nos últimos anos o tema "resíduos sólidos" tem ganhado grande espaço nas discussões em vários eventos ligados ao meio ambiente, tornando-se um dos grandes problemas da humanidade. Com o avanço da globalização, aumentou-se o consumo desenfreado por produtos de ultima geração fazendo com que ocorra um descarte inadequado dos antigos produtos (Bagnara, et al.,2012).

De acordo com a norma brasileira NBR10004/2004 - Resíduos Sólidos – Classificação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são aqueles que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, serviços e varrição.

Já faz parte do senso comum, principalmente nos grandes centros, a percepção de que o resíduo sólido (domiciliar, industrial ou agrícola) é uma das mais sérias formas de desperdício de matéria prima, energia e água no país.

De acordo com Silva et al. (2009), o gerenciamento público do resíduo sólido urbano, da coleta, tratamento até a sua destinação final, sempre foi uma preocupação dos municípios e principalmente das organizações governamentais e não governamentais ligadas à área de saneamento ambiental. Na maioria dos municípios brasileiros de pequeno porte, a administração se limita a varrer os logradouros e recolher o lixo domiciliar de forma nem sempre regular, depositando-o em locais afastados da vista da população, sem maiores cuidados sanitários. Esta situação é provocada ou pela falta de consciência e comprometimento das autoridades municipais com a problemática do lixo urbano ou pelas dificuldades financeiras que impedem a aquisição de equipamentos necessários e disponíveis no mercado para a coleta, compactação, transporte e destinação do resíduo sólido.

As consequências desses procedimentos inadequados são graves como, por exemplo, o assoreamento de rios e canais, devido ao lançamento de detritos nesses locais, a contaminação de lençóis de água comprometendo seu uso domiciliar, a poluição da atmosfera com o desprendimento de gases e o mau cheiro, a proliferação de vetores como insetos e roedores transmissores de doenças, além do problema social pela presença de catadores nos locais, onde o resíduo sólido é depositado a céu aberto, o conhecido "lixão" (Silva et al., 2009).

Pesquisas recentes apontam um expressivo crescimento na produção de lixo no Brasil, porém a destinação correta destes résiduos não acompanhou este crescimento. Em 2010, o País produziu 195 mil toneladas de resíduos sólidos por dia, um aumento de 6,8% em relação a 2009, quando foram geradas 182.728 toneladas de resíduo (ABELPRE, 2009).

No decorrer do referido ano de 2010, o montante chegou a 60,8 milhões de toneladas de lixo, desse total 6,5 milhões de toneladas não foram coletadas e acabaram em rios, córregos e terrenos baldios.

De acordo com Abrelpe (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) somente pouco mais da metade deste lixo (57,6%) teve destinação adequada, sendo encaminhado para aterros sanitários ou reciclado, enquanto que em 2009 esse índice era de 56,8%.

Segundo Chermont (2000), em função das sérias dificuldades financeiras que os municípios de pequeno porte vêm enfrentando, os mesmos não podem desprezar as oportunidades de gerar recursos para o cenário público e bem-estar da população, levando-se conta a questão do resíduo que tem enorme potencial de renda. No entanto, de acordo com Barreira (2005), devem-se analisar formas de tratamento mais simplificadas e eficientes que levem em consideração as características básicas do resíduo sólido na produção de compostagem, evitando assim, custos elevados para o seu tratamento sanitariamente adequado. Entretanto, nem todos os resíduos sólidos servem para a produção de compostos orgânicos de boa qualidade.

No resíduo sólido urbano, os materiais orgânicos, comumente encontrados e mais adequados para o processo de compostagem, são os restos de frutas, verduras, de processamento de alimentos em geral e restos da atividade de jardinagem, ou seja, excelentes matérias-primas para o processo. A preocupação, no caso da compostagem desses materiais, é que os mesmos não são coletados seletivamente e acabam chegando às usinas de forma misturada, juntamente com materiais inertes ou mesmo contaminantes, como pilhas e baterias. A qualidade da matéria-prima destinada ao processo é o principal fator que influencia a produção de um bom composto, assim como também os métodos de processamento (Lopez-Real, 1994; Savage, 1996).

Além dos domicílios, onde normalmente o orgânico é misturado a plástico, vidro e outros materiais que contribuem para a sua contaminação, outras fontes geradoras de resíduo orgânico ocorrem no meio urbano. São exemplos os restos vegetais gerados em podas, capinas e roçadas, os resíduos de centrais de abastecimento, cozinhas industriais, restaurantes, agroindústrias entre outras que, na maioria das vezes, se diferem do resíduo sólido domiciliar por serem materiais homogêneos reconhecidos com resíduo orgânico limpo (Silva et al., 2009). Ainda de acordo com os autores, esses materiais compõem mais de 50% em peso de resíduo sólido urbano e, quando disposto inadequadamente, causa impactos significativos no solo, na água (geração de chorume) e no ar (geração de gases), entre outros (desvalorização da área, diminuição da afluência turística, etc.).

Segundo D Almeida e Vilhena (2000), levantamentos realizados em usinas de triagem e compostagem de resíduo sólido apontam que, em média, depois de devidamente processado, chega-se a uma produção de composto orgânico da ordem de 40% da quantidade inicial de resíduo enviado à usina. Mesmo que a composição do resíduo varie de município para município, se uma parte desse material for utilizada em produção de composto orgânico e outra reciclada em indústrias de papel, metal, plástico e vidro, o volume final com destino a aterro será bastante reduzido.

De acordo com Silva et al. (2009), o material orgânico que pode ser compostado classifica-se de uma forma simplificada em castanho e verde. O castanho é aquele que contém maior proporção de carbono como palha, serragem e folhas secas, e o verde é o de maior proporção de nitrogênio, como restos de cozinha e folhas frescas. Para que a compostagem ocorra sem problemas, convém ter a maior diversidade de resíduos possível, numa proporção aproximadamente igual a do castanho e verde.

Campbell (1999), salienta o fato de não ser aconselhável juntar carne, peixe, ossos, lacticínios e gorduras ao material que será decomposto, com o intuito de não atrair vetores de importância epidemiológica, como baratas, ratos e moscas. Da mesma maneira, restos de animais também não devem ser compostados, pois podem conter microrganismos patogênicos que podem sobreviver ao processo de compostagem, assim como resíduo de jardim tratado com pesticidas que pode contaminar o produto final.

Como toda iniciativa de aproveitamento de resíduo sólido urbano requer análise prévia para implantação pela administração pública, esse estudo tem por objetivo desenvolver um procedimento preliminar com o Levantamento do Perfil da População do Município de Inhumas Go, para promover o aproveitamento de resíduo sólido urbano orgânico, fornecendo aos responsáveis pela administração pública, subsídios para que desenvolvam as atividades ligadas à triagem e compostagem desse resíduo, de forma técnica e planejada.

2. Material e Métodos

Entende-se que a avaliação da gestão de resíduos é uma forma regular de verificação de qualquer processo, que precisa ser visto como um projeto específico, com metodologia própria e etapas definidas. Com base nessas considerações, foi estabelecida uma pesquisa, para compreender e caracterizar a disposição dos resíduos sólidos gerados no Município de Inhumas-GO.

Área de estudo:

O município possui uma área territorial de 613,349 Km², está localizado geograficamente no oeste brasileiro, no município. Situado a 742 metros de altitude, de Inhumas tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 16° 21' 19'' Sul, Longitude: 49° 29' 35'' Oeste. Com 48.500 mil habitantes, segundo o último senso do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o município insere-se na região de planejamento: pólo sucroalcooleiro , sendo que seu IDH – Índice de Desenvolvimento Humano – tem valor de 0,765, valor este que, é listado como um dos 20 melhores do estado.

Gerenciamento dos resíduos sólidos no município

A organização da coleta, do transporte, do tratamento e da disposição final dos resíduos sólidos do município não seguem diretrizes de nenhum Plano Gerenciamento de Resíduos Sólidos, no qual a coleta não é seletiva e realizada na modalidade porta a porta contemplando 100% da população urbana.

Desenvolvimento da metodologia

Foi feito um estudo analítico-descritivo (aleatoriamente), para levantamento dos principais locais (bairros da cidade), para realização da pesquisa domiciliar. A partir do levantamento concluído, foi utilizada as técnicas de pesquisa com aplicação de questionários e entrevistas nos domicílios. Conforme demonstrado na (Figura 1) abaixo.

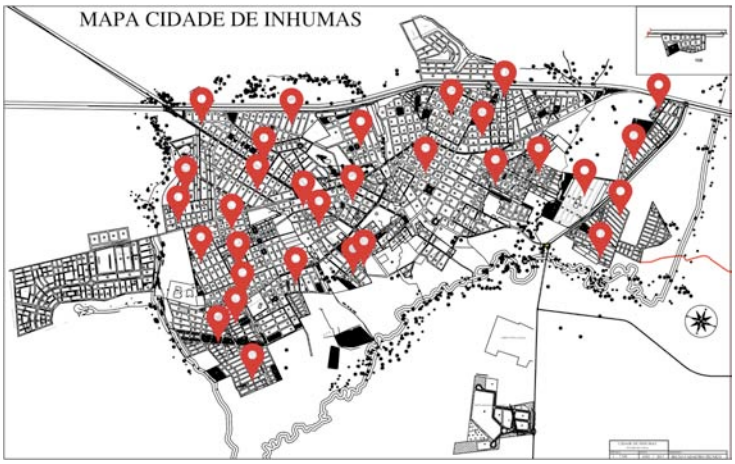


Figura 1. Locais de realização da pesquisa

A pesquisa domiciliar foi realizada 3 vezes por semana e de forma aleatória nas residências dos principais bairros do município levantados anteriormente. Nos locais pontuados, seus moradores foram argumentados com base em um questionário com perguntas estruturadas. Esse levantamento do perfil da população de Inhumas-GO, foi focado nos aspectos sociais, culturais e econômicos.

3. Resultados e Discussão

Os resultados das pesquisas realizadas em bairros brevemente selecionados e estratégicos, foram tabulados e analisados em forma de gráficos, em que foram realizadas entrevistas domiciliares em algumas casas de bairros, considerados de padrões medianos (padrão de vida média/baixa) em primeiro momento, e posteriormente em bairros de padrão de vida alto.

Nas entrevistas realizadas, categorizou-se que a recepção para realização das pesquisas/entrevistas em bairros de padrão de vida mediano possui maior receptividade por parte dos moradores do que em padrões de vida alto. Os dados isolados obtidos em cada padrão de bairros foram agrupados, tabulados e analisados em conjunto.

Através da análise prévia do perfil da população do município, em relação aos aspectos culturais, econômicos e sociais, poderemos apresentar alguns dados, da pesquisa que foi realizada em 39 bairros da cidade Inhumas-GO alcançando 106 domicílios.

Na pesquisa realizada, inicialmente foi questionada a escolaridade das pessoas entrevistadas, onde podemos obter o nível educacional dos residentes conforme apresentados na (Figura 2).

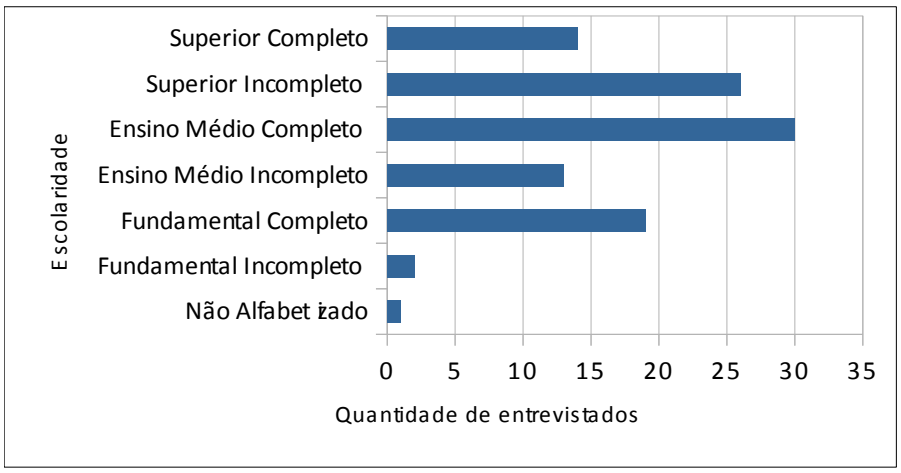


Figura 2. Gráfico da escolaridade dos entrevistados

No gráfico apresentado acima demonstra que, a maioria dos entrevistados possui como escolaridade do ensino médio ao ensino superior. Observamos também que 25% dos entrevistados não concluíram o ensino médio e fundamental e que 2% ainda não tiveram acesso a alfabetização.

Logo em seguida foi perguntado para os entrevistados qual a renda familiar dos integrantes da residência, que é obtida pela soma da renda de cada integrante da família, como dispostos na (Figura 3), abaixo.

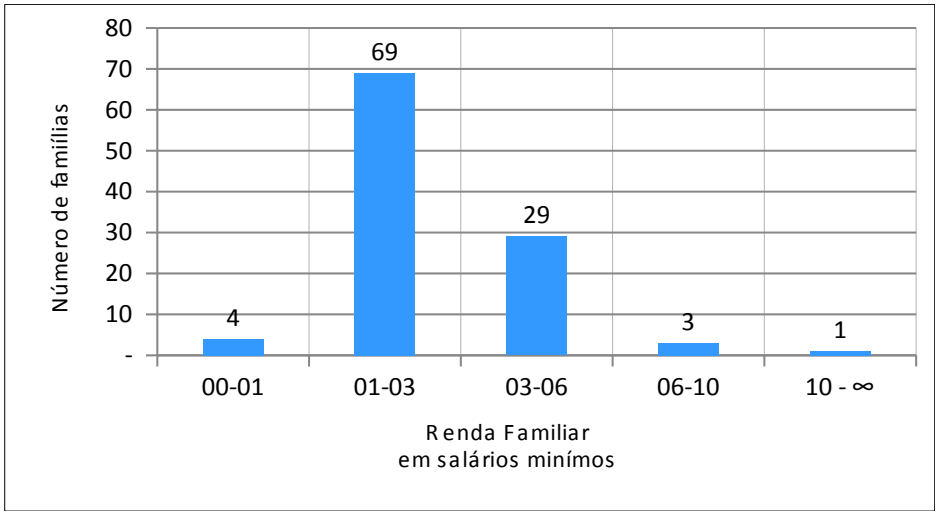


Figura 3. Gráfico da Renda Familiar dos entrevistados

Por meio da figura 3 acima, podemos perceber que, a maior parcela dos domicílios possui como renda familiar de 1 a 3 salários, demonstrando portanto o nível econômico dos entrevistados. Foi questionado para os residentes quais as destinações dos resíduos sólidos recicláveis produzidos pela família, foi estabelecido as seguintes opções: descarta, doa ou vende, conforme demonstrados na figura 4 a seguir.

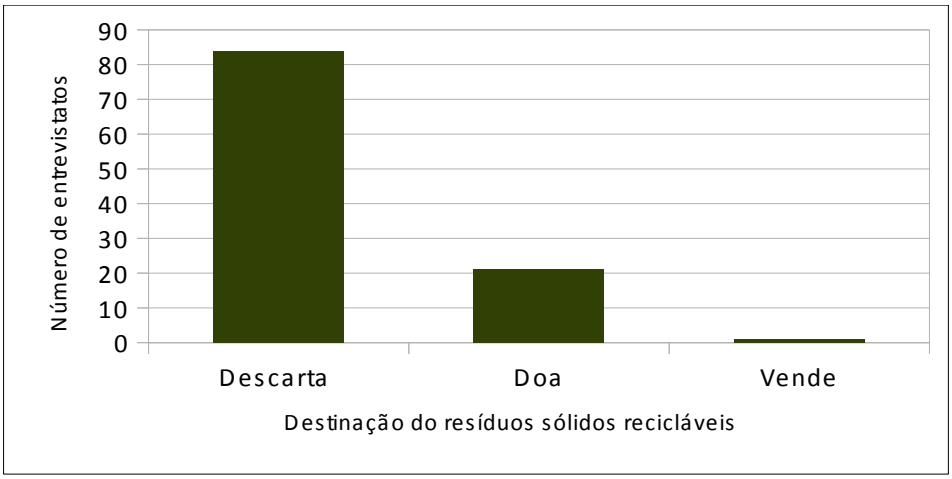


Figura 4. Gráfico destino dos resíduos sólidos recicláveis

De acordo com a figura 4 acima podemos identificar que a maioria das pessoas entrevistadas afirmam que descartam os resíduos sólidos recicláveis, esse resultado é consequência gerada pela falta de coleta seletiva que atenda o município de forma integral.

Na figura 5 a seguir apresentaremos as demais perguntas aplicadas aos entrevistados, onde procuramos saber se os residentes sabem fazer a seleção dos resíduos sólidos e, se sabem, fazem a seleção dos resíduos sólidos; no bairro em que residem há a presença de catadores de residuos sólidos recicláveis e se existem representantes sociais que atuem no bairro.

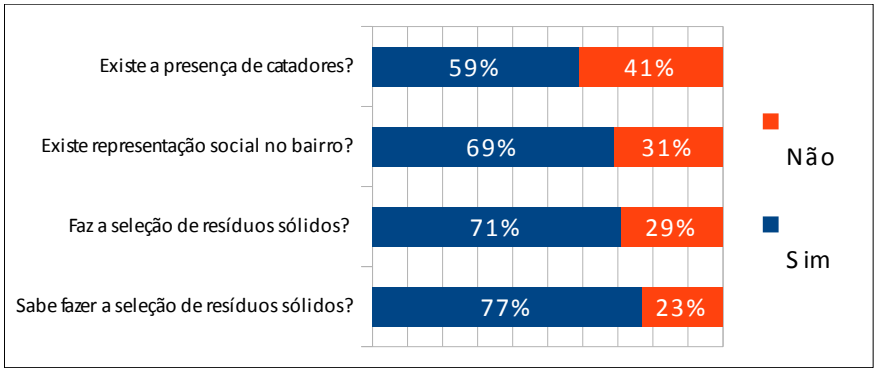


Figura 5. Perguntas realizadas na entrevista.

Pode-se observar uma equivalência e uma alto índice de conhecimento da população entrevistada sobre o manejo e o aproveitamento dos resíduos sólidos gerados. Constatou-se também uma grande incidência de catadores de resíduos sólidos nos bairros pesquisados, que sobrevivem na informalidade devido a falta de entidades sociais do município, que atua de forma efetiva na coleta seletiva.

Foi feito um levantamento de dados sobre os estabelecimentos empresariais com cadastro ativo, junto à Secretária Fazendária Estadual - Agência de Inhumas-GO, com o objetivo de conhecermos quais tipos empresas atuam em Inhumas, apresentados na figura 6 a seguir.

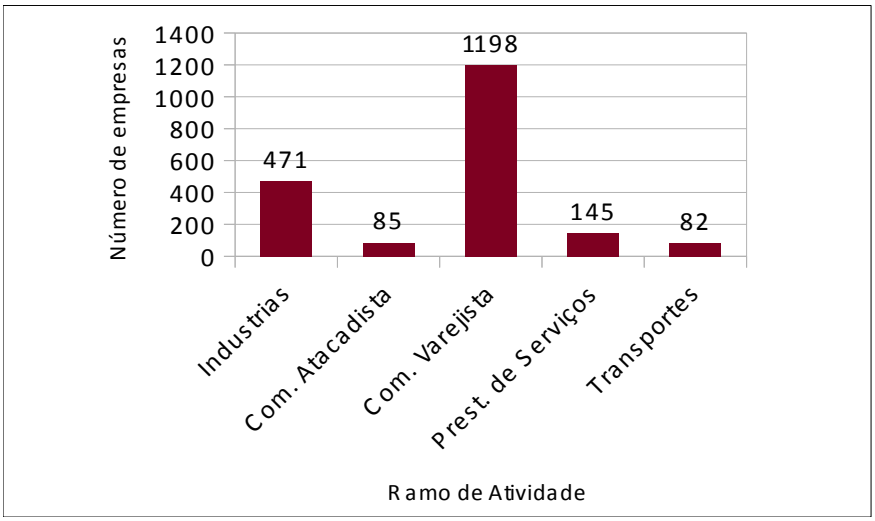


Figura 6. Empresas ativas no município de Inhumas-GO. .

Observou-se que grande parte dos resíduos sólidos produzidos no município, vem do comércio varejista seguido do setor industrial e das empresas prestadoras de serviço. Já os setores do comércio atacadista e do transporte em geral, produzem menor quantidade de resíduos.

4. Conclusões

Concluimos que ficou evidente a necessidade da implementação de um coleta seletiva de maneira efetiva na
cidade de Inhumas-GO. Visto que há um enorme desperdício de resíduos que poderiam ser reutilizados e estão sendo descartados. Salvo no caso dos catadores que coletam alguns materias recicláveis para a sua sobrevivência.

Agradecimentos

Ao IFGoiás e Cnpq pelo apoio e financiamento da pesquisa

Bibliografia

ABNT, 2004. Associação brasileira de normas técnicas. NBR 10004 – resíduos sólidos classificação. Rio de janeiro.

Abrelpe. 2011. (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) Grappa Editora. 2. Disponível em http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/lixo/producao-destinacao-residuos-solidos-brasilpanorama-2010-abrelpe-625938.shtml. Acesso em 08 de março de 2013.

Barreira, L. P. 2005. Avaliação das usinas de compostagem do Estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção. 2005. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Campbell, S. T. U. 1999. *Manual de compostagem para hortas e jardins: como aproveitar bem o lixo orgânico doméstico*. São Paulo: Nobel.

Chermont, L. 2000. Educação ambiental e fontes de financiamento. In: *Anais Simpósio sobre a Reciclagem de Lixo Urbano para Fins Industriais e Agrícolas*, Belém, Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.201-2.

Almeida, M. L.; Vilhena, A. 2000. *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE.

Lopes-real, J. M. 1994. *Composting through the ages. Down to earth composting*. Dundee.

Savage, G. M. 1996. The importance of waste characteristics and processing in the production of quality compost. In: Bertoldi, M. et al. (Orgs.). *Science of composting: part 2*. England: Chapman & Hall. p. 784-91.

Silva, et al. 2009. Gestão pública de resíduo sólido urbano: compostagem e interface agro-florestal. In: Silva, et al. (Eds.). *Procedimentos para o aproveitamento de resíduo sólido urbano orgânico em municípios*. Botucatu: FEPAF. p. 69-91.

Análisis del sistema de codificación de agentes materiales intervinientes en accidentes de trabajo en el sector agrario: Maquinaria agrícola

Xosé Manuel López[1], Xoan Carlos Carreira[2], Martín Barrasa[3,]

[1] Ingeniero Técnico Agrícola, Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales (3Téc.), Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales, España. xomaloga@gmail.com.

[2,3] Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Universidad de Santiago de Compostela. C/ Benigno Ledo s/n. Lugo 27002, España. Martin.barrasa@usc.es

Resumen

La información recabada de los partes de accidente recogidos mediante la cumplimentación del sistema Delt@ es fundamental para que los técnicos especializados en Prevención de Riesgos Laborales puedan detectar las principales causas de accidentes y diseñar medidas correctivas encaminadas a su eliminación.

En el caso de los accidentes ocurridos en explotaciones agrícolas y ganaderas, el sistema Delt@ utiliza un sistema de codificación basado en una tabla de agentes materiales en la que se reflejan únicamente 11 códigos relativos a maquinaria tipificados específicamente como agrícolas, mientras que la norma "UNE 68-051-88 Tractores y maquinaria agrícola y forestal. Clasificación y terminología" detalla 340 tipologías de maquinaria agroforestal, a partir de la cual el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente español estableció un total de 11 grupos de máquinas que agrupan 66 tipologías específicas referidas exclusivamente a labores agrícolas.

A pesar de que varias máquinas con funciones similares puedan compartir la mayoría o determinados riesgos específicos, cada una de ellas mantiene singularidades que influye en aspectos como el manejo, operatividad, distancias de seguridad, tipologías y exposición al riesgo, etc. por lo que la actual codificación de agentes materiales no permite obtener información suficientemente precisa para establecer programas de prevención específicos y eficaces.

A partir del análisis de las diferentes codificaciones y sus correspondencias se concluye que es necesario introducir cambios y mejoras en el actual sistema de codificación de agentes materiales, incluyendo nuevas tipologías que permitan extraer una información más detallada y precisa relativa a los equipos de trabajo implicados en accidentes laborales en el sector agrario.

Palabras clave: Maquinaria, Agrario, Seguridad, Codificación, ESAW, Delt@

Analysis of the coding system for material agents involved in occupational accidents in the agricultural sector: Agricultural machinery

Abstract

The information gathered from the work accident reports collected through the completion of the Delt@ system is essential for Occupational health and Safety Specialist to detect the main causes of accidents and to design corrective measures aimed at their elimination.

In the case of accidents occurring in agricultural and livestock activities, the Delt@ system uses a coding system based on a table of material agents which reflects only 11 codes related to machinery typified specifically as agricultural, while the standard "UNE 68-051-88: Tractors and agricultural and forestry machinery. Classification and terminology" details 340 typologies of agroforestry machinery, from which the Spanish Ministry of Agriculture, Fisheries and Food established a total of 11 groups of machines that group 66 specific typologies referring exclusively to agricultural work.

Although several machines with similar functions can share most or certain specific risks, each of them maintains singularities that influence aspects such as handling, operability, safety distances, typologies and

exposure to risk, etc. Therefore the current coding of material agents does not allow the collection of sufficiently precise information to establish specific and effective prevention programs.

It is concluded from the analysis of the different codifications and their correspondences that it is necessary to introduce changes and improvements in the current system of codification of material agents, including new typologies that allow to extract more detailed and precise information regarding the work equipment and machinery involved in accidents in the agricultural and livestock sector.

Keywords: Machinery, Agricultural, Security, Coding, ESAW, Delt@

Introducción

Atendiendo a su peligrosidad, así como a la población potencialmente vulnerable al riesgo, las actividades relativas a la agricultura, ganadería, caza y servicios relacionados con las mismas han sido consideradas como actividades de máxima priorización por el Observatorio Estatal de Condiciones de Trabajo (OECT) del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) (Zimmerman y Orden, 2014).

Dentro de las actividades agrarias, los trabajos relacionados con el uso de maquinaria y equipos de trabajo mecanizados representan uno de los factores de riesgo más importantes (Sprince et al., 2002) y de consecuencias más graves (Suutarinen, 1997).

Los accidentes más típicos con maquinaria agrícola se deben a resbalones o caídas, atrapamientos, cortes, vuelco, golpes, atropellos, proyección de objetos, accidentes de tráfico, contactos térmicos, y sobreesfuerzos.

Aunque los tractores son los equipos de trabajo más fácilmente identificables en cuanto a su peligrosidad, también son frecuentes y dañinos los accidentes con máquinas para tratamiento de la madera, para el transporte, para la cosecha, para la siega, ensiladoras y desensiladoras, henificadoras, máquinas y equipos para el ordeño, para la alimentación del ganado, abonadoras y esparcidoras de fertilizantes, sembradoras, fumigadoras y maquinaria para el tratamiento del suelo (Kogler et al., 2016).

Arana *et al.* (2010) indican que la mayoría de accidentes mortales registrados en el sector se corresponden con vuelco de tractores que no disponían de estructuras de protección (ROPS) y que solo el 61,85% de los accidentes han sido registrados oficialmente.

La mayoría de estudios publicados recurren a las estadísticas oficiales elaboradas por entidades y organismos oficiales. La información global contenida en las bases de datos de accidentes laborales es fundamental para el establecimiento medidas o el diseño de estrategias por parte de los especialistas, de ahí su importancia, especialmente en lo que se refiere a las variables relativas al "contacto", el "agente material" y las posibles "desviaciones" de la normalidad (Jacinto et al., 2006; Jacinto e Soares, 2008).

En el caso de los accidentes relacionados con maquinaria agrícola las variables relativas al agente material (agente material asociado a la actividad específica, agente material asociado a la desviación y agente material asociado a la forma – contacto) contienen información fundamental para comprender el proceso que lleva a la ocurrencia del accidente, por lo que es de notable importancia su correcta cumplimentación.

Lamentablemente debido a diversos factores y a pesar de los esfuerzos de armonización en la recopilación de datos por parte de la Unión Europea, las variables relacionadas con las causas del accidente tienen una fiabilidad de baja a moderada (Molinero-Ruiz *et al.*, 2015), con un alto índice de subnotificación (Moreno, 2000; Barrasa et al., 2012).

2. Materiales y Métodos

El presente estudio analiza los datos de accidentes en los que intervienen máquinas y equipos de trabajo mecanizados en el subsector agrícola y ganadero durante el periodo 2004-2014 en la Comunidad Autónoma de Galicia (España).

Para ello se ha solicitado al Instituto Galego de Seguridade e Saúde Laboral (ISSGA) el acceso a los datos de relevancia no sujetos a la Ley Orgánica 15/199 de 13 de Octubre de protección de datos de carácter personal y demás normativa de aplicación, correspondientes al sector agrario, sección "A" de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE).

En total se recibieron datos relativos a un total de 16.453 accidentes, divididos en dos archivos en formato "xls" de Microsoft Excel, correspondientes a los periodos 2004-2007 (50 campos con 6518 registros) y 2008-2014 (79 campos con 9.935 registros).

Una vez recibidos los datos, se procedió a aplicar una auditoría cuantitativa y otra cualitativa encaminada a la unificación de ambas bases de datos en una único archivo, homogéneo y coherente, eliminando en primer lugar aquellos registros que no se correspondiesen con actividades correspondientes a la sección "A" del CNAE-2009, obteniendo una base de datos única integrada por un total de 14.851 accidentes.

A continuación se aislaron los registros correspondientes a la división 1 "Agricultura, ganadería, caza y servicios relacionados con las mismas" con un total de 8769 accidentes registrados.

El filtrado y depuración de datos se realizaron utilizando funciones avanzadas de búsqueda de Microsoft Excel 2007 y los datos obtenidos se trataron con Microsoft Excel 2007 y con IBM SPSS Statistics 22 para la obtención de resultados y gráficos.

Para localizar los accidentes en los que intervino de forma activa maquinaria agrícola o ganadera la consulta de los campos relativos al agente material asociado a la actividad física, al agente material asociado a la desviación y al agente material asociado a la forma de contacto deberían de ser suficiente, pero en una auditoría inicial se observó la presencia de numerosos registros (Tabla 1) que no contenían información útil, bien por estar en blanco o bien por contener valores del tipo "Ningún agente material" o "Ninguna información".

Tabla 1. % Registros que no aportan información relativa al agente material

	Agentes materiales:	**Actividad Física**		**Desviación**		**Forma - Lesión**	
Código	**Valor**	Frec.	%	Frec.	%	Frec.	%
	Sin datos/en blanco	971	11,07%	971	11,07%	971	11,07%
00000000	Ningún agente material o ninguna información	26	0,30%	43	0,49%	32	0,36%
00010000	Ningún agente material	461	5,26%	526	6,00%	423	4,82%
00020000	Ninguna información	137	1,56%	168	1,92%	145	1,65%
	Totales	1595	18,19%	1708	19,48%	1571	17,92%

A la vista de estos resultados iniciales, se procedió a aislar los registros relativos a accidentes en los que interviene maquinaria agrícola o ganadera, para lo cual se utilizó un sistema de búsqueda basado en palabras clave mediante la combinación de las funciones de Excel "HALLAR", "ES.ERROR" y el argumento "NO" en una fórmula del tipo: "=NO(ESERROR(HALLAR(Celda evaluada;Rango de evaluación)))". La fórmula busca una cadena de texto en otra cadena de texto y si la localiza nos lo advierte con el mensaje "VERDADERO" o en caso contrario con el mensaje "FALSO". Con la combinación de varias palabras clave y las opciones "verdadero y falso" se incrementa el grado de precisión, lo cual facilita la revisión de los registros finalmente seleccionados.

Al elegir las palabras clave se han tenido en cuenta los errores ortográficos y tipográficos más frecuentes cometidos en los dos idiomas oficiales (gallego y castellano), así como variantes y/o derivaciones locales.

Cuando se estimó necesario para reducir el número de registros a revisar se introdujeron palabras clave de eliminación. Por ejemplo para la palabra clave "vaca" se puede introducir la palabra clave "vacacion" y de esa forma eliminar los valores "vacación, vacacións, vacacional y vacaciones"

La búsqueda se aplica al campo de descripción del accidente, un campo alfanumérico literal en el que el responsable de introducir los datos en el sistema Delt@ ha de redactar una pequeña descripción del accidente. En total se localizaron 1.172 accidentes en los que intervinieron máquinas agrícolas o equipos de trabajo.

No están incluidos los vehículos de transporte de personas o mercancías tales como camiones, automóviles, motocicletas, etc.

Finalmente se identificaron las distintas tipologías de maquinaria específicamente agrícolas y se analizó la correspondencia con la codificación oficial, con la codificación de la norma "UNE 68-051-88 " y con la nomenclatura empleada por el Ministerio de Agricultura Pesca Alimentación y Medio Ambiente de España (MAPAMA) para las tipologías más frecuentes o más ilustrativas, en concreto se tratarán los tractores agrícolas, la maquinaria de ordeño, las sierras de cadena, las segadoras, las desbrozadoras y los carros mezcladores.

3. Resultados y Discusión

Se localizaron hasta 56 tipologías genéricas de máquinas o equipos de trabajo para un total de 1.172 casos, que se reparten conforme a la siguiente distribución:

Tabla 2. Equipos de trabajo nombrados, descritos o identificados por la actividad en la descripción del accidente

Equipo	Frecuencia	Equipo	Frecuencia
Tractores agrícolas	33,9%	Clasificadoras	0,2%
Ordeñar (máquinas de)	31,1%	Cortasetos	0,2%
Sierra de cadena	5,5%	Extendedora	0,2%
Máquinas sin precisar	3,7%	Hileradora	0,2%
Segadoras	3,6%	Recortadora	0,2%
Desbrozadoras	3,1%	Transpaletas	0,2%
Carros mezcladores	2,3%	Aholladoras	0,1%
Aperos	1,7%	Bombas hidráulicas	0,1%
Remolques	1,7%	Correas de transmisión	0,1%
Empacadoras	1,2%	Dumper	0,1%
Astilladoras	0,9%	Enmacetadoras	0,1%
Desensiladoras	0,9%	Envasadoras	0,1%
Motocultores	0,9%	Incubadoras	0,1%
Sembradoras	0,9%	Plastificadora	0,1%
Autocargadores	0,8%	Motores eléctricos	0,1%
Molinos	0,7%	Palas cargadoras	0,1%
Cosechadoras	0,6%	Perforadoras	0,1%
Desgranadoras	0,6%	Plantadoras	0,1%
Cisternas	0,5%	Porta-pacas	0,1%
Arrobaderas	0,4%	Precintadoras	0,1%
Cintas transportadoras	0,4%	Procesadoras	0,1%

continuación ...

Limpiadores a alta presión	0,4%	Rebarbadoras	0,1%
Ensiladoras	0,3%	Robots	0,1%
Carretillas elevadoras	0,3%	Tornillos "sin fin"	0,1%
Excavadoras	0,3%	Tornos verticales	0,1%
Sulfatadora	0,3%	Trituradora de madera	0,1%
Abonadoras	0,2%	Transfer	0,1%
Bombas compresoras	0,2%	Trituradora de madera	0,1%
Carros picadores	0,2%		

El equipo de trabajo o maquinaria más nombrado en los partes de accidente es el tractor agrícola (33,9%), seguido de las máquinas de ordeño (31,1%), las sierras de cadena (5,5%), las segadoras (3,6%), las desbrozadoras (3,1%) los carros mezcladores (2,3%), los aperos en general (1,7%), remolques (1,7%) y empacadoras con el 1,2%. El resto de tipologías no alcanza el 1% y es de destacar que un 3,6% de los registros localizados no especifican o aportan datos suficientes para identificar de que máquina se trata.

Correspondencias entre Delt@ (ESAW), MAPAMA y UNE 68-51-88, problemas derivados de la codificación en los grupos de maquinaria más frecuentes.

Tabla 3. Tractor agrícola, correspondencias de tipologías y codificación

Codificación Delt@	Tipologías MAPAMA		Tipologías UNE 68-051-88
Códigos admisibles	Grupo de Máquinas motrices y estacionarias de tracción		Grupo de 01.- Máquinas de accionamiento y de tracción
09020301 Tractores agrícolas	Tractores de Ruedas		01. 2 Tractores y motocultores
	Estándar		Tractores de cadenas
	Especializado		Tractores de semi-cadenas (semi-orugas)
		Estrechos y fruteros	Tractores de ruedas
		Elevados y zancudos	Motocultores
		Tractor portador	01.3 Tractores portadores
	Tractores de Cadenas		Tractores porta-aperos
	Estrechas	De bandas de goma	Tractores de plataforma
	Normales	De bandas metálicas	Tractores zancudos
	Anchas		

Como se puede observar un único código ha de identificar a diversas máquinas con configuraciones, procedimientos operativos, distancias de seguridad y riesgos específicos diversos, pudiendo aplicarse a máquinas tan diferentes como un tractor de jardín y un tractor forestal especializado.

Un ejemplo de esta circunstancia lo propone el MAPAMA al recomendar, en el caso de tractores con cadenas metálicas:

"Las diferencias aparecen en la anchura de vía (normal y estrecha), así como en la anchura de las tejas que componen las cadenas (estrechas, normales y anchas). Se recomiendan las estrechas para trabajos en ladera y las anchas para suelos con baja capacidad portante."

Por lo tanto la tipología del tractor influye directamente sobre su uso y consecuentemente sobre las medidas de seguridad a adoptar para cada tipología y en cada caso, sin dejar de considerar que actualmente los tractores agrícolas suelen estar equipados con sofisticadas tecnologías, desde sistemas de guiado por GPS hasta el control de aperos y apliques mediante "joystick", cabinas completamente informatizadas y otros elementos que exigen nuevos modelos de adiestramiento, que conllevan nuevos riesgos y para los que se han de aplicar nuevas medidas de seguridad.

Tabla 4. Maquinaria de ordeño, correspondencias de tipologías y codificación

Codificación Delt@	Tipologías MAPAMA	Tipologías UNE 68-051-88
Códigos admisibles	Equipos para la producción animal	Equipos para la producción animal
10180100 Ordeñar (máquina de)	Con cubo (olla) Directo a cántara Con conducción de leche Con depósito medidor de leche Con conducciones independientes de aire y leche	Ordeñadoras Equipos complementarios de ordeño*[1] Instalaciones de ordeño *[1] Los tanques refrigerantes de leche ocupan un apartado específico independiente.*

El caso de las instalaciones de ordeño es de los más significativos por sus peculiares características y por estar implicadas las labores de ordeño, directa o indirectamente, en un alto número de accidentes y lesiones (Douphrate *et al.*, 2013; Lindahl *et al.*, 2013).

En este caso, la inconcreción y parquedad de las descripciones de los accidentes unidas al alto índice de errores de codificación detectados, provoca que no sea posible discernir con absoluta certeza entre daños provocados directamente por el equipo de trabajo, daños originados en el equipo de trabajo pero provocados por otros agentes materiales y daños causados y originados por otros agentes ajenos al equipo de trabajo.

Bajo el código 10180100 "Ordeñar (máquina de)", se engloban desde los sistemas más básicos de ordeño en plaza con cántara hasta los más sofisticados sistemas de ordeño robotizado completamente automatizado, pasando por diversas tipologías de instalaciones de ordeño con configuraciones, cargas de trabajo, exigencias posturales, exposición a daños provocados por el manejo del ganado, etc. muy diferentes para cada sistema y que incluyen máquinas simples, "cuasi máquinas" y equipos de trabajo altamente complejos.

Tabla 5. Segadoras, correspondencias de tipologías y codificación

Codificación Delt@	Tipologías MAPAMA	Tipologías UNE 68-051-88
Códigos admisibles	Equipos para la recolección	07,1 Equipos para recolección de forraje y mantenimiento de césped
09020302	Recolección de forraje y paja	07.1.01 Segadoras
09020300	Segadoras de cuchilla y contra-cuchilla	07.1.02 Segadoras acondicionadoras
09020400	Segadoras de cuchilla alternativa	07.1.08 Segadoras de césped
10180000	Segadoras de mayales	
09020499	Segadoras de discos *Todas ellas pueden ser arrastradas o suspendidas.*	
09020302 = Máquina agrícola 09020300 = Máquinas agrícolas de auto tracción – tractores 09020400 = Máquinas agrícolas remolcadas		10180000 = Máquinas específicas utilizadas en agricultura, ganadería, no relacionadas con las máquinas anteriormente citadas. 09020499 = Otras máquinas agrícolas remolcadas

En el caso de las segadoras se podrían aplicar hasta 5 códigos diferentes al no tener asignado ninguno específico y existir numerosas tipologías de máquinas de segar, desde las más simples de carro hasta las más complejas, arrastradas y combinadas con otras máquinas, todas ellas muy diferentes en cuanto a manejo, seguridad intrínseca, etc.
Casos como el de máquinas de segar arrastradas o suspendidas de otros equipos de trabajo (tractores agrícolas) combinan riesgos de ambos equipos al convertirse en una unidad de trabajo y determinados sistemas presentan riesgos específicos que no aparecen en otras máquinas, como puede ser el riesgo de proyecciones de objetos en segadoras rotativas o segadoras acondicionadoras frente a segadoras simples basadas en sistemas de cuchillas alternativas.

Tabla 6. Sierras de cadena, correspondencias de tipologías y codificación

Codificación Delt@	Tipologías MAPAMA	Tipologías UNE 68-051-88
Códigos admisibles	Maquinaria para la preparación del suelo	02.2 Equipos para desmonte
07010401 Sierras de Cadena portátiles.	Equipos para desmonte, recogida y aprovechamiento de biomasa agrícola y forestal	02.2.01 Equipos para corta de árboles 07.8 Equipos para recolección de madera
	Motosierra	07.8.01 Máquinas para derribo

Aunque la sierra de cadena portátil, conocida comúnmente en España como "motosierra", es una herramienta de uso principalmente forestal, es frecuente y común su presencia y utilización en las explotaciones agrarias para labores menores de aprovechamiento, mantenimiento, etc.

En el caso de este equipo de trabajo, tanto la denominación (Sierras de cadena portátiles) utilizada en las tablas de códigos como el sistema de organización de dichas tablas dificulta notablemente la localización del código adecuado, por lo que con frecuencia figura sin datos o codificada como otras tipologías de sierras motorizadas.

Tabla 7. Desbrozadoras, correspondencias de tipologías y codificación

Codificación Delt@	Tipologías MAPAMA	Tipologías UNE 68-051-88
Códigos admisibles	Equipos para la recolección.	02.2 Equipos desmonte
09020200 09020203 09020204	Equipos para desmonte, recogida y aprovechamiento de biomasa agrícola y forestal	02.2.03 Palas desbrozadoras 02.2.06 Rodillos desbrozadores 02.2.07 Desbrozadoras de eje vertical
	Desbrozadoras de eje vertical Desbrozadoras de eje horizontal Rígidas y articuladas	02.2.08 Desbrozadoras de eje horizontal 02.2.09 Desbrozadoras de mano 02.2.11 Rastrillos desbrozadores
09020200 = Segadoras, cortacéspedes, desbrozadoras 09020203 = Desbrozadoras, para tractor o no, cortabordes de hoja rápida 09020204 = Desbrozadoras (de sierra, de hilo…), podaderas (eléctricas, neumáticas…)		

Para las desbrozadoras se dispone de 3 códigos específicos que se aplican a 6 tipologías UNE.
EL MAPAMA no incluye las desbrozadoras manuales y otras variantes de uso forestal, aunque el uso de las desbrozadoras manuales está muy extendido e incluso es frecuente su uso a modo de segadora mecánica manual.

Tabla 8. Carros mezcladores, correspondencias de tipologías y codificación

Codificación Delt@	Tipologías MAPAMA	Tipologías UNE 68-051-88
Códigos admisibles	Equipos para la recolección.	10 Equipos para producción animal
Véase tabla 9	Distribución de alimentos	10.3 Equipos para preparación de alimentos para el ganado
	Triturador-mezclador con sin-fin horizontal Triturador-mezclador con sin-fin vertical Triturador-mezclador con tolva giratoria	10.3.02 Mezcladores 10.3.03 Trituradores y mezcladores combinados 10.3.04 Equipos para incorporación de aditivos

Independiente de los sistemas de trituración y mezcla de materias primas (que influyen notablemente en cuanto a los problemas de seguridad en operaciones de mantenimiento), existen diversas tipologías remolcadas, automotoras, automatizados y robotizados y con diversos sistemas de reparto de alimentos.

Tabla 9. Carros mezcladores, códigos admisibles en sistema DeIt@

Código	Literal
10020000	Máquinas para la preparación de los materiales: triturar, pulverizar, filtrar, separar, mezclar, amasar
10020406	Cortador, mezclador
10021402	Mezcladora (amasadora) de productos alimentarios
10021403	Amasadera-mezcladora
10021500	Mezclar, malaxar (máquinas de) de cuba móvil
10021600	Mezclar, malaxar (máquinas de) de cuba fija , agitador
10021607	Batidor-mezclador
10021611	Mezclador (de cuba fija)
10021700	Mezclar, malaxar (máquinas de) de cilindros
10021701	Mezclador de cilindros
10029900	Otros tipos de máquinas para triturar, filtrar, mezclar, amasar
10080611	Mezcladoras de productos alimentarios

En el caso de los carros mezcladores de alimento para ganado existen al menos 12 códigos que podrían ajustarse a las definiciones básicas de carro mezclador, por lo que la selección de código dependerá básicamente del criterio, interés y disposición del responsable de cumplimentar el campo y aunque los códigos 10020406, 10021402 y 10080611 parecen los más adecuados no existe ningún criterio oficial al respecto e incluso podrían admitirse otros códigos genéricos o relativos si se trata de máquinas automotoras o remolcadas.

Las carencias y deficiencias detectadas en los 6 equipos de trabajo de ejemplo se repiten en diferente medida en la mayoría de los equipos de trabajo relacionados en la "Tabla 2", con códigos insuficientes para las diversas tipologías significativas o dificultades para localizar el código adecuado que las diferencie de otros equipos.

4. Conclusiones

La clasificación y los códigos utilizados actualmente en variables como los agentes materiales, son poco específicos y su desagregación es muy deficiente para el sector agrario, las dificultades para seleccionar los códigos adecuados a la hora de cumplimentar los partes de accidente deriva en numerosos errores de codificación y al abuso de términos genéricos o indeterminados que no aportan información útil. Otros sistemas de clasificación e incluso de codificación como es el caso de la norma UNE 68-051-88, aunque aportan mayor información y contienen un número mayor de tipologías tampoco han evolucionado al ritmo del avance tecnológico del sector y deberían a su vez de ser revisadas y actualizadas.

Las instrucciones de codificación de los campos relativos a agentes materiales intervinientes no son suficientemente aclaratorias y su aplicación práctica a la hora de cumplimentar los PAT requiere de una curva de aprendizaje excesiva para un sector como el agrario en el que priman las microempresas y trabajadores autónomos, siendo imprescindible una revisión y una mejor adaptación a las diferentes tipologías de usuarios y sectores productivos.

Es necesaria una revisión y ampliación del actual sistema de codificación de agentes materiales asociados a las actividades, desviaciones y lesiones que integre los cambios y evolución tecnológica del sector agrario, especialmente en lo que se refiere a las máquinas agrícolas y equipos de trabajo en general utilizados en el sector agrario. Estas necesidades son extensible a otras variables como la actividad física específica, el tipo de lugar o el tipo de trabajo.

Referencias

AENOR. 1988. Tractores y maquinaria agrícola y forestal, Clasificación y terminología, Parte 0: Clasificación detallada. UNE 68-051-88. Madrid: AENOR.

Arana, I. et al. 2010. Evaluation of risk factors in fatal accidents in agriculture, *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(3), 592. doi: 10.5424/sjar/2010083-1254.

Barrasa, M., Maciñeiras, J. e Lamosa, S. 2012. Estudio de los accidentes de trabajo graves y mortales en el sector agrario gallego. Caraterísticas del trabajador, In Actas *XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*,1517-1528. 11-13 junio 2012 Valencia.

Douphrate, D. I. et al. 2013. Work-Related Injuries and Fatalities on Dairy Farm Operations: A Global Perspective, *Journal of Agromedicine*, 18(3), 256-264. doi: 10.1080/1059924X.2013.796904.

Jacinto, C. et al. 2006. RIAAT Recording, Investigation & Analysis of Accidents User's Manual. Disponible en: http://www.mar.ist.utl.pt/captar/pt/home.aspx (Accedido el 23 de febrero de 2017).

Jacinto, C. e Soares, C. G. 2008. The added value of the new ESAW/Eurostat variables in accident analysis in the mining and quarrying industry, *Journal of Safety Research*, 39(6), p. 631-644. doi: 10.1016/j.jsr.2008.10.009.

Kogler, R., Quendler, E. e Boxberger, J. 2016. Occupational Accidents with Agricultural Machinery in Austria, *Journal of Agromedicine*, 21(1), p. 61-70. doi: 10.1080/1059924X.2015.1075451.

Lindahl, C. et al. 2013. Occupational Health and Safety Aspects of Animal Handling in Dairy Production, *Journal of Agromedicine*, 18(3), 274-283. doi: 10.1080/1059924X.2013.796906.

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA). 2017. Web en linea del Observatorio de Tecnologías probadas. Maquinaria Agrícola: Consulta de fichas técnicas de maquinaria. Disponible en http://go.shr.lc/2nATCR7 (Accedido el 30 de marzo de 2017).

Molinero-Ruiz, E. et al. 2015. How reliable and valid is the coding of the variables of the European Statistics on Accidents at Work (ESAW)? A need to improve preventive public policies, S*afety Science*, 79, 72-79. doi: 10.1016/j.ssci.2015.05.005.

Moreno, A. J. 2000. Accidentes de Trabajo Agrícola en la provincia de Cáceres. Universidad de Extremadura. Disponible en: http://dehesa.unex.es/handle/10662/388. (Accedido el 23 de marzo de 2017)

Sprince, N. L. et al. 2002. Risk Factors for Machinery-related Injury among Iowa Farmers: A Case-Control Study Nested in the Agricultural Health Study, *International Journal of Occupational and Environmental Health*. 8(4), 332-338. doi: 10.1179/107735202800338641.

Suutarinen, J. 1997. Non-Fatal Tractor Accidents and Their Prevention», *Journal of Agromedicine*, 4(3-4), 313-324. doi: 10.1300/J096v04n03_16.

Zimmermann Verdejo, M. y de la Orden Rivera, V. 2014. Actividades prioritarias en función de la siniestrabilidad. Editado por Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Madrid. Disponible en: http://www.insht.es/Observatorio/5 Estudios tecnicos/Actividades prioritarias en función de la siniestralidad 2013.pdf (Accedido el 17 de marzo de 2017).

Catalogación de los silos pertenecientes a la red española de silos y graneros en Castilla y León

Manuel V. Fernández-Fernández[1], Víctor Marcelo[2], José B. Valenciano[3], Juan A. Boto[4]

[1] Junta de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería. Servicio de Intervención de Mercados. C/ Rigoberto Cortejoso 14, 47014 Valladolid. Spain. ferferma@jcyl.es

[2,3,4] Dpto. Ingeniería y Ciencias Agrarias, Avda. Portugal 41, 24071 León. Spain. v.marcelo@unileon.es; joseb.valenciano@unileon.es; jabotf@unileon.es

Resumen

Se ha recopilado información de los silos de almacenamiento de cereal existentes en la comunidad de Castilla y León pertenecientes a la red española de silos y graneros con el objetivo de catalogar estas construcciones para que esta información sirva de base para plantear alguna alternativa de reutilización y así contribuir a dinamizar las localidades donde se ubican.

Dicha información se ha obtenido del archivo General del Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA) de Madrid, del archivo de la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León en Valladolid y por medio de entrevistas realizadas a las personas que trabajaron como agentes de intervención en dichos silos.

Se han catalogado un total de 173 silos, de ellos 50 se encuentran en la denominada Red Básica y 123 se encuentran en la denominada Red Secundaria. Su construcción comprendió un rango de 32 años (1949-1981) no siendo uniforme su distribución espacial. Existen silos en 148 localidades, destacando Medina del Campo con cuatro silos. En cuanto a la tipología predominan los tipo D por encima del resto ya que representan en 57% del total. Los primeros silos de recepción tenían pequeña capacidad de almacenamiento lo cual fue en aumento construyéndose los silos de gran capacidad (macrosilos) en el periodo 1973-1984 con capacidades de hasta 30.000 t. Predominan los silos de planta rectangular (92%) con cubiertas planas o a dos aguas (95%). Las filas de celdas oscilan entre tres hasta nueve siendo la forma predominante la cuadrada realizadas mediante ladrillo armado.

Palabras clave: Trigo, almacén, almacenamiento vertical, reutilización, patrimonio industrial.

Cataloguing silos belonging to Spain's network of silos and granaries in Castilla y León

Abstract

This paper discusses information from the grain store silos existing in the community of Castilla y León, belonging to Spain's network of silos and granaries in order to categorise these constructions so that this information serves as a basis to consider some alternatives to reuse and help energize the villages where they are located.

The information has been obtained from the FEGA archive in Madrid, from the Junta de Castilla y León archive in Valladolid and through interviews with silo managers.

Of the 173 silos identified in this study, 50 belong to the basic storage network and 123 are in secondary network. They were built over a period of 32 years (1949-1981), and were unevenly distributed. There are silos in 148 villages, Medina del Campo, with four silos is worth a special mention. In terms of typology the type D silos stand out from the rest since they represent 57% of the total. The first reception silos had a small storage capacity which rose gradually as silos of great capacity (macrosilos) were built in the period 1973-1984 with capacities of up to 30,000 t. Most of the silos have a rectangular ground plan (92%) with flat or gable roofs (95%). They have three to nine rows of cells of which the most common is the square shape made by reinforced brick cells.

Keywords: Wheat, storage unit, vertical storage unit, reuse, industrial heritage.

1. Introducción

El almacenamiento del trigo para la alimentación humana ha sido una actividad realizada desde la antigüedad, así en la antigua Roma ya existían construcciones específicas para llevar a cabo este almacenamiento (Tucci, 2012); posteriormente en la edad Media y hasta bien entrado el siglo XIX el almacenamiento se realizaba principalmente en castillos y monasterios (Pereira, 1980). Con la invención del elevador en 1843 comienza a cambiar la tipología de las construcciones de almacenamiento pasando de ser horizontales (almacenes o graneros) a ser almacenes verticales o silos (Banham, 1989). En España, durante los años de la Guerra Civil Española se creó el Servicio Nacional del Trigo (SNT) al que los agricultores tenían que entregar el trigo producido a un precio fijo ya que funcionaba en régimen de monopolio. Para disponer de lugares de almacenamiento del cereal se construyó la Red Nacional de Silos y Graneros de España comenzándose a construir en la década de los años 50 y está formada tanto por unidades de almacenamiento vertical, denominadas silos y macrosilos (son los más numerosos), como por unidades de almacenamiento horizontal, denominadas almacenes-graneros (son un número pequeño) (Fernández-Fernández, 2016). Con la entrada de España en la Unión Europea en 1986 supuso una importante reducción de utilización de estas edificaciones de almacenamiento que posteriormente fueron transferidas a las distintas comunidades autónomas estableciéndose dos redes: La red Básica, formada por los silos y graneros más modernos y de mayor capacidad y la red Secundaria que engloba el resto de silos y graneros. Los almacenes o graneros en la mayor parte de los casos se han reutilizado para otra actividad pero los silos dadas sus peculiares características constructivas han quedado prácticamente en desuso. Castilla y León es la comunidad autónoma española que dispone de un mayor número de silos para el almacenamiento de cereal pertenecientes a la red española de Silos y Graneros (FEGA, 2003; Fernández-Fernández et al., 2017). El año 2001 fue el último en que se utilizaron algunos de los silos para almacenar cereal, por lo cual el desuso y el abandono que sufren provoca que poco a poco su grado de deterioro vaya en aumento. Se hace necesario conocer estas construcciones para poder poner en valor esta parte de nuestro patrimonio agroindustrial como se ha hecho con otras construcciones de este tipo (bodegas, mataderos, harineras, etc) (García y Ayuga, 2007; Fuentes, 2010; Fuentes et al., 2010; Cano et al., 2013)

El objetivo del trabajo ha sido el catalogar los silos existentes en Castilla y León pertenecientes a la citada red para que en un futuro esta información sirva de base para plantear alguna alternativa de reutilización y así contribuir a frenar el deterioro de estas construcciones que forman parte de nuestro patrimonio agroindustrial y contribuir a dinamizar las localidades donde se ubican.

2. Materiales y Métodos

En el presente trabajo se ha recogido información de los silos de almacenamiento de cereal pertenecientes a la red española de Silos y Graneros existentes en la comunidad de Castilla y León ubicados tanto en la red Básica como en la red Secundaria. Dicha información se ha obtenido del archivo General del Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA) de Madrid, del Archivo de la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León en Valladolid y por medio de entrevistas realizadas a las personas que trabajaron como agentes de intervención en dichos silos y que han pertenecido al Servicio Nacional de Productos Agrarios (SENPA) en las diferentes provincias de la Comunidad Autónoma.

Los datos recogidos para catalogar cada silo son los que se detallan a continuación: Provincia, localidad de ubicación, tipología de silo, año de construcción, capacidad teórica de almacenamiento, tipo de planta constructiva, tipo de cubierta, nº de filas de celdas, nº de

celdas por fila, ubicación de las celdas, nº de celdas operativas, forma de las celdas, material de construcción de las celdas y posición de la torre de elevación dentro del silo.

3. Resultados y Discusión

Se han catalogado e inventariado un total de 173 silos, de ellos 50 se encuentran en la denominada Red Básica y 123 se encuentran en la denominada Red Secundaria. La denominada Red Básica está formada por los silos más modernos y de mayor capacidad que han estado utilizándose hasta que se ha dejado de almacenar en ellos cereal en la campaña 2000-2001. El resto de los silos se ubican en la denominada Red Secundaria los cuales llevan mucho más tiempo en desuso.

Del análisis de la información recopilada se desprende la construcción de los 173 silos existentes en Castilla y León comprendió un rango de 32 años comenzando en 1949 con los silos de Villada (Palencia) y Valladolid y finalizando en 1981 con el silo de Alcañices (Zamora).

La distribución espacial de los silos a lo largo de las distintas provincias de Castilla y León no es uniforme, ya que las provincias de Burgos, Valladolid y Palencia engloban el 43% del total de los silos mientras que en otras provincias como León o Ávila el número de silos es mucho menor. Existen silos en 148 localidades de Castilla y León, concentrándose en los nudos de comunicaciones con el norte y centro de España, destacando la localidad de Medina del Campo con 4 silos. Lo cual corrobora lo afirmado por Fernández-Fernández (2016) donde afirma que los silos pertenecientes a la Red Básica de Castilla y León se encuentran en las provincias más productoras de trigo de la comunidad autónoma.

Si se atiende a la capacidad de almacenamiento total, las provincias que destacan son Burgos, Soria y Valladolid en tercer lugar, siendo Ávila la que tiene una menor capacidad, pero la realidad es que muchos de los silos de la red secundaria están inutilizables bien por obsolescencia de la maquinaria o bien por presentar un deterioro general importante por lo cual de acuerdo a lo manifestado por Fernández-Fernández (2016) si se quiere analizar la capacidad real operativa de almacenamiento hay que analizar la red básica donde se engloban los silos que se encuentran en mejores condiciones de conservación.

Atendiendo solamente a la red básica destacan Soria, Burgos y Valladolid mientras que Ávila, Segovia y León son los que menos capacidad presentan. Esta diferencia entre el número de silos por provincia y su capacidad de almacenamiento viene dada porque provincias como Soria no tienen un número elevado de silos pero varios de ellos son macrosilos de gran capacidad de almacenamiento (Tabla 1).

Tabla 1. Capacidad de almacenamiento de los silos de la red española de silos y graneros por provincias y redes.

	Red Básica (t)	Red Secundaria (t)	TOTAL (t)
Ávila	11.250	20.650	31.900
Burgos	65.150	64.830	129.980
León	14.100	19.600	33.700
Palencia	26.480	52.860	79.340
Salamanca	27.300	43.750	71.050
Segovia	11.500	21.500	33.000
Soria	78.220	26.100	104.320
Valladolid	53.500	38.900	92.400
Zamora	38.700	52.170	90.870
CASTILLA Y LEÓN	326.200	340.360	666.560
ESPAÑA	952.220	1.448.630	2.400.850

En cuanto a la tipología cabe destacar que los primeros construidos fueron los de recepción, más próximos al agricultor. Se comenzó por los tipo A durante la década de los cincuenta fundamentalmente, continuando posteriormente por los tipo B, C, etc. (Tabla 2) (Figura 1).

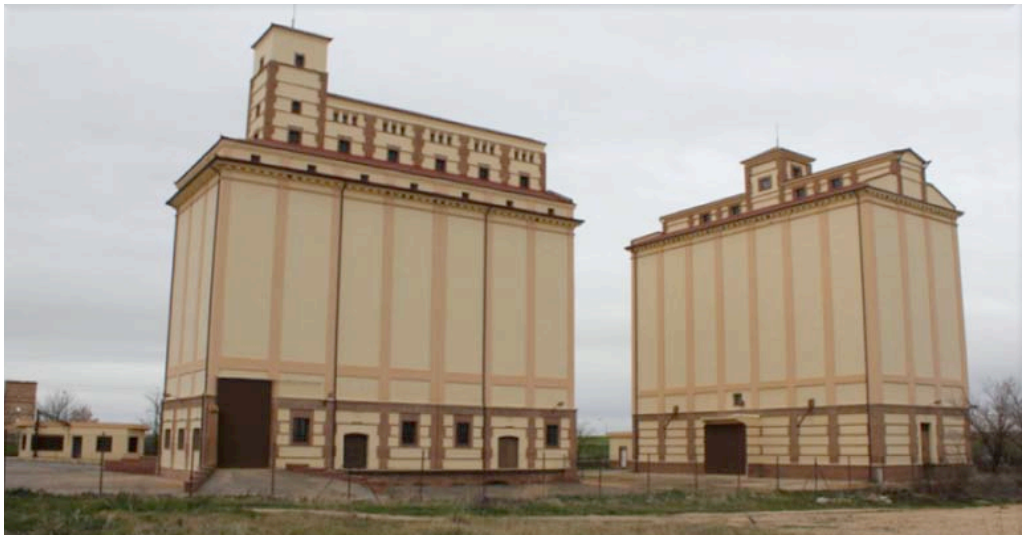


Figura 1.- Silo tipo A, construido en 1.952, con una capacidad 1.950 t (izquierda) y tipo H, construido en 1967, con una capacidad 2.800 t (derecha) ambos ubicados en Madrigal de las Altas Torres (Ávila) pertenecientes a la Red Básica de Castilla y León.

Por su número los tipo D son los que predominan por encima del resto ya que representan en 57% del total. Los primeros silos de recepción tenían pequeña capacidad de almacenamiento lo cual fue en aumento construyéndose los silos de gran capacidad (macrosilos) en el periodo 1973-1984 con capacidades de hasta 30.000 t.

En cuanto a las características de los edificios, atendiéndose al tipo de planta predominan los silos de planta rectangular (92% del total) frente a otras formas de planta (T, cruz ó L). Casi todos presentan cubiertas planas o a dos aguas (en el 95% de los casos) aunque existen otros con cubiertas planas y a dos aguas o a cuatro aguas también.

Todos los silos presentan las celdas (depósitos donde se almacena el cereal llenándolas por la parte superior y vaciándolas por su parte inferior) dispuestas en filas oscilando en un número de filas entre 3 (la mayor parte de los silos de recepción) hasta 9 en los tipo F, presentando un número de celdas por filas muy variable oscilando entre 2 y 18 celdas. Las celdas pueden encontrarse apoyadas en la planta baja (tipos C, MC, MR, TR de Palencia y Burgos y SG), estar elevadas respecto dicha planta (tipos A, B, F, TR de Medina del Campo y Toro, TC, TE, TH, SV y SA) o alternar apoyadas y elevadas (tipos D, E, GV, H, J, TV y TF). La forma predominante de las celdas es la cuadrada (84 % de los silos) aunque también los hay con celdas circulares (12%), cuadradas y trapezoidales (3%) o hexagonales (1%) (Figura 2).

Tabla 2. Silos por provincias de Castilla y León, red básica y secundaria de los silos de la red española de silos y graneros.

	TIPOLOGÏA	Ávila-RB	Ávila-RS	Burgos-RB	Burgos-RS	León-RB	León-RS	Palencia-RB	Palencia-RS	Salamanca-RB	Salamanca-RS	Segovia-RB	Segovia-RS	Soria-RB	Soria-RS	Valladolid-RB	Valladolid-RS	Zamora-RB	Zamora-RS	TOTAL RED BASICA	TOTAL RED SECUNDARIA	TOTAL SILOS EN CASTILLA Y LEÓN
RECEPCIÓN	A	1	2					1	1								1			2	4	**6**
	B			2	2				1	1		1		2		1			2	6	6	**12**
	C				1	1		2	1	2						2	2		1	6	6	**12**
	D		4	3	8	5		3	9	2	15	9	2	1	10	2	12		13	13	85	**98**
	E	1		2	2	1	3											1		7	3	**10**
	F										1								1	0	2	**2**
	GV		1																	0	1	**1**
	H	1						1	1							1			1	3	2	**5**
	J												1						1	1	1	**2**
	MC		1		1				1		1	1					1		1	0	7	**7**
	MR					1			1											0	2	**2**
TRÁNSITO	TR				1				1							1		1		2	2	**4**
TRÁNSITO-MACROSILOS	TC									1										1	0	**1**
	TE			1																1	0	**1**
	TH															1				1	0	**1**
	TV							1						3				1		5	0	**5**
	TF																			0	0	**0**
SELECCIÓN DE SEMILLAS	SV			1												1				2	0	**2**
	SA				1															0	1	**1**
	SG				1															0	1	**1**
TOTAL		**3**	**8**	**9**	**17**	**8**	**3**	**8**	**16**	**6**	**17**	**11**	**3**	**6**	**10**	**9**	**16**	**3**	**20**	**50**	**123**	**173**

Leyenda: RB: Red Básica de almacenamiento. RS: Red secundaria de almacenamiento

Figura 2.- Silo tipo C, construido en 1955, con capacidad para 2.200 t en Osorno (Palencia) (Izquierda). Silo tipo TV, construido en 1981, con capacidad para 15.000 t en Barcial del Barco (Zamora) (Derecha). Ambos pertenecientes a la Red Básica de Castilla y León

El material de construcción predominante de las celdas es el ladrillo armado (82 % de los silos), existiendo otros silos realizados mediante bloque de hormigón (los tipo C), mediante chapa de acero (tipos MC y MR) o mediante hormigón armado en el 5 % siendo estos los más modernos (Figura 3). Esto coincide con lo observado por Fernández-Fernández et al., (2017) para los silos pertenecientes a la Red Básica de Castilla y León en que indica que los silos más modernos han sido realizados mediante hormigón armado.

Figura 3.- Silo tipo D, construido en 1954, con capacidad para 2.800 t en La Tabla (Zamora) (Izquierda). Silo tipo MR, construido en 1973, con capacidad para 2.400 t en Palanquinos (León) (Derecha). Ambos pertenecientes a la Red Secundaria de Castilla y León.

La posición de la torre dentro del silo adopta posiciones muy diversas pudiendo estar en posición interior (alguno tipo A, los tipo C, F, H, J y MC), central (algunos tipo A y D y los tipo GV), de esquina (los tipo B), en posición frontal (tipo E, MR, TR, SV, SA y todos los macrosilos), en posición lateral (algún tipo A y D) o en posición lateral embutida entre celdas (el resto tipo D).

4. Conclusiones

La construcción de los 173 silos existentes en Castilla y León comprendió un rango de 32 años (1949-1981). Su distribución espacial a lo largo de las distintas provincias de Castilla y León no es uniforme, Burgos, Valladolid y Palencia engloban el 43% del total. Existen silos en 148 localidades de Castilla y León, concentrándose en los nudos de comunicaciones con el norte y centro de España, destacando Medina del Campo con 4 silos.

La capacidad de almacenamiento se fue incrementando con el tiempo, construyéndose los silos de gran capacidad (macrosilos) en el periodo 1976-1981.

La tipología más abundante es la tipo D que representa el 57% del total, aunque en Castilla y León están presentes todas de tipologías construidas por la Red Española de Silos y Graneros salvo la tipología P (Puerto).

Los silos estudiados presentan un número de celdas de almacenamiento muy variable, relacionado con su tipología constructiva, siendo las celdas cuadradas las más habituales (84% de los silos) y predominando en la construcción de las mismas el ladrillo armado.

Bibliografía

Banham, R. 1989. *A Concrete Atlantis. US Building and European Modern Architecture. 1900-1925.* Cambridge, USA: MIT Press.

Cano, M. Garzon, E. and P.J. Sanchez-Soto. 2013. Historic preservation, GIS, & rural development: The case of Almería province, Spain. *Applied Geography* 42: 34-47. DOI: 10.1016/j.apgeog.2013.04.014

FEGA, 2003. *Estudio y toma de decisión de las unidades de almacenamiento que han de incluirse en la red básica y en la red no básica.* Madrid, Spain: Archivo General del Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA).

Fernández-Fernández M.V. 2016. Catalogación de las unidades de almacenamiento vertical de cereales de la red básica de Castilla y León, propuesta de una nueva clasificación y posibilidades de reutilización. Ph.D. Thesis. Universidad de León, León.

Fernández-Fernández, M.V., Marcelo, V., Valenciano, J.B. and F.J. López-Díez. 2017. History, construction characteristics and possible reuse of Spain's network of silos and granaries. *Land Use Policy* 63: 298-311. DOI 10.1016/j.landusepol.2017.01.017

Fuentes, J.M. 2010. Methodological bases for documenting and reusing vernacular farm architecture. *Journal of Cultural Heritage* 11: 119-129. DOI: 10.1016/j.culher.2009.03.004

Fuentes, J.M., Gallego, E., García, A.I. and F. Ayuga. 2010. New uses for old traditional farm buildings: The case of the underground wine cellars in Spain. *Land Use Policy* 27: 738-748. DOI: 10.1016/j.landusepol.2009.10.002

García, A.I. and F. Ayuga. 2007. Reuse of abandoned buildings and the rural landscape: The situation in Spain. *Transactions of the ASABE* 50: 1383-1394.

Pereira, J.L. 1980. Contribución fiscal del partido de Cáceres durante el siglo XVI: alcabalas y tercias. *Norba* 1: 253-278, http://hdl.handle.net/10662/810

Tucci, P.L. 2012. La controversa storia della Porticus Aemilia. *Archeologia Classica* 63: 575-591. https://www.academia.edu/2209356/La_controversa_storia_della_Porticus_Aemilia

Métodos de tratamento e destinação de cama aviária e resíduos da produção de frangos de corte no Brasil

Fernanda Sousa[1], Ilda Tinôco[1], Cecília Souza[1], Fátima Baptista[2], Vasco Cruz[2], Jadir Silva[1], Matteo Barbari[3], Diogo Coelho[1], Kelle Oliveira[1], Rafaella Andrade[1]

[1] Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, AMBIAGRO, 36570-000 Viçosa, MG, Brasil. fernanda.sousa@ufv.br; iftinoco@ufv.br; cfsouza@ufv.br; jadir@ufv.br; diogo.coelho@ufv.br; kelle.oliveira@ufv.br; rafaella.andrade@ufv.br

[2] Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora e Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), 7002-554 Évora, Portugal. fb@uevora.pt; vfc@uevora.pt

[3] Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali – GESAAF, Sezione di Ingegneria Agraria, Forestale e dei Biosistemi, Università degli Studi di Firenze - UniFI, 50145 Florença, Ítalia. matteo.barbari@unifi.it

Resumo

O Brasil é o maior exportador e o segundo maior produtor de carne de frango do mundo. Com mais de 5,5 milhões de cabeças de frangos de corte subestima-se a produção de 12 bilhões de quilos de cama aviária em 2014. A ampliação da produção de carne de frango depende da capacidade de destinação dos resíduos. Por isso o tratamento correto e a destinação adequada da cama é tão importante. Esse é um desafio para os produtores de frangos, mas pode representar importante fonte de renda para o produtor, ao agregar valor a atividade avícola e por representar também uma ação que promove sustentabilidade ao evitar possíveis danos ao meio ambiente decorrentes da disposição inadequada dos resíduos. Existem diversos métodos para tratamento e disposição dos resíduos da produção de frangos de corte, os mais utilizados no Brasil são: compostagem, estabilização em esterqueiras, biodigestão anaeróbia e queima. A compostagem é o processo de tratamento considerado mais simples e de menor custo. As esterqueiras realizam o tratamento por meio de processo anaeróbio seguido de aeróbio. A biodigestão anaeróbia agrega valor à produção pela geração de metano, que pode ser utilizado como fonte energética na propriedade e também produção de biofertilizante que pode ser comercializado. A queima promove redução expressiva do volume de dejetos permitindo agregar processos paralelos. A escolha da tecnologia mais adequada tanto para tratamento quanto destinação dos resíduos da produção de frangos de corte no Brasil depende de uma série de características dos resíduos, da propriedade e condições econômicas do proprietário.

Palavras-chave: avicultura, compostagem, sustentabilidade, tratamento de dejetos

Methods of treatment and disposal of poultry wastes in Brazil

Abstract

Brazil is the largest exporter and the second largest producer of chicken meat in the world. With over 5.5 million heads of broiler chickens, a production of 12 billion kilos of aviary litter was underestimated in Brazil, in 2014. The expansion of the production of chicken meat depends on the capacity of destination of the residues. So the correct treatment and the adequate destination of the litter is so important. This is the challenge for broilers producers, but can represent an important source of income for them, by adding value to the poultry activity and also, because it represents an action that promotes sustainability in the production by avoiding possible damages to the environment due to inadequate disposal of wastes. There are several methods to treat and dispose the residues of the production of broilers in Brazil. The most used are: composting, stabilization in mortars, anaerobic digestion and biomass burning. Composting is the simplest and lowest cost treatment process. The mortars perform the treatment by means anaerobic process followed by

aerobic. Anaerobic digestion adds value to production by the generation of methane, which can be used as an energy source in the property and also the co-production of the digestate, that can act as a bio-fertilizer that can be commercialized. Biomass burning promotes a significant reduction in the volume of wastes. The choice of the most suitable technology for both treatment and disposal of the wastes from the production of broilers in Brazil depends on a number of characteristics of the residues and of the property and economical conditions of the owner.

Keywords: broiler production, wastes management, aviary litter, sustainability

1. Introdução

O Brasil ocupa posições de destaque na avicultura de corte, é o segundo maior produtor e o maior exportador de carne de frango do mundo (ABPA, 2016). Ao crescimento da avicultura brasileira aliou-se também a grande produção de dejetos, uma vez que a produção intensiva de frangos de corte gera grande quantidade de resíduos, principalmente cama, poeira, odor, água de lavagem e carcaça de aves. Entretanto a disposição desses resíduos torna-se uma problemática para o setor (Brumano,2008; Marín, 2011).

O abate de frangos de corte no Brasil em 2014 foi de 5,5 bilhões de cabeças (CarneTec, 2015) gerando a produção de cerca de 12 bilhões de kg de cama considerando a produção de 2,2 kg de dejetos por ave (Angelo et al., 1997). A capacidade de ampliação da produção de frangos de corte está interligada à capacidade de utilização ou destinação da cama de frango (França et al., 2009), pois à medida em que a produção de frangos de corte aumenta, maiores quantidades de resíduos de cama são gerados (Fukayama et al., 2009).

A destinação adequada dos resíduos é um grande desafio para os produtores de frango de corte. Contudo deve-se sempre evitar o risco de contaminação do meio ambiente: ar, terra e água. Além da possibilidade de geração de maus odores e presença de moscas que pode causar problemas com vizinhos (Rosa et al., 2011).

Durante muito tempo a cama aviária era uma forma de renda extra para o produtor que a comercializava para ser utilizada na alimentação de ruminantes dado o seu elevado teor de proteínas. Entretanto, com a incidência de problemas sanitários e pela ocorrência de encefalopatia espongiforme bovina (BSE) inicialmente em bovinos na Europa, causada, entre outros fatores, pela alimentação com produtos de origem animal, no Brasil o uso de cama de frango e qualquer outro produto de origem animal na alimentação de ruminantes foi proibido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento por meio da Instrução Normativa nº15 de 17 de julho de 2001 (Brasil, 2001). Com isso, a venda da cama como insumo para pecuarista ficou impossibilitada e os produtores tiveram que buscar diferentes alternativas para a destinação desses resíduos. À partir desse fato, praticamente todo o material proveniente da produção de frangos de corte, ao final do lote passou a ser reutilizado em ciclos consecutivos ou aplicado no solo como fonte de nutrientes para diversos tipos de cultura (Abreu at al., 2006; Vieira, 2011). Portanto, a aplicação dos resíduos da avicultura como fertilizante no solo tornou-se a principal destinação da cama aviária no Brasil (Tessaro, 2011).

Contudo, antes da aplicação no solo, tais resíduos devem passar por determinado processo de tratamento que possibilite reduzir ou eliminar a sua carga microbiológica poluente. A escolha do método mais adequado dependerá dos recursos disponíveis pelo produtor. A aplicação dos compostos no solo deve estar sempre de acordo com o balanço de nutrientes, com as características próprias do solo, com a exigência da cultura e com o teor de nutrientes do composto a ser aplicado (Ávila et al., 2007).

Portanto, a caracterização dos resíduos como recurso ou poluente depende da destinação que é dada a esses resíduos (Oviedo Rondón, 2008). Sendo que o manejo e destinação adequados dos dejetos da produção de frangos de corte além de representar uma importante fonte de renda para o

produtor, por agregar valor a atividade avícola, representa também uma ação que promove sustentabilidade de produção ao evitar possíveis danos ao meio ambiente decorrentes da disposição inadequada dos resíduos (Orrico Júnior et al., 2010a). Dessa forma, diante do exposto e considerando a representatividade da atividade de produção de carne de frango pelo Brasil, o objetivo do presente trabalho é fazer uma abordagem descritiva à respeito dos métodos empregados pelos produtores brasileiros para manejo e tratamento dos resíduos gerados nesse processo de produção, com ênfase na cama aviária.

2. Metodologia

Esta revisão bibliográfica foi desenvolvida a partir de uma busca minuciosa da literatura por meio de artigos científicos, livros e publicações em eventos científicos relativas à estudos sobre o tratamento e a destinação da cama aviária e demais resíduos provenientes da produção de frangos de corte, adotados no Brasil.

3. Resultados e Discussão

3.1. Reutilização da cama

As condições climáticas do Brasil permitem a produção de frangos de corte em aviários tipicamente abertos (Tinôco, 2001) com sistema de criação sobre cama aviária que pode ser reutilizada por até doze lotes consecutivos, sendo mais comum a reutilização por até seis lotes, sem interferência significativa no desempenho produtivo animal (Ávila et al., 2007; Fukayama, 2008).

A prática de reutilização da cama aviária é uma forma de diminuir os custos com a aquisição de cama nova, além de possibilitar aumento da carga de nutrientes o que viabiliza a posterior utilização como fertilizante na agricultura e ainda diminuir o impacto ambiental e a relação entre produção de cama por ave produzida, sem interferir no desempenho zootécnico dos animais (Fukayama etal., 2009; Nutron, 2010; Pires et al., 2011; Virtuoso et al., 2015). A reutilização da cama aviária é uma prática viável, segura e desejável sob a ótica da sustentabilidade, desde que a cama a ser reutilizada seja procedente de lotes saudáveis e submetida a formas adequadas de tratamento, para redução de riscos à saúde animal e humana (Silva, 2011; Silva et al., 2007). Pelas normas de produção animal e ambiental e pela escassez de materiais alternativos, a reutilização da cama de frango é um fato no sistema produtivo de frangos de corte no Brasil (Virtuoso et al., 2015).

Durante o período de vazio sanitário, que corresponde aos intervalos entre a entrada dos lotes de produção, a cama proveniente de lote saudável e que for reutilizada deve passar por processo que permita a inativação da carga bacteriana visando a redução dos patógenos a níveis aceitáveis para a produção (Jordaan, 2004; Malone, 2008; Pires et al., 2011). Os métodos mais utilizados na avicultura brasileira consistem em aplicação de reagentes químicos associados e métodos de fermentação (Silva et al., 2007; Virtuoso et al., 2015).

O método de aplicação de cal consiste primeiramente na remoção de crostas, seguida de aplicação de lança chamas, distribuição de cal, aplicação de uma camada de cama nova, sendo que o alojamento das aves pode ser feito em cerca de 2 a 3 dias após esse tratamento. Já o método de enleiramento no centro da instalação consiste na aplicação de lança chamas para queima de penas, seguido por remoção de crostas, enleiramento da cama no centro da instalação, cobertura com lona plástica por cerca de dez dias e após esse período, espalhamento da cama enleirada, aplicação de ventilação dentro da instalação antes do alojamento e adição de cama nova somente nas áreas de pinteiros (Silva et al., 2007). E o método de cobertura com lona plástica em todo o aviário é o processo de fermentação que proporciona a mais eficiente redução da carga bacteriana, o qual consiste no umedecimento da cama com água e posteriormente cobertura de toda a superfície do aviário com lona plástica que deve permanecer por cerca de 10 dias. Após esse período remove-se a

lona, revolve-se a cama e passa-se o lança chamas. Recomenda-se a ventilação do aviário por dois antes da entrada de um novo lote de frangos (Silva et al., 2007; Virtuoso et al., 2015).

Normalmente, o método mais utilizado na maioria das instalações de produção de frangos de corte no Brasil para tratamento da cama aviária a ser reutilizada é uma combinação dos três métodos citados anteriormente. Após o galpão ser esvaziado passa-se um lança-chamas em toda a extensão da cama, posteriormente pode-se fazer uma aplicação de produto químico, cal ou gesso, e no centro da instalação a cama é amontoada e coberta por lona plástica para passar por processo de fermentação (Oviedo Rondón, 2008; Silva, 2011). Esse processo de combinação de métodos é capaz de eliminar coliformes e salmonelas, além de reduzir significativamente os teores de bactérias aeróbias e anaeróbias além de inativar vírus, isso tudo devido ao aumento da temperatura e diminuição do pH da cama (Malone,2008; Nutron, 2010).

3.2 Aplicação como Fertilizante

O Brasil ocupa a posição de quarto maior consumidor de fertilizantes minerais do mundo, sendo grande parte importada e sujeita a alterações de preço (Kunz et al., 2011). Por apresentar elevados teores de nitrogênio, fósforo e potássio, quando bem manejada, a cama aviária pode ser utilizada como fertilizante eficiente e seguro em culturas produtoras de grãos, horticultura, fruticultura, pastagem, desde que se respeite o período de uso de 40 dias após a incorporação da cama (MAPA, 2009) podendo ainda ser utilizada em reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (Corrêa e Miele, 2011).

A quantidade a ser aplicada no solo deve seguir o critério agronômico, de suprir a necessidade de nitrogênio e fósforo demandada pela cultura durante todo o seu ciclo produtivo (Brumano, 2008). Como forma de preservação ambiental, deve-se considerar os critérios de análise química do solo, composição da cama utilizada como fertilizante orgânico, necessidade nutricional da cultura, tipo de solo e histórico de adubações (Corrêa e Miele, 2011; Strucker et al., 2012).

A aplicação de cama de frango nos solos possibilita diversos efeitos positivos, como: elevação da fertilidade, adição de matéria orgânica, melhoria na estrutura, diminuição da densidade, aumento da porosidade e taxa de infiltração de água, aumento da presença de micronutrientes, podendo ainda promover modificações nas propriedades físicas, melhorar o ambiente radicular e estimular o desenvolvimento das plantas (Corrêa e Miele, 2011).

3.3 Compostagem

A compostagem é considerada uma das melhores e mais eficientes técnicas de manejo para correta destinação da cama e carcaças de animais mortos (Oviedo Rondón, 2008; Silva, 2011) além de ser uma estratégia eficaz em solucionar parcialmente o problema com os dejetos sólidos (Sonoda, 2011). Trata-se de um processo que visa acelerar a degradação da matéria orgânica em condições aeróbias controladas. É considerado um método eficiente, sem grandes custos na implementação e na condução do processo, que pode ocorrer naturalmente ou ser condicionado quando necessária resposta mais rápida (Oriico Júnior et al., 2010b; Sonoda, 2011). Após ser estabilizado, o composto apresenta condições adequadas para ser usado como fertilizante do solo (Augusto e Kunz, 2011).

Para que se consiga uma compostagem bem sucedida alguns passos são necessários, como a verificação da relação carbono/nitrogênio, da granulometria e uniformidade das partículas, a escolha adequada dos materiais de mistura, a definição do local de instalação da leira, o dimensionamento correto das leiras, o controle das condições de temperatura e umidade da leira e a aeração (Augusto e Kunz, 2011; Mendes, 2011).

A relação ideal carbono e nitrogênio, de 25/1 a 30/1, é determinante no sucesso do processo de compostagem, uma vez que esses são os nutrientes de maior relevância para os microorganismos (Augusto e Kunz, 2011). Desequilíbrios nessa proporção entre carbono e nitrogênio tendem a gerar

outros problemas. A baixa relação C/N favorece a emissão de amônia, provocando diminuição da qualidade do composto devido as perdas de nitrogênio. Já a elevada relação C/N inibe o processo de compostagem (Sonoda, 2011). Entretanto, a cama aviária por si só apresenta características próprias favoráveis a compostagem por conter materiais ricos em carbono, de origem vegetal, que compõem o material absorvente utilizado como cama, e materiais ricos em nitrogênio, que são as dejeções das aves.

Caracterizada como um sistema de tratamento de baixo custo e mão de obra simples, a compostagem bem manejada proporciona um composto final de boa qualidade (Augusto e Kunz, 2011) gerando um material mais seco e rico em proteínas e nutrientes (Jordaan, 2004).

3.4 Estabilização em Esterqueiras/Composteiras

Estabilização em esterqueiras ou composteiras é um processo de compostagem realizado de forma controlada em local fechado e coberto, ocorrendo tanto decomposição aeróbia quanto anaeróbia. Nesse sistema as carcaças de animais mortos podem ser decompostas juntamente com a cama. Esse processo promove reciclagem de nutrientes, eliminação de patógenos, garante biossegurança na atividade além de gerar adubo orgânico, o que constitui uma fonte de renda a mais ao produtor de frangos de corte (Ávila et al., 2007; Brumano, 2008; Costa et al., 2006; Oliveira e Biazoto, 2013).

Nesse processo em esterqueiras, são intercaladas camadas de cama de aviário, carcaças de aves, sempre regadas com água. É realizado em dois estágios (anaeróbio e aeróbio), sendo que no primeiro a decomposição ocorre em condição de pouca aeração nas esterqueiras e o segundo ocorre em pátio de compostagem. Essa última etapa é extremamente importante para garantir a eliminação dos agentes patogênicos além de promover a produção de um composto de melhor qualidade. A eficiência do processo como um todo depende da mistura adequada, do controle da temperatura e da presença de oxigênio (Costa et al., 2006; Paiva et al., 2012). Como produto final, após as duas fases da compostagem da cama com as carcaças de animais mortos, tem-se um composto orgânico com alta capacidade fertilizante (Augusto e Kunz, 2011; Paiva et al., 2012).

3.5 Biodigestão Anaeróbia

No processo de biodigestão anaeróbia a degradação da matéria orgânica ocorre na ausência total de oxigênio tendo como produtos o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). A mistura, formada em sua maioria, por esses dois gases é conhecida como biogás, um dos subprodutos que pode ser utilizado na propriedade como fonte de energia e calor. Outro subproduto gerado é o biofertilizante ou digestato, que pode ser aplicado no solo como fonte de nutrientes (Augusto e Kunz, 2011; Ávila et al., 2007; Brumano, 2008; Orrico Júnior et al., 2010a).

A biodigestão anaeróbia pode ser utilizada para resíduos líquidos ou sólidos, promovendo redução do poder poluente dos dejetos e agregando valor à produção pela utilização do metano como fonte de energia (Orrico Júnior et al., 2010a). Existem diversos modelos de biodigestores, a escolha do modelo e regime de alimentação depende de uma série de fatores relacionados tanto a características do dejeto quanto a disponibilidade de recursos e mão de obra da propriedade (Augusto e Kunz, 2011).

O processo de conversão de cama de frango em biogás depende de diversos fatores entre os quais, tipo de ração, densidade de alojamento, tipo de material utilizado como cama, número de reutilização, além de características específicas dos dejetos (Brumano, 2008; Tessaro, 2011). As carcaças de aves podem ser submetidas ao processo de biodigestão anaeróbia desde que tenham passado por processo de pré-compostagem para degradação de frações maiores como: ossos, penas, excesso de lipídeos e proteínas (Orrico Júnior et al., 2010a).

As vantagens do processo de biodigestão anaeróbia são muitas, sendo as principais: conversão dos resíduos em fonte energética, produção de gás metano, redução das emissões de amônia, controle

de odores, geração de biofertilizante a partir do efluente da digestão anaeróbia além de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, nesse caso, o metano (Fukayama, 2008).

3.6 Queima

O processo de queima dos dejetos tem a finalidade de produção de energia a partir do vapor liberado. Esse método promove a redução do volume de dejetos produzidos, uma vez que, o produto final é composto por cinzas (Baldin, 2013). As formas de transformar biomassa em energia por meio de queima podem ser as seguintes:

- Pirólise: são utilizadas temperaturas extremas com ausência de oxigênio para acelerar a decomposição do material. Desse processo resulta uma mistura de gases, líquidos e sólidos;

- Gaseificação: processo similiar a pirólise porém exige menor temperatura e o produto final é somente um gás inflamável;

- Combustão: queima em elevadas temperaturas com presença abundante de oxigênio gerando vapor de alta pressão.

Entretanto é um processo recomendado para dejetos com baixo teor de umidade para não reduzir o poder calorífico do material durante a queima (Augusto e Kunz, 2011). Atenção especial deve ser dada a queima de biomassa contendo carcaça de aves mortas pois durante o processo de queima pode ocorrer liberação de dióxido de enxofre, óxido nítrico e odores (Oviedo Rondón,2008).

As vantagens desse sistema são: baixo custo de aquisição, menor corrosão dos equipamentos, menor risco ambiental, além de não emitir dióxido de enxofre e por isso suas emissões não contribuem para o efeito estufa. Entre as desvantagens encontram-se o menor poder calorífico da biomassa em relação a outros compostos, possibilidade de geração de material particulado e dificuldades no estoque e armazenamento antes da queima.

4. Conclusões

Com base no presente levantamento, pôde-se observar que existem diversos métodos manejo dos resíduos da produção de frangos de corte empregados no Brasil. Os mais utilizados são: compostagem, estabilização em esterqueiras, biodigestão anaeróbia e queima. A destinação dos resíduos, específica para a cama, é normalmente reutilização por ciclos consecutivos e/ou aplicação como fertilizante desde que, tanto para um quanto para outro, os resíduos passem por alguma forma de tratamento que garanta as características sanitárias adequadas. A escolha do método mais viável para manejo dos resíduos da produção de frangos de corte depende primordialmente das características físico-químicas identificadas nos mesmos, das condições climáticas do local de produção, das características físicas da propriedade e das condições econômicas do produtor.

Agradecimentos

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Bibliografia

ABPA, 2016. Relatório Anual 2016, Associação Brasileira de Proteína Animal.

Abreu, P.G., Abreu, V.M.N., Paiva, D.P., Coldebella, A., Jaenisch, F.R.F., Silva, V.S., Higarashi, M.M., 2006. Avaliação de sistemas de ventilação e materiais de cama na produção de frangos de corte. Embrapa Suínos e Aves.

Angelo, J.C., Gonzales, E., Kondo, N., Anzai, N.H., Cabral, M.M., 1997. Material de cama: qualidade, quantidade e efeito sobre o desempenho de frangos de corte. *Rev. Bras. Zootec.* 26: 121–130.

Augusto, K.V.Z., Kunz, A., 2011. Tratamento de dejetos de aves poedeiras comerciais, In: *Manejo Ambiental Na Avicultura*, 154–173. Concórdia – SC: Embrapa Suínos e Aves.

Avila, V.S., Kunz, A., Bellaver, C., Paiva, D.P. , Jaenisch, F.R.F., Mazzuco, H., Trevisol, I.M., Palhares, J.C.P., Abreu, P.G., Rosa, P.S., 2007. *Boas Práticas de Produção de Frangos de Corte*. Circular Técnica Embrapa.

Avila, V.S., Costa, C.A.F., Figueiredo, É.A.P., Rosa, P.S., Oliveira, U., Abreu, V.M.N., 2007. Materiais alternativos, em substituição à maravalha como cama de frango. *Comunicado Técnico Embrapa Suínos e Aves* 465: 1–5.

Baldin, V., 2013. Geração de energia na avicultura de corte a partir da cama de aviário. Dissertação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pato Branco.

BRASIL, 2001. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa Nº 15, de 17 de Julho de 2001.

Brumano, G., 2008. Mercado de carbono e os impactos da avicultura ao meio ambiente. *Rev. Eletrônica Nutr* 5: 722–741.

CarneTec, 2015. *Abate de aves e suínos cresce em 2014*. Sist. Bras. do Agronegócio.

Corrêa, J.C., Miele, M., 2011. A cama de aves e os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos, In: *Manejo Ambiental Na Avicultura*. Documentos - Embrapa Suínos e Aves, Concórdia - SC, 127–152.

Costa, M.S.S., Costa, L.A., Pelá, A., Silva, C.J., Decarli, L.D., Matter, U.F., 2006. Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaça de aves. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient*. 10: 692–698. doi:10.1590/S1415-43662006000300023

França, L.R., Kreuz, R., Menezes, J.F.S., Lacerda, M.J.R., 2009. Simulação do uso da cama de frango na própria propriedade. *Arch. Zootec.* 58: 137–139. doi:10.4321/S0004-05922009000100018

Fukayama, E.H., 2008. Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante. Tese. Universidade Estatudal Paulista "Júlio de Mesquira Filho". Jaboticabal. São Paulo.

Fukayama, E.H., Lucas Junior, J. de, Aires, A.M., Miranda, A.P., Machado, C.R., 2009. Avaliação da produção de camas reutilizadas de frangos de corte de quatro lotes, In: *Ordenamento territorial das produções animais e políticas públicas relacionadas ao gerenciamento dos resíduos de animais*. I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais, Florianópolis -SC, pp. 583–588.

Jordaan, J.D., 2004. The influence of bedding material and collecting period on the feeding value of broiler and layer litter. Dissertação. Faculty of Natural and Agricultural Sciences. Bloemfontein.

Kunz, A., Viola, E.S., Lima, G.J.M.M., Mazzuco, H., 2011. *Manejo Ambiental na Avicultura.* Doc. - Embrapa Suínos e Aves 149, 221.

Malone, B., 2008. Bedding Alternatives and Windrowing Programs, in: Virginia Poultry Health and Management Seminar. *Roanoke*, VA, pp. 32–34.

MAPA, 2009. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Marín, O.L.Z., 2011. Caracterização e avaliação do potencial fertilizante e poluente de distintas camas de frango submetidas a reusos sequenciais na zona da mata do estado de Minas Gerais. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

Mendes, P.M., 2011. Avaliação da estabilização de camas usadas na avicultura através de bioindicadores vegetais. Dissertação. Universridade Federal de Pelotas. Pelotas.

Nutron, 2010. Cama de Aviário. Shap. Tomorrow's Nutr. 16.

Oliveira, E. da S., Biazoto, C.D. dos S., 2013. Avaliação dos impactos ambientais causados pelos aviários no município de Assis Chateaubriand, no oeste do estado do Paraná, Brasil. *Rev. Verde Agroecol. e Desenvolv. Sustentável* 8: 24–30.

Orrico Júnior, M.A.P., Orrico, A.C.A., Lucas Júnior, J., 2010a. Biodigestão anaeróbia dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças. *Eng. Agrícola* 30: 546–554. doi:10.1590/S0100-69162010000300018

Orrico Júnior, M.A.P., Orrico, A.C.A., Lucas Júnior, J., 2010b. Compostagem dos resíduos da produção avicola: cama de frangos e carcaças de aves. *Rev. Bras. Eng. Agrícola* 538–545.

Oviedo-Rondón, E.O., 2008. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. *Rev. Bras. Zootec.* 37: 239–252. doi:10.1590/S1516-35982008001300028

Paiva, E.C.R., Matos, A.T. de, Azevedo, M.A., Barros, R.T.P. de, Costa, T.D.R., 2012. Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e de leiras estáticas aeradas. *Eng. Agríc., Jaboticabal* 32: 961–970.

Pires, P.G. da S., Ricci, G. Dela, Mendes, J.V., 2011. Características de cama de aviário e sua reutilização, In: *III Simpósio de Sustentabilidade e Ciência Animal*. 2009–2011.

Rosa, P.S., Abreu, V.M.N., Avila, V.S., Abreu, P.G., 2011. Soluções da Embrapa em manejo e sistemas de produção de frango de corte, In: *Sonho, Desafio E Tecnologia - 35 Anos de Contribuições da Embrapa Suínos e Aves*. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia - SC.

Silva, V.S., 2011. Métodos e segurança sanitária na reutilização de cama de aviários. In: *Manejo Ambiental Na Avicultura.* Concórdia - SC.

Silva, V.S., Voss, D., Coldebella, A., Bosetti, N., Avila, V.S. de, 2007. Efeito de tratamentos sobre a carga bacteriana de cama de aviário reutilizada em frangos de corte. *Comun. Técnico Embrapa Suínos e Aves* 467: 1–10.

Sonoda, L.T., 2011. Reutilização de camas de frango utilizando conceitos de compostagem. Dissertação. Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas.

Strucker, C.M., Rosa, G.M. da, Wastowski, A.D., Gabriel, M., Vacarin, L., 2012. Determinação de nitrogênio em cama de frango industrial em diferentes níveis de reutilização da cama. In: *3° Seminário de Gestão Ambiental na Agropecuária*. Bento Gonçalves -RS.

Tessaro, A.A., 2011. Potencial energético da cama de aviário produzida na região sudoeste do Paraná utilizada como substrato para a produção de biogás. Dissertação. Instituto de Engenharia do Paraná. Curitiba.

Tinôco, I., 2001. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. *Rev. Bras. Ciência Avícola* 3: 1–24. doi:10.1590/S1516-635X2001000100001

Vieira, M. de F.A., 2011. Caracterização e análise da qualidade sanitária de camas de frango de diferentes materiais reutilizados sequencialmente. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

Virtuoso, M.C. S., Oliveira, D.G., Dias, L.N.S., Fagundes, P.S.F., Leite, P.R.S.C., 2015. Reutilização da cama de frango. *Rev. Eletrônica Nutr.* 12: 3964–3979.

Equivalente populacional suinícola e superfície agrícola utilizada (temporária e permanente): Parâmetros qualitativos das águas superficiais da bacia do Piranga-MG

Jadson L.S. Rocha[1], Cecília de F. Souza[2], Maurício S. Moreau[3], Fernando da C. Baêta[4], Ricardo S. Ramos[5].

[1] DEA/UFV, Viçosa – MG, jadson.simoes@ufv.br

[2] DEA/UFV, Viçosa – MG, cfsouza@ufv.br

[3] DCAA/UESC, Ilhéus – BA, mauricio.moreau@gmail.com

[4] DEA/UFV, Viçosa – MG, baeta@ufv.br

[5] DEC/UFV, Viçosa – MG, rsramos07@gmail.com

Resumo

As águas residuárias das atividades antrópicas, quando mensuradas podem ser classificadas levando-se em conta a equivalência de sua carga de Demanda Bioquímica de Oxigênio em relação à contribuição per capita da população residente na área de influência da bacia hidrográfica. Em Portugal a Superfície Agrícola Utilizada (SAU), adotada como um índice de ocupação agrária, é formada pelas terras aráveis, culturas permanentes, pastagens permanentes e horta familiar. A suinocultura, considerada como atividade industrial, tem contribuído com a sua carga orgânica para alterar a qualidade das águas superficiais de bacias hidrográficas, atingindo os corpos hídricos, de forma pontual ou difusa. O presente estudo, teve como objetivo, estimar a carga orgânica da suinocultura, bem como a densidade suinícola em relação à SAU_{TP} (culturas temporárias e permanentes), existente na bacia hidrográfica do rio Piranga, em Minas Gerais, integrando tais dados ao Sistema de Informações Geográficas (SIG). A densidade suinícola em relação à SAU_{TP}, espacializada em mapas, permitiu apresentar o panorama no qual se encontra a área de estudo quanto à disponibilidade de superfícies aptas a receberem os resíduos da suinocultura como forma de tratamento. O equivalente populacional estimado demonstrou a superioridade da carga orgânica da suinocultura em cerca de três vezes, em relação à população residente na área de estudo. Os resultados permitiram concluir que a SAU_{TP} é um parâmetro capaz de estimar os limites da água residuária da suinocultura, que pode ser utilizada como fertilizante em culturas temporárias e permanentes.

Palavras-chave: Água residuária, atividade suinícola, sistema de informações geográficas

Swine population equivalent and utilized agricultural area (temporary and permanent): Qualitative parameters of the surface waters of the Piranga-MG basin

Abstract

Residual waters of anthropic activities, when measured, can be classified, taking into account the equivalence of their Biochemical Oxygen Demand load in relation to the per capita contribution of the resident population in the area of influence of the hydrographic basin. In Portugal the Utilized Agricultural Area (UAA), adopted as an index of agricultural occupation, has formed by arable lands, permanent crops, permanent pastures and family vegetable garden. Swine breeding, considered as an industrial activity, has contributed to its organic load to alter the quality of surface waters of watersheds, reaching the water volume, in a punctual or diffuse way. The objective of this study was to estimate the organic load of swine breeding, as well as the swine breeding density in relation to the SAUTP (temporary and permanent crops), existing in the Piranga river basin in Minas Gerais, integrating these data with the Information System Geographical (GIS). The swine density, in relation to SAUTP, specialized on maps, allowed to present the panorama in which the study area is located in terms of the availability of surfaces suitable for receiving swine breeding residues as a form of treatment. The estimated population equivalent showed the superiority of organic swine breeding load by three times in relation to the resident population in the study area. The results allowed to conclude that the SAUTP is a

parameter capable of estimating the wastewater limits of swine breeding, which can be used as fertilizer in temporary and permanent crops.

Keywords: Wastewater area, swine breeding activity, geographic information system

1. Introdução

A suinocultura, ao concentrar números expressivos de animais numa mesma área, resulta em produção excessiva de dejetos, com riscos de impactos ambientais (Araújo et al., 2012; Philipe e Nicks, 2014). A poluição das águas pode ser promovida por ações naturais ou antrópicas de forma pontual ou difusa (Reis e Brandão, 2013; Rodrigues e Mendiondo, 2013; Sperling, 2014; Silva, 2015).

As águas residuárias (AR) das atividades antrópicas, quando mensuradas podem ser classificadas levando-se em conta a equivalência de sua carga de DBO em relação à contribuição per capita da população residente na área de influência da bacia hidrográfica.

Assim, uma suinocultura que tem o equivalente populacional (EP) de 20.000 habitantes, gera uma carga de DBO correspondente a uma população de 20.000 habitantes (Silva, 2012; Dias et al., 2013, Pires et al., 2013; Sperling, 2014).

Em Portugal a Superfície Agrícola Utilizada (SAU) é formada pelas terras aráveis, culturas permanentes, pastagens permanentes e horta familiar (INE, 2014; Pimenta et al., 2014). Oliveira (2012), gerou o Índice de Pressão Ambiental (IPA), para a suinocultura do estado de Santa Catarina, utilizando a SAU e a Superfície de Área Necessária para a Aplicação de Dejeto em ha.

Segundo Bielenki e Barbassa (2012), as funcionalidades de um SIG combinam-se de forma a possibilitar as análises necessárias às atividades de gestão de recursos hídricos numa bacia hidrográfica, além de gerar prognósticos de situações futuras por meio de modelos.

O presente estudo tem por objetivo, verificar se a atividade suinícola, presente na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) DO1, pode estar contribuindo para alterar a qualidade das águas superficiais, adotando como parâmetros a SAU_{TP} e o EP, com a aplicação de ferramentas de SIG.

2. Material e Métodos

Para a caracterização da área de estudo (AE) foram explorados dados dos relatórios do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Agência Nacional da Águas (ANA) e Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), disponíveis em seus sites oficiais.

A UPGRH DO1, está presente, em sua totalidade, no estado de Minas Gerais, abrangendo uma área de 17.571,37 km², entre as latitudes 19°29'18"S e 21°11'7"S e as Longitudes 43°49'55"O e 42° 5'17"O, constituindo-se na segunda maior unidade da bacia hidrográfica do rio Doce (BHRD).

Esta unidade é composta pelas bacias dos rios Piranga (6.600 km²), do Carmo (2.278 km²), Casca (2.510 km²) e Matipó (2.550 km²), além da área incremental de outras bacias (3.626 km²) (IGAM, 2010). No sistema hidrológico, há uma predominância de 70% dos aquíferos das rochas cristalinas, 23% aquíferos xistosos, 3% quartizíticos e 4% sobre aquíferos porosos (IGAM, 2010).

Está mostrado na Figura 1 o mapa de localização da AE em relação ao Brasil e ao estado de Minas Gerais. Os atributos relativos à rede hidrográfica, poligonais do Brasil e Estado Minas Gerais, utilizados na composição dos mapas foram baixados dos *sites* do Instituto Estadual de Florestas (IEF) e IBGE.

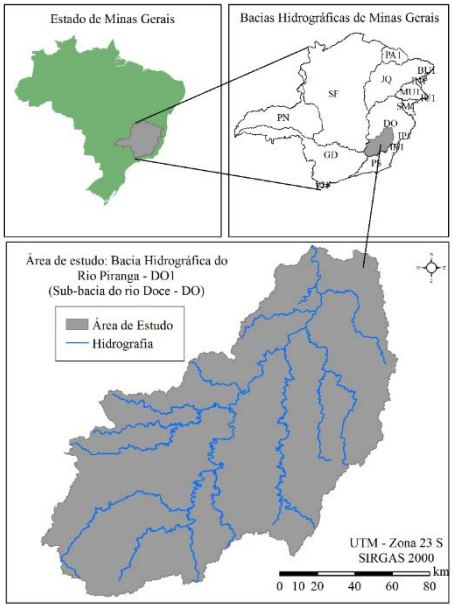


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo

Quanto aos solos, predominam as classes dos Latossolos, Argissolos e Cambissolos, sendo 53% das terras com forte suscetibilidade à erosão, 44% média suscetibilidade e 4% muito forte. Possui relevo acidentado, sendo forte ondulado e, ou montanhoso, com elevadas taxas de produção de sedimentos em cerca de 69% da área, chegando a 50 a 100 t km² ano^{-1} (IGAM, 2010).

O clima da BHRD classifica-se de acordo com Köppen em Aw (tropical com inverno seco), Cwa (subtropical úmido com verão quente) e Cwb (subtropical úmido com verão ameno) (Alvares et al. 2013). O regime pluviométrico é caracterizado por dois períodos, sendo um seco e outro chuvoso (800 a 1300 mm) (ANA, 2013).

Foram adotados os procedimentos metodológicos sugeridos por Santos (2008) e Florenzano (2011), para a obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE), e utilizar as imagens com resolução espacial de 30m geradas pela *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), disponíveis gratuitamente no site (http://srtm.csi.cgiar.org/).

Foi definido para todo o trabalho o sistema de projeção UTM-Fuso 23S referenciado ao SIRGAS 2000, com o recorte da área de interesse entre as coordenadas 7.856.593,3330647m e 7.642.950,4256353m (N) e 609.017,45591373m 841.656,96207069m (E).

A caracterização da AE foi feita a partir dos dados oficiais do IBGE, IGAM, ANA e IMA, os quais foram plotados nos mapas gerados pelo SIG. Para a construção do mapa no ambiente do SIG, foi utilizada a ferramenta Clip no *ArcToolbox* do *ArcMap*, que possibilitou o recorte dos sessenta e quatro municípios que têm suas sedes inseridas na AE.

O MDE que foi gerado pelo SIG, possibilitou ainda a construção de diversos mapas de relevante importância quanto à visualização da AE apresentando suas características relacionadas com a atividade suinícola.

Para se obter uma dimensão do rebanho suinícola nos municípios da AE, foram levantados no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), os dados relativos ao rebanho de cada município no ano de 2014, bem como, as áreas cultivadas com culturas temporárias e, ou permanentes, para a determinação da SAU_{TP}. Tais dados foram plotados em planilha do *Software Microsoft® Excel®* 2013. Com os dados do rebanho e a SAU_{TP}, foi possível calcular a densidade suinícola de cada um dos municípios da AE pela Equação (1).

$$D = \frac{Sui}{SAU_{TP}} \quad (1)$$

em que:
D – Densidade suinícola em relação à SAU_{TP}
Sui – rebanho suinícola em cabeças
SAU_{TP} – Soma das Superfícies Agrícolas Utilizadas Temporárias e Permanentes.

O rebanho suinícola, no presente estudo, foi levantado a partir dos dados extraídos dos relatórios do Cadastro e Georreferenciamento de Produtor, gerados pelo Sistema de Cadastro e Georreferenciamento de Defesa Sanitária Animal (GeoDSA) no ano de 2015, cedidos pelo IMA. Tais dados foram plotados em planilha do *Excel*®. Após a análise para a eliminação de duplicatas e correção de informações, as quais foram checadas com os técnicos do IMA, eliminaram-se cem relatórios e a nova planilha foi inserida no *ArcGis* e convertida em um arquivo vetorial *shapefile* o qual foi armazenado em uma pasta *geo data base*, criada para este fim no *ArcCatalog*, junto com os demais arquivos do projeto da AE.

No *ArcMap*, com o projeto aberto, o *shapefile* das granjas foi importado para uma análise espacial de maneira que foram identificadas todas as informações contidas nos relatórios originais da base de dados.

Os sistemas de produção suinícola são classificados de acordo com o objetivo final em Unidade de Produção de Leitões (UPL), Unidade de Crescimento e Terminação (UCT) e Unidade de Ciclo Completo (UCC). Neste sentido, diante dos dados disponíveis, para o cálculo do volume da AR produzida, foram tomados por base o sistema de produção adotado e o número de animais confinados em cada granja, de acordo com o método proposto por Perdomo et al. (2003), através das Equações (2, 3 e 4).

AR_{UPL} = 53,1 l dia^{-1}*(matrizes instaladas) (2)

AR_{UCT} = 10,4 l dia^{-1}*(cabeças alojadas) (3)

AR_{UCC}=115,5 ldia^{-1}*(matrizes instaladas) (4)

AR_{UPL} (Água Residuária da Unidade de Produção de Leitões em litros d^{-1})
AR_{UCT} (Água Residuária da Unidade de Crescimento e Terminação em litros d^{-1})
AR_{UCC} (Água Residuária da Unidade de Ciclo Completo em litros d^{-1})

Segundo Sperling (2014), uma importante maneira de caracterizar as águas residuárias geradas numa indústria é mediante o uso do parâmetro de EP, que representa o potencial poluidor desta, quando comparado com esgoto bruto de uma população. O EP leva em consideração a carga de DBO_5 de cada um, quando se estabelece uma relação entre as duas fontes orgânicas. Para a AR populacional, segundo Sperling (2014), a literatura internacional adota a carga de 0,054 kg DBO_5 hab^{-1} d.

O IMA (2015) classifica as criações de suínos em tecnificadas e não tecnificadas. Das cento e oitenta e seis granjas suinícolas da AE, apenas três apresentaram-se como não tecnificadas. Neste estudo foi adotado o método sugerido por Perdomo et al. (2003), no qual os autores consideram os índices para granjas de médio nível tecnológico. Este método se aplica bem para a carga de DBO_5 da suinocultura da AE.

Ainda, de acordo com Perdomo et al. (2003), a emissão de DBO_5 por suínos alojados pode ser estimada levando-se em consideração o sistema de produção, a composição do rebanho, o peso médio animal e a demanda de água. Os autores estimaram as cargas para UPL, UCT e UCC, 0,33 kg d^{-1}, 0,23 kg d^{-1} e 1,72 kg d^{-1}, respectivamente. Para a UPL e UCC os valores são expressos por matriz, enquanto para UCT toma-se por base o número de cabeças alojadas. Para o cálculo do EP da suinocultura na AE, foi utilizada a Equação (5) proposta por Sperling (2014).

$$EP = \frac{\text{carga de } DBO_5}{\text{carga per capita}} \quad (5)$$

3. Resultados e Discussão

A área da superfície da bacia hidrográfica, objeto de estudo, que foi criada é 17.991,93 km² e que está apresentada na Figura 2, com o mapa do MDE, o seu perímetro, a rede hidrográfica e as referências altimétricas.

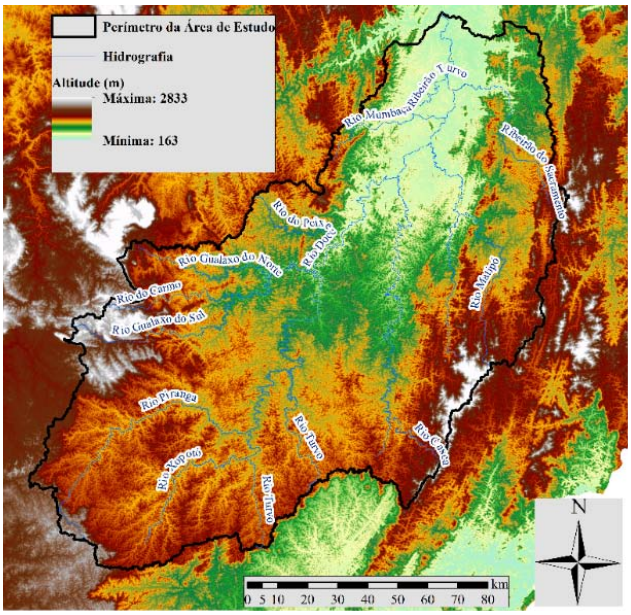


Figura 2. Mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo

De acordo com IGAM (2010), sessenta e dois municípios mineiros têm suas sedes inseridas na UPGRH DO1. A AE que apresentou 419,53 km² a mais que a UPGRH DO1, tem dois municípios além dos sessenta e dois. São eles: Entre Folhas (25) e Vargem Alegre (62). Na Figura 3 é apresentado o mapa com os municípios inseridos na AE e listados na Tabela (1).

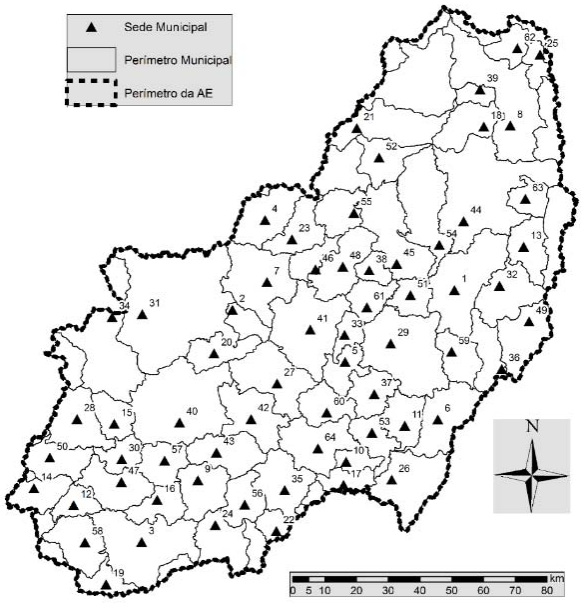


Figura 3. Mapa com as sedes municipais inseridas na área de estudo

Tabela 1. Municípios inseridos na AE.

Ordem	Município	Ordem	Município	Ordem	Município
1	Abre Campo	23	Dom Silvério	45	Rio Casca
2	Acaiaca	24	Dores do Turvo	46	Rio Doce
3	Alto Rio Doce	25	Entre Folhas	47	Rio Espera
4	Alvinópolis	26	Ervália	48	Santa Cruz do Escalvado
5	Amparo da Serra	27	Guaraciaba	49	Santa Margarida
6	Araponga	28	Itaverava	50	Santana dos Montes
7	Barra Longa	29	Jequeri	51	Santo Antônio do Grama
8	Bom Jesus do Galho	30	Lamim	52	São José do Goiabal
9	Brás Pires	31	Mariana	53	São Miguel do Anta
10	Cajuri	32	Matipó	54	São Pedro dos Ferros
11	Canaã	33	Oratórios	55	Sem Peixe
12	Capela Nova	34	Ouro Preto	56	Senador Firmino
13	Caputira	35	Paula Cândido	57	Senhora de Oliveira
14	Caranaíba	36	Pedra Bonita	58	Senhora dos Remédios
15	Catas Altas da Noruega	37	Pedra do Anta	59	Sericita
16	Cipotânea	38	Piedade de Ponte Nova	60	Teixeiras
17	Coimbra	39	Pingo d'Água	61	Urucânia
18	Córrego Novo	40	Piranga	62	Vargem Alegre
19	Desterro do Melo	41	Ponte Nova	63	Vermelho Novo
20	Diogo de Vasconcelos	42	Porto Firme	64	Viçosa
21	Dionísio	43	Presidente Bernardes		
22	Divinésia	44	Raul Soares		

A AE concentra importantes unidades de criação de suínos, às quais precisam ser submetidas à ações de controle e tratamento dos resíduos (IGAM, 2010). O rebanho dos municípios da AE nos anos de 2006, 2012 e 2014, eram 606.039, 902.335 e 912.727 cabeças, respectivamente. No período de 2006 a 2014 houve uma evolução do rebanho em cerca de 50% (SIDRA, 2016).

O Instituto Nacional de Estatística de Portugal adota a SAU como unidade para dimensionar o total das áreas em hectares, ocupadas com alguma atividade agrária. Na composição da SAU, são contabilizadas as terras aráveis, subdivididas em culturas temporárias e pousio, horta familiar, culturas permanentes e pastagens permanentes (INE, 2009).

Como o IBGE não adota a referida unidade, para efeito deste estudo, foram consideradas as Superfícies Agrícolas Utilizadas Temporárias e Permanentes (SAU_{TP}), levando-se em consideração as áreas de culturas temporárias e permanentes dos municípios inseridos na AE.

Segundo BRASIL (2016f), a área cultivada com culturas temporárias em 2014 foi 96.426 ha e 76.544 ha com culturas permanentes. Fazendo análise destes dados, verifica-se que a situação de elevada densidade animal, é ainda pior quando se leva em consideração apenas a área de culturas temporárias, na qual, o milho ocupou 50.263 ha, ou seja, mais da metade do total. O milho, que é um dos componentes de maior peso na composição da ração, pode ser cultivado na propriedade, adotando-se um sistema integrado de produção, com o uso dos resíduos como fertilizantes.

Os dez municípios com as maiores densidades são: Oratórios (82 suínos ha^{-1}), Urucânia (65 suínos ha^{-1}), Jequeri (36 suínos ha^{-1}), Piedade de Ponte Nova (29 suínos ha^{-1}), Santa Cruz do Escalvado (24 suínos ha^{-1}), Ponte Nova (23 suínos ha^{-1}), Amparo da Serra (22 suínos ha^{-1}), Acaiaca (16 suínos ha^{-1}), Rio Doce (13 suínos ha^{-1}) e Rio Casca (12 suínos ha^{-1}).

Com os dados disponíveis foi possível elaborar o mapa apresentado na Figura 4 com a espacialização da densidade suinícola da AE em relação à SAU_{TP}, bem como, as granjas espacializadas, observando-se a existência de concentração maior na região central, principalmente entre os municípios de Urucânia, Oratórios, Ponte Nova, Amparo da Serra, Jequeri, Santa Cruz do Escalvado e Piedade de

Ponte Nova. O referido mapa permite mostrar que existe coerência entre as informações do IBGE e do IMA, conferindo grau de confiabilidade aos dados oficiais utilizados.

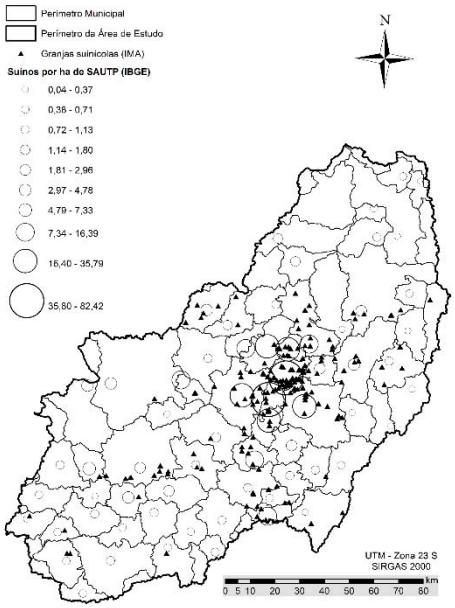


Figura 4. Espacialização das granjas suinícolas na AE

Para a estimativa do volume da Água Residuária Suinícola(ARS) gerada diariamente, os dados das granjas, contidos nos relatórios do IMA, foram submetidos ao método proposto por Perdomo et al. (2003), por categoria e sistema de produção. Os quantitativos estão apresentados na Tabela (2).

Tabela 2. Quantitativos da suinocultura na AE.

SISP	GR (un)	MAT (un)	VAR (un)	OUT (un)	TOT (un)	PV (kg)	ARS (L d^{-1})
UPL	8	3.287	31	13.718	17.026	663.974	174.539
UTC	18	-	-	34.219	34.219	2.326.892	355.877
UCC	160	69.847	905	724.695	795.447	42.746.364	8.067.328
Total	186	73.134	936	772.632	846.692	45.737.230	8.597.745

SISP – Sistema de produção; GR – Granjas; MAT – Matrizes Suínas; VAR – Varrões; OUT – Outros; PV – Peso Vivo; ARS – Água Residuária Suinícola.

Segundo Moreira (2014), países como França, Alemanha e Holanda adotam técnicas semelhantes ao "Equivalente Habitante" como parâmetro para a cobrança pelo uso da água. A Holanda adota a unidade de carga poluente e a Alemanha a unidade de toxicidade, que correspondem a um Equivalente Habitante ou EP, o qual, representa a poluição "teoricamente" gerada por um habitante em um dia.

De acordo com Zenatti et al. (2015), uma tonelada de raízes de mandioca processada em uma fecularia tem um EP de 200 a 300 habitantes, enquanto numa casa de farinha 150 a 250 habitantes. Cancelier et al. (2015) citam também o EP como parâmetro para determinação da capacidade poluente dos dejetos suínos.

Com os dados disponíveis foi possível estimar as cargas de DBO_5, tanto da suinocultura, quanto da população residente na AE. A Figura 5 apresenta o gráfico das respectivas cargas, e ao ser analisado, fica evidente o potencial poluidor da suinocultura na AE, quando comparado com a população residente.

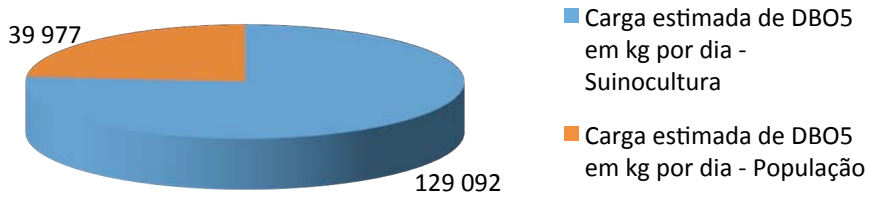


Figura 5. Cargas estimadas de DBO_5 da suinocultura e população residente na AE

O EP calculado para o presente estudo está apresdentado no gráfico da Figura 6.

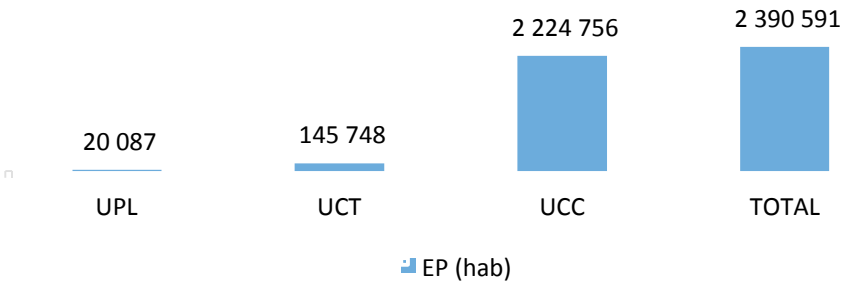


Figura 6. Equivalente Populacional da suinocultura na AE

Analisando o gráfico apresentado na Figura 6, fica evidente o potencial poluidor da suinocultura na AE, correspondendo a 3,3 vezes a carga de DBO_5 da população residente na AE. Neste sentido, o EP pode ser um bom indicador capaz de subsidiar a gestão pública nas tomadas de decisão.

4. Conclusões

O SIG mostrou-se uma ferramenta essencial para a análise e gestão dos recursos hídricos da AE.

A SAU_{TP} é um parâmetro capaz de estimar os limites da ARS que pode ser utilizada como fertilizante em áreas de culturas, tanto temporárias quanto permanentes, bastando para isso, estudos complementares do solo a ser cultivado, bem como, da necessidade nutricional das culturas.

O EP é um bom parâmetro, de fácil dimensionamento e capaz de avaliar o potencial poluente da suinocultura numa bacia hidrográfica.

O EP e a SAU_{TP}, associados ao SIG, podem ser usados como parâmetros para auxiliar a gestão ambiental da AE, podendo ser replicado em qualquer bacia hidrográfica, desde que haja disponibilidade de dados.

Os resultados, em suma, permitiram inferir que a atividade suinícola da AE está contribuindo com alterações na qualidade das águas superficiais.

Agradecimentos

À CAPES, pela bolsa de estudos; ao IMA, pela concessão dos dados; à UFV/DEA/Ambiagro, pelo apoio e; ao IFBaiano-campus Santa Inês, pela liberação das atividades profissionais.

Bibliografia

Alvares, C. A.; Stape, J. L; Sentelhas, P. C.; Moraes, G. D.; Leonardo, J.; Sparovek, G. 2103. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711 – 728.

Araújo, I. S.; Oliveira, J. L. R.; Alves, R. G. C. M.; Filho, P. B.; Costa, R. R. 2012. Avaliação de sistema de tratamento de dejetos suínos instalado no Estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v. 16, n. 7, p. 745-753.

Bielenki, J. C.; Barbassa, A. P. 2012. *Geoprocessamento e recursos hídricos: aplicações práticas*. São Carlos: EdFUSCar.

ANA. 2013. Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce: relatório executivo. Brasília. Agência Nacional das Águas. P. 1 - 99.

Cancelier, A.; Soto, U. P. D.; Costelli, M. C.; Lopes, T. J.; Silva, A. D. 2015. Avaliação da produção de biogás de dejetos de suínos utilizando a metodologia de superfície de resposta. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 20, p. 209-217.

Dias, M. I. A.; Colen, F.; Fernandes, L. A.; Souza, R. M. D.; Bueno, O. D. C. 2013. Viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da suinocultura, em substituição a fontes externas de energia. *Energia na Agricultura*, v. 28, n. 3, p. 155-164.

Florenzano, T. G. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. 2011. São Paulo. Ofina de Textos.

IGAM. 2010. *PARH PIRANGA - Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão DO1*. Belo Horizonte. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. p. 1 - 125.

IMA. 2015. *Cadastro e Georeferenciamento de Produtor*. Sistema de Cadastro e Georreferenciamento de Defesa Sanitária Animal (GeoDSA). Belo Horizonte. Instituto Mineiro de Agropecuária.

INE, P. 2009. *Recenseamento Agrícola 2009: Análise dos Principais Resultados*. INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. Lisboa. P. 1 - 62.

INE, P. 2014. *Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas 2013*. INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. Lisboa. p 1 - 56.

Moreira, A. R. 2014. Mecanismos alternativos de cobrança pelo uso de recursos hídricos para assimilação de efluentes. Tese. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG.

Oliveira, P. A. V. D. 2012. Produção de Suínos em Sistemas Sustentáveis. *Congresso Brasileiro de Produção Animal Sustentável - II ANISUS.* p. 57 – 70. 29 a 31 de maio, Chapecó-SC.

Perdomo, C. C.; Oliveira, P. A. V. D.; Kunz, A. 2003. Metodologia sugerida para estimar o volume e a carga de poluentes gerados em uma granja de suínos.. *Comunicado Técnico - Embrapa Suínos e Aves*, ISSN 0100-8862, Outubro, Concórdia – SC.

Philippe, F. X.; Nicks, B. 2014. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* ELSEVIER, v. 199. p. 10 – 25. DOI 0167-8809.

Pimenta, S.; Fernandes, L.; Minhoto, M. 2014. A Evolução da Estrutura das Explorações Agrícolas e das Características dos Produtores da Região Alentejo nos Últimos 25 Anos. *APDR-Actas do 20º Congresso da Associação Portuguesa de Desenvolvimento Regional Renaissance of the Regions of Southern Europe*. p. 1308 – 1319. 10 – 11 July, 2014. Évora, Portugal.

Pires, E. C.; Damianivic, M. H. R. Z.; Nery, V. D. 2013. Tratamento de Águas Residuárias Indusriais. In Calijuri, M. D. C. e Cunha, D. G. F. (Eds.). *Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão.* ch. 19, 477 – 499. Rio de Janeiro. Elsevier.

Reis, L. F. R.; Brandão, J. L. B. 2013. Impactos ambientais sobre rios e reservatórios. In: Calijuri, M. D. C. e Cunha, D. G. F. (Eds.). *Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestãoed.* ch. 11, 247 – 268. Rio de Janeiro. Elsevier.

Rodrigues, D. B. B.; Mendiondo, E. M. 2013. Bacias Hidrográficas: Caracterização e Manejo Sustentável. In: Calijuri, M. D. C. e Cunha, D. G. F. (Eds.). *Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão*. ch. 3, 47 – 74. Rio de Janeiro. Elsevier.

Santos, A. D. P. D. 2008. SRTM - Aplicações em estudos hidrológicos usando ferramentas de geoprocessamento. HIDROTEC: p. 1 - 25.

SIDRA. 2016. Pesquisa Pecuária Municipal. (Acesso em 18 Julho 2016). http://www.sidra.ibge.gov.br.

SIDRA. 2016. Produção Agrícola Municipal. (Acesso em 26 Julho 2016) http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=202&z=t&o=25&i=P.

Silva, E. P. D. 2012. Influência da altura da lâmina e da turbidez da água residuária de suinocultura em sistema de desinfecção solar. Tese. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. MG.

Silva, L. P. D. 2015. Bacia Hidrográfica. In: Silva, L. P. D. (Ed.). *Hidrologia: engenharia e meio ambiente*. Elsevier. ch. 5, p. 57 – 76. Rio de Janeiro.

Sperling, M. V. 2014. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. p. 472 Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Zenatti, D. C.; Costa, A. A.; Hermes, E.; Vilvert, R. M.; Dias, L. C. 2015. Quantificação de açucares redutores em hidrolisado do bagaço da mandioca para uso na produção de metano. *Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 4, p. 616-627.

Random Forest e SIG, integrados para classificar variáveis de qualidade de água, provenientes dos resíduos suinícolas na bacia do Piranga-MG

Jadson L.S. Rocha[1], Cecília de F. Souza[2], Alisson C. Borges[3], João M. Louzada[4], Gustavo E. Marcatti [5].

[1] DEA/UFV, Viçosa – MG, jadson.simoes@ufv.br
[2] DEA/UFV, Viçosa – MG, cfsouza@ufv.br
[3] DEA/UFV, Viçosa – MG, borges@ufv.br
[4] IFES, Itapina – ES, louzada.geostat@gmail.com
[5] DEF/UFV, Viçosa – MG, gustavomarcatti@gmail.com

Resumo

Na bacia hidrográfica do rio Piranga, em Minas Gerais, existem suinoculturas que concentram rebanhos expressivos, principalmente em sua região central, com produção excessiva de dejetos, podendo oferecer riscos de contaminação às águas superficiais, de forma pontual ou difusa. O presente estudo objetivou classificar variáveis de qualidade de água correlacionadas com os resíduos da suinocultura. Os dados de qualidade de água, analisados, foram obtidos em planilhas disponibilizadas nos relatórios anuais do Programa Águas de Minas, conduzido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, no período compreendido entre os anos de 1997 a 2014. Quanto aos dados relativos ao rebanho suinícola, foram extraídos dos relatórios no ano de 2015 do Sistema de Cadastro e Georreferenciamento de Defesa Sanitária Animal, cedidos pelo Instituto Mineiro de Agropecuária. Abordaram-se as metodologias de Sistemas de Informações Geográficas combinadas com as técnicas de *Random Forest*. O conjunto das variáveis, sólidos em suspensão, fósforo total e nitrato com suas cargas no período seco, foi classificado pelo software com o maior grau de importância. Os resultados obtidos permitem inferir que a suinocultura está contribuindo para afetar a qualidade das águas superficiais na área de estudo. O Sistema de Informações Geográficas integrado ao *randomForest*, apresentou-se eficaz na análise e gestão de recursos hídricos na área de estudos, podendo, desde que tenha dados disponíveis, ser replicado em outras bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Água residuária suinícola, árvore aleatória, georreferenciamento

Random Forest and SIG, integrated to classify water quality variables, derived from swine breeding residues in the Piranga-MG basin

Abstract

In the watersheds of the Piranga river, in Minas Gerais, there are swine breeding herds that concentrate expressive herds, mainly in the central region, with excessive production of waste, and can offer contamination risks to surface waters, in a punctual or diffuse way. The present study aimed to classify variables of water quality correlated with swine breeding residues. The data of water quality analyzed were obtained from the spreadsheets available made in the annual reports of the Programa Águas de Minas conducted by Minas Gerais Water Management Institute during the period 1997 to 2014. As for the data on the swine breeding herd were extracted from the reports in 2015 of the Cadastre and Georeferencing System for Animal Health Protection, provided by the Minas Gerais Institute of Agropecuaria. The methodologies of Geographic Information Systems combined with Random Forest techniques were approached. The set of variables, solids in suspension, total phosphorus and nitrate with their loads in the dry period, was classified by software with the highest degree of importance. The results obtained allow to infer that swine breeding is contributing to affect the quality of surface water in the study area. The Geographic Information System, integrated with Random Forest, was effective in the analysis and management of water resources in the area of studies and could, as long as it has available data, be replicated in other watersheds.

Keywords: Waste water swine breeding. Random tree. Georeferencing

1. Introdução

A gestão dos recurso hídricos encontra-se entre as diretrizes de ações da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), sem que esteja dissociada dos aspectos qualiquantitativos, adequando-a às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais regionais. Ocorrre que a dificuldade de se obter, processar analiticamente e divulgar informações socioambientais, se apresenta como entrave na implantação de programas de gestão (Silva, 2015).

Assim, o acesso às informações atualizadas e organizadas possibilitará tanto uma melhor fundamentação técnico-científica das ações, quanto à apresentação e em particular a disponibilização de dados e informações às comunidades locais em diferentes formatos e graus de complexidade (Silva, 2015).

Integrar os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com ferramentas estatísticas, pode preencher esta lacuna através de um conjunto de procedimentos básicos para manipulação, aquisição, armazenagem, recuperação, atualização, processamento, análise e representação de dados assistidos por computador (Augusto, 2013).

O presente estudo objetiva verificar se a atividade suinícola na bacia hidrográfica do rio Piranga, em Minas Gerais, pode estar alterando a qualidade das águas superficiais, através da análise de dados disponibilizadas por órgãos públicos, mediante o uso de SIG, integrado com métodos estatísticos por regressão e classificação em ambiente computacional R.

2. Material e Métodos

A caracterização da área de estudo (AE) foi realizada mediante dados dos relatórios do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Agência Nacional da Águas (ANA) e Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), disponíveis em seus *sites* oficiais.

Presente em sua totalidade, no estado de Minas Gerais, a UPGRH DO1 abrange uma área de 17.571,37 km², entre as latitudes 19°29'18"S e 21°11'7"S e as Longitudes 43°49'55"O e 42° 5'17"O, constituindo-se na segunda maior unidade da bacia hidrográfica do rio Doce (BHRD).

Compõe esta unidade, as bacias dos rios Piranga (6.600 km²), do Carmo (2.278 km²), Casca (2.510 km²) e Matipó (2.550 km²), além da área incremental de outras bacias (3.626 km²) (IGAM, 2010). No sistema hidrológico, há uma predominância de 70% dos aquíferos das rochas cristalinas, 23% aquíferos xistosos, 3% quartizíticos e 4% sobre aquíferos porosos (IGAM, 2010).

Quanto aos solos, predominam as classes dos Latossolos, Argissolos e Cambissolos, sendo 53% das terras com forte suscetibilidade à erosão, 44% média suscetibilidade e 4% muito forte. Possui relevo acidentado, sendo forte ondulado e, ou montanhoso, com elevadas taxas de produção de sedimentos em cerca de 69% da área, chegando a 50 a 100 t km² ano^{-1} (IGAM, 2010).

O clima da BHRD classifica-se de acordo com Köppen em Aw (tropical com inverno seco), Cwa (subtropical úmido com verão quente) e Cwb (subtropical úmido com verão ameno) (Alvares et al. 2013). O regime pluviométrico é caracterizado por dois períodos, sendo um seco e outro chuvoso (800 a 1300 mm) (ANA, 2013).

Na Figura 1 é apresentado o mapa de localização da AE em relação ao Brasil e ao estado de Minas Gerais. Os atributos relativos à rede hidrográfica, poligonais do Brasil e Estado Minas Gerais, utilizados na composição dos mapas foram baixados dos *sites* do Instituto Estadual de Florestas (IEF) e IBGE.

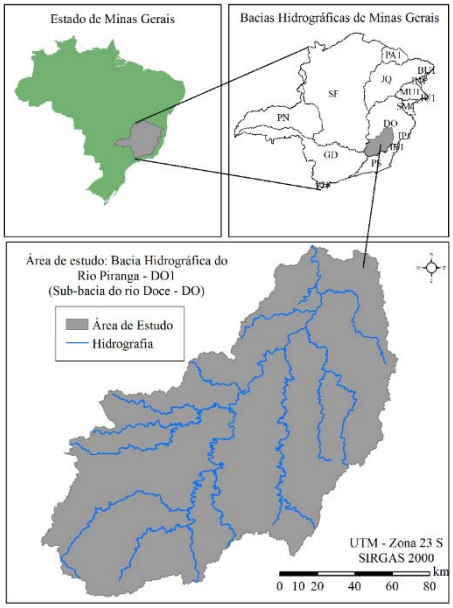


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido mediante a utilização das imagens com resolução espacial de 30m, as quais foram geradas pela *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) e disponibilizadas no site (http://srtm.csi.cgiar.org/). Foram adotados os procedimentos metodológicos sugeridos por Santos (2008) e Florenzano (2011).

Foi definido para todo o trabalho o sistema de projeção UTM-Fuso 23S referenciado ao SIRGAS 2000, com o recorte da área de interesse entre as coordenadas 7.856.593,3330647m e 7.642.950,4256353m (N) e 609.017,45591373m 841.656,96207069m (E).

Os dados oficiais do IBGE, IGAM, ANA e IMA foram plotados nos mapas gerados pelo SIG. Para a construção do mapa no ambiente do SIG, foi utilizada a ferramenta *Clip* no *ArcToolbox* do *ArcMap*, que possibilitou o recorte dos sessenta e quatro municípios que têm suas sedes inseridas na AE.

O rebanho suinícola, no presente estudo, foi levantado a partir dos dados extraídos dos relatórios gerados pelo Sistema de Cadastro e Georreferenciamento de Defesa Sanitária Animal (GeoDSA), no ano de 2015, cedidos pelo Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA). Tais dados foram plotados em planilha do *Excel®* e, após a análise, foram inseridos no *ArcGis* como arquivo vetorial. No *ArcMap*, com o projeto aberto, o *shapefile* foi importado para uma análise espacial, possibilitando identificar todas as informações das cento e oitenta e seis granjas existentes na AE.

Os sistemas de produção suinícola são classificados de acordo com o objetivo final em Unidades de Produção de Leitões (UPL), Crescimento e Terminação (UCT) e Ciclo Completo (UCC). Neste sentido, diante dos dados disponíveis, para o cálculo do volume da ARS produzida, foram tomados por base o sistema de produção adotado e o número de animais confinados em cada granja, de acordo com o método proposto por Perdomo et al. (2003).

Desde 1997, o IGAM vem monitorando a qualidade das águas superficiais do estado através do Programa Águas de Minas (PAM). Para este estudo, dentre as variáveis analisadas no PAM, entre 1997 e 2014, foram adotadas as vinte e seis que melhor caracterizam a ARS. Estas variáveis tiveram suas cargas calculadas a partir das vazões médias dos sete dias anteriores às coletas, de doze estações fluviométricas da ANA, pelo método sugerido por Sperling (2014). Foram consideradas as campanhas como período seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março).

Foram calculadas as médias aritméticas e geométricas das concentrações e das cargas, para cada período e por estação de monitoramento, que resultaram em noventa e uma variáveis. Na AE foram identificadas quinze estações de monitoramento do IGAM, localizadas nos principais cursos de água,

às quais serviram de referência espacial para a criação das sub bacias hidrográficas e elaboração dos respectivos mapas.

Na análise estatística, buscou-se estabelecer uma correlação entre a ARS e as variáveis analisadas pelo PAM, em doze, das quinze estações de monitoramento, uma vez que não existiam granjas suinícolas nas três que foram invalidadas (RD009, RD019 e RD068). Os dados foram submetidos ao *software* R, versão 3.2.0 (Team, 2014).

Inicialmente, avaliou-se as correlações entre a variável resposta, ARS, e as variáveis candidatas preditoras, pelo método da avaliação direta com a matriz de correlação, baseada na correlação de Pearson, considerando 95% de intervalo de confiança. Foi utilizado o pacote *corrplot*, disponível para o ambiente do programa R (Wei e Simko, 2016).

A partir desse estudo, foram pré-selecionadas quarenta e oito variáveis, das cento e noventa e uma disponíveis, que apresentaram coeficientes de correlação acima de 0,3 com a ARS.

A seguir, aplicou-se o robusto método de treinamento de máquinas denominado *Random Forest* (Liaw e Wiener, 2002), o qual apresenta como característica principal o uso de amostras *out-of-bag* (OOB), que vão sendo misturadas aleatoriamente e tendem a diminuir a variância entre as novas amostras formadas, após cada estágio, aqui entendido como treinamento.

A aplicação do referido método, no presente estudo, possibilita a identificação da ocorrência de padrões em regressão multivariada, isto é, o *Random Forest* avalia o grau de importância de cada preditora no modelo de regressão e estabelece o *ranking*, uma vez que as variáveis amostrais possuem características distintas e dificultam a predição com variâncias aceitáveis (Breiman e Cutler, 2004).

Para a análise espacial das variáveis que foram selecionadas pelo *Random Forest*, adotou-se a técnica da interpolação dos dados para a elaboração de mapas de predição, das áreas de abrangência de cada uma das variáveis de qualidade de água que estejam, possivelmente, correlacionados com a AR.

O pacote *gstat* (Pebesma, 2004) foi utilizado para processar toda a análise espacial e geração de mapas no ambiente R. Adotou-se o método do *Inverse Distance weighted* (IDW), no qual, o interpolador atribui maior importância aos valores mais próximos do ponto a ser predito, apresentando resultados satisfatórios na maioria dos casos (Speranza, 2008).

3. Resultados e Discussão

Na Tabela (1), são apresentados os resultados da estimativa do volume de ARS, gerada diariamente. Foram utilizados os dados das granjas, contidos nos relatórios do IMA, de acordo com o método proposto por Perdomo et al. (2003), por categoria e sistema de produção.

Tabela 1. Quantitativos da suinocultura na AE

SISP	GR (un)	MAT (un)	VAR (un)	OUT (un)	TOT (un)	PV (kg)	AR (l dia^{-1})
UPL	8	3.287	31	13.718	17.026	663.974	174.539
UTC	18	-	-	34.219	34.219	2.326.892	355.877
UCC	160	69.847	905	724.695	795.447	42.746.364	8.067.328
Total	186	73.134	936	772.632	846.692	45.737.230	8.597.745

SISP – Sistema de produção; GR – Granjas; MAT – Matrizes Suínas; VAR – Varrões; OUT – Outros; PV – Peso Vivo; ARS – Água Residuária Suinícola.

A área da superfície da bacia hidrográfica, criada a partir do MDE, é 17.991,93 km². Cada uma das estações de monitoramento serviu de referência espacial para a delimitação das sub bacias hidrográficas da AE. A Figura 2, apresenta o mapa do MDE com a espacialização das granjas suinícolas. As sub bacias que foram criadas, são apresentadas na Figura 3, as quais foram identificadas com o mesmo código das estações de monitoramento do PAM.

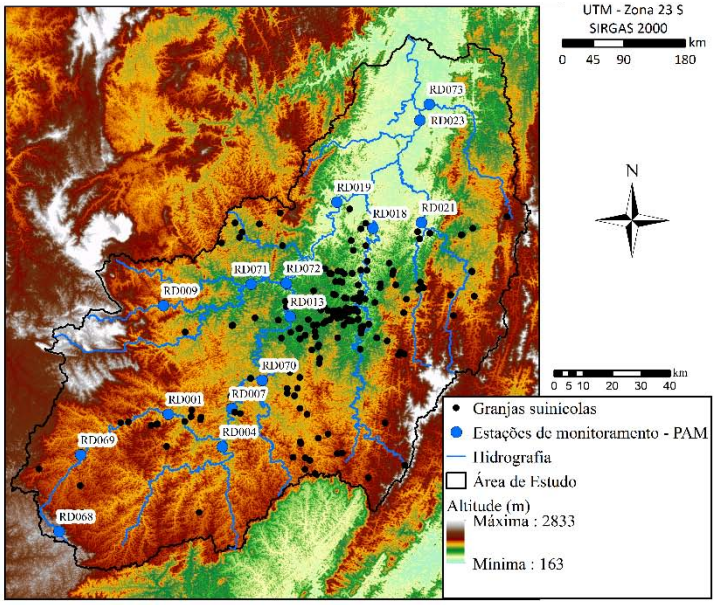


Figura 2. Mapa da AE com o MDE e a espacialização das granjas suinícolas

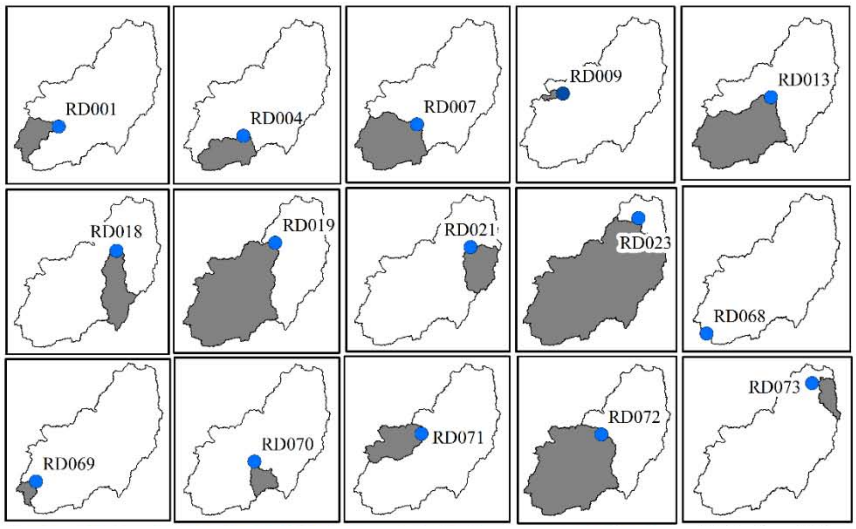


Figura 3. Mapas das sub bacias hidrográficas identificadas com os mesmos códigos das estações de monitoramento do PAM

A aplicação do método *Random Forest* ocorreu em quatro estágios distintos, nos quais, as quarenta e oito variáveis previamente selecionadas pela matriz de correlação, foram submetidas a um processo de escolha aleatória daquelas que melhor explicaram a ARS.

Para cada um dos estágios do *Random Forest*, avaliou-se a acurácia do modelo de regressão ajustado. Apesar do restrito número de pontos amostrais levantados (12 pontos), o ajuste obtido foi razoável, quanto à seleção das variáveis, propiciando um R^2=63,10%, ou seja, aproximadamente 63% da ARS consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo.

As variáveis regressoras que foram classificadas em ordem decrescente de importância, segundo as estimativas do erro OOB, gerados pelo *Random Forest*, são as médias das cargas no período seco de Sólidos em Suspensão, Nitrato e o Fósforo total, conforme codificação adotada no presente estudo (Ss.Cg.S.A, Nitra.Cg.S.A e Pt.Cg.S.A).

Dentre as variáveis de qualidade das águas superficiais adotadas pelo PAM, neste estudo, ficou evidenciado, pelos resultados das análises, que existem indícios de correlação entre algumas destas

variáveis e a ARS proveniente das granjas instaladas na AE. O modelo de regressão múltipla que foi ajustado por meio da floresta aleatória foi capaz de encontrar indícios que permitem explicar a existência de variáveis, que integram a composição dos resíduos suinícolas, detectadas nas amostras de água coletadas nas estações de monitoramento do PAM. Portanto, esses resíduos podem estar relacionados, principalmente, com a ARS, mas, não se descarta a possibilidade de outras fontes de contaminação.

Na Figura 4, é apresentado o mapa resultante da análise espacial da variável Ss.Cg.S.A, que apareceu em primeiro lugar no *ranking* de correlação com a ARS.

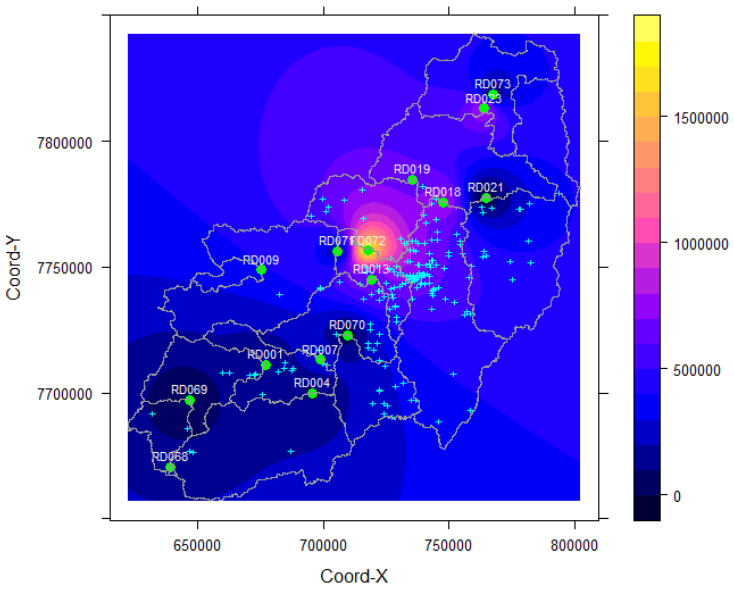


Figura 4. Mapa da espacialização da variável de qualidade de água Ss.Cg.S.A. classificada pelo Random Forest

A variável Ss.Cg.S.A sugere a presença de resíduos sólidos, principalmente nas sub bacias RD072 e RD013, seguidas da RD023 e RD018. Segundo Sperling (2014), sólidos em suspensão têm como fonte águas residuárias urbanas e industriais. Matos (2006) apud Souza et al. (2009), refere-se a resíduos animais como agroindustriais.

Na Figura 5 está apresentado o mapa resultante da análise espacial da variável Pt.Cg.S.A, que apareceu em segundo lugar no ranking de correlação com a ARS.

O fósforo está entre os principais componentes poluentes dos dejetos suínos (Pereira, 2006; Palhares e Calijuri, 2007). Segundo Farage et al. (2010), estudos realizados em corpos hídricos por Rodríguez (2001), Stacciarini (2002) e Cruz (2003) revelaram maiores concentrações de fósforo em períodos de estiagem, contrariando seus resultados e os encontrados por Barros (2008), para os rios Pomba e o Turvo Sujo, respectivamente.

Às altas concentrações, no período seco, os autores atribuíram a baixa vazão, enquanto para o período chuvoso, o *runoff* das áreas urbanas e rurais, que proporcionaram o carreamento de excrementos animais e outros materiais orgânicos para o leito dos corpos de água, foi o responsável pelas concentrações mais elevadas. Sperling (2014), atribui às águas residuárias, tanto urbanas, quanto industriais, a condição de fonte de fósforo para a poluição das águas.

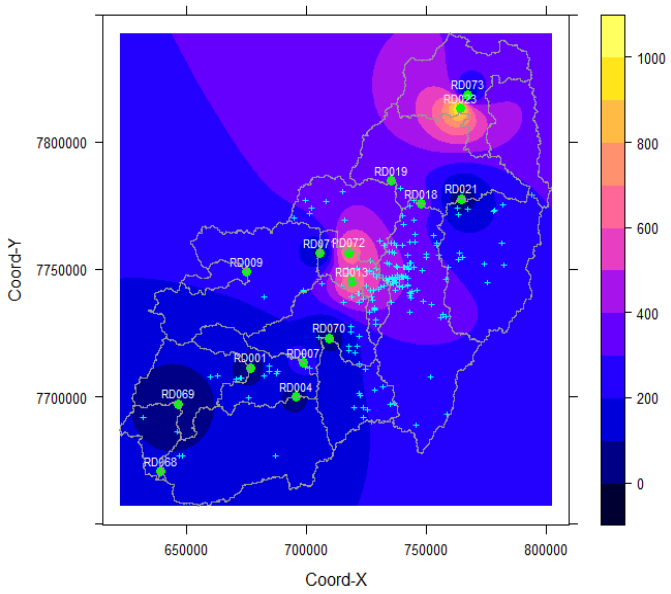


Figura 5. Mapa da espacialização da variável de qualidade de água Pt.Cg.S.A. classificada pelo Random Forest

Na Figura 6 está apresentado o mapa resultante da análise espacial da variável Ntra.Cg.S.A, que apareceu em terceiro lugar no *ranking* de correlação com a ARS.

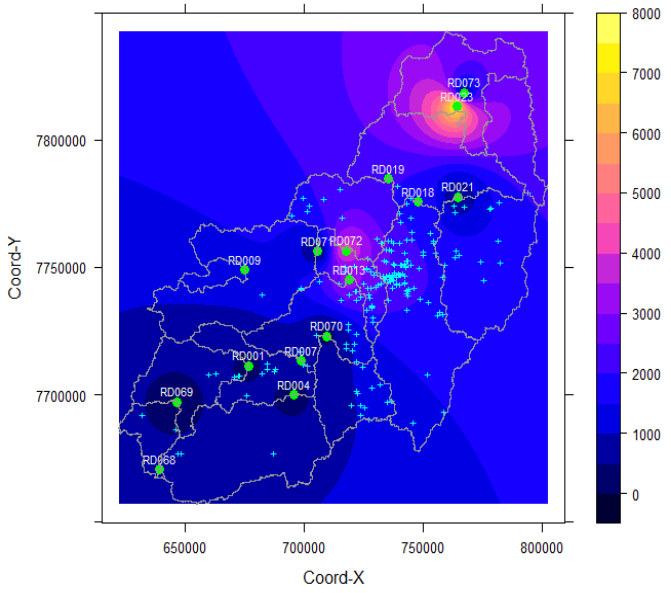


Figura 6. Mapa da espacialização da variável de qualidade de água Ntra.Cg.S.A classificada pelo Random Forest

De acordo com Pereira (2006), se houver o lançamento direto de resíduos suínos, sem o devido tratamento, pode ocorrer, dentre outros fatores, a contaminação da água potável com amônia e nitratos. A mesma autora infere, ainda, que a prática da fertirrigação deve ser bem manejada, caso contrário, pode incorrer no acúmulo de sais e nitratos, além do sódio e o fósforo no solo, podendo vir a serem transportados para os cursos de água pelo escoamento superficial.

A maior parte da amônia, presente na urina dos animais, pode ser oxidada a nitrato a partir de processos de nitrificação (Palhares e Calijuri, 2007). Os dejetos gerados por suínos, dentre outros animais, elevam os níveis de fosfatos e de nitratos nas águas do corpo receptor. Os nitratos, forma oxidada do nitrogênio amoniacal, formam-se em ambientes aquáticos bem oxigenados (Hadlich,

2004). Segundo Sperling (2014), os excrementos animais estão entre as fontes antropogênicas do nitrato.

De acordo com a Deliberação Normativa 01/2008 conjunta, Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH-MG) (2008), os limites para sólidos em suspensão totais, fósforo total (ambiente lótico) e nitrato, são 100 mg l^{-1}, 0,1 mg l^{-1} e 10 mg l^{-1}, respectivamente.

Levando-se em consideração que para o cálculo da carga das referidas variáveis foi tomada por base a concentração, pode-se afirmar que, para sólidos em suspensão totais, dentre as estações de monitoramento do PAM, na RD018 (191,833 mg l^{-1}), RD071 (136,083 mg l^{-1}) e RD072 (102,736 mg l^{-1}), ocorreram violações dos limites para o período analisado.

Os resultados observados, podem ter sido influenciados, principalmente pelas águas residuárias urbanas e rurais. As sub bacias RD071 e RD072, têm as maiores densidades urbanas localizadas mais próximas das estações de monitoramento. A RD071 tem os municípios de Mariana (45,40 hab.km^{-2}), Ouro Preto (56,41 hab.km^{-2}) e Barra Longa (16,013 hab.km^{-2}), que, apesar de não ser tão denso, está na área de influência da estação.

A RD072 tem o município de Ponte Nova (121,94 hab.km^{-2}) mais próximo, com a segunda maior densidade populacional dos municípios da AE. À montante da estação RD072, está a RD013 localizada imediatamente após a sede municipal de Ponte Nova, porém, esta, apresentou concentração relativamente baixa (34,216 mg l^{-1}). É possível que tal discrepância tenha sido influenciada pelo acúmulo que ocorre na estação RD072, uma vez que esta, se encontra à jusante das demais e recebe a contribuição das sub bacias RD009 e RD071, nas quais encontram-se os municípios de Mariana e Ouro Preto, onde predomina a atividade de mineração.

Na RD018 existe a maior densidade suinícola de todas as sub bacias (195,19 Suínos km^{-2}). A Figura 7 apresenta o mapa com a espacialização da concentração de sólidos em suspensão, no qual, fica confirmada a predominância desta variável na sub bacia RD018.

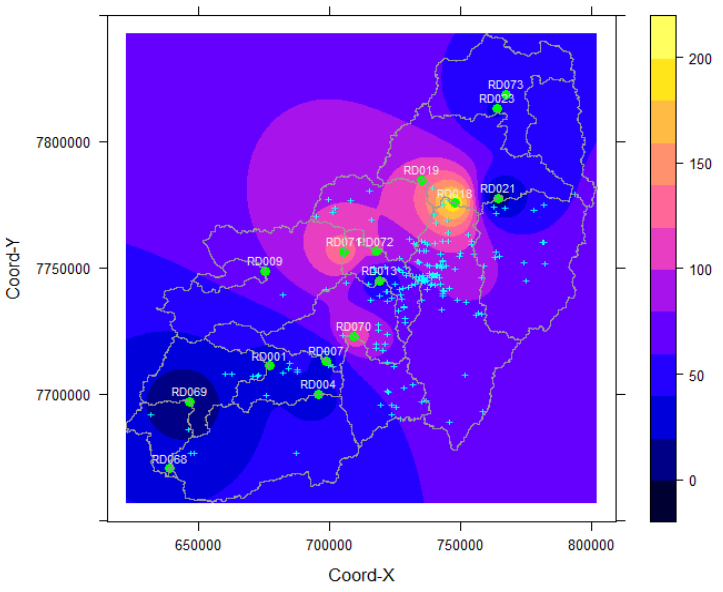


Figura 7. Mapa da espacialização da variável de qualidade de água Ss.Ct.S.A

Para o fósforo total, a estação RD018 (0,129 mg l^{-1}), foi a única em que ocorreu violação de limite. Quanto ao nitrato, não houve violação em nenhuma das estações, porém, vale salientar que as estações RD018 (0,957 mg l^{-1}) e a RD070 (0,981 mg l^{-1}), foram as que apresentaram maiores concentrações. Tais resultados podem ter sido influenciados pelas contribuições de AR urbana e rural. Conforme já mencionado, a sub bacia RD018 tem a maior densidade suinícola.

Quanto à RD070, tem, dentre os municípios, Viçosa (241,20 hab.km^{-2}), com a maior densidade populacional da AE, além de Cajuri (48,73 hab.km^{-2}), Coimbra (66,00 hab.km^{-2}) e Paula Cândido (34,55 hab.km^{-2}). Saliente-se que o curso do rio Turvo, principal rio desta sub bacia, é relativamente curto, quando comparado, por exemplo, com o Piranga, o que pode favorecer à chegada mais rápida desta carga orgânica. Neste sentido, levando-se em consideração que no período seco ocorre menor *runoff*, pode-se admitir que a AR da suinocultura tenha contribuído com as cargas de sólidos em suspensão, fósforo total e nitrato analisadas, principalmente na sub bacia RD018.

4. Conclusões

As análises dos resultados permitem inferir que os resíduos da atividade suinícola na AE estão contribuindo para a alteração da qualidade das águas superficiais.

Apesar a complexidade dos dados, o método *Random Forest*, foi capaz de processá-los, analisa-los e gerar resultados estatisticamente aceitáveis, levando-se em conta, a correlação das variáveis classificadas com o volume da ARS, gerada pela atividade suinícola na AE.

O SIG, integrado ao *Random Forest*, mostrou-se uma ferramenta essencial para a análise e gestão dos recursos hídricos da AE, podendo ser replicado em outras bacias hidrográficas, desde que haja disponibilidade de dados.

Agradecimentos

À CAPES, pela bolsa de estudos; ao IMA, pela concessão dos dados; à UFV/DEA/Ambiagro, pelo apoio e; ao IFBaiano-campus Santa Inês, pela liberação das atividades profissionais.

Bibliografia

Alvares, C. A.; Stape, J. L; Sentelhas, P. C.; Moraes, G. D.; Leonardo, J.; Sparovek, G. 2103. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711 – 728.

ANA. 2013. Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce: relatório executivo. Brasília. Agência Nacional das Águas: p. 1 - 99.

Augusto, F. O. 2013. Engenharia Ambiental Conceitos, Tecnologia e Gestão. In Calijuri, M. D. C. e Cunha, D. G. F. (Eds.). *Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Ambiental*. ch. 25, 643 – 667. Rio de Janeiro. Elsevier.

Breiman, L.; Cutler, A. Random Forests. 2004. (Acesso em 28 Setembro 2016) https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_software.htm.

COPAM; CERH-MG. 2008. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01 de 05 de maio de 2008. Conselho Estadual de Política Ambiental; Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. p. 1 - 28.

Farage, J. D. A. P.; Matos, A. T. D.; Silva, D. D. D.; Borges, A. C. 2010. Determinação do índice de estado trófico para fósforo em pontos do rio Pomba. *Engenharia na agricultura*, v. 18, n. 4, p. 322-329.

Florenzano, T. G. 2011. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo. Oficina de Textos.

Hadlich, G. M. 2004. Poluição hídrica na bacia hidrográfica do rio Coruja-Bonito (Braço do Norte, SC) e suinocultura: uma perspectiva sistêmica. Tese. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis SC.

IGAM. 2010. PARH PIRANGA - Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão DO1, 2010. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 125 p.

Liaw, A.; Wiener, M. 2002. Classification and Regression by randomForest. *R News*, v. 2 n.3, p. 18-22. ISSN 1609-3631.

Palhares, J. C. P.; Calijuri, M. D. C. 2007. Caracterização dos afluentes e efluentes suinícolas em sistemas de crescimento/terminação e qualificação de seu impacto ambiental. *Ciência Rural*, v. 37, p. 502-509.

Pebesma, E. J. 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*. v. 30, n. 7, p. 683-691. ELSEVIER.

Perdomo, C. C.; Oliveira, P. A. V. D.; Kunz, A. 2003. Metodologia sugerida para estimar o volume e a carga de poluentes gerados em uma granja de suínos. *Comunicado Técnico - Embrapa Suínos e Aves*, ISSN 0100-8862, Outubro, Concórdia – SC.

Pereira, E. R. 2006. Qualidade de água em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reuso no ambiente agrícola. Tese. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba SP.

Santos, A. D. P. D. 2008. SRTM - Aplicações em estudos hidrológicos usando ferramentas de geoprocessamento. HIDROTEC: p. 1 - 25.

Silva, L. P. D. 2015. Estrutura Institucional e Marcos Legais em Hidrologia, Recursos Hídricos e Meio Ambiente. In: Silva, L. P. D. (Ed.). *Hidrologia: engenharia e meio ambiente*. Elsevier. ch. 12. p. 291 - 302. Rio de Janeiro.

Souza, C. D. F.; Carvalho, C. D. C. S.; Campos, J. A.; Matos, A. T.; Ferreira, W. P. M. 2009. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. *Ceres.* v. 56, n. 2. p. 128 – 133. ISSN 0034-737X.

Speranza, E. A. 2008. Métodos e ferramentas de interpolação para a geração de mapas georreferenciados para a tomada de decisão em Irrigação de Precisão. Tese. Universidade de São Paulo, São Carlos SP.

Sperling, M. V. 2014. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª. ed. p. 472 Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Team, R. C. A 2014. language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. (Acesso em 10 Junho 2016). http://www.R-project.org/.

Wei, T.; Simko, V. Visualization of a Correlation Matrix. Version 0.77. (Acesso em 10 Setembro 2016) https://github.com/taiyun/corrplot.

Identificação das áreas potenciais de expansão do café na região das Matas de Minas, estado de Minas Gerais, Brasil

Karine Rabelo de Oliveira[1], Williams Pinto Marques Ferreira [2], Thalyta Varejão Miranda[3] , Cecília De Fátima Souza[4]

[1]Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa,Viçosa, MG, 36.570-000, karine.rabelo@ufv.br
[2] Pesquisador, EMBRAPA/EPAMIG, Viçosa, MG, 36.570-000, williams.ferreira@embrapa.br
[3] Graduanda em Geografia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 36.570-000, thalyta.miranda@ufv.br
[4] Professora do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 36.570-000, cfsouza@ufv.br

Resumo

Minas Gerais é o maior estado produtor, responsável pela metade da produção total de café do Brasil. Localizada ao leste do Estado, a região das Matas de Minas ganha destaque por ser a segunda maior região produtora. Em face do grande potencial dessa região, estudos relacionados a identificação de novas áreas para implantação lavouras de café fazem-se necessários. Neste contexto com o presente trabalho objetivou-se modelar, para a região das Matas de Minas, a distribuição de Coffea arábica, bem como identificar novas áreas para implantação desse cultivar e as variáveis que mais influenciam na modelagem. O modelo gerado foi com o *software* MaxEnt. A distribuição do café nas Matas de Minas foi analisada com base no mapa gerado pelo programa MaxEnt. Foi obtido o valor de 0,816 para a AUC (Área sob a curva), indicando boa acurácia do modelo. Observou-se também que a Temperatura Máxima e Temperatura Média (ambas anuais), e a Altitude foram as variáveis que mais influenciaram na modelagem. Foi possível inferir também que no entorno da região do Alto Caparaó encontra-se a área com maior potencial para a expansão do cultivo do café arábica; e ainda que, o modelo gerado apresentou boa capacidade preditiva, sendo assim, uma ferramenta importante para gestão da cafeicultura de Minas Gerais, bem como orientar os próprios produtores onde devem ser investidos esforços para ampliação do parque cafeeiro na região das Matas de Minas.

Palavras-chave: Cafeicultura de montanha. Coffee arabica, MaxEnt, SIG.

Identification of potential areas for expansion of arabica coffee in the region of the Matas de Minas, state of Minas Gerais, Brazil

Abstract

Minas Gerais is the largest producer state accounting for half of Brazil's total coffee production. Located in the east of the state, the Matas de Minas region is highlighted as the second largest producing region. In view of the great potential of this region, studies related to the identification of new areas for implantation of coffee plantations are necessary. In this context, the objective of this study was to model the distribution of *Coffea arabica* for the Matas de Minas region, as well as to identify new areas for implantation of this cultivar and the variables that most influence modeling. The generation of the model was done with the software MaxEnt. The coffee distribution in Matas de Minas was analyzed based on the map generated by the MaxEnt program. As a result, the value of 0.816 was obtained for the AUC (Area under the curve), indicating good accuracy of the model. It was also observed that the Annual Maximum and Average Temperature (both current) and Altitude were the variables that most influenced the modeling. It was also possible to infer that the area with the greatest potential for the expansion of Arabica coffee cultivation is located around the Alto Caparaó region, and also that the generated model presented good predictive capacity, it is an important instrument for the decision-making in the coffee industry of Minas Gerais, as well as to guide the producers themselves where efforts should be invested to expand the coffee park in the Matas de Minas region.

Keywords: Mountain coffee growing, Coffee arabica, MaxEnt, GIS.

1. Introdução

O café é um dos produtos de maior importância mundial, tanto no aspecto econômico como no social. No Brasil, maior produtor e exportador mundial, o parque cafeeiro é estimado em 2,25 milhões de hectares e cerca de 287 mil produtores distribuídos em aproximadamente 1.900 municípios (MAPA,2017).

Embora a cafeicultura seja bastante difundida no território nacional, a produção atualmente se concentra em seis Estados – Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Bahia e Rondônia. O estado de Minas Gerais destaca-se entre os demais por ser o maior estado produtor de café, responsável em média, pela metade da produção brasileira (INAES,2010).

A variedade das condições edafoclimáticas no país permitem a produção de cafés de diferentes qualidades, o estado de Minas Gerais, por exemplo, produz cafés com características específicas em cada um de seus municípios, os quais estão distribuidos quatro grandes regiões: Sul de Minas (Sul/Sudoeste), Matas de Minas (Zona da Mata/Rio Doce), Cerrado de Minas (Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba) e Chapadas de Minas (Vale do Jequitinhonha/Mucuri).

A região das Matas de Minas destaca-se em Minas Gerais pela produção de cafés especiais (Ferreira et al. 2016), situa-se na porção leste do Estado e é considerada a segunda região produtora de café arábica mais importante, sendo, por esse motivo, relevante os estudos relacionados a distribuição geoespacial do café nessa região afim de identificar novas áreas com alto potencial produtivo capazes de ampliar o parque cafeeiro das Matas de Minas.

Os modelos que descrevem a distribuição potencial de determinada espécie (como o café na presente pesquisa) relacionam as observações de ocorrência de espécies com um conjunto multivariado de informações sobre a área analisada, tais como as condições climáticas, a altitude e a existência de espécies concorrentes. É um processo complexo que demanda grande quantidade de informações e *softwares* para manipulação dos dados e geração de modelos (SANTANA et al., 2008).

Neste contexto com o presente trabalho buscou-se utilizar a técnica de modelagem para avaliar a distribuição geográfica potencial do café arábica na região das Matas de Minas afim de identificar novas áreas para ampliar a exploração dessa cultura, bem como apontar as variáveis que mais influenciam no processo de modelagem do cultivo do café na região.

2. Material e Métodos

A região das Matas de Minas abrange 63 municípios onde foram identificadas e georreferenciadas, pela EPAMIG Sudeste, 367 lavouras de *Coffea arabica,* adotando o sistema de georreferenciamento Datum SIRGAS 2000. Destaca-se que a análise foi feita puramente com dados climáticos, não sendo considerados, por exemplo, o tipo de solo, a face de exposição e a declividade da área de estudo.

Logo para a modelagem foram utilizas as variáveis bioclimáticas mais influentes no cultivo do café arábica, ou seja: a Altitude (A1), a Temperatura Máxima Anual (A2), a Temperatura Mínima Anual (A3), a Temperatura Média Anual (BIO 1), a Sazonalidade da Temperatura (BIO 4), a Precipitação Anual (BIO 12) e a Sazonalidade da Precipitação (BIO 15) obtidas, na plataforma *online* "WorldClim" disponível no sítio http://www.worldclim.org.

O *software* utilizado para a modelagem foi o Maxent, versão 3.3.3k, que segundo ARANDA e LOBO (2011) é uma ferramenta reconhecidamente eficiente e bastante utilizada em estudos de ocorrência de espécies associadas ao conjunto multivariado de informações do meio ambiente. O programa foi executado considerando suas cofigurações padrões com 10 repetições , sendo utilizados, aleatoriamente, 75% dos pontos para o "treino" do modelo e 25% para a execução do "teste" a cada repetição. O mapa final foi gerado a partir da média dos valores encontrados nas dez repetições o que reduz a superestimativa do resultado, permitindo a obtenção de um resultado mais acurado.

Além do mapa o programa gerou também alguns dados geoestatisticos dentre os quais destaca-se a taxa de omissão, a curva AUC (Under the Curve, Área sob a curva – em português) e o teste de Jackknife. A validação do modelo foi feita utilizando os resultados da AUC e das taxas de omissão gerados pelo programa. Os resultados da AUC podem ser interpretados como a probabilidade do modelo de classificar corretamente os pontos de presença e ausência da espécie consideradas, assim o valor 1 de AUC representa o modelo perfeito enquanto o valor abaixo de 0,5 representa um modelo selecionado ao acaso.

Para avaliar a importância das variáveis no modelo, ou seja, identificar qual variável apresenta maior influência na distribuição da espécie, foi aplicado o teste Jackknife (Elith,2011). Neste teste uma variável com valor muito baixo, próximo de zero, contribui para uma predição pouco confiável, já variáveis com valores próximos a 1 apresentam informações altamente correlacionadas às ocorrências e contribuem para boas predições.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 1 é apresentado o resultado obtido para a área sob a curva "AUC", compreendida abaixo das linhas de "treino" – vermelhas, e de "teste" – azuis (as quais representam a composição das dez repetições do modelo).

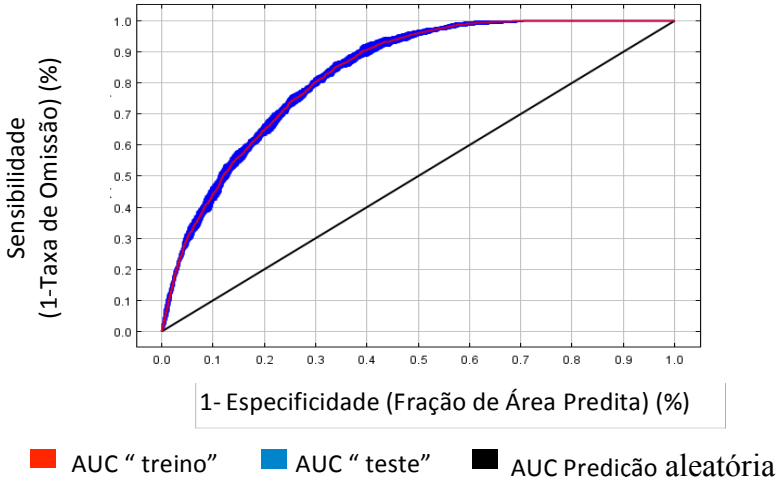


Figura1. Gráfico da área sob a curva (AUC, em inglês) consideradas para o "treino" e o "teste" do modelo.

Observa-se na Figura 1 que tanto os valores representados pela área sob linha de "treino", quanto a de "teste", são superiores àqueles sob a linha de "Predição aleatória" (linha na cor preta que representa o valor para as predições feitas ao acaso). Os valores, dado em percentuais, representam a probabilidade de que determinado *pixel* seja classificado corretamente como "ocorrência" e "ausência". Para o modelo obteve-se uma AUC com os valores de 0,832 (±0,004) e 0,816 (±0,02), para "treino" e "teste", respectivamente . Logo, pode-se dizer que o modelo gerado é um bom preditor, já que apresenta baixa fração de valores falsos positivos. Destaca-se que o valor obtido para AUC do "treino" foi superior ao do "teste" devido ao maior número de pontos amostrais utilizados na sua análise.

Na Figura 2 é apresentado o resultado obtido para a taxa de omissão. O parâmetro, assim como a AUC, é utilizado para validação do modelo de distribuição do café arábica para a região das Matas de Minas.

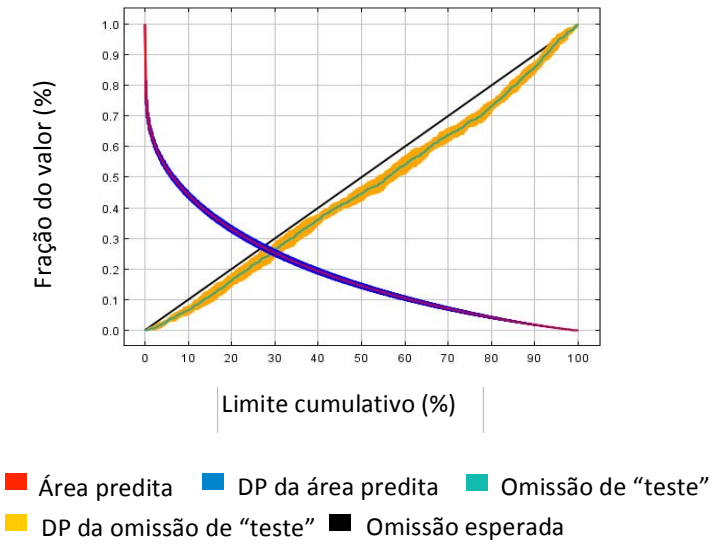


Figura 2. Gráfico da taxa de omissão e da área predita, onde DP representa o desvio padrão.

Os valores obtidos para taxa de omissão e área predita foram de 0,54 (±0,07) % e 65,42 (±0,45) %, respectivamente. Assim do total de 65,42% dos pontos preditos como favorável a ocorrência do café, 0,54% foram considerados pelo modelo como falsos positivos, ou seja, como erro de previsão indicando boa predição do modelo.

Tal resultado pode ser verificado pela proximidade observada entre a linha da taxa de omissão do "teste" (cor turquesa - referente a média da taxa de omissão das dez repetições do modelo) e a linha da taxa de omissão esperada (linha reta na cor preta - representa a ausência de valores falsos positivos) na Figura 2.

Os resultados para o teste de Jackknife são apresentados na Figura 3 considerado os dados de "treino" (A) e de "teste" (B), o teste possibilita a determinação da influência das variáveis no modelo.

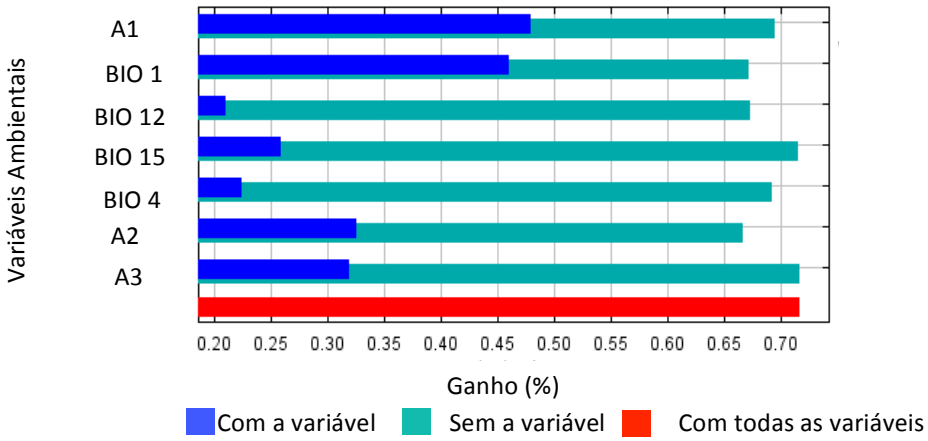


Figura 3. Teste de Jackknife para "teste".

É possível observar na Figura 3 que a variável A1(Altitude) representa o maior ganho no modelo para o "teste", o que já era esperado, tendo em vista que na região das Matas de Minas predomina a cafeeicultura de montanha, em sua maioria, localizadas em altitudes superiores a 700 metros. A variavél A1 e BIO 1(Temperatura Média Anual) destacam-se como importantes fatores na geração do modelo, já que individualmente foram responsáveis por 48% e 46%, respectivamente, dos

resultados apresentados pelo modelo na etapa de “teste”. A variável A2 (Temperaura média Anual), no entanto, apesar de não gerar ganho expressivo em relação as demais (cerca de 33% - barra em azul) quando retirada do modelo é responsável por considerável perda na qualidade dos resultados do modelo, ou seja, a variável A2 também apresenta contribuição importante para o bom resultado da modelagem do MaxEnt.

O mapa com a identificação de áreas potenciais para a expansão do café arábica na região das Matas de Minas, gerado a partir da média dos resultados das dez repetições do modelo, é apresentado como na Figura 4.

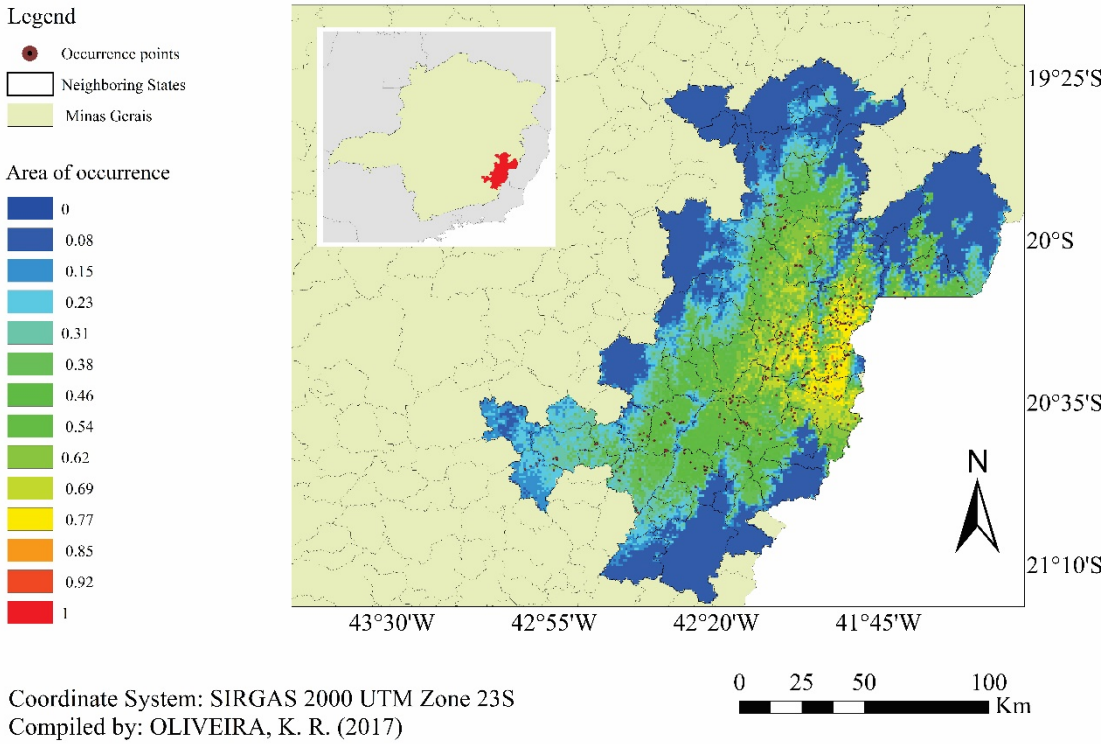


Figura 4. Mapa de localização da região das Matas de Minas com destaque da área com maior favorabilidade a expansão das lavouras de café arábica.

Na Figura 4 pode ser observado que as cores quentes (valores próximos a 1) representam os locais onde a probabilidade de implantação de novas lavouras de café é mais favorável a implantação da cultura de café, enquanto que as cores frias (valores próximos a zero) representam as regiões onde as condições ambientais e climáticas são desfavoráveis a ocorrência do café.

Com base na distribuição geoespacial é possivel obersevar que o café apresenta maior potencial de expansão para as lavouras que forem cultivadas nas proximidades dos municípios de Alto Caparaó, Alto Jequitibá, Caparaó, Espera Feliz, Martins Soares e Minhumirin. Logo, estudos complementares que levem em consideração as características do solo da região, áreas disponíveis para cultivo , entre outras, devem ser estimulados a fim de aumetar a precisão da identicação dos locais para implantação de novas lavouras cafeeiras.

4. Conclusões

A região no entorno dos municípios Alto Caparaó, Alto Jequitibá, Caparaó, Espera Feliz, Martins Soares e Minhumirin representam a área com maior potencial para a expansão do cultivo do café arábica.

As variáveis mais influentes para a distribuição de espécies de café arábica na região das Matas de Minas foram a Altitude, a Temperatura Média Anual e a Temperatura Máxima Anual, respectivamente.

O modelo apresentou bom desempenho na sua capacidade preditiva, logo é uma ferramenta de grande utilidade para orientar as tomadas de decisões, políticas administrativas, no ambito da cafeicultura em Minas Gerais, e também auxiliar os produtores nos investimentos para ampliação do parque cafeeiro na região das Matas de Minas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP & D / Café) pelo apoio financeiro para realizar este estudo.

Bibliografia

Aranda, S.C.; lobo, J.M. (2011). How well does presence-only-based species distribution modelling predict assemblage diversity? A case study of the Tenerife flora. *Ecography,* 34(1): 31-38

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., chee, Y. E. and Yates, C. J. (2011), A statistical explanation of MaxEnt for ecologists**.** *Diversity and Distributions*, 17: 43–57.

Ferreira, Williams PM, et al. "Effects of the Orientation of the Mountainside, Altitude and Varieties on the Quality of the Coffee Beverage from the “Matas de Minas” Region, Brazilian Southeast." *American Journal of Plant Sciences* 7.08 (2016): 1291

Instituto Antônio Ernesto De Salvo (INAES). Caracterização da Cafeicultura de Montanha de Minas Gerais. *Cadeias Produtivas*. Café-Volume I. Belo Horizonte(MG), INAES, Julho de 2010 .

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2016). *Cultura do Café*. Disponível em: < http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>. Acesso em: 27 mar. 2017.

Metz, C. E. (1986) ROC methodology in radiologic imaging. *Investigative Radiology*, v. 21, n. 9, p. 720-733, 1986.

Área Temática:

Solos e Águas

Suelos y Aguas

Rega deficitária na cultura do pessegueiro

Abel Veloso[1], António Canatário Duarte[2,3] e António Ramos[2]

[1]Faculdade de Ciências/Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre 1021/1055, 4169-007 Porto, up200204464@fc.up.pt

[2]Escola Superior Agrária/IPCB, Quinta da Sra. de Mércoles, Apartado 119, 6000-158 Castelo Branco

[3]Centro de Estudos GEOBIOTEC – Polo da UBI, Faculdade de Engenharia, Calçada Fonte do Lameiro, 6201-001 Covilhã

Resumo

Neste estudo pretendeu-se caracterizar as práticas de rega em dois pomares de pessegueiro da Beira Interior, a sul da Serra da Gardunha, e avaliar o efeito de diferentes dotações de rega na produção e qualidade dos frutos.

O ensaio decorreu em 2016, numa das linhas de cada pomar, e envolveu três tratamentos correspondentes a três débitos de água distintos por árvore: 8, 12 e 16 l/hora. O teor de água no solo foi medido periodicamente com uma sonda FDR (DIVINER 2000), e o balanço de água no solo foi estabelecido com base no volume fornecido pela precipitação e pela rega e no cálculo da evapotranspiração cultural. À colheita avaliou-se a produtividade, a dureza da polpa e o teor de sólidos solúveis totais.

Não se observaram diferenças significativas entre tratamentos na produtividade. Todavia, um dos pomares apresentou produtividades crescentes com o aumento da água fornecida. No mesmo pomar, a dureza da polpa diminuiu com o aumento do volume de água de rega. Verificaram-se teores de sólidos solúveis totais decrescentes com o aumento da água fornecida em ambos os pomares, provavelmente como consequência de um efeito de diluição que poderá ter sido devido, diretamente, à maior incorporação de água nos frutos ou, indiretamente, ao maior tamanho dos frutos nas árvores mais regadas.

Em geral, tanto nos tratamentos utilizados como na prática dos agricultores, a água fornecida foi deficitária, mas os agricultores da região têm tendência para seguir de perto a evolução da evapotranspiração.

Palavras-chave: rega deficitária, pessegueiro, produtividade, teor de sólidos solúveis, dureza.

Deficit irrigation applied in a peach orchard

Abstract

The irrigation patterns in two peach orchards located at the region Beira Interior, south of “Gardunha” Mountain, and the effect of different amount of irrigation in the gross production and fruits quality were evaluated.

The experiment was conducted in 2016, in two different orchards, and included three treatments correspondent to three different flow rate per tree: 8, 12 and 16 l/hour. The soil moisture was evaluated periodically with a FDR probe (DIVINER 2000), and the water balance included the water supply by rain and irrigation and the crop evapotranspiration. At harvest crop production, pulp firmness and percentage of total soluble solids were evaluated.

There were no significant differences between treatments in the average production per tree. However, in one of the orchards production increased with the volume of irrigation. In the same orchard, the pulp firmness decreased with the increasing water supply. Total soluble solids had decreased with the increasing water supply in both orchards, probably as a consequence of the dilution effect due, directly, to the water incorporate in the fruits, or, indirectly, to the larger fruits produced by the more irrigated trees.

In general, in the treatments used in this study as well as in the farmer’s practices, the supplied water was in deficit, but the farmers tend empirically to follow closely the evolution of evapotranspiration.

Keywords: deficit irrigation, peach tree, production, percentage of total soluble solids, pulp firmness.

1. Introdução

Na Beira Interior, a água é um recurso frequentemente escasso, pelo que a sua gestão adquire uma especial pertinência. Existem diversas formas de quantificar a eficiência no uso da água (*WUE*). Neste contexto, a *WUE* pode ser definida como o quociente entre parâmetros associados à produção (como o peso total de frutos colhidos ou a produtividade) e o total de água fornecido à cultura (Costa et al., 2007). No presente estudo, a *WUE* foi determinada através do quociente entre a produtividade (massa de frutos colhidos por unidade de área) e a quantidade de água aplicada (representada pelo volume de água fornecida pela chuva e pela rega por unidade de área), como mostra a Equação (1).

$$WUE = \frac{Produtividade}{Água\ fornecida} \quad (1)$$

A rega deficitária consiste no fornecimento de água abaixo das necessidades da cultura expressas, por exemplo, pela sua evapotranspiração (Fereres e Soriano, 2006). Existem diversas abordagens a esta estratégia de rega, entre as quais se destacam a Rega Deficitária de Alta Frequência e a Rega Deficitária Controlada. A primeira consiste num fornecimento de água abaixo das necessidades da cultura, mas praticando regas com uma frequência suficiente de forma a limitar os sinais de *stress* hídrico (Duarte, 2007). Por outro lado, a Rega Deficitária Controlada caracteriza-se por restringir o fornecimento de água apenas nas fases de desenvolvimento da cultura em que esse défice tem um menor impacto na produção e na qualidade (Duarte, 2007; Costa et al., 2007). Todas estas estratégias, se forem corretamente implementadas, permitem aumentar a eficiência no uso da água e são especialmente úteis, quando aquele recurso é escasso e limitante da produção (Duarte, 2007).

Adicionalmente, a restrição no fornecimento de água à cultura pode até ter consequências positivas em determinados parâmetros da qualidade dos frutos podendo contribuir, por exemplo, para o aumento do teor em sólidos solúveis totais, *TSS* (Reddy, 2016; Simões e Ferreira, 2016).

Para ser adequadamente implementada, uma estratégia de rega (deficitária ou não) deve ser programada com base no balanço hídrico do solo, que poderá fornecer informações não só acerca das dotações a aplicar, como também da oportunidade ideal para o fazer (Petillo, 2008). O balanço de água pode ser determinado a partir do cálculo da evapotranspiração cultural (ET_c), da medição de teores de humidade do solo ou estimado pelo conhecimento do estado de *stress* (ou do estado de conforto) hídrico das plantas, sendo útil combinar várias destas estratégias (Petillo, 2008; Duarte, 2016).

O balanço hídrico tem a vantagem de não exigir a aquisição de equipamentos dispendiosos, podendo ser calculado de forma automatizada numa folha de cálculo a partir de valores tabelados e de dados meteorológicos. A Equação (2) resume este processo (Allen et al., 2006). ϑ_i representa o teor de água no solo no dia *i*, ϑ_{i-1} o teor de água no solo no dia *i-1*, P_i a precipitação no dia *i*, ES_i o escoamento superficial no dia *i*, I_i a água fornecida pela rega no dia *i*, AC_i a ascensão capilar a partir do nível freático no dia *i*, PP_i a percolação profunda no dia *i*, e ETc_i a evapotranspiração cultural no dia.

$$\vartheta_i = \vartheta_{i-1} + P_i - ES_i + I_i + AC_i - PP_i - ETc_i \quad (2)$$

No caso de muitas fruteiras, em particular do pessegueiro, o balanço hídrico tem como principal utilidade determinar a oportunidade da rega e quantificar as necessidades de água. Para teores baixos de humidade no solo, a *AC* e a *PP* podem ser ignoradas sem apreciáveis perdas de fiabilidade do método. Por outro lado, considerando o sistema de rega gota-a-gota (que é o mais comum em fruteiras) e a baixa probabilidade de ocorrência de episódios de chuva intensa, o *ES* também pode ser ignorado. Deste modo, a equação (3) constitui a equação simplificada do balanço de água no solo.

$$\vartheta_i = \vartheta_{i-1} + P_i + I_i - ETc_i \quad (3)$$

O ϑ_{i-1}, necessário para começar o balanço, pode ser considerado igual à capacidade de campo (*CC*) após um período de rega ou de precipitação intensas (Allen *et al.*, 2006).

A evapotranspiração (*ET*) consiste no fluxo total de vapor de água entre uma superfície vegetal e a atmosfera. Esta definição abrange as perdas de água por transpiração e por evaporação, quer a partir do solo quer a partir do coberto vegetal molhado (Ferreira, 1996). A ET_c pode ser determinada multiplicando o coeficiente cultural K_c (tabelado) pela evapotranspiração de referência, ET_0, tal como resume a Equação (4).

$$ET_c = K_c \, . \, ET_0 \quad (4)$$

Quando o défice hídrico no solo ultrapassa um certo limite crítico, a partir do qual as plantas entram em estado de *stress*, é necessário acrescentar à expressão anterior um coeficiente de *stress* (*Ks*), como se mostra na Equação (5) e como é sugerido pela FAO (Allen et al., 2006).

$$ET_c = K_c \, . \, K_s \, . \, ET_0 \quad (5)$$

Neste trabalho a ET_0 foi determinada a partir da metodologia de Penmann-Monteith (Allen et al., 2006).

O presente estudo teve como principais objetivos: i) caracterizar as práticas de rega em dois pomares de pessegueiro localizados na Beira Interior, a sul da Serra da Gardunha; ii) avaliar a adequação de dois métodos utilizados para a determinação do teor de água no solo ϑ, i.e., a sonda capacitiva – DIVINER 2000 – e o balanço de água no solo considerando as entradas e saídas e avaliar o efeito de diferentes dotações de rega na produção e qualidade dos frutos.

2. Material e Métodos

Para a prossecução dos objetivos deste estudo foram instaladas duas Unidades de Observação (UO), uma na freguesia da Soalheira (UO 404) e outra na freguesia da Póvoa de Atalaia (UO 405), ambas pertencentes ao concelho do Fundão e localizadas a sul da serra da Gardunha (Figura 1).

Figura 1 – Localização das UO 404 e 405.

Em cada uma das UO o compasso de plantação é de aproximadamente 2,5 m na linha por 5 m na entrelinha. As cultivares utilizadas foram duas, a 'Catherine' na UO 404 e a 'Sweet Dream' na UO 405. As condições meteorológicas vigentes na zona de estudo durante o período de desenvolvimento da cultura encontram-se resumidas na Figura 2.

O ensaio envolveu três tratamentos correspondentes a três débitos de água distintos por árvore: T8 (8 l/h), T12 (12 l/h) e T16 (16 l/h), conseguidos através da combinação de gotejadores de 4 e 8 l/h. Os débitos de todos os gotejadores foram verificados *in loco* por medição direta, tendo-se usado os valores médios para os cálculos subsequentes (Quadro 1). As diferenças entre os débitos previstos e os débitos reais poderão explicar-se por diferenças de pressão na água distribuída nas rampas que contêm os gotejadores.

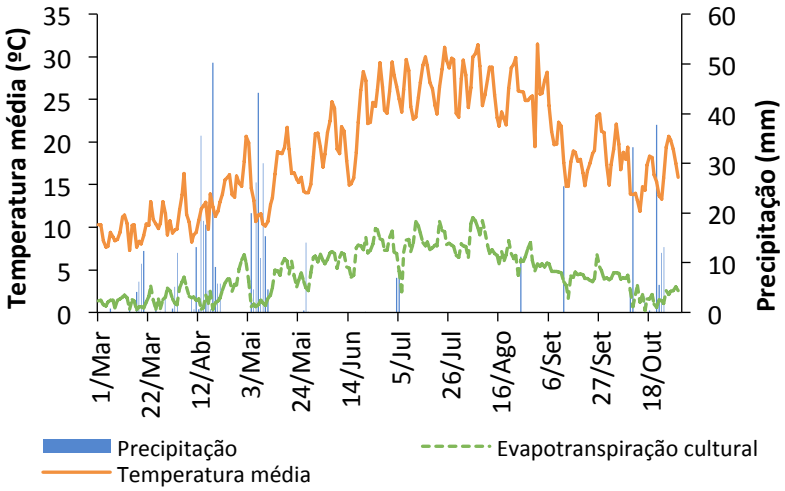


Figura 2. Evolução da precipitação, temperatura e evapotranspiração cultural desde 2016-03-01 até 2016-10-31 (Soalheira, Fundão).

Quadro 1. Débitos correspondentes a cada um dos tratamentos.

Tratamento	UO 404		UO 405	
	Débito previsto (l/h.árvore)	Débito real (l/h.árvore)	Débito previsto (l/h.árvore)	Débito real (l/h.árvore)
T8	8	8,5	8	11,0
T12	12	14,6	12	16,8
T16	16	17,0	16	22,0
Agricultor	11,0	9,0	11	18,5

Cada tratamento foi composto por três repetições, cada uma com cinco árvores: três para medições e duas de bordadura. As linhas de árvores adjacentes à do ensaio continham rampas equipadas com gotejadores incorporados de 2,2 l/h, espaçados a 0,5 m (rega do agricultor).

A entrada de água para as rampas que alimentavam os gotejadores situava-se a meio da linha, derivando daí uma rampa de gotejadores para cada lado. À entrada de cada uma das rampas foi colocado um contador de água, cujas leituras foram registadas periodicamente, com o objetivo de se determinar o volume de água efetivamente fornecido a cada rampa e, por extensão, a cada árvore em cada um dos tratamentos. Todos os tratamentos estiveram sujeitos aos mesmos tempos de rega, definidos pelo agricultor.

O teor de água do solo em cada um dos tratamentos foi medido periodicamente em três pontos da linha (um por tratamento), com uma sonda Diviner 2000, fabricada pela Sentek Sensor Technologies.

As Figuras 3 e 4 resumem a disposição do esquema experimental.

Figura 3. Esquema experimental da UO 404.

Figura 4. Esquema experimental da UO 405.

O balanço hídrico diário foi calculado considerando o ϑ a 2016-05-12 igual à *CC*, pois este dia foi antecedido por eventos de precipitação mais ou menos intensa que totalizaram 151 mm desde o início de maio. De acordo com a metodologia de cálculo do balanço de água no solo, ao armazenamento inicial de água de um dia foi somada a água fornecida pela precipitação e pela rega (iniciada a 2016-06-09 na UO 404 e a 2016-06-06 na UO 405) e subtraída a ET_c. A ET_0 foi determinada com base nos dados meteorológicos recolhidos na Estação Meteorológica Automática (EMA), pertencente ao Ministério da Agricultura, Florestas e Desenvolvimento Rural (MAFDR), localizada junto da UO 404.

As colheitas foram realizadas nos dias 22 e 28 de julho e 1 de agosto na UO 404, e 1 e 9 de agosto na UO 405. Em cada data de colheita contaram-se o número de frutos colhidos por árvore e o respetivo peso total. Adicionalmente, recolheu-se uma amostra de três frutos por árvore para determinação da respetiva dureza e *TSS*.

A dureza da polpa foi medida através do penetrómetro de bancada da marca Penefel em dois pontos diametralmente opostos na linha equatorial de cada fruto, utilizando uma ponteira de 8 mm de diâmetro. Por sua vez, o *TSS* foi determinado com o refratómetro Palette PR 201 (Atago), misturando uma pequena amostra de sumo retirada aproximadamente nos mesmos dois locais usados na determinação da dureza.

O tratamento estatístico das variáveis produtividade, teor de sólidos solúveis e dureza foi feita através de uma análise de variâncias (ANOVA) a um nível de probabilidade de 5%. As médias foram ordenadas através do método de Scheffé.

3. Resultados e Discussão

3.1. Balanço de água no solo

As Figuras 5 e 6 apresentam a evolução do teor de água no solo previsto a partir do balanço diário, considerando o volume de água fornecido pela rega (linhas a cheio), e medido com a sonda Diviner 2000 (linhas a tracejado).

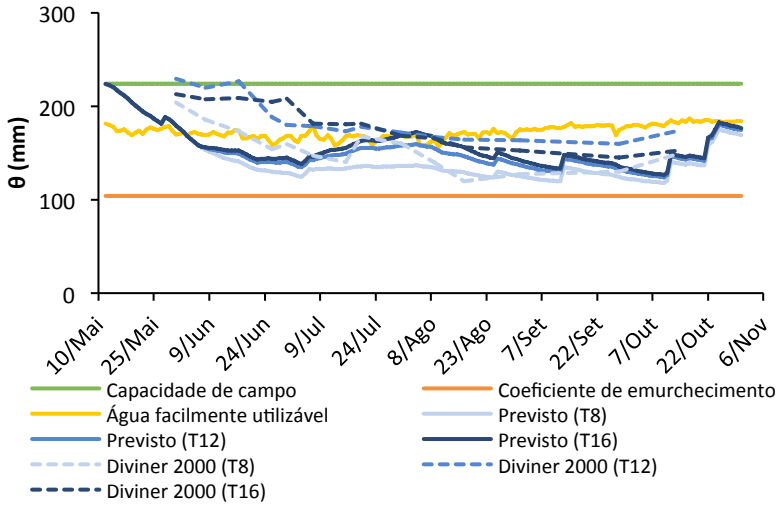


Figura 5. Evolução do ϑ na UO 404.

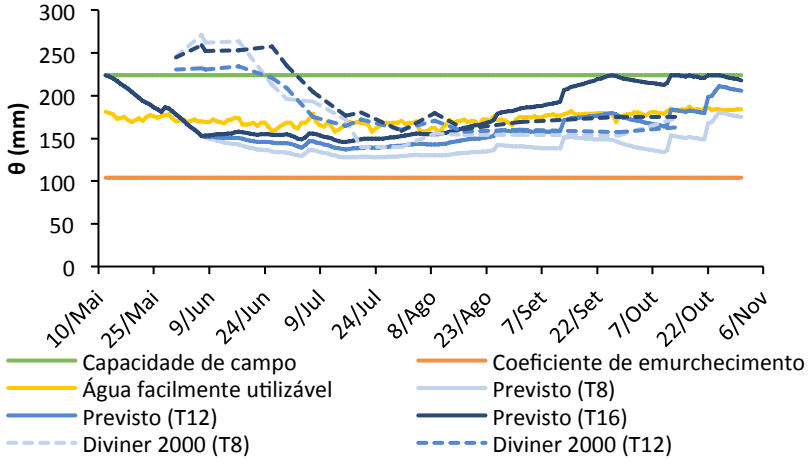


Figura 6. Evolução do ϑ na UO 405.

Na UO 404 verificou-se que o ϑ se encontra abaixo do limite de água facilmente utilizável (*AFU*), desde o final de maio até ao final de agosto, após o que passou a estar acima do limiar de *AFU* apenas no tratamento a que corresponde a dotação de rega mais elevada (T16).

Considerando como critério indicador de início da rega, o momento em que o ϑ atinge o limiar de *AFU*, o início da rega nesta UO verificou-se tardiamente. Por outro lado, sendo o tratamento T12 aquele que mais se aproxima do que é praticado pelo agricultor, o fornecimento de água à cultura foi deficitário, indicando que este poderá ter sido um fator limitante da produtividade da cultura.

As leituras da sonda Diviner 2000 foram inicialmente mais altas e foram-se aproximando do previsto pelo balanço hídrico à medida que a estação avançou, i.e., à medida que a água utilizada pelas plantas e o balanço da água no solo ficaram fundamentalmente dependentes da água fornecida pela rega.

O afastamento inicial entre os valores do ϑ indicados pela sonda e previstos pelo balanço hídrico poderão ser explicados pelo maior ϑ nas proximidades dos tubos de acesso da sonda aos gotejadores, numa fase em que o solo fora do bolbo de rega ainda dispõe de humidade suficiente para fazer face a parte das necessidades da planta.

No que respeita à UO 405, os resultados das medições do ϑ pela sonda Diviner 2000 e os estimados pelo balanço hídrico do solo mostraram um comportamento semelhante ao da UO 405, mantendo-se predominantemente em torno do limite da *AFU* no tratamento T12 (com débitos semelhantes aos praticados pelo agricultor) e ligeiramente abaixo no tratamento T8. No entanto, é de referir que as medições iniciais feitas pela sonda Diviner 2000 foram superiores ao ϑ considerado como *CC*, o que pode ser justificado por duas vias (alternativa ou complementarmente): i) os parâmetros utilizados para a determinação da *CC* não atenderam às condições específicas ao nível do solo, mormente a textura, nas duas UO; ii) a drenagem interna da UO foi deficiente, da qual poderiam resultar algumas condições de solo saturado como consequência das chuvas mais ou menos intensas que ocorreram ainda em maio.

3.2. Rega deficitária

O nível de fornecimento de água em cada uma das modalidades determinou-se pela razão (expressa em percentagem) entre o total de água fornecida às plantas pela rega e pela precipitação natural e o valor da ET_c calculado com base nos registos meteorológicos, desde o início da rega até ao dia da última colheita (Quadro 2).

Em geral, o fornecimento de água foi deficitário em todos os tratamentos nas duas UO, com exceção da modalidade T16 na UO 405. O nível do défice hídrico foi maior na UO 404 do que na UO 405 em

todos os tratamentos e também na rega do agricultor, sendo o tratamento T12 o que mais se aproximou do praticado pelo agricultor em ambas as UO, tal como fora delineado.

Quadro 2. Relação entre a água fornecida à cultura e a ET_c, estabelecida para valores acumulados entre 2016-05-01 e 2016-09-30.

Tratamento	%ETc (UO 404)	%ETc (UO 405)
T8	58%	68%
T12	79%	89%
T16	88%	108%
Agricultor	75%	84%

A análise da evolução dos valores acumulados das entradas (rega e precipitação) e saídas de água (*ET*) mostra que esse défice ocorreu em geral em todas as modalidades e durante todo o período considerado (Figuras 7 e 8). Apenas o tratamento T16 na UO 405 mostrou valores de entrada superiores aos de saída de água, mas tal só ocorreu numa fase final, a partir de outubro, muito para além da época de crescimento e colheita dos frutos.

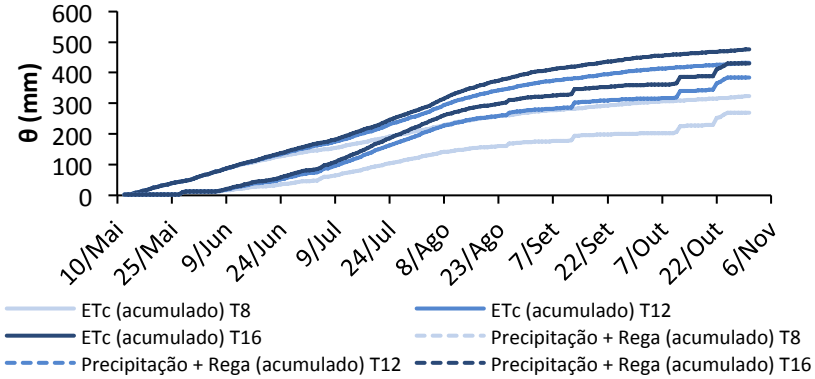


Figura 7. Comparação entre as entradas de água (precipitação e rega) e a principal saída (ET_c), expressas em valores acumulados entre 2016-05-12 e 2016-10-31 na UO 404.

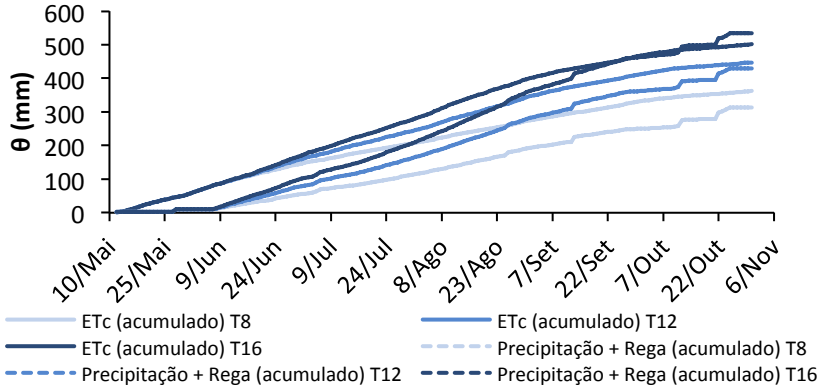


Figura 8. Comparação entre as entradas de água (precipitação e rega) e a principal saída (ET_c), expressas em valores acumulados entre 2016-05-12 e 2016-10-31 na UO 405.

Apesar de existir um défice de rega em ambas as UO, a evolução do volume diário médio de água fornecido às plantas tem um comportamento semelhante ao da ET_c (Figuras 9 e 10). Este comportamento mostra que os agricultores têm empiricamente a noção da oportunidade de regar, embora as dotações de rega em alguns períodos tenham sido insuficientes para suprir as perdas por *ET*. Tal situação foi mais evidente na UO 404 (Soalheira).

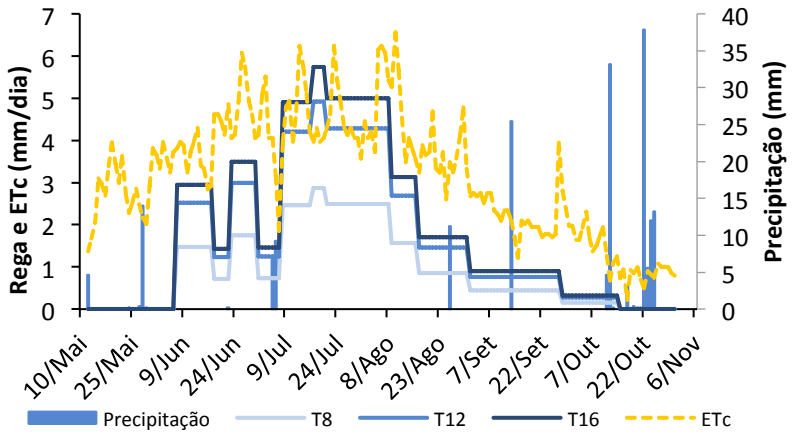


Figura 9. Evolução do volume de água médio diário fornecido pela rega, relativamente à ET_c (UO 404).

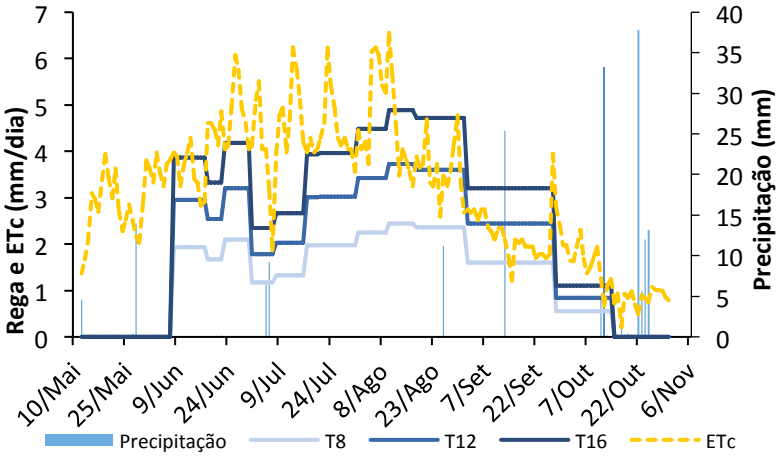


Figura 10 Evolução do volume de água médio diário fornecido pela rega, relativamente à ET_c (UO 405).

3.3. Avaliação da *WUE*

Em ambas as UO a *WUE* foi maior no tratamento T8 e menor no T16 (Figuras 11 e 12), o que está de acordo com Blum (2005), que refere uma maior eficiência associada frequentemente a produções mais baixas.

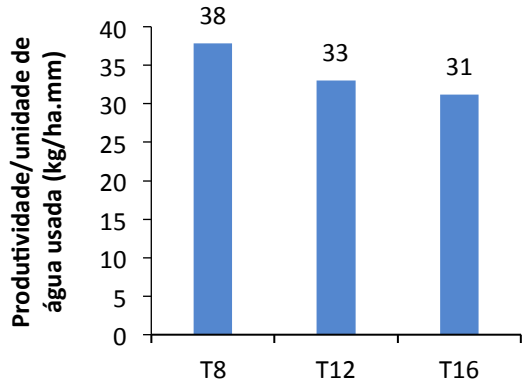


Figura 11. Valores da *WUE* na UO 404.

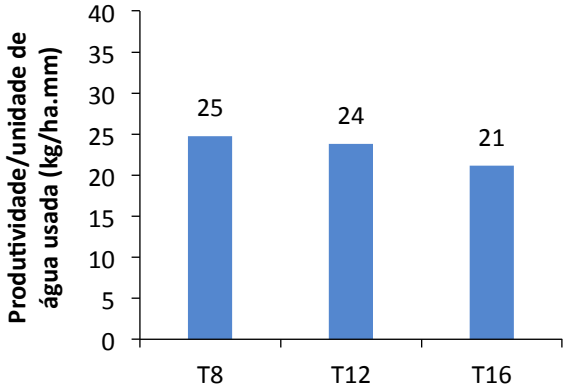


Figura 12. Valores da *WUE* na UO 405.

3.4. Efeitos dos diferentes tratamentos na produção

O tratamento estatístico da produtividade, do teor de sólidos solúveis totais e da dureza da polpa foi realizado através da análise de variâncias (ANOVA) a um nível de significância de 5% (Quadros 3 e 4).

Quadro 3. Valores da produtividade, dureza da polpa e *TSS* nas três modalidades de rega para a UO 404.

Tratamento	Produtividade (t/ha)	Dureza (kgf/0,5 cm^2)	TSS (ºBrix)
T8	23,2	3,8 **a**	13,1 **a**
T12	27,8	3,5 **ab**	12,1 **b**
T16	29,1	3,4 **b**	12,1 **b**
Sig.	0,418	0,034	0,002

Nota: letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas para $\alpha \leq 0,05$.

Quadro 4. Valores da produtividade, dureza da polpa e *TSS* nas três modalidades de rega para a UO 405.

Tratamento	Produtividade (t/ha)	Dureza (kgf/0,5 cm^2)	TSS (ºBrix)
T8	24,1	5,8	15,6 **a**
T12	24,2	5,9	15,5 **ab**
T16	22,2	5,8	14,8 **b**
Sig.	0,686	0,341	0,028

Nota: letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas para $\alpha \leq 0,05$.

Não se verificaram diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos na produtividade em nenhuma das UO. No entanto, a UO 404 apresentou produtividades crescentes com o aumento da água fornecida: de 23,2 t/ha para o tratamento T8 a 29,1 t/ha para o tratamento T16. Considerando 0,45€/kg como o preço médio pago ao agricultor, esta diferença entre produtividades pode traduzir-se num acréscimo de 2655€/ha para o tratamento T16 relativamente ao T8.

A dureza média dos frutos à colheita na UO 404 (entre 3,4 e 3,8 kgf/0,5 cm^2) foi mais baixa do que seria desejável, indicando que as colheitas poderão ter sido tardias. No entanto, como se trata de uma cultivar vocacionada principalmente para indústria, esse valor de dureza mais baixo não é muito relevante. Já na UO 405, a dureza dos frutos, que se encontra entre 5,8 e 5,9 kgf/0,5 cm^2, está dentro do intervalo definido como ótimo por Simões e Ferreira (2016).

Observaram-se diferenças significativas na dureza entre tratamentos na UO 404, diminuindo de 3,8 para 3,4 kgf/0,5 cm^2 com o aumento da água fornecida às plantas. Isto poderá indicar que a maior disponibilidade de água no tratamento T16 levou a uma maior expansão do volume celular, provocando um abrandamento da textura da polpa.

O *TSS* variou entre 12,1 e 13,1 ºBrix na UO 404 e entre 14,8 e 15,6 ºBrix na UO 405. Observaram-se diferenças significativas entre tratamentos no teor de sólidos solúveis em ambas as UO, decrescendo com o aumento da quantidade de água fornecida à cultura. De salientar o valor substancialmente superior do tratamento T8 na UO 404 e o valor substancialmente inferior da T16 na UO 405. O *TSS* pode ser influenciado não só pela disponibilidade de água, mas também pelo estado de maturação dos frutos. Na UO 404, a dureza diminuiu com o aumento da quantidade de água fornecida pelo que os frutos com uma dureza mais baixa eram os que tinham um teor de sólidos solúveis também mais baixo. Assim, o efeito de diluição provocado pelo aumento da incorporação de água nos frutos parece ter sido o fator preponderante na diminuição do *TSS* do tratamento T8 ao T16, o que está de acordo com o que é referido por Simões e Ferreira (2016). É de salientar que, atualmente, um aumento no *TSS* raramente está ligado a um aumento no rendimento do agricultor, ao contrário do que sucede com a produtividade. Por outro lado, embora esse aumento não seja muito importante

em cultivares que naturalmente tenham um *TSS* elevado, pode ser útil em cultivares com valores mais baixos do *TSS*, como é o caso da generalidade dos pêssegos temporãos.

4. Conclusões

A monitorização do ϑ e o seu enquadramento no balanço hídrico são essenciais para uma gestão racional da água disponível, especialmente em regiões onde esse recurso é escasso. O cálculo do balanço de água a partir de dados meteorológicos, para cálculo da *ET* e da quantidade de água fornecida pela rega é um método de custo muito reduzido, facilmente automatizável e relativamente simples de aplicar. Apesar dos resultados obtidos neste estudo configurarem a viabilidade desta metodologia, seria interessante continuar a aprofundar este tipo de estudos sobre a sua exatidão e os limites da sua aplicabilidade.

A água é evidentemente um fator limitante em algumas explorações agrícolas da zona onde se localizam as UO, mas deu-se conta de que as práticas dos agricultores no fornecimento de água de rega seguem de perto a tendência de evolução da *ET*.

O estudo da *WUE,* expressa através da produtividade por unidade de água fornecida pela rega, mostra que o tratamento com menor dotação de rega foi aquele que apresentou uma maior eficiência e que esta decresce com o aumento do fornecimento de água às plantas.

Não se observaram diferenças significativas na produtividade entre tratamentos em nenhuma das UO, embora uma delas tivesse apresentado produtividades crescentes e economicamente importantes com o aumento da água fornecida.

Observaram-se diferenças significativas na dureza da polpa entre tratamentos, mas apenas numa das UO. Nessa UO a dureza da polpa diminuiu com o aumento da água fornecida devido, provavelmente, ao abrandamento da textura dos frutos.

O *TSS* diminuiu com o aumento da água fornecida em ambas as UO, o que está de acordo com outros estudos sobre a mesma temática.

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento assegurado pela entidade PRODER para o desenvolvimento deste estudo, através do Projeto + PÊSSEGO (Projeto PRODER 47142; Medida 41) - Inovação e desenvolvimento da cultura do pessegueiro na região da Beira Interior. Agradecem ainda à Profª. Isabel Ferreira (ISA/Universidade de Lisboa), pelas sugestões na bordagem deste estudo.

Bibliografia

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 2006. FAO irrigation and drainage paper n.º 56. (Acesso em 5 de dezembro de 2016). https://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf.

Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research* 56(11): 1159-1168.

Costa, M., Ortuno, M. F. and Chaves, M. M. 2007. Deficit Irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology* 49(10): 1421-1434.

Duarte, A. C. 2007. A técnica da rega deficitária controlada - opção ante situações de carência de água. *Agroforum* 15(19): 23 - 28.

Duarte, A. C. 2016. A rega da cultura do pessegueiro. In *+Pêssego - Guia prático da produção.* Coord. M. P. Simões, ch. 6, 123-144. Alcobaça: Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional.

Fereres, E. and Soriano, M. A. 2006. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2): 147-159.

Ferreira, M. I. 1996. Evapotranspiração e stress hídrico em cobertos arbóreo-arbustivos numa perspectiva de gestão da água em região mediterrânica. *An. Inst. Sup. Agron.*, 45: 343-385.

Petillo, M. G. 2008. Manejo del riego: uso de instrumentos de medición de agua del suelo y del estado hídrico de los cultivos, presentación de casos de estudio incluso en riego deficitario. Jornadas sobre "Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad", La Antigua (Guatemala), 11 al 14 de agosto de 2008, Red Riegos, CYTED y AECID. (Acesso em 24 de outubro de 2016). http://ceer.isa.utl.pt/cyted/2008/guatemala/cursos/Curso5-MGarcia.

Reddy, P. 2016. *Sustainable intensification of crop production.* Singapore: Springer.

Simões, M. P. and Ferreira, D. 2016. *Qualidade dos frutos.* In *+Pêssego - Guia prático da produção.* Coord. M. P. Simões, ch. 9, 193-214. Alcobaça: Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional.

Valoración sobre la actuación de los agricultores respecto a la contaminación del agua durante la aplicación de fitosanitarios (proyecto europeo TOPPS)

Emilio Gil[1] , Ramón Salcedo[1] , Montse Gallart[1], Javier Campos[1], Jordi Llop[1], Manfred Roettele[2]

[1] Universitat Politècnica de Catalunya, Departmento de Ingenieria Agroalimentaria y Biotecnología, Esteve Terradas 8, Campus del Baix Llobregat D4, 08860 Castelldefels, España. (emilio.gil@upc.edu);

[2] BetterDecisions, Albert-Eisele-Weg 10, d-79400, Kandern, Alemania

Resumen

El proyecto europeo TOPPS, impulsado por el sector privado con el apoyo de las instituciones públicas, pretende hacer llegar toda la información necesaria a los agricultores europeos acerca de los riesgos medioambientales que existen durante los tratamientos fitosanitarios. Con el fin de conocer las necesidades locales en cuanto a formación, durante el invierno de 2015/2016 se desarrolló un cuestionario para aquellos técnicos que trabajan con los agricultores en estos países. Se recogieron un total de 1161 encuestas entre 12 países de la UE. Se preguntó a los técnicos acerca del sector donde trabajaban, su contacto con los agricultores, su opinión técnica sobre que parámetros influían más en la contaminación del entorno y, finalmente, su valoración respecto a la transferencia y formación a agricultores. Para el 51% el riesgo de contaminación era mayor por medio de fuentes difusas (escorrentía, deriva y drenaje durante el tratamiento), y el 47% en fuentes puntuales (cuando el riesgo procede de la explotación). Los encuestados destacaron la importancia de las demostraciones prácticas entre agricultores, así como invertir en equipos, infraestructuras y formación.

Palabras clave: transferencia, medio ambiente, pesticidas, pulverizador, Buenas Prácticas Agrícolas.

Evaluation of the performance of farmers regarding water pollution during pesticides application (European TOPPS project)

Abstract

The European TOPPS project, promoted by the private sector with the support of public institutions, aims to provide all the necessary information to European farmers about the environmental risks during phytosanitary treatments. In order to meet local training needs, during the winter of 2015/2016 a questionnaire was developed for the technicians who work with farmers in these countries. A total of 1161 surveys were collected from 12 EU countries. The technicians were asked about their work sector, their contact with the farmers, their professional opinion about which parameters influenced more in the contamination of the environment and, finally, their valuation with respect to the transference and training to farmers. For 51% the risk of contamination was higher through diffuse sources (runoff, drift and drainage during treatment), and 47% in point sources (when the risk comes from exploitation). Technicians stressed the importance of practical demonstrations among farmers, as well as investing in equipment, infrastructure and training.

Keywords: Transfer, environment, pesticides, sprayer, Best Management Practices.

1. Introducción

Durante los tratamientos fitosanitarias, no todo el volumen utilizado alcanza la vegetación objetivo. La principal pérdida será en forma de deriva atmosférica por la acción del viento, aunque también se producirán otras pérdidas, por ejemplo a través de la escorrentía y la evaporación. Estas pérdidas suponen un riesgo para la salud humana y el medio ambiente, así como una menor eficiencia de las aplicaciones. Estas consecuencias negativas han motivado que los principales fabricantes europeos de productos fitosanitarios, agrupados a través de la ECPA (European Crop Protection Association), impulsen el proyecto TOPPS (Train the Operators to Prevent Pollution from Point Sources), con el apoyo de los organisos públicos. El objetivo es la formación en la optimización de productos y

calibración de equipos durante la aplicación de pesticidas para minimizar el impacto ambiental, especialmente sobre los recursos hídricos. Este proyecto está en marcha desde 2005, y ha dado lugar a la Guía de Buenas Prácticas Fitosanitarias (www.topps-life.org), cuyas recomendaciones se ven ahora reflejadas en varias normativas nacionales y Directivas europeas.

Con el fin de conocer las necesidades locales de cada país en cuanto a formación en esta materia, durante el invierno de 2015/2016 se desarrolló un cuestionario para aquellos técnicos que trabajan con los agricultores. Estas preguntas están enfocadas a saber de dónde proceden estos técnicos, su nivel de contacto con los agricultores, su opinión técnica sobre la influencia medioambiental de varios factores que intervienen en los tratamientos y su visión sobre el estado actual de la formación y transferencia de conocimientos. El presente trabajo expone un resumen global de todas las respuestas.

2. Materiales y Métodos

Se distribuyeron encuestas a 12 países de la Unión Europea. Cada cuestionario se entregó a los técnico en su correspondiente idioma. Se enviaron a través de las asociaciones nacionales de fabricantes de productos fitosanitarios. Los documentos fueron recogidos vía telemática.

El cuestionario tuvo en cuenta la organización a la que pertenecían los interesados (sector público, privado, mixto), la actividad profesional (Investigación, consultoría, educación…) y la intensidad de interacción con los agricultores (semanal, mensual, anual, indirecta). A partir de ahí, los cuestionarios estaban divididos en bloques diferentes de preguntas, que abarcaban su impresión acerca de diferentes factores que aparecen en las aplicaciones y sobre el estado actual de la formación y la transferencia. Cada bloque tenía un número determinado de preguntas, y las respuestas generalmente consistieron en dar puntuaciones entre 1 y 5.

Tabla 1. Países y número de encuestas recogidos en cada uno de ellos.

País	**Nº encuestas**
Bélgica	98
Alemania	119
España	135
Francia	116
Grecia	58
Hungría	75
Italia	63
Holanda	34
Polonia	279
Portugal	51
Rumanía	51
Eslovaquia	82

Se recogieron un total de 1161 encuestas (Tabla 1), de las cuales 135 pertenecían a España y 51 a Portugal. El país donde más encuestas se recogieron fue en Polonia con 279.

El procesado de datos fue coordinado por la Universidad Politécnica de Cataluña (España) y el análisis de los resultados se hizo en BetterDecisions (Alemania).

3. Resultados y Discusión

3.1 Perfil de los encuestados

El 52,0% de los encuestados dijeron trabajar para el sector público, el 40,0% al privado y un 8,0% al mixto. La principal actividad profesional relacionada con el sector agrícola (Figura 1) era la consultoría (32,4%), seguido por empresas de seguimiento (18,3%) y la investigación y el desarrollo (15,7%).

Figura 1. Diagrama con las actividades profesionales de los técnicos.

Respecto a la relación entre los técnicos con los agricultores, el 62,6% afirmaron en contacto de manera regular, es decir, al menos una vez por semana. Un 15,0% dijo que su contacto era al menos de una vez al me y un 15,5% un par de veces al año por lo menos. Sólamente 6,9% restante respondió que no estaba en contacto con los agricultores de manera directa.

3.2 Contaminación

Respecto a la principal fuente de contaminación, principalmente para aguas superficiales, las opiniones estaban muy igualadas acerca de la importancia de las fuentes difusas o puntuales. El 47% pensaba que el riesgo de contaminación era mayor por medio de fuentes difusas, y el 51% por fuentes puntuales. Respecto a este último punto, el 51,2% consideraba que el drenaje era el factor más importante por contaminación difusa, mientras que en el lado opuesto estaba la escorrentía, donde sólo un 15,8% le daba la misma importancia.

La Figura 2 expone la valoración sobre el potencial de reducción del riesgo de contaminación de las aguas superficiales de varios aspectos (escorrentía, deriva, uso del equipo…) cuando se utilizan Buenas Prácticas Fitosanitarias u otras medidas de atenuación.

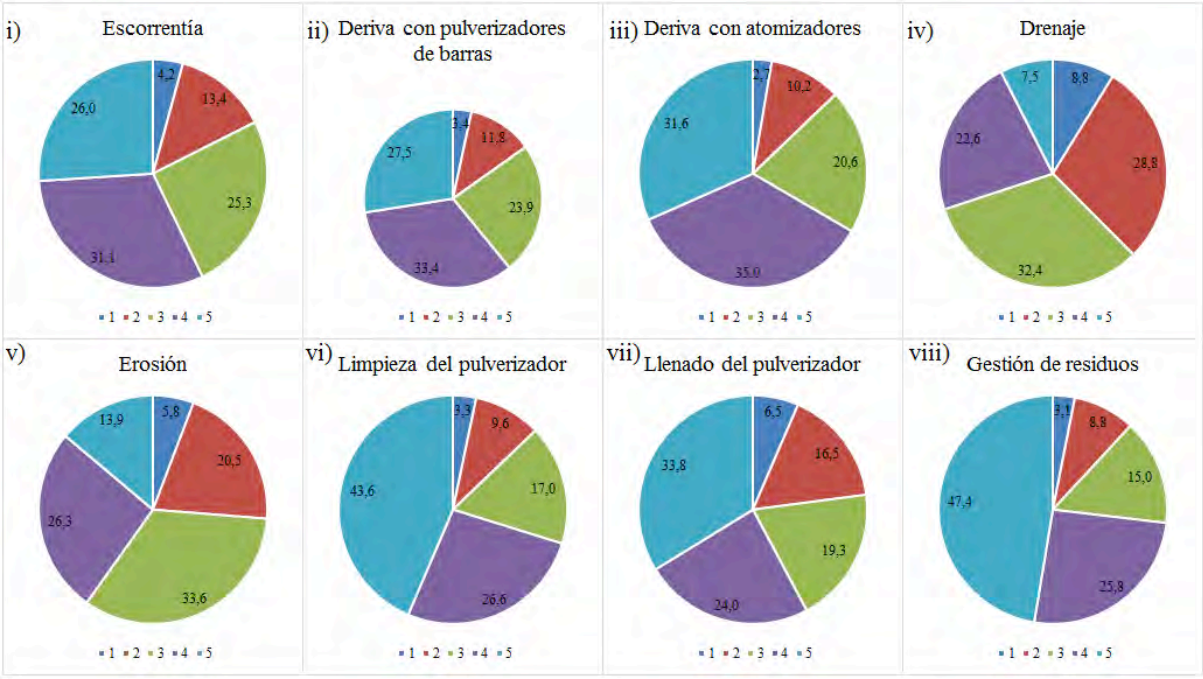


Figura 2. Valoración del potencial de reducción sobre la contaminación de aguas en diferentes aspectos. La puntuación iba de 1 (sin reducción) a 5 (reducción muy elevada).

En cuanto a la escorrentía, un 57,1% consideraba que este tipo de medidas tenían un potencial elevado o muy elevado (Fig. 2i). Esta sensación aumentaba al preguntárseles por la deriva con pulverizadores de barra en cultivos extensivos (60,9%) y por atomizadores en aplicaciones en viñedos y frutales (66,6%) (Fig. 2ii y 2iii). Por otra parte, pese a la importancia dada al drenaje en la contaminación de aguas superficiales, la opinión sobre el impacto de estas medidas en este punto está muy repartido (Fig 2iv). También hay diversidad de valoraciones para la erosión (Fig. 2v). Respecto a los procesos de limpieza y llenado, de nuevo se confiere una importancia grande o muy grande a las Buenas Prácticas, con un 70,2% y un 57,8% respectivamente (Fig. 2vi y vii). Finalmente, para la gestión de los residuos, un 25,8% le daba a las medidas una reducción elevada y un 47,4% muy elevada (Fig. 2 viii).

3.3 Percepción actual y medidas

El 55,4% de los encuestados consideraba que los agricultores no recibían suficiente asesoramiento sobre el ajuste correcto y el uso de los pulverizadores. Un 30,6% pensaba que sí, el 14,0% restante no sabía decidirse. Sin embargo, el 54,0% también decía que la disponibilidad de un asesoramiento de calidad sobre las técnicas de aplicación habían aumentado en los últimos 5 años, frente a un 7,5% que decía que habían disminuido, un 24,5% que se mantenía estable y un 14,0% que no sabía que decir.

El 68,3% pensaba que la importancia de invertir en información, consejo y formación para sensibilizar a los agricultores tenía una importancia alta o muy alta (Fig. 3i). Esa sensación disminuía cuando se les preguntó por la realización de reuniones específicas dirigidas a agricultores y asesores con los responsables de la gestión de las aguas (55,7%) (Fig. 3ii). Menos valoración tenía la publicación de la Buenas Prácticas Fitosanitarias en revistas dirigidas a los agricultores (45,8%) (Fig. 3iii). Más apoyo recibían el fortalecimiento de la difusión de estas medidas en los cursos de aplicación y manipulación de fitosanitarios (Fig. 3iv), las demostraciones y jornadas de campo (Fig. 3v) y las visitas con los agricultores para discutir las zonas de riesgos en su explotación (Fig. 3viii) con un 70,6%, 77,9% y 70,3% respectivamente. Otras opciones bien vistas era presentar los problemas de contaminación en las aguas en las zonas vulnerables y definir planes de medidas (65,2%), definir objetivos a nivel de

cuenca hidrográfica en colaboración con los agricultores (64,9%) y la realización de auditorías sobre las zonas de riesgo junto con los agricultores (59,8%) (Fig. 3vi, 3vii y 3ix).

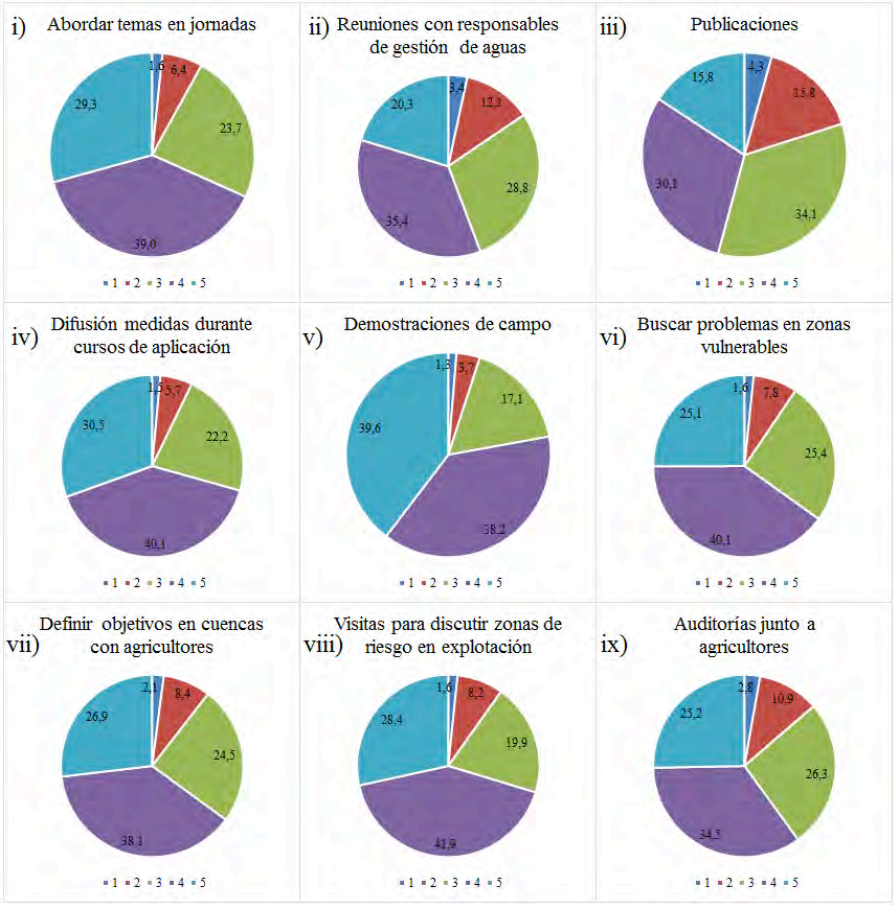


Figura 3. Valoración de diferentes medidas de actuación para la implantación de Buenas Prácticas. La puntuación iba de 1 (sin reducción) a 5 (reducción muy elevada).

4. Conclusiones

El planteamiento de diferentes cuestiones a los técnicos responsables de asesorar a los agricultores, resulta muy útil para saber cómo se están implantando las Buenas Prácticas, y que líneas fijar para seguir con este proceso. Esto muy importante para conseguir una buena concienciación medioambiental de los agricultores durante los tratamientos fitosanitarios, así como una disminución de la contaminación de las aguas superficiales.

Agradecimientos

A todos los miembros TOPPS de cada país por hacer posible estas encuestas (www.topps-life.org para más detalles).

Evaluación del ciclo de vida de un filtro de arena con un diseño de drenaje optimizado

Josep Bové, Joan Pujol, Jaume Puig-Bargués, Gerard Arbat, Miquel Duran-Ros, Francisco Ramírez de Cartagena, F.

Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, Universidad de Girona, josep.bove@udg.edu

Resumen

El riego localizado es la tecnología que permite una mejor eficiencia en el uso del agua. Para prevenir la obturación de los goteros es necesario disponer de un sistema de filtrado. De los distintos tipos de filtros disponibles, los que presentan una mayor eliminación de sólidos son los filtros de arena. El uso de filtros implica un impacto ambiental, debido a su construcción, utilización y desecho. Para mejorar el comportamiento ambiental del filtro se desarrolló un nuevo diseño de drenaje para filtro de arena (modelo de utilidad español U201530629) que reducía la caída de presión en el filtro en un 30% comparándolo con un diseño comercial funcionando en las mismas condiciones. Con este nuevo diseño, se podían seguir dos estrategias para reducir el impacto ambiental del filtro. La primera consistía en mantener el diámetro de un filtro comercial y disminuir la caída de presión. En la segunda alternativa se reducía el diámetro del filtro y el material de construcción, manteniendo la caída de presión. Para comparar las dos alternativas de mejora entre sí y respecto un diseño comercial, se realizó un análisis de ciclo de vida "de la cuna a la tumba" siguiendo el procedimiento establecido en la norma ISO 14044. Los resultados de este análisis demostraron que la mejor alternativa era reducir el material necesario para la construcción del filtro.

Palabras clave: filtración, riego por goteo, costes ambientales

Life cycle evaluation for a sand filter with an optimized underdrain

Abstract

Micro-irrigation is the technology that allows the best water use efficiency. Filtration is necessary to prevent the emitter clogging. Among available filters, sand media filter achieves the highest suspended solids removal. The use of the filter implies an environmental impact due to its construction, utilization and waste. To improve the filter's environmental behavior, a new underdrain design for a sand filter was developed (Spanish utility model U201530629) for reducing the pressure drop by 30% compared with a commercial design. The new design allowed two strategies to improve the filter environmental behavior. The first alternative was to keep the commercial diameter and to reduce the pressure drop. The second alternative was to shorten the filter's diameter for using less material and keep the pressure drop. A life cycle assessment "cradle to the grave" was performed following the method defined by ISO 14044 for comparing the improvement alternatives to each other and to the commercial design. The obtained results showed that the best alternative was to reduce the material for manufacturing the filter.

Keywords: filtration, microirrigation, environmental costs

1. Introducción

La filtración es una operación necesaria en los sistemas de riego por goteo para alargar la vida útil de los goteros y de los laterales de riego, lo que contribuye a incrementar la sostenibilidad ambiental al reducir la frecuencia de renovación de estos componentes de la instalación. El mejor sistema de filtrado, si se deben eliminar cantidades elevadas de sólidos, son los filtros de arena. Sin embargo, este tipo de filtros conllevan una caída de presión importante, que está directamente relacionada con el consumo energético.

Buena parte de la caída de presión se produce en el drenaje del filtro (Arbat et al., 2013; Bové et al., 2015a). Para mejorar el comportamiento hidráulico de los filtros de matriz granular, se ha desarrollado mediante la técnica de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) un nuevo modelo de drenaje formado por un disco relleno de medio granular confinado con una granulometría mayor a la del medio granular que forma la columna filtrante (Bové et al., 2015b). Este nuevo drenaje, registrado como modelo de utilidad español U201530629 (Bové et al., 2015b), reduce un 30% la caída de presión en el conjunto del filtro.

Si bien se verificó experimentalmente la mejora del comportamiento hidráulico del filtro, se planteó cómo se podría reducir el impacto ambiental global del mismo. Para ello, se identificaron dos posibles estrategias de mejora. La primera consistía en mantener la superficie efectiva de filtración y reducir la energía consumida durante la etapa de operación del filtro. En la segunda, se reducía el diámetro y la superficie de filtración; disminuyendo de esta manera las necesidades de material y energía durante la fase de construcción del dispositivo.

2. Materiales y Métodos

2.1. Descripción de las alternativas de diseño

Se consideraron tres diseños de drenaje que operaban con el mismo caudal (3,0 $L \cdot s^{-1}$). La alternativa 0 era un diseño comercial de 500 mm de diámetro interno que tenía, como elemento de drenaje, 12 crepinas insertadas en una platina. Con esta geometría, la velocidad superficial de filtración era de 0,015 $m \cdot s^{-1}$ operando a caudal de diseño. La alternativa 1 conservaba las dimensiones del diseño comercial e introducía el nuevo diseño de drenaje que reemplazaba las crepinas, de manera que la velocidad superficial de filtración se mantenía en 0,015 $m \cdot s^{-1}$ pero se reducía la pérdida de presión en el filtro. En la alternativa 2, el diámetro del cuerpo del filtro se redujo a 400 mm para conseguir una pérdida de presión similar a la alternativa 0. Al tener menor superficie de filtración la velocidad superficial de filtración a caudal de diseño quedó fijada en 0,024 $m \cdot s^{-1}$.

Las tres alternativas se diseñaron en chapa de acero de 3 mm de espesor, con una tubería de entrada y otra de salida de 2 pulgadas, así como con dos tapas de registro, una vertical en la cúspide del filtro y la otra horizontal justo encima del drenaje. Las tapas de registro incorporaban juntas de goma de nitrilo butadieno (NBR) para garantizar la estanqueidad del conjunto.

El drenaje comercial estaba formado por 12 crepinas fabricadas en polietileno de alta densidad con 45 ranuras de 50 mm de largo por 0,45 mm de ancho cada una. El nuevo drenaje se fabricó en polietileno de alta densidad formando un disco de 70 mm de altura y el mismo diámetro del cuerpo del filtro, con 27 aberturas triangulares de 3.000 mm^2 recubiertas con malla de acero inoxidable de 1,25 mm de luz. El interior del disco alojaba un medio granular de 0,85 a 1,50 mm de granulometría. Con esto, se conseguía que el flujo hidráulico fuera mucho más rectilíneo y libre en el nuevo diseño de drenaje.

En la figura 1 se muestran los tres diseños descritos, donde se pueden apreciar los detalles de los drenajes.

Para determinar la caída de presión en los filtros se usó SolidWoks FlowSimulation, programa de dinámica de fluidos computacional (CFD) integrado en el programa de diseño SolidWorks SP5.0 (SolidWorks, 2014). Los medios porosos se modelaron a partir de los resultados de trabajos anteriores (Bové et al., 2015c), que permitieron ajustar los parámetros de la ecuación de Ergun como una función cuadrática. La caída de presión obtenida con las simulaciones permitió determinar el consumo energético al largo de la vida útil de los filtros.

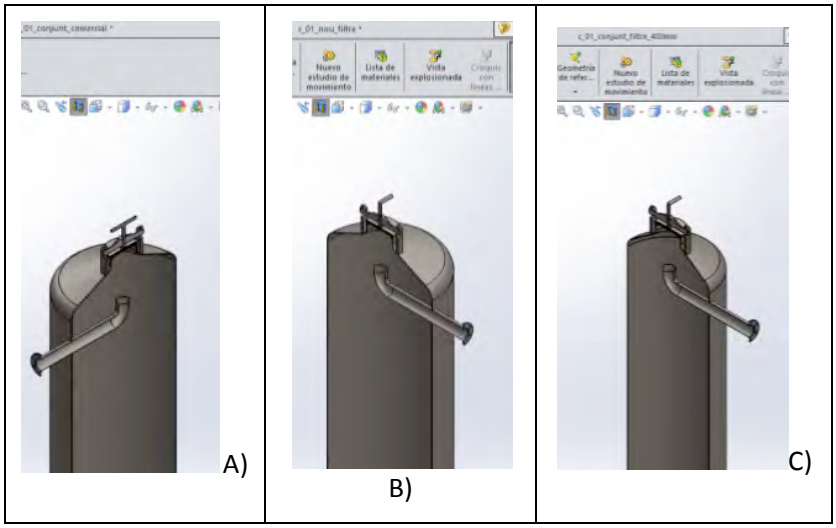


Figura 1. Detalles de las tres alternativas descritas. A) Alternativa 0; B) Alternativa 1; C) Alternativa 2.

2.2. Caudal anual equivalente y energía disipada a lo largo de la vida funcional de los filtros

Para la evaluación ambiental del funcionamiento de los filtros se consideró que estos formaban parte del sistema de riego de una plantación comercial de manzanos ubicada en la comarca del Baix Empordà (Cataluña, España). Los parámetros para la determinación del caudal de riego anual, así como las horas de riego anuales, se muestran en la tabla 1. Utilizando estos datos se determinó el volumen filtrado al final de la vida útil de los filtros.

El consumo energético en los filtros se calculó mediante la expresión:

$$E = \frac{Q \cdot \Delta p \cdot t}{\square} \quad (1)$$

siendo E la energía consumida (MJ); Q el caudal circulante a través del filtro ($m^3 \cdot s^{-1}$); Δp la caída de presión en el filtro (MPa); t el tiempo de funcionamiento al final de la vida útil (s); y η el rendimiento del sistema de bombeo (adimensional) que se fijó en 0,65 (Moreno et al., 2010).

La vida útil del filtro se estableció en 15 años. Con esta cifra y las necesidades de riego se calculó el tiempo de funcionamiento al final del ciclo de vida.

Tabla 1. Datos de la parcela donde se ubica el estudio.

Parámetro	Valor	Observaciones
Superficie	10.200 m²	Superficie media de los cultivos de la zona (IDESCAT, 2015), dividida en dos sectores de riego de 5.100 m² adecuados para las dimensiones del filtro
Datos climáticos	Varios	Histórico de datos de precipitación y evapotranspiración en la estación agroclimática de la Tallada d'Empordà (Ruralcat, 2016). Se considera que un 80% de la precipitación es efectiva
Coeficiente de localización (K1)	0,316	Aljibury et al. (1974)
Coeficiente de cultivo (Kc)	Varios	Kc toma diferentes valores según el estado vegetativo de las plantas (Girona, 2013)
Eficiencia de distribución	0,85	Valor medio según la Agencia Catalana del Agua (ACA, 2016)
Caudal por gotero	2x4 $L \cdot h^{-1} \cdot arbol^{-1}$	Dos emisores de goteo de 4 $L \cdot h^{-1}$ por árbol es la configuración más común en la región de estudio

2.3. Análisis del ciclo de vida de los filtros, definición de objetivos y alcance

La metodología aplicada para comparar las tres alternativas fue la definida por la norma ISO 14040 (2006).

Las fases del ciclo de vida se simplificaron de la siguiente forma: Fabricación > Trasporte > Utilización > Desecho/reciclado. Las fases consideradas definían el ciclo de vida "de la cuna a la tumba". La fabricación incluía todos los procesos necesarios para obtener el filtro a punto para ser usado. Esta fase englobaba los procesos de obtención de material, prensado y mecanización de piezas, ensamblaje y todas las demás operaciones auxiliares. La utilización consideraba la energía consumida durante la vida funcional de los filtros. El desecho/reciclaje incluía los procesos de recuperación de materiales y energía y/o la deposición en vertedero de las partes de los filtros al final de su vida útil. El transporte incluía toda la distancia recorrida, ya fuera desde los centros de producción de piezas a los centros de ensamblaje, como de los centros de ensamblaje a los puntos de utilización así como desde los puntos de utilización a los centros de reciclaje y/o vertederos. Las distintas fases y etapas del ciclo de vida del filtro se muestran en la figura 2.

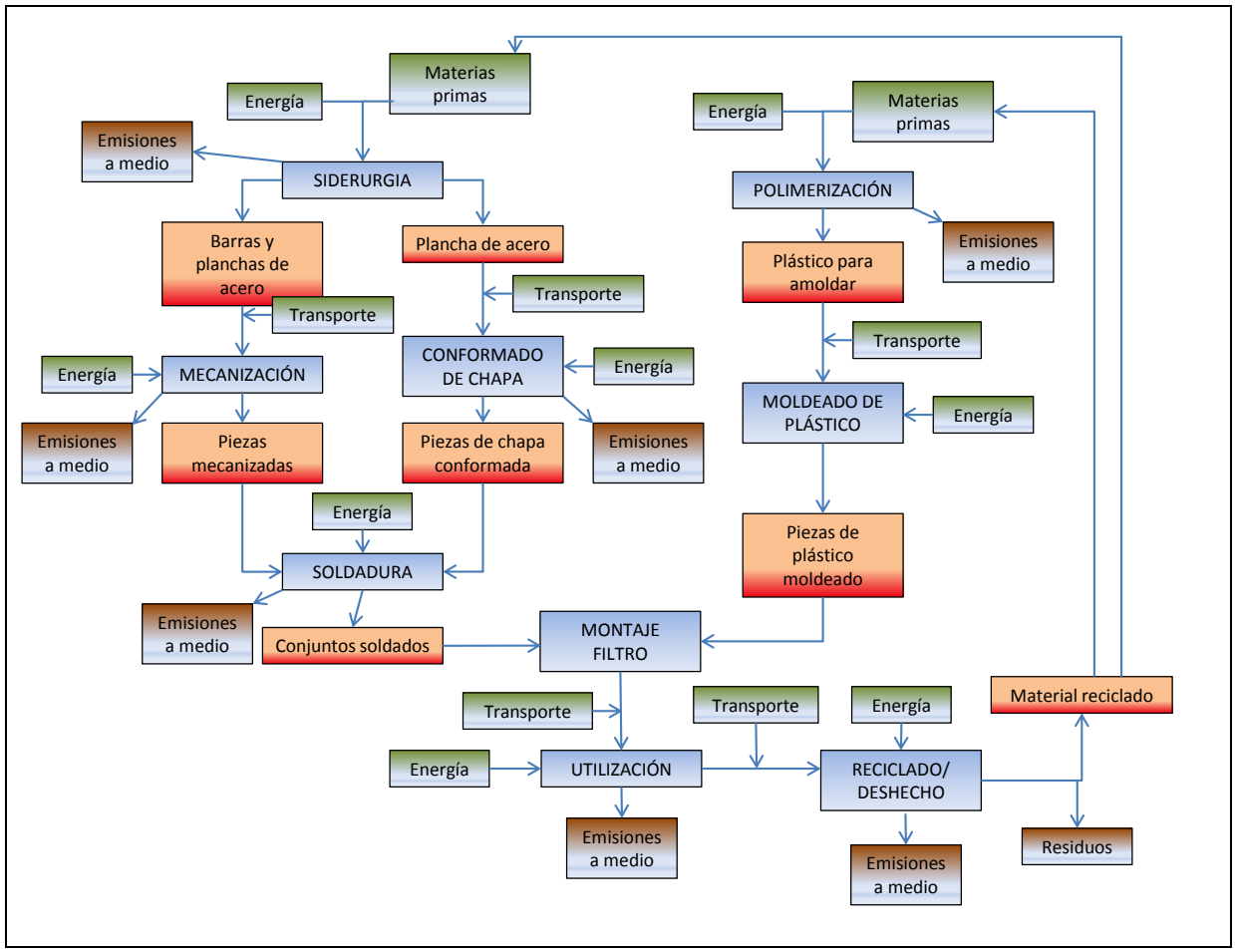


Figura 2. Esquema general del ciclo de vida de los filtros.

2.4. Inventario del ciclo de vida

Las entradas al sistema que se consideraron fueron los materiales y energía, mientras que las salidas fueron las emisiones al medio ambiente.

El material se cuantificó y se aplicaron los rendimientos en los procesos de fabricación y contenido de material reciclado en los formatos de partida así como el destino final de las piezas al final de su

vida útil, tal y como se muestra en la tabla 2. Las emisiones consideradas fueron el potencial de calentamiento global (expresado como kg equivalentes de CO_2), el potencial de acidificación atmosférica (expresado en kg equivalentes de SO_2) y el potencial de eutrofización del agua continental (expresado en kg equivalentes de PO_4).

Los valores de los parámetros descritos se obtuvieron a partir de las dimensiones de las piezas y el proceso de obtención de éstas utilizando el método del Institute of Environmental Sciences de la Universidad Leiden (CML) (Guinée et al., 2002) y la base de datos GaBi asociada a dicho método que se encuentra integrada en el programa de diseño SolidWorks. El método CML incorpora los procesos de obtención de materias primas, transformación, transporte y reciclado/deshecho.

El sumatorio de todas las distancias de transporte por camión incluidas en el ciclo de vida se fijó en 1.000 km. No obstante, en un análisis comparativo la importancia de este parámetro es baja al ser idéntico en todas las alternativas.

Las emisiones durante la fase de utilización se calcularon a partir de la energía consumida durante esta fase, puesto que ésta se puede transformar a emisiones a medio con los siguientes coeficientes multiplicadores: 0,11 kg equivalentes de CO_2·MJ-1, $3{,}90 \cdot 10^{-4}$ kg equivalentes de $SO_2 \cdot MJ^{-1}$ y $3{,}53 \cdot 10^{-11}$ kg equivalentes de $PO_4 \cdot MJ^{-1}$ (EC, 2016).

Por otra parte, el destino de los residuos de los filtros al final de su vida útil se estimó a partir de datos del Eurostat (EC, 2016) que se muestran en la tabla 2.

Para uniformizar y poder sumar las diferentes categorías de impacto, se estimaron sus eco-costes; mediante el precio de mercado, en el caso de la energía y el material; y mediante el coste de impacto en el caso de las emisiones (tabla 3).

Tabla 2. Descripción de los materiales y procesos de fabricación incluidos en el modelo.

	Material		
	Acero	Polietileno	Goma de nitrilo butadieno (NBR)
Contenido en material reciclado	15,0%	0,0%	0,0%
Proceso de fabricación	Estampado/ mecanizado	Modelado	Modelado
Pérdidas en fabricación	10,0%	2,0%	5,0%
Transporte	1.000 km (camión)	1.000 km (camión)	1.000 km (camión)
Fin de vida	99,93% reciclado 0,07% vertedero	92,97% reciclado 7,07% vertedero	100% vertedero

Tabla 3. Precios considerados para el cálculo de los eco-costes.

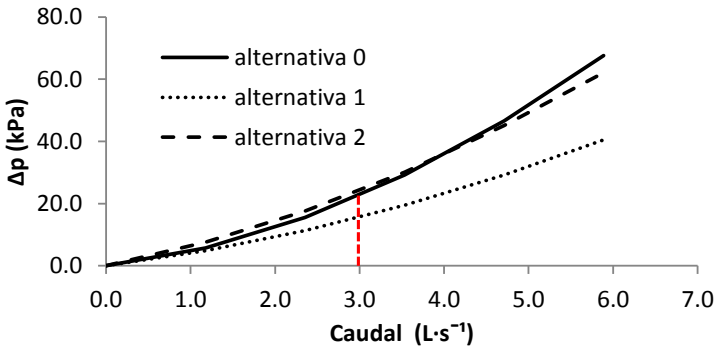
		Precio unitario (€/unidad)
Material	Acero (kg)[1]	0,5300
	Polietileno (kg)[2]	0,6200
	NBR (kg)[3]	1,6200
Energía consumida (MJ)[4]		0,0248
Potencial de calentamiento global (kg CO_2 eq)[5]		0,0250
Potencial de acidificación atmosférica (kg SO_2 eq)[5]		0,6380
Potencial de eutrofización del agua continental (kg PO_4 eq)[5]		1,7800

[1]SteelBenchmarker, 2017; [2]Plasticker, 2017; [3]IRSG, 2017; [4]EUROSTAT, 2016; [5]De Bruyn et al., 2010.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados de la modelización con CFD

La caída de presión en función del caudal en las tres alternativas de diseño se muestra en la figura 3. Los tres filtros presentaban la misma configuración, con una columna de 300 mm de altura de arena silícea de 0,63 a 0,75 mm de granulometría como medio filtrante. Como se puede observar, la alternativa 1 producía un 30% menos de caída de presión en el punto de caudal estudiado.



Alternativa	Caudal ($L\ s^{-1}$)	Velocidad de filtración ($m\ s^{-1}$)	Δp (kPa)
0	3,00	0,015	22,52
1	3,00	0,015	15,82
2	3,00	0,024	24,29

Figura 3. Caída de presión en función del caudal.

3.2. Energía consumida durante la vida funcional de los filtros

De acuerdo con la parcela de riego descrita en la tabla 1, el total de horas de riego anuales se estableció en 264 h. Con este dato, y utilizando la ecuación 1, se calculó (tabla 4) la energía consumida durante la vida útil de los filtros. La alternativa 1 es la que presentó un menor consumo energético pero era necesario evaluar el impacto de las alternativas de manera global.

Tabla 4. Energía consumida durante la vida útil de los filtros.

	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2
Energía consumida (MJ)	1.371,9	963,8	1.479,8

4.3 – Evaluación del impacto del ciclo de vida

La tabla 5 muestra desglosado la cantidad de material usado en cada uno de los diseños analizados.

Tabla 5. Material incorporado en cada uno de los diseños analizados.

	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2
Acero (kg)	75,50	64,50	52,80
Polietileno (kg)	0,74	5,90	4,05
NBR (kg)	0,22	0,47	0,35
TOTAL (kg)	76,4	70,9	57,3

Las alternativas 1 y 2 supusieron una reducción de material de construcción del 7% y el 25%, respectivamente, comparándolas con el diseño original (alternativa 0). Esta menor cantidad de material de construcción no implicó directamente una disminución de las emisiones durante la fase de construcción, ya que, en las dos alternativas de mejora, se empleó más material derivado del

petróleo, que es más difícil de reciclar, lo que implicó un mayor consumo energético y mayores emisiones, como se puede observar para cada fase en la tabla 6.

En la figura 4 se muestran las mejoras respecto al diseño comercial por cada categoría de impacto.

La alternativa 1 fue la mejor en cuanto a potencial de calentamiento global y potencial de acidificación atmosférica, mientras que en el resto de categorías de impacto el mejor comportamiento correspondió a la alternativa 2. Si bien los resultados obtenidos permitieron conocer para cada categoría de impacto cuál era la mejor alternativa, la elección de la alternativa óptima como conjunto de los valores obtenidos en cada caso era totalmente concluyente. Sin embargo, la cuantificación de los impactos ambientales como eco-costes (tabla 7), calculados a partir de los precios indicados en la tabla 3, mostró claramente las diferencias entre alternativas y permitió compararlas globalmente de una forma mucho más comprensible. Así, a alternativa 1 supuso una reducción del 5,38% de los costes ambientales con respecto a la alternativa 0, mientras que la alternativa 2 disminuyó los costes ambientales un 11,05%. Por lo tanto, la mejor alternativa consistió en reducir la cantidad de material utilizado en la construcción de los filtros.

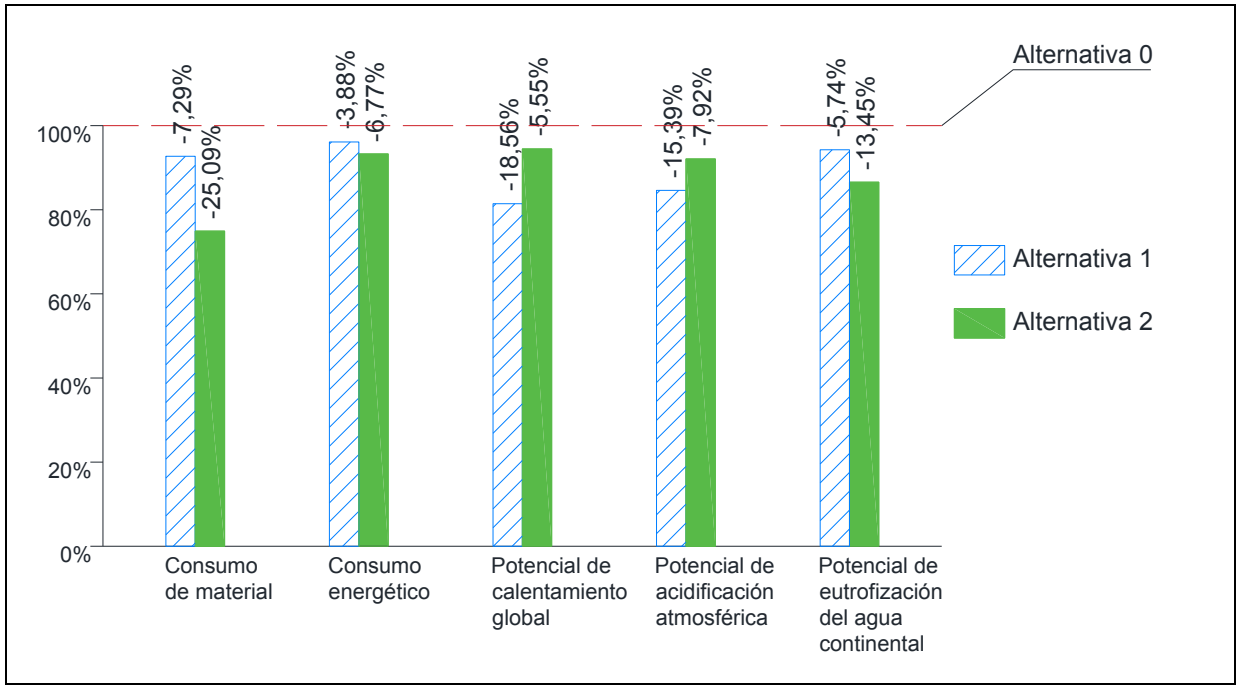


Figura 4. Porcentajes de mejora respecto al diseño comercial por cada categoría de impacto.

También es interesante destacar que al traducir los efectos ambientales a unidades monetarias, se visualizó la importancia relativa de cada efecto ambiental, observándose que la acidificación atmosférica es inferior al 0,50% del coste ambiental total y la eutrofización aún es menor. Aunque no deben infravalorarse ambos efectos, no resultan ser tan relevantes como el consumo energético y del material cuando se comparan las alternativas de diseño propuestas.

Tabla 6. Energía consumida y emisiones en las distintas fases de la vida útil de los filtros.

		Potencial de calentamiento global (kg equivalente CO2)	Energía consumida (MJ)	Potencial de acidificación atmosférica (kg equivalente SO2)	Potencial de eutrofización del agua continental (kg equivalente PO4)
Alternativa 0	Material	172,3	2.343,5	0,4406	$4{,}40 \cdot 10^{-02}$
	Construcción	18,3	329,4	0,0783	$3{,}85 \cdot 10^{-03}$
	Transporte	3,9	57,3	0,0188	$4{,}12 \cdot 10^{-03}$
	Utilización	258,3	1.372,0	0,5420	$2{,}39 \cdot 10^{-05}$
	Reciclado/desecho	19,4	264,0	0,1209	$1{,}58 \cdot 10^{-02}$
	TOTAL	*472,8*	*4.251,7*	*1,20*	*0,0679*
Alternativa 1	Material	159,6	2.442,9	0,4031	$4{,}01 \cdot 10^{-02}$
	Construcción	21,7	400,0	0,1078	$4{,}72 \cdot 10^{-03}$
	Transporte	3,6	53,6	0,0177	$3{,}81 \cdot 10^{-03}$
	Utilización	181,5	963,8	0,3810	$1{,}68 \cdot 10^{-05}$
	Reciclado/desecho	17,9	222,6	0,1059	$1{,}51 \cdot 10^{-02}$
	TOTAL	*385,1*	*4.086,5*	*1,02*	*0,0640*
Alternativa 2	Material	132,4	1929,3	0,3345	$3{,}34 \cdot 10^{-02}$
	Construcción	17,2	319,3	0,0837	$3{,}70 \cdot 10^{-03}$
	Transporte	3,0	44,6	0,0146	$3{,}11 \cdot 10^{-03}$
	Utilización	278,7	1.479,8	0,5840	$2{,}58 \cdot 10^{-05}$
	Reciclado/desecho	12,9	174,1	0,0809	$1{,}09 \cdot 10^{-02}$
	TOTAL	*446,6*	*3.963,9*	*1,11*	*0,0587*

Tabla 7. Resultados del cálculo del coste ambiental asociada a cada alternativa.

	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2
Consumo de material (€)	40,74	38,50	31,01
Consumo energético (€)	105,44	101,35	98,31
Potencial de calentamiento global (€)	11,82	9,63	11,16
Potencial de acidificación atmosférica (€)	0,77	0,65	0,71
Potencial de eutrofización del agua continental (€)	0,12	0,11	0,10
TOTAL (€)	158,96	150,40	141,40

4. Conclusiones

Se identificaron dos posibles estrategias para reducir el impacto ambiental de un nuevo modelo de filtro de arena para instalaciones de riego por goteo. La primera posibilidad era reducir la energía que consumía el filtro durante su operación, mientras que la segunda era disminuir la cantidad de material utilizado en la construcción del filtro, reduciendo la energía consumida y las emisiones en la fase de fabricación. El análisis de ciclo de vida determinó que reducir la cantidad de material en la construcción de los filtros era ambientalmente mejor que disminuir el consumo energético de éstos durante su vida funcional. Concretamente, la segunda alternativa redujo un 11,05% los costes ambientales respecto a un filtro comercial, mientras que la primera alternativa sólo los rebajó un 5,38%. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede afirmar que reducir material de

construcción y explorar la introducción de materiales ambientalmente más sostenibles es una estrategia muy útil para reducir el impacto sobre el medio ambiente no solamente de los filtros, sino también del resto de componentes de las instalaciones de riego localizado.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Ministerio de Economía y Competitividad la concesión de la ayuda para la realización del proyecto de investigación con referencia AGL2015-63750-R.

Bibliografía

ACA, Agencia Catalana del Agua, 2016. Eficiencia en el riego agrícola. http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P14000266812366183034 83&profileLocale=es . Fecha de consulta: 2 de febrero de 2017.

Aljibury, F.K., A.W. Marsh and J. Huntamerj, J., 1974. Water use with drip irrigation. En *Proc 2nd International Drip Irrigation Congress*, California, USA. 341-345.

Arbat, G., T. Pujol, T., J. Puig-Bargués, M. Duran-Ros, L. Montoro, J. Barragán and F. Ramírez de Cartagena, 2013. An experimental and analytical study to analyze hydraulic behavior of nozzle-type underdrains in porous media filters. *Agricultural Water Management*. 126, 64-74. http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.05.004.

Bové, J., G. Arbat, T. Pujol, M. Duran-Ros, F. Ramírez de Cartagena, J. Velayos and J., Puig-Bargués, 2015a. Reducing energy requirements for sand filtration in microirrigation: Improving the underdrain and packing. *Biosystems Engineering*. 140, 67-78. http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.09.008.

Bové, J., G. Arbat, J. Puig-Bargués, T. Pujol, M. Duran-Ros, F. Ramírez de Cartagena and J. Pujol, 2015b. Filtro de matriz granular. Modelo de utilidad U201530629. Madrid: Oficina Española de Patentes y Marcas.

Bové, J., G. Arbat, M. Duran-Ros, T. Pujol, J. Velayos, F. Ramírez de Cartagena and J. Puig-Bargués, 2015c. Pressure drop across sand and recycled glass media used in micro irrigation filters. *Biosystems Engineering*. 137, 55–63. http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.07.009.

De Bruyn, S., Korteland, M., Markowska, A., Davidson, M., de Jong, F., Bles, M., Sevenster, M., 2010. *Shadow prices handbook: valuation and weighting of emissions and environmental impacts*. CE Delft, Delft.

European Commission (EC), 2016. EPLCA - European reference Life-Cycle Database. http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/ . Fecha de consulta: 5 de febrero de 20176.

Eurostat, 2016. Eurostat Database. http://ec.europa.eu/eurostat/data/database . Fecha de consulta: 27 de febrero de 2017.

Girona, J., 2013. Fitxes de cultiu: pomera. Dossier Tècnic nº61, requeriments hídrics dels cultius llenyosos (I). Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. https://www.ruralcat.net/c/document_library/get_file?uuid=67c4ff0b-ff40-4c41-ba9f-00cb40d20408&groupId=10136 . Fecha de consulta: 8 de febrero de 2016

Guinée, J.B., M. Gorrée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. van Oers, A. Wegener Sleeswijk, S. Suh; H.A., Udo de Haes, H. de Bruijn, R. van Duin and M.A.J. Huijbregts, 2002. *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards*. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 692 p.

IDESCAT (Institut d'Estadística de Catalunya), 2015. Censo agrario. Año 2009. http://www.idescat.cat/pub/?id=censag Fecha de consulta: 8 de febrero de 2016.

IRSG, 2017. Statistical summary on world rubber situation. http://www.rubberstudy.com/documents/WebSiteData_Feb2017New.pdf. Fecha de consulta: 3 de marzo de 2017.

ISO 14040, 2006. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and framework: International Standard 14040. International Standards Organisation, Geneva.

Moreno, M.A., Ortega, J. F., Córcoles, J. I., Martínez, A., Tarjuelo, J. M., 2010. Energy analysis of irrigation delivery systems: monitoring and evaluation of proposed measures for improving energy efficiency. *Irrig. Sci*. 28 (5), 445-460.

Plasticker, 2017. Real time price list. http://plasticker.de/preise/pms_en.php. Fecha de consulta: 3 de marzo de 2017.

Ruralcat, 2016. Datos agrometeorológicos. https://www.ruralcat.net/web/guest/agrometeo.estacions Fecha de consulta: 10 de febrero de 2016.

SolidWorks, 2014. Advanced boundary cartesian meshing technology in SolidWorks Flow Simulation. SolidWorks CORP. http://www.goengineer.com/wp-content/uploads/2014/04/Enhanced-Boundary-Cartesian-Meshing-Technology-in-SolidWorks-Flow-Simulation.pdf . Fecha de consulta: 28 de febrero de 2016.

SteelBenchmarker, 2017. Steel price history. http://steelbenchmarker.com/files/history.pdf Fecha de consulta: 8 de marzo de 2017.

Diseño de un nuevo drenaje para producir menor pérdida de carga en filtros de arena para instalaciones de riego localizado

Josep Bové[1], Gerard Arbat[1], Jaume Puig-Bargués[1], Miquel Duran-Ros[1], Toni Pujol[2], Joan Pujol[1], Francisco Ramírez de Cartagena[1]

[1] Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, Universidad de Girona, C. de M. A. Capmany 61, 17003 Girona, gerard.arbat@udg.edu

[2] Departamento de Ingeniería Mecánica y de la Construcción Industrial, Universidad de Girona, C. de M. A. Capmany 61, 17003 Girona, toni.pujol@udg.edu

Resumen

Los filtros de arena son considerados los más efectivos para proteger los emisores de los sistemas de riego localizado, especialmente cuando se usan aguas de mayor potencial de obturación. Sin embargo, este tipo de filtros requiere presiones elevadas, sobre todo durante el contralavado, por lo que contribuyen en gran medida al consumo energético de estas instalaciones. Estudios previos han mostrado que los componentes auxiliares de los filtros de arena causan una parte importante de la caída de presión, localizada principalmente en el elemento del drenaje.

El principal objetivo de este trabajo fue diseñar un nuevo elemento de drenaje que permitiera reducir la caída de presión en un filtro de arena. El modelo propuesto presenta un paso más ancho a su salida y modifica la curvatura del flujo por encima del drenaje. Este diseño fue ensayado en condiciones de filtrado y contralavado, con y sin medio filtrante, utilizando un filtro de laboratorio que fue construido a escala de un filtro comercial.

Los resultados mostraron que en condiciones de contralavado el nuevo drenaje redujo la caída de presión en un 50% respecto al filtro comercial escalado de referencia. Se empleó un modelo de dinámica de fluidos computacional (CFD) para estudiar con mayor detalle aquellas zonas donde el drenaje conseguía una mayor reducción de la caída de presión. El modelo permitió analizar como el nuevo drenaje modificaba el perfil de presión a lo largo del lecho filtrante, que se aproximó a la caída de presión mínima teórica calculada con la ecuación de Ergun.

Palabras clave: modelación, CFD, filtración, riego localizado, energía

Design of a new drainage for producing less pressure drop in microirrigation sand filters

Abstract

Sand filters are considered the most effective to protect emitters in microirrigation systems, especially when waters with high clogging risks are used. However, this type of filters requires high pressures, especially during backwashing, so they notably contribute to the energy consumption of the installation. Previous studies have shown that the auxiliary elements of the sand filters cause an important part of the total pressure drop, mainly located in the drainage element.

The main objective of this work was to design a new drainage element that would reduce the pressure drop in a sand filter. The new proposed drainage presents a wider passage at its outlet and modifies the curvature of the flow above the drainage. This design was tested under filtration and backwashing conditions, with and without filter media using a laboratory filter that was scaled from a commercial filter.

The results showed that under backwashing conditions the new drainage reduced the pressure drop by 50% with respect to the scaled commercial reference filter. A computational fluid dynamics (CFD) model was used to study in greater detail those areas where the drainage caused the major reduction of the pressure drop. The model allows analysing how the new drainage modified the pressure profile along the filter bed, which approached the minimal pressure drop computed with the Ergun equation.

Keywords: modelling, CFD, filtration, drip irrigation, energy

1. Introducción

En muchos países la adopción de métodos de riego presurizado, tales como aspersión y riego localizado ha conducido a una reducción en el uso del agua de riego. En el caso particular de España, entre 1990 y 2007, esta disminución fue del 15 %; sin embargo, el consumo de energía en los regadíos durante el mismo periodo aumentó en un 69% (Corominas, 2010). En este sentido, antes de adoptar un determinado sistema de riego deben considerarse tanto el consumo agua como la eficiencia energética (Tarjuelo et al., 2015).

Las necesidades de presión en los sistemas de riego localizado suelen estar determinadas por los requerimientos de presión del filtro, que pueden ser entre un 50% y un 100% superiores a los de los emisores (Burt, 2010). Teniendo en cuenta la necesidad de una filtración apropiada para prevenir la obstrucción de los goteros, los filtros de arena son considerados la mejor opción en el caso de regar con aguas de alto potencial de obturación (Trooien y Hills, 2007), ya que logran una mejor eliminación de sólidos (Duran-Ros et al., 2009) y un menor atascamiento de los emisores (Capra y Scicolone, 2007).

Los filtros de arena provocan una caída de presión que se localiza principalmente en el medio de filtración y los elementos auxiliares (Mesquita et al., 2012). Utilizando la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), Arbat et al. (2011) determinaron que la pérdida de carga a través del drenaje se debía al incremento de la velocidad del flujo al cruzar este elemento auxiliar, así como a la mayor curvatura de las líneas de flujo dentro del medio de filtración cercano al drenaje. Bové et al. (2015c) identificaron distintas propuestas para reducir la pérdida de carga en el drenaje del filtro basadas en aumentar la sección a la salida de drenaje para reducir la velocidad de flujo a través de este elemento y, de este modo, reducir la caída de presión. Por otra parte, propusieron que el medio granular en la zona más próxima al drenaje fuera de mayor tamaño y, por lo tanto, con una conductividad hidráulica superior a la de la columna de filtración. Además, el recubrimiento del drenaje con partículas de mayor tamaño permitió ensanchar las ranuras de drenaje reduciendo la pérdida de presión. Todas las mejoras mencionadas fueron la base del modelo de utilidad español U201530629 (Bové et al., 2015b).

Los filtros de arena exigen un lavado periódico para evitar la colmatación del medio filtrante. Esta limpieza se lleva a cabo mediante el contralavado, que permite que el medio de filtración se expanda eliminando las partículas atrapadas. Burt (2010) señaló que un contralavado uniforme proporciona una mejor limpieza del medio filtrante y eventualmente ahorra agua y energía, permitiendo llevarse a cabo a presiones menores y bombear menos agua. En general, el contralavado se realiza cuando se alcanza una diferencia de presión preestablecida entre la entrada y salida del filtro, pero también se ha comprobado que el contralavado diario es una buena práctica para prevenir el atascamiento de los emisores (Enciso-Medina et al., 2011). Aunque se ha estudiado el efecto de la frecuencia de contralavado sobre las características del agua de riego (Elbana et al., 2012), existen muy pocas recomendaciones para mejorar el diseño y el rendimiento de los filtros de arena.

El objetivo principal de este trabajo fue diseñar, construir y probar un nuevo drenaje para un filtro de arena para riego localizado con la finalidad de disminuir la pérdida de carga y, por lo tanto, reducir la necesidad de presión, aumentando así el rendimiento energético del filtro.

2. Metodología

2.1. Descripción del nuevo drenaje y procedimiento experimental

Siguiendo las directrices sugeridas por Bové et al. (2015c), se diseñó y construyó un nuevo drenaje (Figura 1) que se montó en un filtro de arena a escala, típicamente utilizado en sistemas de riego localizado (Arbat et al., 2013). El nuevo drenaje, estaba formado en su parte inferior por un prisma rectangular situado dentro de un cuerpo cilíndrico. El prisma rectangular tenía 37 mm de altura y 68

mm de lado con 8 oberturas laterales y 4 oberturas superiores de 550 mm^2 de área cada una. Las ranuras se encontraban recubiertas por una malla metálica con un paso de 0,75 mm (Figura 1). El cilindro que formaba el drenaje se rellenó con vidrio triturado reciclado previamente tamizado de un rango de tamaños de partícula entre 0,85 y 1,50 mm. Para rellenar el resto del filtro se utilizó arena de sílice tamizada a un tamaño de grano de 0,63-0,75 mm. Las características de los medios utilizados en el experimento se detallan en la Tabla 1.

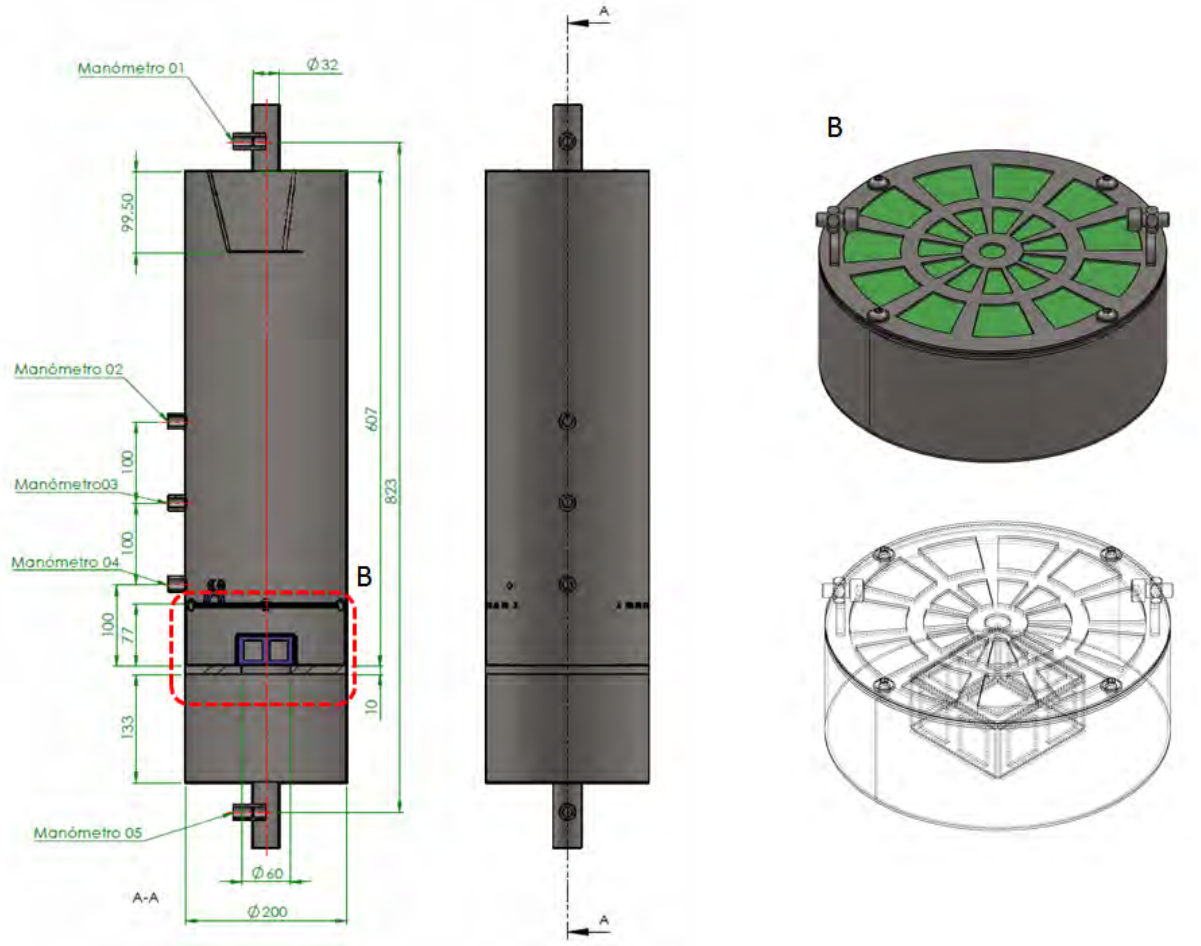


Figura 1. Filtro escalado con el nuevo diseño de drenaje y su vista ampliada (B), dimensiones en mm

El dispositivo experimental estaba formado por una válvula de compuerta para ajustar el flujo; dos válvulas de bola, situadas a la entrada y salida del filtro respectivamente, para regular la presión de funcionamiento y un filtro de malla de 130 µm para comprobar si se perdieron partículas del medio filtrante durante los ensayos. Una descripción detallada del dispositivo experimental y procedimiento pueden encontrarse en Bové et al. (2017).

Se llevaron a cabo diferentes ensayos en régimen de filtración y de contralavado, con y sin lecho de arena. Cada prueba se repitió tres veces. En cada repetición se determinó la caída de presión en distintas posiciones del filtro (Figura 1), a 12 velocidades superficiales diferentes entre 0,003 ms^{-1} y 0,030 ms^{-1}. De esta manera se obtuvieron un total de 144 puntos experimentales.

La pérdida de carga a través de todo el filtro se calculó como la diferencia de la presión medida por el manómetro 1 y 5 (Figura 1) en régimen de filtración y entre los manómetros 5 y 1 en régimen de contralavado.

Tabla 1. Características físicas de los medios porosos utilizados en el filtro

Material	Vidrio triturado reciclado	Arena silícica
Tamaño del grano (mm)	0.85-1.50	0.63-0.75
Diámetro equivalente (mm)	1.32	0.71
Densidad real (kg m^{-3})	2 420	2 410
Densidad aparente (kg m^{-3})	1 385	1 490
Porosidad (adimensional)	0.43	0.42
Esfericidad (adimensional)	0.62	0.89
Localización	Drenaje	Medio filtrante

2.2. Aplicación del modelo CFD al estudio hidráulico del nuevo drenaje

Para analizar el comportamiento hidráulico del drenaje se generó un modelo CFD utilizando el software ANSYS-Icem (ANSYS, Canonsburg, PA, EE.UU.). La simetría axial del filtro permitió que la malla generada representara solamente una cuarta parte del filtro (Figura 2), de manera que el número de elementos a calcular se redujo a un 25% del total, con lo que la velocidad de las simulaciones fue mucho mayor sin perder información. La malla utilizada en las simulaciones estaba formada por 1.391.082 elementos, las aberturas internas de drenaje fueron discretizadas en celdas de una longitud máxima de 0,50 mm. El resto del dominio del drenaje se discretizó utilizando celdas de una longitud máxima de 1,00 mm, excepto el área más ancha del cuerpo del filtro, que se discretizó con celdas de longitud máxima de 5,00 mm (Figura 2).

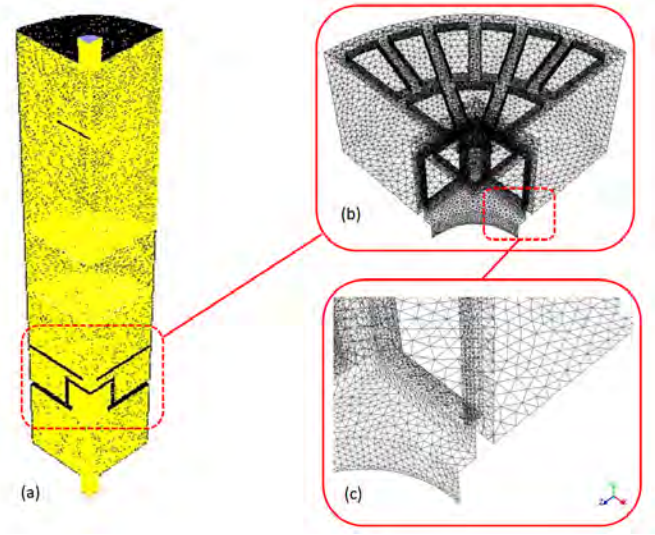


Figura 2. Dominio simulado (formado por un cuarto de la sección total del filtro (a), y mallado del elemento de drenaje (b y c)

Se simularon dos condiciones de funcionamiento diferentes del filtro para comparar el rendimiento hidráulico del nuevo diseño de drenaje respecto al comercial de referencia. La primera situación fue bajo régimen de filtración sin medio filtrante y la segunda bajo régimen de filtración con un lecho de 300 mm de altura de arena de sílice (Figura 1). La operación de contralavado no fue simulada debido a que la expansión del lecho no pudo ser modelada con exactitud con el modelo desarrollado.

3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis experimental del nuevo drenaje

La pérdida de presión producida por el nuevo drenaje se comparó con datos publicados por diferentes autores en régimen de filtración (a) y contralavado (b) (Figura 3)

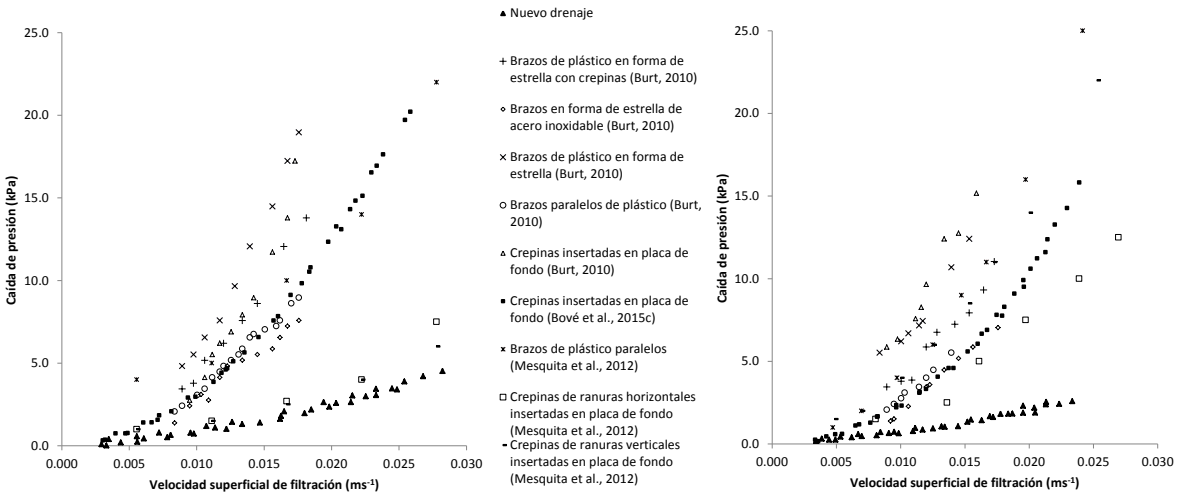


Figura 3. Caída de presión producida por el filtro sin medio filtrante a distintas velocidades superficiales, en condiciones de (a) filtración y (b) contralavado, para el nuevo y para otros (Bové et al., 2015b; Burt, 2010; Mesquita et al., 2012) tipos de drenajes

El nuevo drenaje desarrollado redujo la caída de presión a través del filtro sin el lecho de filtración en comparación con todos los otros drenajes estudiados previamente (Bové et al., 2015b, Burt, 2010, Mesquita et al., 2012). Comparado con el drenaje comercial ensayado con el mismo filtro escalado (Bové et al., 2015b), la caída de presión del nuevo diseño en régimen de filtración se redujo en un 50% para velocidades superficiales bajas (<0,01 m s^{-1}) y en más del 80% para las velocidades superficiales altas (> 0,02 m s^{-1}). El mismo orden de reducción de la pérdida de presión se observó en el contralavado.

Cuando se añadió un lecho de 300 mm de altura formado por arena de sílice de un tamaño de grano entre 0,63 y 0,75 mm, la pérdida de presión del nuevo drenaje también fue inferior a la determinada con el drenaje del filtro comercial (Bové et al., 2015b) en régimen de filtración (Figura 4a). Las reducciones de caída de presión fueron del 20% para las velocidades superficiales más bajas (<0,01 m s^{-1}) y del 45% para las velocidades más altas (> 0,02 m s^{-1}). Estas reducciones fueron menores que las observadas cuando no había lecho granular (Figura 2). En régimen de contralavado (Figura 4b), las reducciones de la caída de presión fueron casi idénticas a la observadas sin lecho de filtración (Figura 3): 50% y 80% en los intervalos bajos y altos de velocidades superficiales, respectivamente.

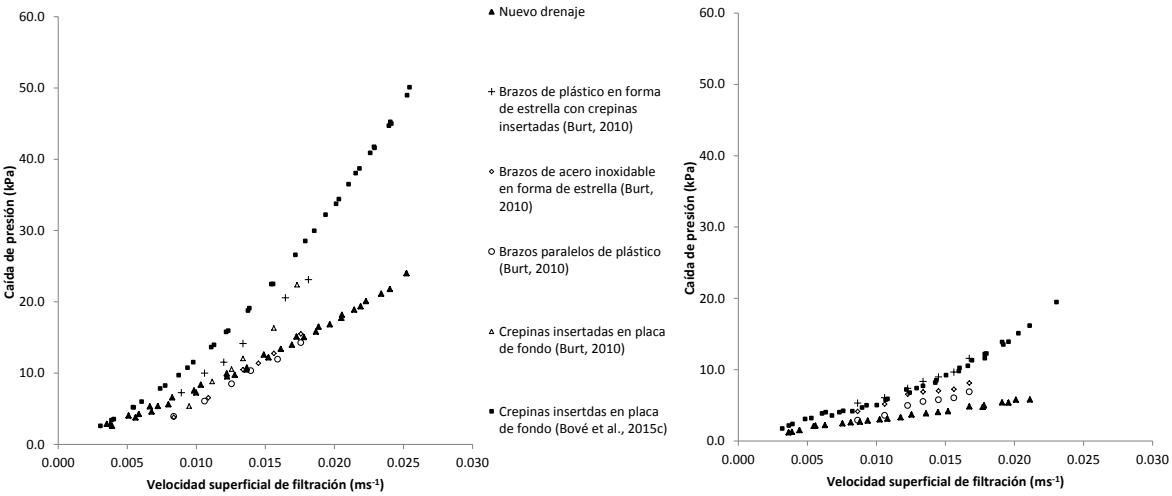


Figura 4. Caída de presión producida por el filtro con medio filtrante a distintas velocidades superficiales, en condiciones de (a) filtración y (b) contralavado, para el nuevo y para otros (Bové et al., 2015c; Burt, 2010; Mesquita et al., 2012) tipos de drenajes

3.2. Evaluación del nuevo drenaje utilizando CFD

La Tabla 2 muestra los valores de los coeficientes de eficiencia de Nash-Sutcliffe, NSE (Nash y Sutcliffe, 1970), y la raíz del error cuadrático medio (RMSE), comparando los datos experimentales y los resultados del modelo CFD para el filtro comercial y para el nuevo drenaje. En todos los casos los valores de NSE fueron superiores a 0,9, y por lo tanto puede concluirse que la capacidad predictiva del modelo fue muy buena según el criterio establecido por Ritter y Muñoz-Carpena (2013). Por otro lado, el RMSE fue menor que los valores obtenidos por Bové et al. (2015a) utilizando diferentes ecuaciones para determinar la pérdida de presión de los medios, lo que muestra que las predicciones del modelo CFD mejoraron las realizadas por otros métodos disponibles para predecir la pérdida de carga del filtro de arena.

Tabla 2. Coeficientes de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NES) y Raíz del error cuadrado Medio (RMSE) para datos experimentales y simulados en régimen de filtración para los diferentes escenarios considerados

	NES (adimensional)		**RMSE (kPa)**	
Escenario	Drenaje comercial**	Nuevo drenaje	Drenaje comercial**	Nuevo drenaje
Sin medio filtrante	0.993	0.963	0.49	0.38
Con medio filtrante*	0.998	0.997	0.71	0.32

* *Medio filtrante de arena silícica de 0.63-0.75mm con una altura de 300 mm.* ** Bové et al., 2015a

A partir de los resultados del CFD se representa el perfil de presión a través del filtro para el drenaje comercial, su mejora teórica estudiada por Bové et al. (2015c) y la producida por el nuevo drenaje (Figura 5). Los resultados corresponden al régimen de filtración con una altura de lecho de 300 mm y un flujo de 0,50 L s^{-1} (correspondiente a una velocidad superficial de 0,016 ms^{-1}). Se destaca que el nuevo diseño incluso mejora la caída de presión del modelo propuesto por Bové et al. (2015b). La caída de presión se redujo en 9,81 kPa con el nuevo drenaje, lo que significa un 42% menos de caída de presión con respecto al drenaje comercial. Esta reducción llegó hasta el 80% cuando no se utilizó lecho granular (datos no mostrados). La reducción de la pérdida de carga total del filtro con el nuevo drenaje se debió principalmente a la disminución de la velocidad del fluido a través del paso entre el medio de filtración y el colector situado en la parte inferior del filtro (Figura 5).

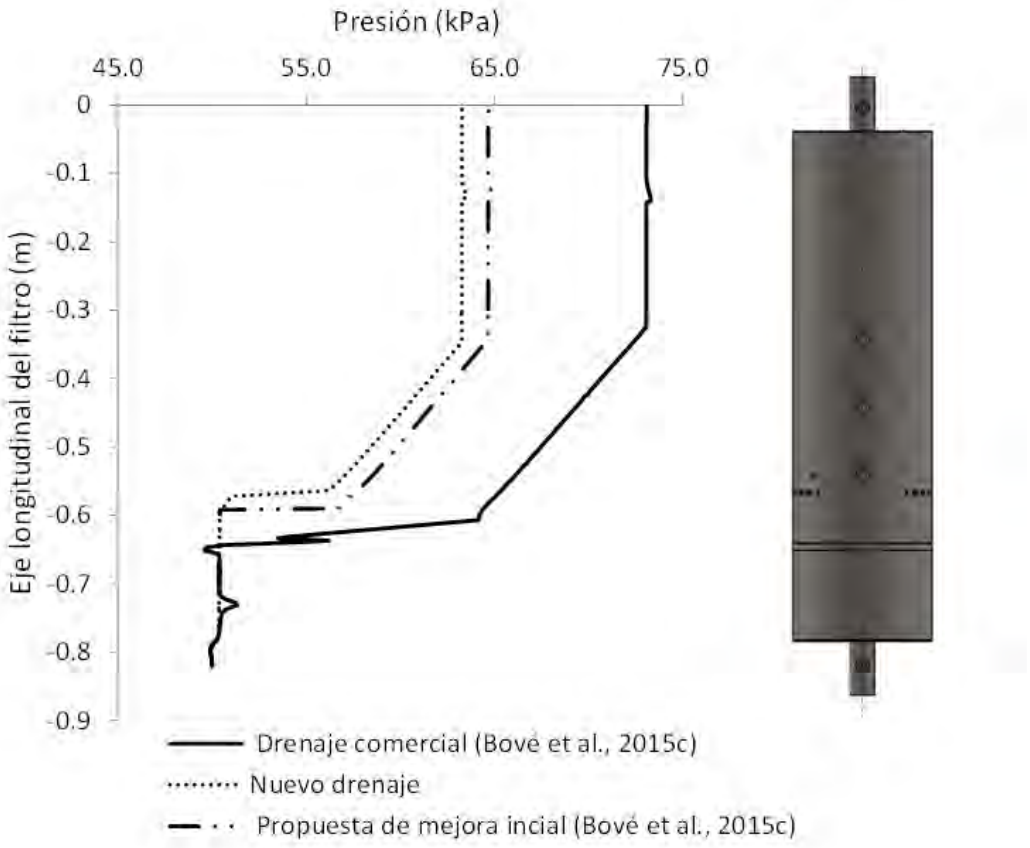


Figura 5. Perfil de presión a lo largo del eje vertical del filtro relleno con 300 mm de lecho granular de arena silícea de 0.63-0.75 mm y un flujo de 0,50 L s^{-1}

3.3. Efecto del nuevo drenaje en el comportamiento hidráulico del lecho filtrante

La pérdida de presión a través del lecho de filtración para el nuevo drenaje y para el drenaje comercial se obtuvieron experimentalmente y se compararon con la calculada a partir de la ecuación de Ergun para arena silícea (Bové et al., 2015a), como se muestra en la Figura 6. La ecuación de Ergun representa la caída de presión teórica producida únicamente por el lecho de filtración sin tener en cuenta las pérdidas en los elementos auxiliares del filtro.

Resulta muy destacable observar que el nuevo drenaje aproxima la pérdida de presión a través del lecho filtrante a la pérdida de carga teórica calculada mediante la ecuación de Ergun. Por lo tanto, la reducción de la pérdida de presión no sólo se debe a la reducción de la pérdida de presión generada por el drenaje, sino que también se debe a un mejor comportamiento hidráulico del medio de filtración, debido a la menor curvatura del flujo en la zona del lecho situada sobre el drenaje. Esto puede apreciarse en la Figura 7, donde se muestran las líneas de flujo simuladas para los dos drenajes (comercial y nuevo), siendo en el segundo donde el flujo de agua a través del lecho es más uniforme, y puede aprovecharse toda la superficie de filtración. A priori, esto debería mejorar tanto el rendimiento de filtración como el de contralavado, pero se requiere continuar esta línea de investigación usando agua con partículas para evaluar esta mejora.

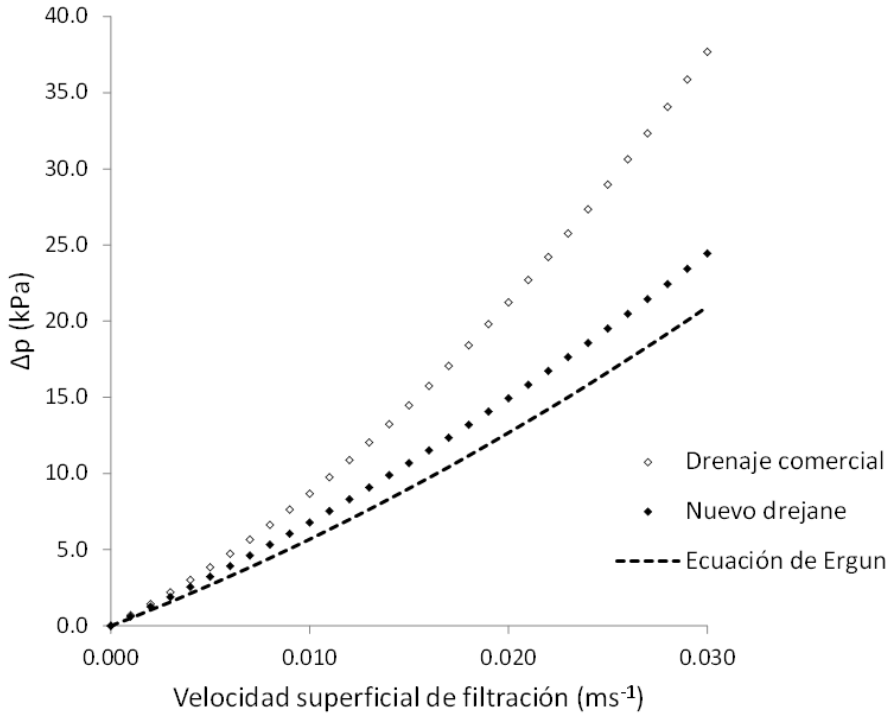


Figura 6. Caída de presión a través del medio de filtración determinada experimentalmente para los drenajes ensayados, y calculada utilizando la ecuación de Ergun

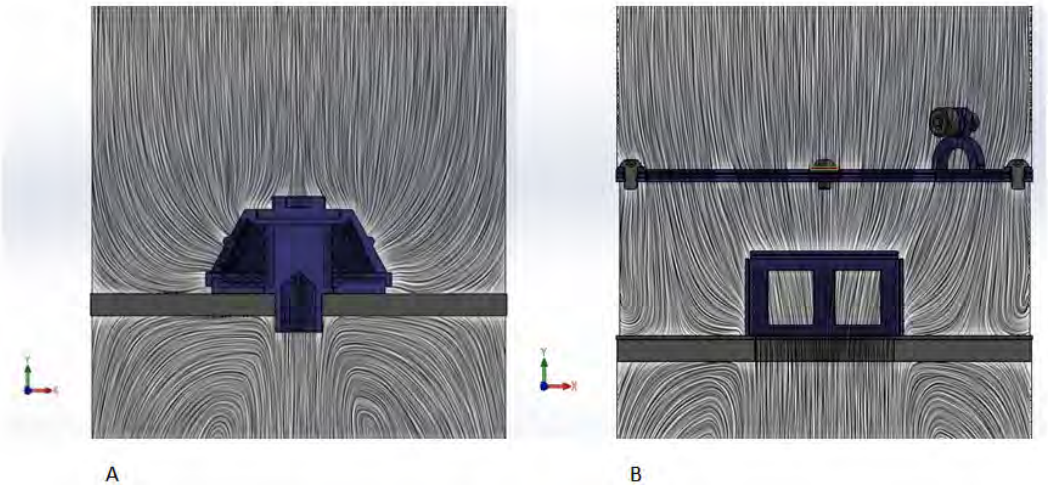


Figura 7. Líneas de flujo para A) drenaje comercial, con mayor curvatura cerca del drenaje inferior; y B) nuevo diseño de drenaje con una curvatura menor

4. Conclusiones

Se diseñó y construyó un nuevo drenaje para filtros de arena utilizados en riego localizado que permitió reducir los requerimientos de presión con respecto a diferentes drenajes comerciales. Utilizando como medio filtrante arena de sílice de un tamaño de grano entre 0,63 y 0,75 mm y una

altura de 300 mm, la caída de presión en comparación con el filtro comercial fue un 20% inferior cuando el filtro trabajó a velocidades superficiales de filtración bajas (<0,01 m s^{-1}) y un 45% inferior a velocidades de filtración elevadas (> 0,02 m s^{-1}). En condiciones de contralavado, el nuevo diseño redujo la pérdida de presión entre 50 y 80% en función de la velocidad de flujo estudiada.

El desarrollo de un modelo de dinámica de fluidos computacional (CFD) permitió identificar las zonas del filtro donde el nuevo diseño tuvo un impacto más positivo. Se evidenció que las mejoras se debieron principalmente a: (1) la ampliación del paso entre el drenaje inferior y la cámara colectora situada en la parte inferior del filtro; (2) el cambio de las ranuras de drenaje, que redujeron la curvatura de flujo a medida que este se aproximó al drenaje inferior; y (3) el relleno con un medio granular de mayor conductividad hidráulica que la del medio filtrante en la región donde se produce la mayor curvatura de flujo.

Los resultados experimentales con el nuevo drenaje mostraron que la caída de presión a través del lecho granular con el nuevo drenaje fue muy próxima a la calculada con la ecuación de Ergun, que representa la caída de presión teórica debido al lecho de filtración con sección uniforme.

El nuevo drenaje desarrollado para filtros de arena utilizados en sistemas de riego localizado debe mejorar el rendimiento de filtración, logrando así una mejor eficiencia en el uso del agua y la energía. En este sentido será necesario realizar investigaciones complementarias para analizar cuál será el efecto del nuevo drenaje sobre la eficiencia de eliminación de partículas, y complementariamente determinar las pérdidas de presión globales del sistema de riego.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su sincero agradecimiento al Ministerio de Economía y Competitividad por la ayuda recibida para la realización del proyecto de investigación con referencia CGL2012-31180.

Bibliografía

ANSYS, 2009. ANSYS Fluent User's Guide. ANSYS, Canonsburg, PA.

Arbat, G., T. Pujol, J. Puig-Bargués, M. Duran-Ros, J. Barragán, L. Montoro, and F. Ramírez De Cartagena. 2011. Using computational fluid dynamics to predict head losses in the auxiliary elements of a microirrigation sand filter. *Transactions of the ASABE*. 54 (4): 1367-1376.

Arbat, G., T. Pujol, J. Puig-Bargués, M. Duran-Ros, L. Montoro, J. Barragán, and F. Ramírez de Cartagena. 2013. An experimental and analytical study to analyze hydraulic behavior of nozzle-type underdrains in porous media filters. *Agricultural Water Management*. 126: 64-74.

Bové, J., G. Arbat, M. Duran-Ros, T. Pujol, J. Velayos, F. R. de Cartagena, and J. Puig-Bargués. 2015a. Pressure drop across sand and recycled glass media used in micro irrigation filters. *Biosystems Engineering*. 137: 55-63.

Bové, J., G. Arbat, J. Puig-Bargués, T. Pujol, M. Duran-Ros, F. Ramírez de Cartagena, and J. Pujol. 2015b. Filtro de matriz granular. Modelo de utilidad número U201530629.

Bové, J., G. Arbat, T. Pujol, M. Duran-Ros, F. Ramírez de Cartagena, J. Velayos, and J. Puig-Bargués. 2015c. Reducing energy requirements for sand filtration in microirrigation: Improving the underdrain and packing. *Biosystems Engineering*. 140: 67-78.

Bové, J., J. Puig-Bargués, G. Arbat, M. Duran-Ros, T. Pujol, J. Pujol, and F. Ramírez de Cartagena. 2017. Development of a new underdrain for improving the efficiency of microirrigation sand media filters. *Agricultural Water Management*. 179: 296-305.

Burt, C. M. 2010. Hydraulics of commercial sand media filters tanks used for agricultural drip irrigation: criteria for energy efficiency. San Luis Obispo: California: Irrigation Training and Research Center.

Capra, A., and B. Scicolone. 2007. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. *Journal of Cleaner Production*. 15 (16): 1529-1534.

Corominas, J. 2010. Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería del agua*. 17 (3): 219-233.

Duran-Ros, M., J. Puig-Bargues, G. Arbat, J. Barragan, and F. R. de Cartagena. 2009. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. *Agricultural Water Management*. 96 (1): 67-79.

Elbana, M., F. Ramírez de Cartagena, and J. Puig-Bargués. 2012. Effectiveness of sand media filters for removing turbidity and recovering dissolved oxygen from a reclaimed effluent used for micro-irrigation. *Agricultural Water Management*. 111: 27-33.

Enciso-Medina, J., W. L. Multer, and F. R. Lamm. 2011. Management, maintenance, and water quality effects on the long-term performance of subsurface drip irrigation systems. *Applied Engineering in Agriculture*. 27 (6): 969-978.

Mesquita, M., R. Testezlaf, and J. C. S. Ramirez. 2012. The effect of media bed characteristics and internal auxiliary elements on sand filter head loss. *Agricultural Water Management*. 115: 178-185.

Nash, J. E., and J. V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10 (3): 282-290.

Ritter, A., and R. Muñoz-Carpena. 2013. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*. 480: 33-45.

Tarjuelo, J. M., J. A. Rodríguez-Díaz, R. Abadía, E. Camacho, C. Rocamora, and M. A. Moreno. 2015. Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies. *Agricultural Water Management*. 162: 67-77.

Trooien, T. P., and D. J. Hills. 2007. "Application of biological effluent." In *Developments in Agricultural Engineering*, edited by F.R. Lamm, Ayars, J.E., Nakayama, F.S., 329-356. Amsterdam: Elsevier.

Los mercados de agua y la desalinización de agua marina en la gestión de los recursos hídricos para riego del sureste español

Martínez-Alvarez, V.[1], Gonzalez-Ortega, M.J.[1], Maestre-Valero, J.F.[1], Calatrava, J.[1], Martin-Gorriz, B.[1], Martinez-Granados, D.[1]

[1] Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena, España. victoriano.martinez@upct.es

Resumen

La cuenca del Segura (sureste de España) presenta un importante déficit estructural de agua, que afecta sistemáticamente al regadío. El objetivo de este trabajo es cuantificar y comparar los aportes procedentes de la desalinización de agua marina y de los mercados de agua a los regadíos de la cuenca del Segura, a lo largo de la última década. Para ello se han recopilado y clasificado tantos las ventas de agua desde las plantas desalinizadoras a comunidades de regantes y/o regantes particulares, como las transacciones de los mercados del agua cuyo usuario final haya sido el regadío.

Los resultados ponen de manifiesto que el actual periodo de sequía en la cabecera del Tajo ha dinamizado el suministro de agua marina desalinizada al regadío de la cuenca del Segura, hasta el punto de alcanzar cifras incluso superiores al trasvase Tajo-Segura en el año 2016. Los mercados de agua, que alcanzaron su máxima significancia en el periodo de sequía 2006-2008, presentan una ligera reactivación desde el año 2014.

En general, se puede afirmar que la compraventa de agua marina desalinizada presenta menos dificultades administrativas que los mercados de agua, y además limita el tope de los precios y la magnitud de los intercambios entre usuarios de los mercados. Por tanto, cabría esperar que conforme se alcance la máxima capacidad de producción de las plantas desalinizadoras en funcionamiento, los mercados de agua resultarán menos atractivos. Sin embargo el factor precio parece estar muy a favor de los mercados de agua.

Palabras clave: Regadíos, déficit hídrico, cuenca del Segura, agua desalinizada, precio del agua.

Water markets and seawater desalination in the management of water resources for irrigation in south-eastern Spain

Abstract

The Segura River Basin is characterized by an important structural water deficit, which fundamentally affects crop irrigation. The objective of this work is to quantify and compare the contributions from seawater desalination and water markets to irrigation supply in the Segura River Basin over the last decade. To do that, water supply from the desalination plants to irrigation districts and/or private have been collected and classified, as well as the transactions of the water markets whose final user has been agriculture.

The results show that the current drought in the head of the Tajo River Basin has enhanced the supply of desalinated seawater for irrigation in the Segura River Basin, to the point of reaching figures even higher than the Tajo-Segura supply in 2016. The water markets, which reached their maximum significance in the period of drought 2006-2008, are slightly reactivated since 2014.

In general, it can be stated that the supply of desalinated seawater presents less administrative difficulties than water markets, and also limits the cap on prices and the magnitude of trade between users of that markets. Therefore, it would be expected that as the maximum production capacity of operating desalination plants is reached, water markets will be less attractive. However the price factor seems to be very in favour of water markets.

Keywords: Irrigated agriculture, water deficit, Segura River Basin, desalinated water, water price.

1. Introducción

La cuenca del Segura se caracteriza por presentar un importante déficit estructural de agua, que afecta sistemáticamente al regadío, principalmente por dos motivos: (1) se trata del uso que representa el porcentaje más elevado de la demanda en la cuenca (83,8% del total), y (2) está situado por detrás del uso doméstico en el orden de preferencia en los usos recogido en la Ley de Aguas.

A pesar de que en los últimos ciclos de planificación se han desarrollado distintas políticas o herramientas orientadas a disminuir este déficit hídrico, su magnitud apenas ha disminuido. Este singular resultado no debe identificarse como un fracaso de las políticas desarrolladas, dado que los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos convencionales están enmascarando los avances conseguidos. En este sentido, tanto los recursos hídricos propios de la cuenca del Segura como los externos, aportados a través del trasvase Tajo-Segura, ya se han visto notablemente afectados. Además es de esperar que estos efectos se intensifiquen en las próximas décadas (CEDEX, 2012).

Este trabajo pretende analizar el papel que vienen desarrollando durante la última década algunas de las políticas o medidas de planificación y gestión adoptadas en el suministro hídrico de los regadíos de la cuenca del Segura. Concretamente, se estudia el papel que desempeñan las plantas desalinizadoras de agua marina como principal "política de oferta" que se ha llevado a cabo, es decir, dirigida al desarrollo de nuevas infraestructuras hidráulicas, con las consiguientes inversiones, que aporten más recursos al sistema. Frente a la desalinización se estudia el papel de los mercados de agua como principal "política de demanda" adoptada, mediante la que se pretende satisfacer las necesidades de agua mediante la reasignación de los recursos existentes entre los usuarios y sin requerir inversiones en infraestructuras.

La principal acción del Plan Hidrológico Nacional aprobado en 2005 consistió en la sustitución del trasvase del Ebro por el Programa AGUA. Este Programa representó una clara apuesta institucional por el uso de agua marina desalinizada para el riego agrícola, impulsando la construcción de nuevas plantas y consolidando las existentes. Como consecuencia, la cuenca del Segura cuenta con 4 grandes plantas desalinizadoras de agua marina destinadas principalmente al uso agrícola (Valdelentisco, Águilas, Torrevieja y Escombreras), además de 3 plantas desalinizadoras de menor entidad resultado de la iniciativa de comunidades de regantes (Virgen de los Milagros, Marina Cope y Águilas).

La reforma de la Ley de Aguas de 1999 introduce los mercados de agua en el ordenamiento jurídico español y regula su funcionamiento. Perseguía con ello flexibilizar el régimen concesional del agua para mejorar la reasignación de los recursos hídricos, incrementar la eficiencia económica en el uso del agua y reducir el impacto económico de la escasez. Aunque este mecanismo está pensado para asignar los recursos en períodos de sequía, su funcionamiento no se ha restringido únicamente a éstos ya que ha representado una herramienta con la que las comunidades de regantes más rentables (ubicadas en la costa) han incrementado sus recursos a costa de otras interiores más limitadas climáticamente.

El objetivo de este trabajo es revisar, cuantificar y comparar los aportes procedentes de la desalinización de agua marina y de los mercados de agua a los regadíos de la cuenca del Segura. El alcance del estudio es de 2007 a 2016.

2. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se han recopilado y clasificado tantos los suministros de agua desde las plantas desalinizadoras a comunidades de regantes y/o regantes particulares, como las transacciones de los mercados del agua cuyo usuario final haya sido el regadío. Se ha utilizado principalmente información primaria, obtenida por los autores mediante consultas a las instituciones

encargadas de la administración hidráulica, así como entrevistas y encuestas a los propietarios y gestores de las plantas desalinizadoras y de las comunidades de regantes. Cuando no se ha podido acceder a dichas fuentes se ha recurrido a información secundaria procedente de fuentes públicas (confederación hidrográfica), privadas (asociaciones de regantes) y la bibliografía sobre el tema.

En el análisis se diferenciarán los aportes de las plantas desalinizadoras de iniciativa pública y privada. Respecto a los mercados de agua, se distinguirán los celebrados entre usuarios de la propia Demarcación y los celebrados con usuarios de otras cuencas.

Todos los precios de compraventa citados en este trabajo son en origen y no incluyen ni el IVA ni los costes de transporte y distribución a los usuarios finales, salvo que se indique lo contrario.

3. Resultados y Discusión

3.1. Recursos y usos del agua en la cuenca del Segura

Los datos de planificación actuales (CHS, 2015) indican que los recursos hídricos disponibles en la cuenca del Segura ascienden a una media de 1602 hm^3/año, cifra que incluye las aguas superficiales y subterráneas, los recursos provenientes del trasvase Tajo-Segura, la reutilización y la desalinización. Esta disponibilidad de recursos no basta para satisfacer la demanda bruta de agua de la cuenca que se estima en 1.816 hm^3/año, de los que 1.522 hm^3/año corresponden a los usos agrarios, 224 hm^3/año al abastecimiento urbano, 20 hm^3/año a los usos industriales y 30 hm^3/año a los ambientales. Dado que parte de los recursos hídricos considerados corresponden a extracciones de recursos subterráneos no renovables, el déficit estructural actual de la cuenca es de aproximadamente 400 hm^3/año (CHS, 2015). Este déficit se cubre sistemáticamente mediante extracciones no renovables de recursos subterráneos y mediante una aplicación deficitaria de agua a los cultivos en muchas zonas (Calatrava y Martínez-Granados, 2015).

Como ya se ha indicado, el principal usuario del agua en la cuenca del Segura es el regadío. La superficie regable de la cuenca asciende a 472.369 ha, de las que 261.009 ha constituyen la superficie neta efectivamente regada (CHS, 2014). La superficie de regadío se ha multiplicado por dos desde los años 80, lo que ha exacerbado la situación de escasez estructural de la cuenca y ha generado un grave problema de sobreexplotación en muchos acuíferos. Las zonas regables que se nutren del trasvase Tajo-Segura comprenden un total de 152.488 ha (CHS, 2015). La agricultura de regadío tiene gran importancia en la economía de la cuenca, tanto en términos del valor de la producción como del empleo. Maestre-Valero *et al.* (2013) estiman que el valor medio de la producción agraria en el regadío de la cuenca del Segura es 2.000 M€/año, lo que supone una rentabilidad para los agricultores en términos de margen neto de 865 M€/año, generando un empleo anual de 58.500 UTAs.

En cuanto a las tarifas del agua, la tarifa media pagada en baja es casi 0,17 €/m^3, muy por encima de la media de España. Por orígenes, las tarifas medias oscilan entre los 0,035 €/m^3 de los recursos superficiales y depurados, los 0,20 €/m^3 de los subterráneos y los 0,40 €/m^3 de los desalinizados (CHS, 2014). Estos valores medios son bastante homogéneos entre las diferentes áreas de la cuenca, con la excepción de las aguas subterráneas, cuyos costes de extracción varían entre 0,10-0,47 €/m^3 (CHS, 2014). A estas tarifas hay que añadir los costes de distribución del agua que los regantes pagan en forma de derramas a las comunidades de regantes, y que oscilan entre 0,04 y 0,075 €/m^3, con un valor medio de 0,06 €/m^3, según nuestras propias estimaciones en base a datos obtenidos de diversas comunidades de regantes.

3.2. Suministro de agua marina desalinizada a la agricultura

La revisión a escala global de las principales experiencias de riego agrícola con agua desalinizada pone de manifiesto que en numerosos países con clima árido o semiárido, y que además disponen de

una agricultura altamente tecnificada, la desalinización de aguas salobres representa una fuente de agua suplementaria desde hace varias décadas. Sin embargo, a pesar de que hay países donde se está considerando la posibilidad de aplicar agua marina desalinizada al riego agrícola en un futuro próximo, tras la revisión de las bases de datos internacionales más relevantes sólo se han encontrado referencias de su utilización en España e Israel (Martínez-Alvarez *et al.*, 2016). En España, las referencias existentes son: (1) las Islas Canarias, donde hay una prolongada experiencia cuyas conclusiones no son extrapolables al sureste español dada su gran singularidad agroambiental y en el manejo de los cultivos, y (2) recientes suministros desde plantas desalinizadoras del sureste (Fig. 1), que generalmente se han mezclado de forma minoritaria con otros recursos continentales y han carecido de seguimiento científico.

En la cuenca del Segura, el suministro de agua marina desalinizada se ha incrementado desde los 18,0 Mm^3 en 2007, producidos íntegramente en plantas de iniciativa privada, hasta los 92,9 Mm^3 del año 2015, cuando las plantas de iniciativa privada sólo han representado el 17,2% de la producción. El valor de 2015 es ligeramente inferior al previsto por la planificación hídrica para las plantas consideradas (96 Mm^3; CHS, 2015). Los datos para 2016, estimados a partir de fuentes secundarias, implican una aportación al regadío cercana a los 125 Mm^3, claramente superior a la prevista en la planificación.

Figura 1. Localización, uso y redes de distribución asociadas a las plantas desalinizadoras de agua marina de la cuenca del Segura.

La Fig.1 representa las plantas desalinizadoras de agua marina que suministran a la cuenca del Segura, diferenciando entre las de suministro doméstico, mixto (doméstico y agrícola) y exclusivamente agrícola. También se recoge el estado actual de las redes de distribución necesarias para conectar estas plantas con las zonas regables, donde se puede observar el importante grado de penetración hacia zonas regables del interior (valle del Guadalentín).

La Fig. 2 muestra la evolución del suministro al regadío desde cada planta desalinizadora en el periodo 2007-2015, así como los valores totales. Se observa como la iniciativa privada, que comenzó su producción en 1998 con la planta de Virgen de los Milagros de la Comunidad de Regantes de Mazarrón, y a la que se sumaron la de la Comunidad de Regantes de Águilas en 2002 y la de Marina

de Cope en 2006, eran las únicas desalinizadoras de agua marina para el regadío en 2007. En 2009 comenzó a distribuirse agua para el riego agrícola desde la planta de Valdelentisco, que ha ido aumentando su producción conforme se ha desarrollado su red de distribución en el Campo de Cartagena y el valle del Guadalentín. En 2013 comienza el suministro desde la planta de Águilas-ACUAMED a las comunidades de regantes de Águilas, Pulpí y Lorca, incorporándose el Noviembre de 2015 el suministro a la Comunidad de Regantes de Puerto Lumbreras. La planta de Escombreras, construida por iniciativa del Gobierno de la Región de Murcia, comienza la distribución de agua para riego en 2014, y la de Torrevieja, actualmente la mayor de España, en 2015.

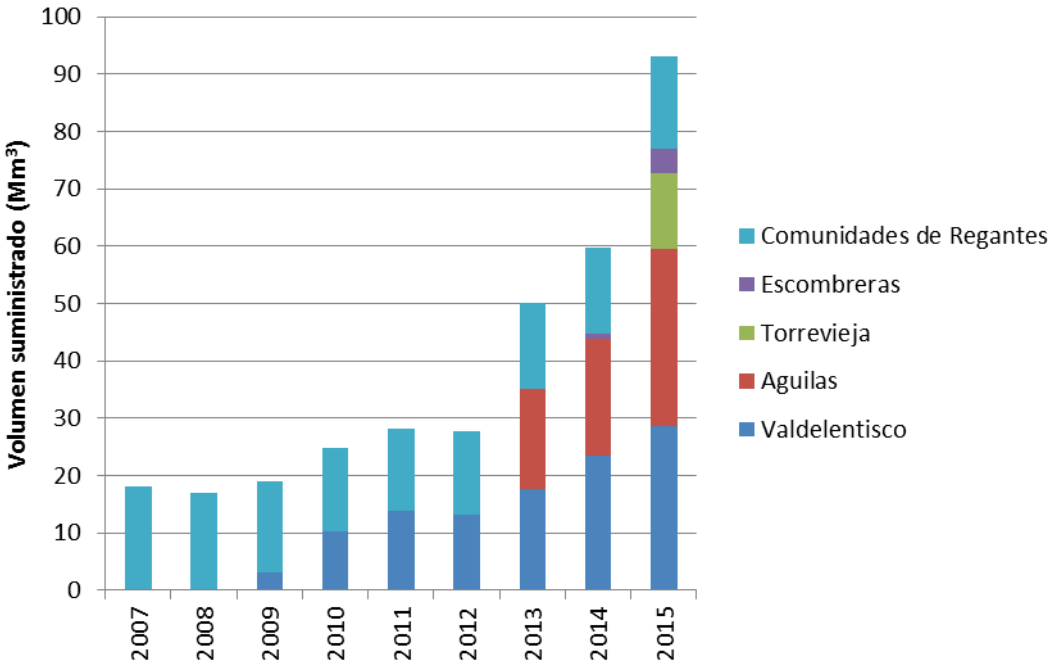


Figura 2. Producción del agua marina desalinizada para riego agrícola en la cuenca del Segura. "Comunidades de Regantes" agrega los datos de las 3 desalinizadoras privadas.

En relación a los precios en origen del agua desalinizada, es bastante variable en función de la planta de que se trate, ya que cada una cuenta con unos acuerdos con los regantes diferentes. Actualmente el precio del agua en Valdelentisco es 0,57 €/m^3, en Águilas 0,35 €/m^3, en Torrevieja 0,50 €/m^3 y en Escombreras 0,50 €/m^3. A la hora de comparar estos precios hay que prestar especial atención a los costes de transporte y distribución, ya que pueden incrementar sensiblemente el coste real para el agricultor. Por lo que respecta a las plantas privadas, se han visto obligadas a limitar su funcionamiento a las horas de energía más barata para poder ofrecer precios en torno a los 0,60 €/m^3.

3.3. Actividad de los mercados del agua

Se muestran por separado los resultados relativos a los contratos de cesión entre usuarios de la cuenca del Segura (intra-cuenca) y a los contratos de cesión con usuarios de otras cuencas (inter-cuenca). La Fig. 3 recoge los volúmenes intercambiados y las compensaciones acordadas en los contratos de cesión autorizados en la cuenca entre 2007 y 2015. Los volúmenes y precios de 2014 y 2015 se han estimado a partir de información secundaria obtenida de los usuarios y comunidades de regantes compradoras. El volumen medio anual es de 6,7 hm^3/año, lo que supone menos del 1% del agua utilizada en el regadío de la cuenca del Segura. Con algunas excepciones, el volumen medio anual intercambiado en cada contrato ha sido inferior a 0,4 hm^3, si bien se han producido algunas operaciones superiores a los 4 hm^3. La Fig. 3 también muestra un elevado grado de dispersión de los precios, así como importantes oscilaciones de los mismos. De manera simplificada, las principales

zonas de origen del agua intercambiada en contratos de cesión se localizan en la cabecera de la cuenca y a lo largo de la vega del Segura. Las principales zonas de destino de los volúmenes adquiridos se localizan en el suroeste de la cuenca, más concretamente en las zonas del Alto Guadalentín, Águilas, Mazarrón y Bajo Almanzora, así como en las zonas regables del trasvase Tajo-Segura.

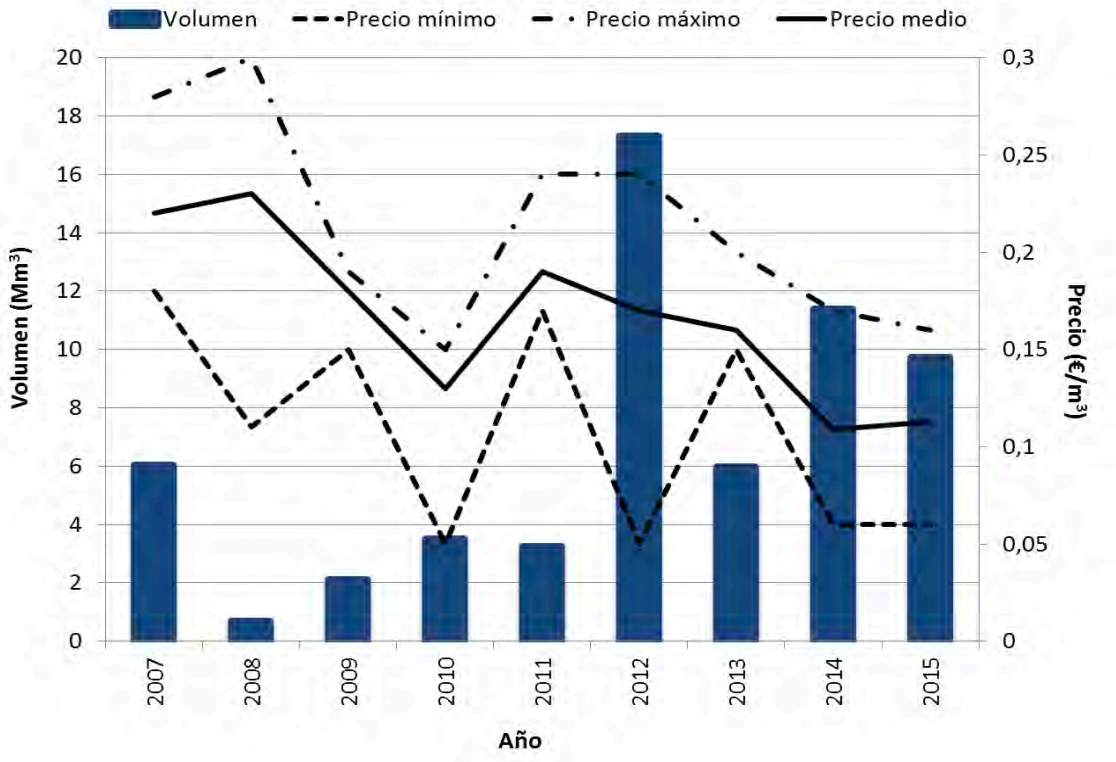


Figura 3. Volúmenes y precios en contratos de cesión en la cuenca del Segura en el periodo 2007-15 ($1Mm^3 = 1\ hm^3$)

Respecto a los contratos de cesión con usuarios de otras cuencas (Tajo), el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS) estableció cuatro convenios sucesivos durante la sequía de 2006 a 2009 con la C.R. del Canal de Estremera para la cesión anual de 31,05 hm^3 medidos en origen (Claver, 2013). Dicha comunidad de regantes renunciaba a utilizar la totalidad de su concesión en el período establecido en cada contrato de cesión, durante los cuales llevó a cabo la mejora y modernización de toda la zona regable. La Tabla 1 recoge las operaciones realizadas y las compensaciones económicas acordadas. En la práctica, estos precios unitarios son mayores, ya que hay que considerar un 10% por pérdidas en el transporte y añadir el componente a) de la tarifa del trasvase (0,013856 €/m^3) y las cuotas del SCRATS (0,002404 €/m^3), lo que incrementa los precios medidos en las tomas de las comunidades de regantes por encima de los 0,22 €/m^3 (Claver, 2013). A estos valores habría que añadir las derramas a pagar por los regantes a cada comunidad de regantes. Se hace notar que en este periodo de sequía la administración hidráulica relajó el cumplimento de los requisitos necesarios para autorizar las transferencias, muchas de las cuales hoy no hubiesen sido posibles. Desde el año 2009, coincidiendo con la puesta en marcha de las plantas desalinizadoras y una vez finalizada la transigencia administrativa, este tipo de trasferencias habían desaparecido, y sólo se han retomado con la aparición de un nuevo ciclo de sequía a partir de 2014, estabilizándose las trasferencias desde ese momento en torno a 10 hm^3/año.

Tabla 1. Contratos de cesión inter-cuencas entre usuarios del Segura y del Tajo.

Comprador	Cedente	Año hidrológico	Volumen en origen (hm^3)	Precio (€/m^3)	Compensación (euros)
SCRATS	C.R. Canal de Estremera	2005-2006	31,05	0,1856	5.761.700
		2006-2007	31,05	0,1881	5.839.480
		2007-2008	31,05	0,1920	5.962.097
		2008-2009	31,05	0,1920	5.962.097
		2013-2014	5,56	0,06	333.600
		2014-2015	7,7	0,06	462.000
		2015-2016	9,0	0.085	765.000
	C.R. La Poveda	2013-2014	1,4	0,06	84.000
		2014-2015	1,4	0,06	84.000
		2015-2016	1,4	0.085	119.000

Fuente: Elaboración propia a partir de Claver (2013), SCRATS (2009 y 2015), las memorias anuales de la MCT (2007, 2008 y 2009), y de datos adicionales proporcionados por los compradores.

Más recientemente, en 2014 y 2015 se han producido otros dos acuerdos entre el SCRATS y dos comunidades de regantes del Tajo (Tabla 1). En primer lugar, se han firmado dos nuevos contratos con la C.R. del Canal de Estremera por un volumen de 9 hm^3 anuales, si bien la Dirección General del Agua solo ha autorizado la cesión de 5,56 hm^3 en 2013-14 y 7,7 hm^3 en 2014-15. Estas denegaciones parciales se deben al hecho de que el consumo real acreditado por esta comunidad de regantes en 2013 y 2014 respectivamente es inferior al volumen solicitado. En los mismos años, el SCRATS firmó otros dos contratos de cesión con la C.R. de La Poveda (Madrid) que fueron autorizados por un volumen de 1,4 hm^3/año. Es importante recalcar que estos nuevos acuerdos no se han beneficiado de la exención de la tarifa del ATS, como en el caso de la anterior sequía, por lo que a los precios indicados en la Tabla 1 hay que añadir, además del IVA, 0,0984 €/m^3 en concepto de dicha las tres componentes de la tarifa del trasvase.

3.4. Comparación con los suministros desde el trasvase Tajo-Segura

La Fig. 4 muestra la evolución durante el periodo 2007-2015 de los volúmenes trasvasados para regadío conforme a la regla de explotación del trasvase Tajo-Segura, los volúmenes producidos en las plantas desalinizadoras de agua marina y destinados al riego agrícola, y los volumen intercambios entre comunidades de regantes mediante mercados del agua intra o inter-cuenca, todos ellos en el ámbito de la cuenca del Segura.

Se observa como en los años 2007 y 2008 los mercados de agua representaron una aportación relevante en comparación con el trasvase Tajo-Segura, ya que nos encontrábamos en pleno ciclo de sequía. La desalinización jugó un papel secundario al solo encontrarse en explotación las plantas privadas de comunidades de regantes. Conforme se mitigaron los efectos de la sequía y se recuperaron los volúmenes trasvasados, los mercados de agua han pasado prácticamente desapercibidos hasta 2014, cuando se han cerrado algunas operaciones importantes inter-cuenca motivadas por el inicio de un nuevo ciclo de sequía. La desalinización ha ido incrementando su aportación conforme las nuevas plantas han ido entrando en funcionamiento y poniéndose a punto, alcanzando un valor próximo al 50% del trasvase en 2015 y llegando a superar al mismo en 2016, cuando los datos preliminares señalan una producción de agua marina desalinizada para el regadío de cerca de 125 hm^3 y un trasvase en torno a los 106 hm^3.

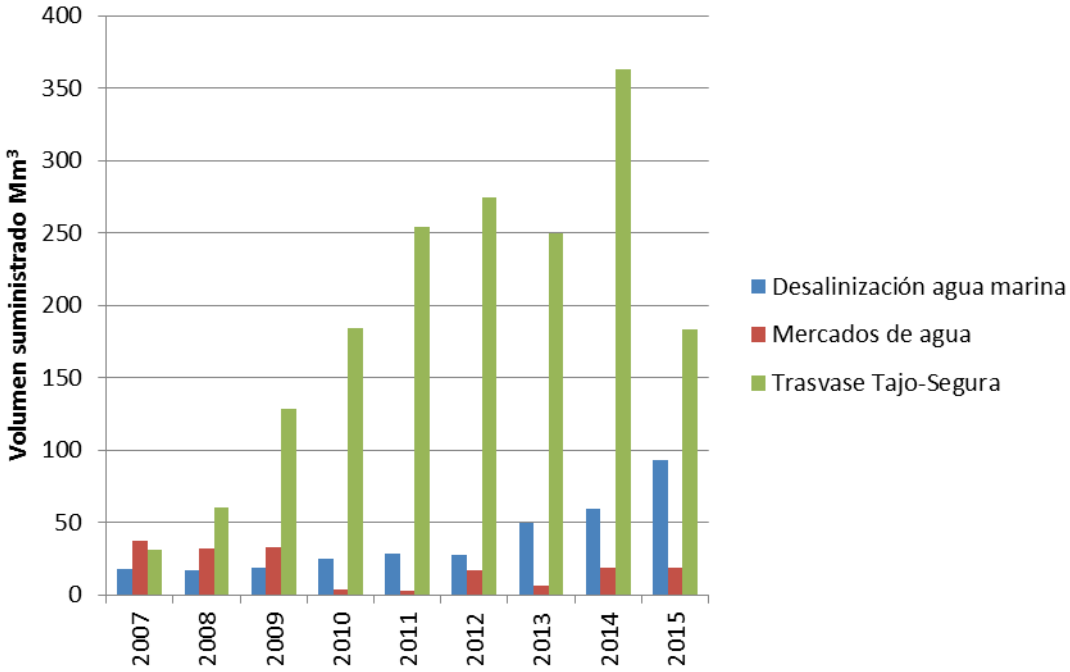


Figura 4. Evolución comparativa de los volúmenes de agua suministrados durante el periodo 2007-2015 ($1Mm^3 = 1\ hm^3$).

La Fig. 5 muestra los precios de los distintos suministros analizados para el año 2015. Se observa una importante variabilidad en los precios, notablemente superiores para el caso de la desalinización, que en términos generales doblan a los precios de los mercados del agua y cuadriplican a los correspondientes al trasvase Tajo-Segura. Debe aclararse que debe conocerse bien la idiosincracia de cada precio para su correcta comparación, ya que los precios del agua desalinizada suelen corresponder a pie de planta, siendo muy variable el coste de transporte hasta cada comunidad de regante. En los precios de los mercados del agua se ha incluido la tarifa del trasvase Tajo-Segura y las pérdidas por evaporación en dicho sistema, por lo que corresponderían a los precios en alta que pagan las comunidades de regantes y sería comparable al precio del trasvase Tajo-Segura. En todos los casos habría que añadir los costes de distribución a los usuarios de la comunidad de regantes y el IVA (10%).

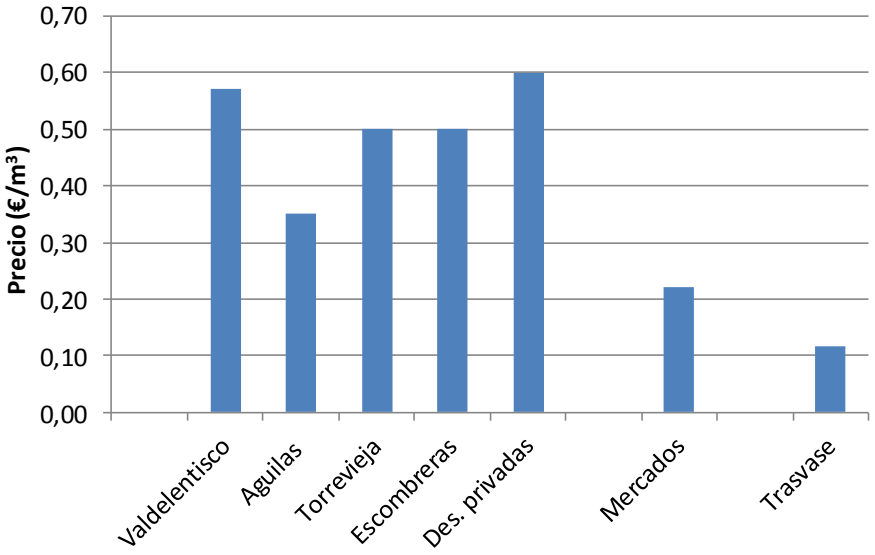


Figura 5. Precios de los distintos suministros en el año 2015.

4. Conclusiones

El actual ciclo de sequía en la cabecera del Tajo ha dinamizado el suministro de agua marina desalinizada al regadío de la cuenca del Segura, hasta el punto de alcanzar cifras incluso superiores al trasvase Tajo-Segura en el año 2016. Los mercados de agua presentan una ligera reactivación desde el año 2014, consolidándose intercambios en torno a los 19 hm^3, considerando tanto las operaciones intra como inter-cuenca.

El crecimiento de la desalinización también coincide con un progresivo decaimiento de los mercados de agua, que alcanzaron su mayor actividad durante la sequía 2006-2008. En general, se puede afirmar que la compraventa de agua marina desalinizada presenta menos dificultades administrativas que los mercados de agua, y además limita el tope de los precios y los intercambios entre usuarios de los mercados.

Por tanto, cabría esperar que conforme se alcance la máxima capacidad de producción de las plantas desalinizadoras en funcionamiento, los mercados de agua vayan perdiendo importancia en términos relativos. Aunque el factor precio parece estar muy a favor de los mercados de agua, que presentan unos costes por debajo de la mitad que el agua marina desalinizada, en la práctica su capacidad para proporcionar recursos adicionales a los regantes parece haber alcanzado su techo, dadas las actuales restricciones administrativas existentes. Las principales comunidades de regantes de la costa seguirán recurriendo sistemáticamente a los mercados del agua para disminuir el precio cuando la única alternativa es el agua desalinizada, pero en la actual situación parece evidente que la desalación seguirá ganando en importancia para el regadío.

Agradecimientos

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de (1) el Programa de Apoyo a la Investigación de la Fundación Séneca-Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia mediante el proyecto 19280/PI/14 y (2) el Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) mediante el proyecto MERCAGUA (AGL2013-48080-C2-2-R).

Bibliografía

Calatrava, J. y Martínez-Granados, D. 2015. La actividad de los mercados formales de agua en la cuenca del Segura. XXXIV Congreso Nacional de Riegos, Sevilla 7 – 9 de junio de 2016, pp 450-459.

CEDEX. 2012. Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. 268 pp.

CHS. 2014. Borrador del Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura 2015-2021. Confederación Hidrográfica de la Cuenca del Segura, Murcia.

CHS. 2015. Estudio General sobre la Demarcación Hidrográfica del Segura. Confederación Hidrográfica del Segura, Murcia.

Claver, J. M. 2013. La experiencia de un contrato de cesión de derechos de aguas intercuencas (el derecho al aprovechamiento de las aguas trasvasadas); en Embid, A., ed.: *Usos del agua (concesiones, autorizaciones y mercados de agua*). Aranzadi-Thomson Reuters, Cizur Menor (España).

Martinez-Alvarez, V., Martin-Gorriz, B. y Soto-García, M. 2016. Seawater desalination for crop irrigation — A reviewof current experiences and revealed key issues. *Desalination* 381: 58–70.

Maestre-Valero, J. F., Martínez-Granados, D., Martínez-Alvarez, V. y Calatrava, J. 2013. Socio-economic impact of evaporation losses from reservoirs under past, current and future water availability scenarios in the semi-arid Segura basin. *Water Resources Management* 27(5): 1411-1426.

Sincronización del calendario de riego y la producción de energía solar fotovoltaica para la gestión de redes de riego inteligentes

Aida Mérida García, Irene Fernández García, Emilio Camacho Poyato, Pilar Montesinos Barrios, Juan Antonio Rodríguez Díaz.

Departamento de Agronomía, Área de Hidráulica y Riegos. Universidad de Córdoba. Ed. Leonardo da Vinci, Campus de Rabanales. 14071. Córdoba (España).

Resumen

La modernización del sector del regadío ha implicado su transformación hacia redes a presión, y con ello, un notable aumento en los costes de operación derivados del consumo energético. Esto, unido al encarecimiento del precio de la energía, así como la problemática derivada de la emisión de gases efecto invernadero en un contexto de cambio climático, hace necesaria la búsqueda de nuevas fuentes de energía alternativas. Ante este escenario, la energía solar se presenta como una opción con gran potencial para gran parte de la península ibérica, donde los niveles de irradiancia son elevados. Sin embargo, su alta dependencia de las variables meteorológicas dificulta su manejo. Diversas investigaciones han trabajado en la incorporación de la energía fotovoltaica como fuente de suministro eléctrico parcial en instalaciones de riego, pero ninguna de ellas ha profundizado en la sincronización de la misma con la demanda diaria de riego del cultivo. El objetivo de este trabajo ha sido desarrollar un sistema de riego solar inteligente, capaz de sincronizar la producción solar fotovoltaica instantánea con la demanda diaria de agua de los distintos sectores que componen la red. El modelo, a partir del cálculo del tiempo de riego diario necesario para cada sector y tras conocer la demanda de potencia por parte de los mismos, determina la secuencia de activación de los sectores en función de la potencia fotovoltaica instantánea generada por la instalación solar. El modelo desarrollado se aplicó para la simulación de la campaña de riego de 2012/2013 en la parcela experimental de olivar de Rabanales (Universidad de Córdoba).

Palabras clave: sostenibilidad, energías renovables, riego de precisión.

Synchronization of the irrigation scheduling and photovoltaic energy production for smart irrigation network management

Abstract

The modernization of the irrigation sector has implied the transformation of open channels into pressurized networks, with the consequent increase in the management and operation costs for farmers. This, coupled with the rising energy prices and the problems arisen from the greenhouse gas emissions in a climate change context, makes necessary to look for new energy sources. Against this background, solar energy has a huge potential for most of the Iberian Peninsula, with high irradiance levels. However, the high dependence of solar energy on weather variables makes its management difficult. Previous research works have worked on the incorporation of the photovoltaic energy as partial electricity supply source in irrigation systems, but none of them have deepened on the synchronization of the photovoltaic production and the crops daily irrigation demand. The aim of this work was to develop a smart irrigation system able to synchronize the instant photovoltaic production with the daily water demand of the different sectors of the irrigation network. The model, determines the activation sequence of the different sectors as a function of the instant photovoltaic power generated by the solar plant, depending on the irrigation time required for each sector and according to their power requirements. The developed model was applied for the simulation of the 2012/2013 irrigation, in the experimental olive orchard of Rabanales (University of Córdoba).

Keywords: sustainability, renewable energies, precision irrigation.

1. Introducción

La creciente demanda de energía por parte del sector del regadío como consecuencia de la modernización de las redes, así como el encarecimiento del precio de la energía eléctrica y combustible, ha dado lugar a la necesidad de buscar nuevas fuentes de suministro alternativas que permitan aumentar la rentabilidad de las explotaciones. Al mismo tiempo, la enorme preocupación por el calentamiento global derivado de las emisiones de gases efecto invernadero y la contribución a éste por parte del sector de la agricultura, ha impulsado la incorporación de las energías renovables como posibles sustitutas de las fuentes de abastecimiento de energía tradicionales.

En este contexto, la energía solar fotovoltaica presenta un gran potencial como fuente de suministro energético en gran parte de la península ibérica, donde los niveles de irradiancia, dada su privilegiada localización, son elevados durante la mayor parte del año. El principal inconveniente de la energía fotovoltaica radica en su alta dependencia de las variables climáticas, lo que hace que su disponibilidad sea muy variable a lo largo del año e incluso a lo largo de un mismo día.

Numerosos trabajos previos ya consideraron la energía fotovoltaica como fuente parcial de suministro para redes de riego. Así, Hamidat et al. (2003) aplicó la energía fotovoltaica para abastecer la red de riego de pequeñas parcelas de aproximadamente 2 ha de superficie en la región del Sahara. Otros autores han combinado la energía solar y eólica, concluyendo una mayor rentabilidad con la combinación de cultivos de invierno y verano (Vick, 2010). Carrillo Cobo et al. (2014), combinó la sectorización con la incorporación de la energía fotovoltaica, empleada como fuente de suministro parcial, obteniendo como resultado de ambas medidas ahorros de más del 72 %. Yahyaoui et al. (2016), desarrolló un modelo para el empleo de la energía fotovoltaica para el bombeo a una balsa a partir de la cual se alimentaba la red de riego. Sin embargo, ninguna de estas metodologías se centra en la gestión de la potencia fotovoltaica instantánea generada y su sincronización con la demanda diaria de potencia de la red y tiempos de riego necesarios para la aplicación de las dosis de agua requeridas por los cultivos.

En este trabajo, se ha desarrollado un modelo de riego solar inteligente que, en tiempo real, lleva a cabo la sincronización de oferta y demanda de energía, para satisfacer las necesidades de riego diarias de una red sectorizada. Una vez desarrollado el modelo, este fue aplicado para la simulación de una campaña de riego (2012/2013) en la parcela experimental de olivar en el Campus de Rabanales (Universidad de Córdoba).

2. Materiales y Métodos

2.1. Caso de estudio

La parcela experimental de rabanales cuenta con una superficie cultivada de 13.4 ha, dedicada en su totalidad al cultivo del olivar intensivo. La parcela está dividida en numerosas subparcelas que se corresponden con diversos ensayos de marcos de plantación, variedades, dotaciones de riego y orientaciones. La parcela está organizada en 3 sectores de riego, cada uno de los cuales cuenta con una electroválvula. El sistema de riego empleado es riego por goteo, con goteros autocompensantes de caudales 1.6 y 3.2 l/h, dependiendo del ensayo. El agua de riego se almacena en una balsa, en la que se encuentra una bomba sumergida de 13 kW de potencia. La distancia desde la balsa hasta la parcela es de 1 km aproximadamente.

En esta zona, la irradiancia máxima se produce en los meses que van de Abril a Septiembre, periodo que coincide con la campaña de riego en olivar.

La instalación fotovoltaica, ubicada en la cubierta de una nave agrícola y orientada al sur, cuenta con una potencia pico de 15.4 kW.

2.2. Riego Solar Inteligente: sincronización de la producción fotovoltaica y el calendario de riego.

El modelo desarrollado determina la secuencia de activación y desactivación de cada uno de los sectores de riego que componen la red, en función de la potencia instantánea generada por la instalación fotovoltaica. Para ello, usando técnicas de modelización hidráulica, establece un umbral mínimo de potencia requerida para la activación de cada sector. Con estos umbrales, y teniendo en cuenta el tiempo de riego determinado para cada día de la campaña, el modelo sigue una serie de normas de prioridad y establece qué sector debe activarse/desactivarse en cada momento. De este modo, ante niveles altos de irradiancia, prevalecen como prioritarios los sectores de riego con mayor demanda de potencia. Una vez que estos sectores hayan completado su tiempo de riego, los sectores con menor demanda de potencia pueden ser activados, aunque la potencia disponible sea superior a la requerida por los mismos.

El modelo continúa operando hasta que todos los sectores hayan completado el tiempo de riego estimado o hasta que la potencia fotovoltaica generada sea inferior a la requerida. En el caso de días en los que las horas de riego disponibles no son suficientes, por baja irradiancia, y alguno de los sectores no haya podido completar su tiempo de riego, el sistema determina si es necesario aplicar una corrección ampliando el tiempo de riego en la siguiente jornada, según el balance de agua en el suelo.

A continuación se describen los principales módulos que componen el sistema.

2.3. Caracterización hidráulica de la red

La red de riego fue modelada en el simulador hidráulico para redes a presión Epanet, obteniendo la presión mínima necesaria en cabecera para el correcto funcionamiento de cada una de las unidades de riego que componen cada uno de los sectores. Para ello, se determinó la presión mínima requerida en hidrante que satisfacía la mínima necesaria en el emisor más desfavorable de cada unidad de riego. Conocidos los valores de presión requerida en hidrante, se determinó la demandada en cabecera por cada sector, en función del hidrante más crítico. Con esto, es posible conocer los valores de presión requeridos en la estación de bombeo, y habiendo determinado previamente el caudal nominal correspondiente a cada sector, se calculó la potencia mínima requerida por los mismos:

$$P_{min\,S} = \frac{I}{\eta} \cdot \gamma \cdot Q_S \cdot H_S \quad (1)$$

Donde $P_{min\,S}$(W) es la potencia mínima requerida por el sector S, η es el rendimiento de la bomba, γ (Nm^{-3}) es el peso específico del agua, Q_S (m^3s^{-1}) el caudal asociado al sector S y H_S (m) la presión mínima requerida a la salida de la bomba para el correcto funcionamiento del sector S.

2.4. Necesidades de riego del cultivo

Las necesidades diarias de riego del cultivo fueron calculadas a partir de la evapotranspiración del mismo y la precipitación efectiva registrada, siendo la primera función de la evapotranspiración de referencia y coeficientes de cultivo. Los datos de evapotranspiración de referencia fueron tomados de una estación agroclimática localizada en el campus. Finalmente, los volúmenes obtenidos fueron expresados como tiempo de riego, en función del caudal nominal de cada sector.

2.5. Determinación de la potencia fotovoltaica disponible

La potencia fotovoltaica instantánea disponible fue estimada a partir de los valores de irradiancia obtenidos por un piranómetro instalado junto al sistema fotovoltaico, siguiendo la expresión propuesta por López-Luque et al. (2015):

$$P_{fv}=\frac{I}{I_{stc}}\cdot PP\cdot[1-\beta\cdot(T_{cel}-T_{stc})] \quad (2)$$

Donde I es la irradiancia recibida en el plano inclinado de los paneles fotovoltaicos (W/m^{-2}), Istc es la irradiancia en condiciones estándar (1000 Wm^{-2}), PP es la potencia pico (W), β es el coeficiente de degradación debido al aumento de temperatura de las células fotovoltaicas (ºC^{-1}), Tcel es la temperatura de la célula fotovoltaica (ºC) y Tstc es la temperatura de la célula fotovoltaica bajo condiciones estándar (ºC).

2.6. Balance de agua en el suelo

Al final de cada jornada, el modelo establece un balance de agua en el suelo, a través del cual, mediante el cómputo de las entradas (precipitación efectiva y volumen de riego) y salidas (evapotranspiración del cultivo, principalmente), determina si es o no necesario aplicar una corrección en el volumen de riego determinado para el día siguiente, cuando el tiempo de riego no ha sido satisfecho. Esta corrección será necesaria cuando el contenido de agua en el suelo sea inferior al límite previamente establecido.

$$SW_n = SW_{n-1} + \text{Peff}_{R(n)} + V_{Ap(n)} - ETc_{adj(n)} - R_n - D_n \quad (3)$$

Donde SW_n es el contenido de agua en el suelo (mm), $Peff_n$ es la precipitación efectiva, V_{Apn} es el volumen de riego aplicado, R es la escorrentía, ETc_{adjn} es la evapotranspiración ajustada del cultivo y D es la percolación profunda.

3. Resultados y Discusión

La red estudiada estaba organizada en tres sectores de riego (Figura 1). Tras el análisis de la red, se determinó que la potencia mínima requerida por los sectores era de 5400 W, 11270 W y 8730 W para el sector 1, el sector 2 y el sector 3, respectivamente.

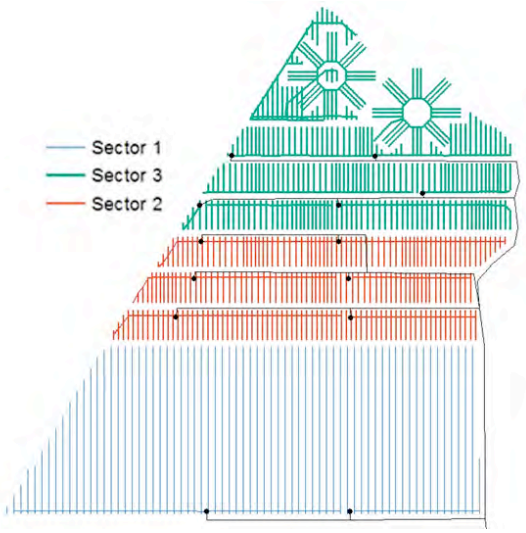


Figura 1. Organización de los sectores en la parcela experimental de olivar del Campus de Rabanales (Universidad de Córdoba)

En cuanto al cálculo de las necesidades de riego, para este caso, en el que la totalidad de la parcela está dedicada a olivar, se emplearon como valores del coeficiente de cultivo los mensuales establecidos por Pastor y Orgaz (1994) (Tabla 1) para olivar en la provincia de Córdoba.

Tabla 1. Valores para el coeficiente de cultivo para olivar, con 60% de cobertura de suelo, en la provincia de Córdoba (Pastor y Orgaz, 1994).

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.50	0.50	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.45	0.55	0.60	0.65	0.50

A estas necesidades de riego se le aplicaron los coeficientes de reducción para Riego Deficitario Controlado (Pérez-Rodríguez and Parras-Cintero, 2014) (Tabla 2):

Tabla 2. Valores para los coeficientes de reducción para riego deficitario controlado para olivar (Pérez-Rodríguez and Parras-Cintero, 2014).

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.60	0.60	0.75	0.70	0.75	0.75	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.60

La producción de energía fotovoltaica fue determinada a partir de los valores de irradiancia medidos por un piranómetro, en intervalos de cinco minutos. Los meses de mayor irradiancia se concentraron en el intervalo de abril a septiembre, coincidiendo estos con la campaña de riego en olivar en la zona mediterránea (Figura 2).

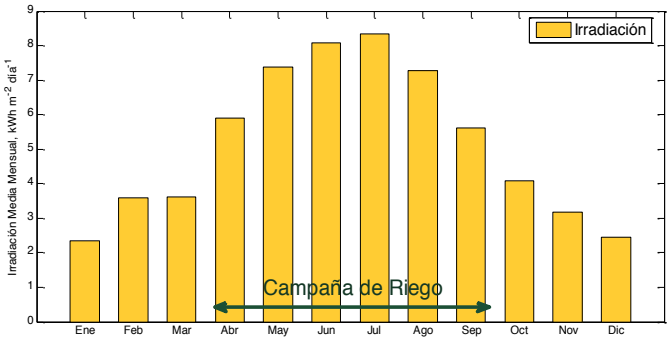


Figura 2. Irradiación media mensual directa y difusa para el año 2013 en Córdoba y duración de la campaña de riego para olivar en la zona mediterránea.

En días claros, sin presencia de nubes, la potencia fotovoltaica generada a lo largo del día siguió una distribución normal, concentrando la mayor producción en las horas centrales del día (Figura 3). En estos casos, el sistema aplicó automáticamente la lámina de riego previamente determinada, de acuerdo a los niveles de irradiancia registrados y las necesidades de potencia requeridas por cada sector.

Sin embargo, en días con presencia de intervalos claros y nubosos, la producción fotovoltaica experimentó marcadas oscilaciones (Figura 4). En estos días, el modelo siguió el mismo modo de operación, aunque las horas disponibles fueron menores. Para evitar los continuos arranques/paradas del sistema que ocurrirían en estos casos, el modelo estableció una duración mínima de funcionamiento de 15 minutos una vez activado un sector. Si dentro de este intervalo la potencia fotovoltaica disponible fue menor que la requerida en algún instante, el modelo tuvo en cuenta el volumen total real de agua aplicada, y con ello, alargó el tiempo de riego restante para ese sector.

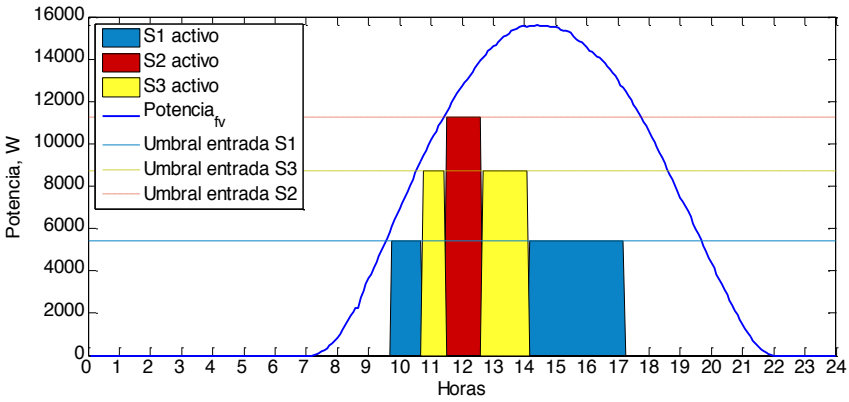


Figura 3. Sincronización de la producción solar y el riego en los sectores 1, 2 y 3 de la red de riego de Rabanales (Universidad de Córdoba) para el 30 de Junio de 2013.

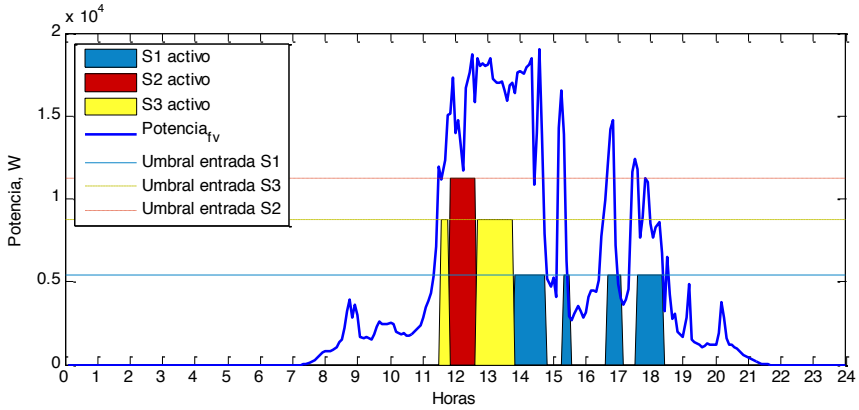


Figura 4. Sincronización de la producción solar y el riego en los sectores 1, 2 y 3 de la red de riego de Rabanales (Universidad de Córdoba) para el 21 de Mayo de 2013.

La instalación solar estudiada permitió satisfacer el riego previsto en un 94 % de los días de la campaña. El resto (9 días), únicamente fue necesario aplicar una corrección en el tiempo de riego del día siguiente en 2 días, debido a que el agua total disponible en el suelo estaba por debajo del umbral establecido. En este caso concreto, se estableció como límite para llevar a cabo las correcciones en los tiempos de riego de los días posteriores, que el contenido de agua en el suelo fuese inferior a la diferencia entre el agua total disponible (ATD) y el agua fácilmente aprovechable (AFA) por el cultivo. Para el caso del olivar, se estimó que el AFA se corresponde con un 75 % de ATD.

Al final de la campaña de riego, los tres sectores habían recibido la dotación asignada al inicio de la campaña.

La relación entre la potencia fotovoltaica directamente consumida por la instalación de riego y el total de la mensual generada, durante la campaña de riego 2012/2013, osciló entre un 18 y un 39%, en función del mes, por lo que el resto de energía podría ser aprovechado en otros usos.

En cuanto a emisiones de gases efecto invernadero, la sustitución total de la red eléctrica por energía solar para abastecer al sistema de riego habría evitado la emisión de 1,32 tn CO_2 eq, correspondientes a 603 horas de riego.

4. Conclusiones

La energía fotovoltaica permite la reducción de los costes en términos de energía para las explotaciones agrícolas, ofreciendo además una solución para el abastecimiento energético en zonas aisladas. No obstante, dado que la potencia generada es variable en el tiempo, es necesario gestionar el riego y la producción energética de forma conjunta. Por este motivo, son necesarios sistemas que integren las necesidades de agua de los cultivos, la configuración hidráulica de la red de riego y la producción de energía fotovoltaica.

Para afrontar la problemática derivada de la variabilidad en la producción de energía solar, el modelo de riego solar inteligente propuesto sincroniza la producción fotovoltaica instantánea con la demanda de los distintos sectores de riego, llevando a cabo una toma de decisiones en tiempo real para la activación de las distintas electroválvulas que controlan la red, en función de la irradiancia disponible. La aplicación del mismo en la parcela experimental de olivar del Campus de Rabanales (Universidad de Córdoba), permitió satisfacer completamente las necesidades de riego del cultivo, calculadas para condiciones de riego deficitario controlado. Gracias a esto, es posible eliminar los costes asociados a la compra de energía a la compañía eléctrica y un ahorro en las emisiones de 1.32 tn CO_2 eq, correspondientes a 603 horas de riego. Por tanto, este sistema aúna los intereses económicos de los agricultores con los objetivos de protección del medio ambiente. La potencia consumida representó entre un 18 y un 39 % de la generada, por lo que el resto podría ser aprovechado en otros usos.

De esta forma, la energía fotovoltaica se presenta como una alternativa sostenible y económicamente viable para el sector del regadío.

Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado dentro del proyecto “Reducción de la dependencia energética del regadío mediante el uso de sistemas predictivos y energías renovables” (AGL2014-59747-C2-2-R), financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Rural.

Bibliografía

Carrillo Cobo, M.T., E. Camacho Poyato, P. Montesinos, J.A. Rodríguez Díaz. 2014. New model for sustainable management of pressurized irrigation networks. Application to Bembézar MD irrigation district (Spain). *Sci. Total Environ*. 473–474, 1–8.

Hamidat, A., B. Benyoucef, T. Hartani. 2003. Small-scale irrigation with photovoltaic water pumping system in Sahara regions. *Renew. Energy* 28, 1081–1096.

López-Luque, R., J. Reca, J. Martínez. 2015. Optimal design of a standalone direct pumping photovoltaic system for deficit irrigation of olive orchards. *Appl. Energy* 149, 13–23.

Pastor, M. and F. Orgaz. 1994. Riego Deficitario del Olivar. Agricultura 746, 768-776.

Pérez-Rodríguez, J.M., and J. Parras-Cintero. 2014. *Manual práctico de riego del olivar de almazara. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura*. CICYTEX., Badajoz.

Vick, B.D. 2010. *Developing a Hybrid Solar / Wind Powered Irrigation System for Crops in the Great Plains*. Am. Sol. Energy Soc.

Yahyaoui, I., F. Tadeo, M. V. Segatto. 2016. Energy and water management for drip-irrigation of tomatoes in a semi- arid district. *Agric. Water Manag*. 183, 4–15.

A importância das auditorias técnicas aos sistemas de rega no uso eficiente da água e energia. O estado atual

Luis Boteta[1], Marta Fabião[1], Marta Santos[1], Paula Brás[1], Marta Varela[1], Hugo Santinhos[1], João Guerreiro, José Penacho[1], Vera Guerreiro[1], Gonçalo C. Rodrigues[1]

[1] COTR – Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, Quinta da Saúde – Apartado 354, 7801-904 Beja, goncalo.rodrigues@cotr.pt

Resumo

O uso eficiente da água em agricultura visa reduzir as perdas de água e de energia ao nível da exploração que, na sua grande maioria, representam utilização do recurso onde será à partida dispensável. O uso eficiente da água, que se pretende que seja o mais elevado possível ao nível da exploração agrícola, já que todo o gasto supérfluo representa um custo económico e ambiental acrescido para o regante, o qual depende, de entre outras variáveis, do coeficiente de uniformidade de aplicação da água (CU) e da eficiência energética (EE) do sistema de bombagem. Estes indicadores podem ser utilizados pelo gestor da rega para, de algum modo, controlar a eficácia da rega. Neste estudo recolheu-se informação das 393 auditorias aos sistemas de rega feitas pelo COTR – 178 sistemas de rega por aspersão e 215 por rega localizada –, durante os anos de 2015 e 2016, acompanhadas por 120 auditorias a sistemas de bombagem individuais, por forma a avaliar a sua eficiência. No caso dos sistemas de rega por aspersão, o CU alerta para a necessidade de intervenção ao nível do sistema de rega com apenas 9% dos sistemas a alcançarem um CU excelente (> 90 %); já 20 % dos casos apresentavam um mau CU (< 80 %). Estes resultados reforçam a necessidade de um acompanhamento mais frequente dos sistemas de rega para resolver possíveis fatores limitativos de eficiência. Já na rega localizada, o CU apresenta resultados mais animadores com 66 % a apresentarem um CU superior a 90 %. Apenas 2 % dos casos apresentavam um mau CU. Do total dos sistemas de bombagem amostrados, apenas 26 % dos casos alcançaram uma EE > 65% (excelente) contra 7 % com uma má EE (< 45 %). Podemos concluir que é fundamental uma intervenção técnica especializada por forma a disponibilizar meios que permitam ao agricultor realizar e a manter a sua atividade de regadio de um modo económico, tendo em conta as restrições crescentes a que está sujeito. Conhecer os índices de desempenho do sistema de rega, tendo em conta as suas potencialidades e identificando eventuais deficiências, é sem dúvida o primeiro passo para uma correta gestão da rega, para um uso racional da água e energia na agricultura de regadio.

Palavras-chave: Uniformidade da rega, rega por aspersão, rega localizada, eficiência energética, agricultura de regadio

The importance of irrigation systems performance assessment in the efficient use of water and energy. Current state

Abstract

An efficient water use in agriculture aims at reducing water and energy losses at farm level, which, in most cases, it represents a use of a resource that could be expendable. The efficiency of water use, which is intended to be the highest possible at farm level, since all superfluous use represents an added economic and environmental cost for the farmer, that results, among other variables, from the Uniformity Coefficient (UC) of water application and energy efficiency (EE) of the pumping system. These indicators can be used by the irrigation manager to control irrigation efficiency. In this study, information was collected from the 393 irrigation systems assessment made by COTR - 178 sprinkler and 215 drip irrigation systems - and 120 individual pumping systems assessments, during the years 2015 and 2016. For sprinkler irrigation systems, the UC shows the need for irrigation system intervention with only 9% of systems achieving an excellent UC (> 90%); on the opposite, 20% of all cases presented a bad UC (<80%). These results reinforce the need for a more frequent maintenance of the irrigation systems to solve possible efficiency limiting factors. For drip irrigation, UC presents better results with 66% of these systems presenting a UC higher than 90%. Only 2% of the cases

had a bad UC. Of all the pumping systems assessed, only 26% of the cases achieved a EE > 65% (excellent) versus 7% with a poor EE (< 45%). We can conclude that a specialized technical maintenance is essential to provide the means to allow the farmer to achieve profit, considering the increasing environmental and economic restrictions. Knowing the performance variables of the irrigation system, taking into account their potentialities and identifying any limitations, is undoubtedly the first step towards a correct irrigation management, for a rational use of water and energy in irrigated agriculture.

Keywords: Irrigation system unifirmity, sprinkler irrgation, drip irrigation, enegy effciency, irrigated agriculture

1. Introdução

O valor da eficiência do uso da água, ao nível da agricultura de regadio, andará, em termos globais, pelos cerca de 58 %, considerando as redes de transporte e distribuição da água – canais e tubagens – e as redes de aplicação de água – sistemas de rega ao nível da exploração agrícola, pretendendo-se, de acordo com o Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água, passar para 66 % num prazo de 10 anos.

A preocupação de gerir a eficiência do uso da água em agricultura visa em reduzir as perdas de água ao nível da exploração que, na sua grande maioria, representam utilização do recurso onde será à partida dispensável. Contudo, se alargarmos a área observada, passando para o nível da bacia hidrográfica, parte da água que se perde é reaproveitada, quer seja para fins agrícolas, ambientais ou outros. Aqui, esta problemática terá que ser visada de forma distinta, já que uma "perda" a montante poderá representar um "ganho" a jusante.

Paralelamente a esta eficiência do uso da água, que se pretende que seja a mais elevada possível ao nível da exploração agrícola, já que toda todo o gasto supérfluo representa um custo económico e ambiental acrescido para o regante, temos que conhecer qual a uniformidade de aplicação da água.

A uniformidade de aplicação tem a ver com a água que chega a todas as plantas que se pretendem regar. O que qualquer sistema de rega deve garantir é que a maior área possível receba a mesma quantidade de água. Tal como com a eficiência, pretende-se que a uniformidade seja a mais alta possível, podendo referir-se, como indicação, que a uniformidade deverá sempre ser superior a 85-90 %, ou seja, apenas 10 a 15% receba um volume de água superior ou inferior ao que se pretende aplicar.

Em muitos casos, o mau funcionamento do sistema só se evidencia tardiamente quando a cultura, em determinadas áreas da parcela, começa a sofrer as consequências de falta ou excesso de água. Esta situação é agravada quando se aplicam fertilizantes ou fitofármacos junto com a água de rega. Mesmo as dotações aplicadas pelo sistema, em termos médios, e consideradas na gestão da rega, podem diferir na realidade daquelas consideradas no projeto inicial, no caso de um pivot, ou do débito nominal de um emissor na rega localizada.

De referir também que, atualmente se observa um crescimento exponencial no recurso a sistema de monitorização para gestão da rega, nomeadamente sondas de medição da humidade no solo. É claro que o recurso a esta tecnologia tem como fim o controlo do consumo estritamente necessário de água para que se atinja a maximização da produção com o mínimo custo económico neste caso do fator água, contudo por mais sofisticados e precisos que sejam estes sistemas, se não garantirmos uma boa uniformidade do sistema de rega na aplicação de água a informação destes sistemas de monitorização pode não ser representativa da parcela.

A eficiência e a uniformidade da água de rega são indicadores que o gestor da rega usa para, de algum modo, controlar a eficácia da gestão da rega. Por forma a avaliar este bom funcionamento do seu sistema, o regante deverá realizar uma inspeção ao seu equipamento de rega. Tendo esta situação presente, foi desde sempre uma das atividades do COTR a auditoria, ou inspeção, aos sistemas de rega. Abrangendo todos os tipos de sistemas de rega, mas sobretudo com maior

enfoque nos sistemas de rega com pivot e nos sistemas de rega localizada em culturas perenes. Esta inspeção tem como objetivo identificar eventuais problemas no sistema que possam afetar a uniformidade e, conhecendo quais as dotações reais, ajustar adequadamente o sistema de rega, apontando a uma melhor eficiência do uso da água. É também um garante de que todos os processos de automatização e controlo serão eficazes na gestão da rega.

Em qualquer sistema de rega, o trabalho de inspeção passa, essencialmente, pela medição de caudais (Figura 1), volumes e pressões de funcionamento (Figura 2). Os volumes são recolhidos nos emissores ou em pluviómetros (Figura 3), junto ao solo de forma a caracterizar a uniformidade da rega. As pressões são medidas com manómetros em locais estratégicos de forma a identificar eventuais problemas. Estas medições são posteriormente comparadas com as indicações de projeto e transformadas em indicadores que caracterizam, em termos globais, a eficácia do sistema, em que o principal parâmetro indicador da qualidade da aplicação da água é o Coeficiente de Uniformidade (CU). De acordo com este parâmetro classifica-se a aplicação da água em: Excelente CU > 90 %, Boa 85 % < CU < 90 %; Aceitável 80 % < CU < 85 %; Má CU < 80 %

Para além da determinação da qualidade da aplicação da água, foram efetuadas também algumas medições ao nível dos sistemas de filtragem e bombagem, de modo a verificar se as suas capacidades vão de encontro às necessidades do sistema.

As metodologias de medição têm por base as normas internacionais, nomeadamente a norma ISO - 11545 (1994) e ISO 9261 (2010) e a metodologia e recomendações constantes em Merriam & Keller (1978).

As inspeções técnicas que contribuíram para os indicadores deste estudo foram efetuadas na região do Alentejo, Ribatejo e Beira interior, durante o período de 2015 e 2016. Recolheu-se informação de 393 auditorias aos sistemas de rega feitas pelo COTR – 178 sistemas de rega por aspersão e 215 por rega localizada – o que corresponde a um total de área abrangida pelos sistemas de rega auditados de 25900 ha, sendo 4900 ha com rega por pivot e 21000 por rega localizada.

Figura 1. Medição de caudal do pivot.

a)

b)

Figura 2. Medição de pressão: a) Pivot. b) rega localizada.

a)

b)

Figura 3. a) Ensaio de uniformidade do pivot. b) Medição do débito do gotejador.

Outra das matérias de importante relevo associado ao regadio é o uso da Energia na Agricultura. Pode-se considerar que mais de 90 % dos sistemas de rega hoje existentes no Alentejo são sistemas sob pressão, e igual valor se irá, por certo, verificar com os novos regadios, pelo que exigem uma fonte de energia externa para proporcionarem essa pressão.

Sendo este um dos elementos que mais contribui para o custo de exploração de um sistema de rega, o seu eficiente desempenho é fundamental. Conscientes desta situação, procurou-se efetuar, paralelamente ao trabalho da inspeção ao sistema de rega, auditorias energéticas às estações de bombagem associadas a estes sistemas.

Desta forma, para determinar a eficiência energética determinou-se o rendimento do grupo de bombagem, caracterizado pela relação entre o consumo de energia e a produção hidráulica (caudal-pressão). Esta informação permite dar a conhecer o custo energético horário e se o desempenho está desfasado do desempenho potencial, de acordo com as características do grupo de bombagem quando novo. A partir dos dados recolhidos, a avaliação da estação de bombagem foi feita comparando o desempenho atual do grupo com um determinado padrão, o qual, no presente caso, é o apresentado por Fischbach & Schroeder (1982) – *"Nebraska Perfomance Criteria for Pumping Plants"*. Os indicadores de eficiência obtidos resultam de 120 auditorias a sistemas de bombagem individuais.

2. Resultados

2.1. Sistema de rega por pivot

Na figura 4 apresentam-se o resumo do coeficiente de uniformidade obtido em sistemas de rega por pivot, agrupados de acordo com a classificação anteriormente referida. De acordo com os resultados obtidos verifica-se que os sistemas com uma uniformidade classificada como Má é de 20%, o que representa um numero significativo de sistemas com baixa uniformidade. Significa isto que ainda há trabalho a desenvolver relativamente à melhoria das condições de funcionamento dos pivots.

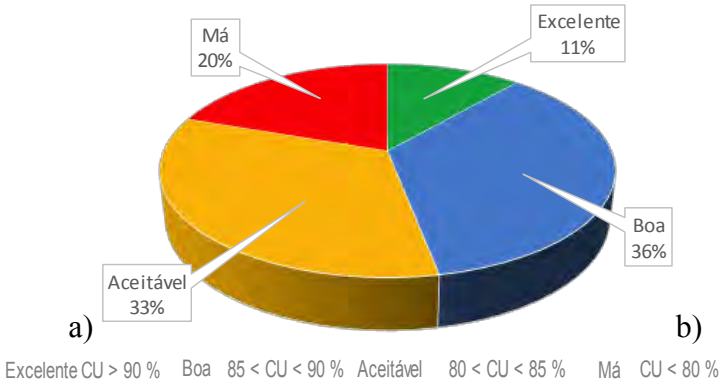


Figura 4. Resumo do coeficiente de uniformidade das inspeções efetuadas a sistemas de rega por pivot.

Os principais problemas encontrados nas avaliações efetuadas são entupimentos, principalmente quando os emissores são instalados em tubos descendentes (drops), fugas e parâmetros hidráulicos desajustados (figura 5). Os entupimentos, estão associados principalmente a material que vai em suspensão, nomeadamente matéria orgânica que se acumula nos emissores. Esta situação está associada essencialmente quando os abastecimentos tem origem de águas superficiais. No que se refere aos parâmetros hidráulicos desajustados face aos parâmetros de catálogo, por vezes resulta da conjunção de vários fatores desde dos entupimentos até ao desgaste dos reguladores de pressão.

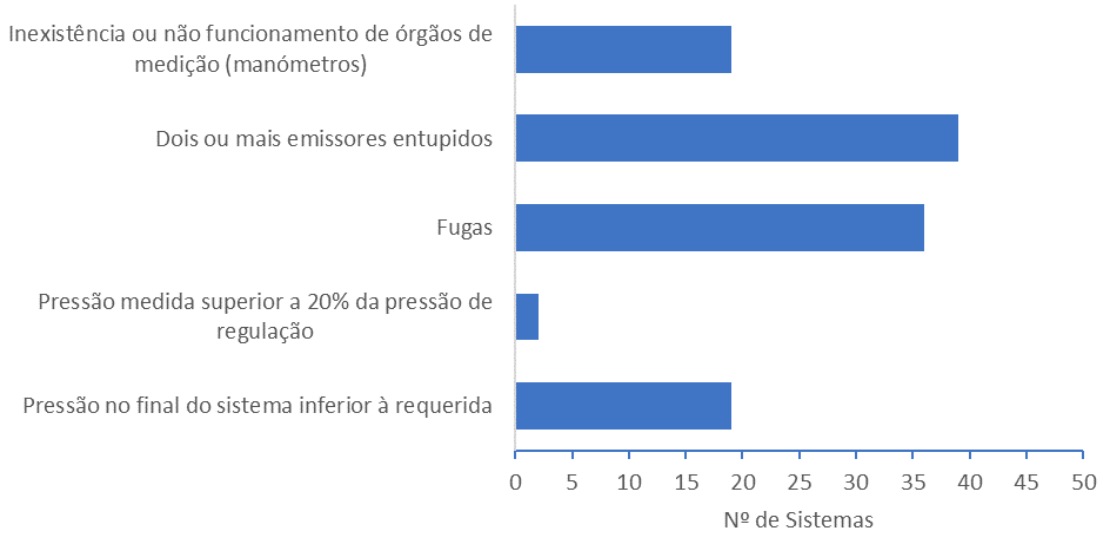


Figura 5. Resumo dos principais problemas identificados nos sistemas de rega por Pivot.

De acordo com a experiencia do COTR, no âmbito da avaliação do desempenho de pivots, tem se vindo a verificar que diferenças no que respeita à qualidade da rega, principalmente ao nível da uniformidade, estão também associadas ao tipo de emissor, tal como foi possível mostrar no trabalho desenvolvido por Nunes *et al.* (2007), os quais concluíram que os emissores do tipo "rotator" e "spinners" testados atingem melhores uniformidades que os "sprays", sendo que estes últimos apresentam ainda a desvantagem da redução do alcance de aspersão, e consequentemente, o aumento da intensidade pluviométrica ao longo do pivot, que poderá implicar problemas a nível agronómico e ambiental, nomeadamente em pivots de grande comprimento, e quando o relevo propicia à ocorrência de escoamento superficial.

2.2. Sistema de rega localizada

Na figura 6 apresentam-se o resumo do coeficiente de uniformidade obtido em sistemas de rega localizada. De acordo com a informação obtida é de realçar a elevada percentagem de sistemas com uma uniformidade classificada como excelente. De acordo com a experiencia do COTR é evidente a melhoria das condições de funcionamento destes sistemas ao longo dos últimos anos, o que se deve essencialmente a uma peça fundamental que é a existência de um projeto de rega que contribui claramente para o seu correto dimensionamento.

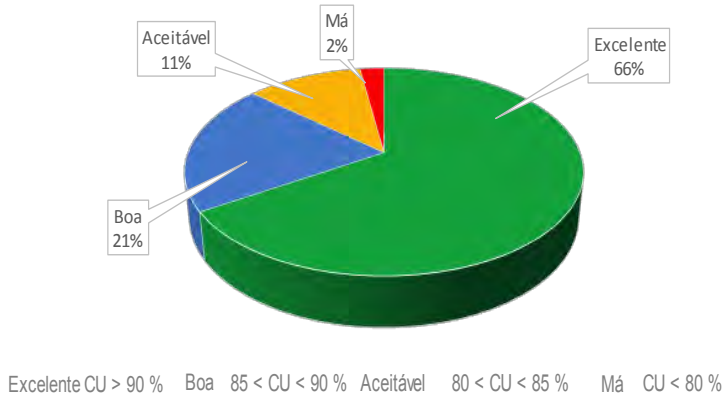


Figura 6. Resumo do coeficiente de uniformidade das inspeções efetuadas a sistemas de rega localizada.

Apesar dos bons indicadores obtidos, ainda assim existem alguns tipos de problemas identificados ao nível da exploração destes sistemas de rega. Os entupimentos e roturas dos laterais de rega são as principais causas para baixar os indicadores da qualidade da rega (figura 7). Os entupimentos estão essencialmente associados à qualidade da água, que em muitas situações o sistema de filtragem não é o mais adequado para as suas características nomeadamente na existência de matéria orgânica. Em muitas situações o plano de manutenção da rede de rega não existe ou é ineficiente devido ao incorreto tratamento a aplicar nas operações de limpeza do sistema (tipo de produto, concentrações).

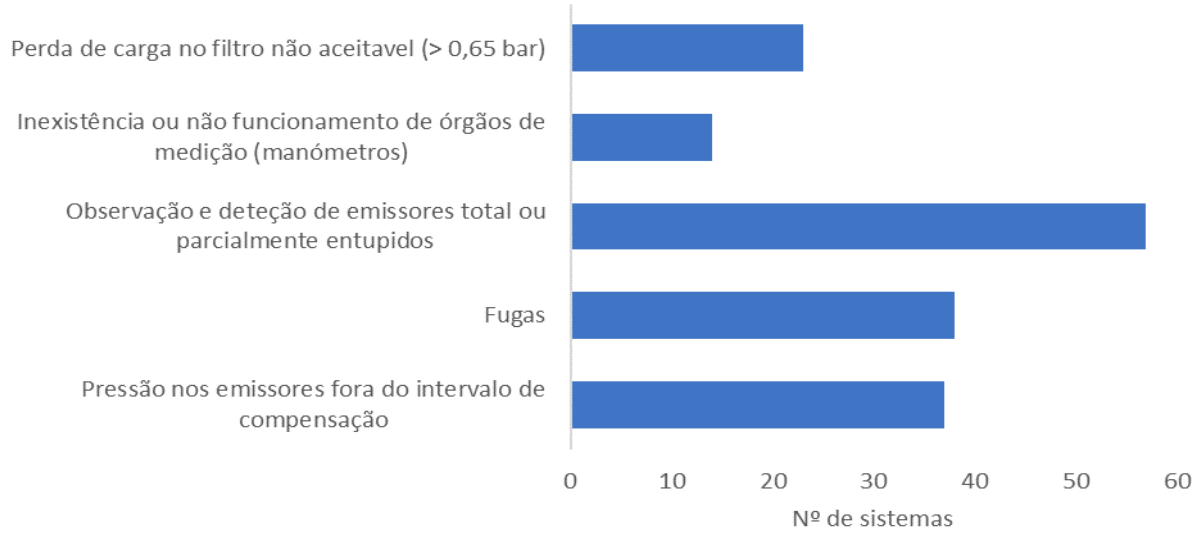


Figura 7. Resumo dos principais problemas identificados nos sistemas de rega localizada.

As roturas nos laterias de rega é outro problema frequente nestes sistemas, causado essencialmente por roedores e maquinas nas operações culturais. Tendo em consideração que este último problema é uma preocupação para o gestor da rega, uma vez que consome bastante tempo na sua verificação, torna-se importante o desenvolvimento de técnicas de identificação de situações de excesso de água no terreno causado por esta ocorrência. Com o crescente domínio de câmaras de infravermelhos e térmicas associados a drones e tecnologias de comunicação, pode eventualmente ser uma solução nomeadamente para explorações de grande dimensão.

2.3. Auditorias energéticas

De acordo com as auditorias energéticas efetuadas a estações de bombagem verifica-se que o maior número de sistemas – 44 % – se encontra com uma eficiência aceitável (50% a 60%), sendo que abaixo dos 50% totaliza-se uma percentagem de 19 % (figura 8). Este cenário mostra que existe uma margem de progressão no que diz respeito a esta matéria.

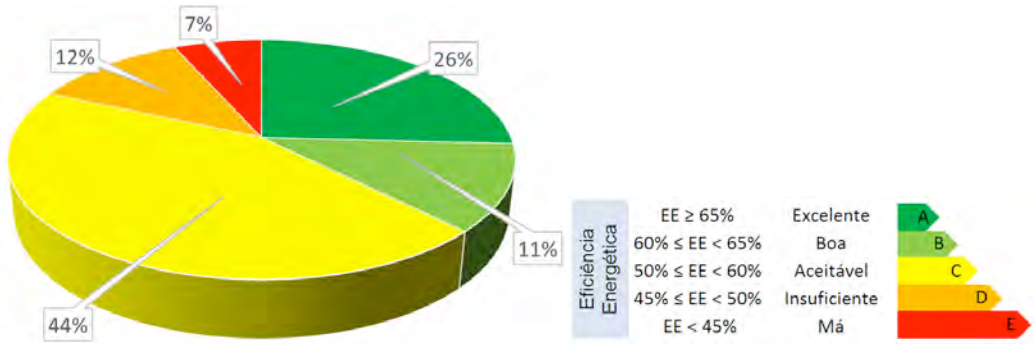


Figura 8. Resumo das Uniformidades das inspeções realizadas: a) até e b) durante o ano de 2015 em sistemas de rega pivot.

Existem vários fatores para a baixa eficiência de alguns grupos de bombagem, nomeadamente em sistemas mais antigos muitas vezes quase que a única atenção que se prestava na sua aquisição

estava relacionada com o investimento, e mesmo neste caso, o investimento é, muitas vezes, analisado sob o ponto de vista de um custo, e como tal é escolhido o mais barato, sem serem analisadas as implicações no custo de exploração dos sistemas. Outra das situações está relacionado com a falta de manutenção levando a baixas eficiência e também a avarias mais frequentes.

De qualquer forma, tendo em consideração a informação recolhida pelo COTR ao longo de vários anos verifica-se uma evolução positiva no que diz respeito à adequação dos sistemas de bombagem, por forma a aumentar a eficiência energética associada a esta atividade.

3. Considerações finais

Como se vê, a técnica vai evoluindo no sentido de disponibilizar meios que permitam ao agricultor realizar e a manter a sua atividade de regadio de um modo económico, tendo em conta as restrições crescentes a que está sujeito. Contudo, e a par desta evolução técnica, não se poderá esquecer que, ela só será efetiva, se se cuidar da evolução técnica do próprio agricultor, ou seja, se ele estiver em pé de igualdade, em termos de conhecimento, com as ferramentas de que dispõe.

Para isso, e de acordo com este conjunto de informação parece poder concluir-se da importância de criar consciência em todos os agentes ligados a esta área para dar continuidade à implementação destas e outras técnicas de diagnóstico aos equipamentos de rega por forma a aumentar a eficiência do uso da água e energia na agricultura de regadio.

Para isso é fundamental que seja incentivado a continuidade da adoção de serviços de assistência técnica e extensão rural ao nível do regadio que devem ser acompanhados de perto pelas associações e cooperativas, de forma a apoiar os produtores na aplicação de técnicas de monitorização/gestão da água, mantendo-os bem informados e melhor capacitados para se desenvolverem no mercado globalizado.

Referencias Bibliográficas

Fischbach, P. E., & Schroeder, M. A. 1982. *Irrigation Pumping Plant Performance Handbook*. Agricultural Engineering Department. CES, IANR. Lincoln, Nebr.: University of Nebraska.

ISO 11545. 1994. Agricultural irrigation equipment. Center pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles. Determination of uniformity of water distribution.

ISO 9261. 2010. Agricultural irrigation equipment - Emitters and emitting pipe - Specification and test methods

Merrian, J., and Keller, J. 1978. *Farm irrigation systems evaluation: a guide for management*. Utah State University, Logan, Utah, USA.

Nunes, F., Mendes, J., Oliveira, I., and David, F. 2007. Análise do desempenho de alguns emissores para sistemas center pivot. In *CD-Rom das Comunicações do 2º Congresso Nacional de Rega e Drenagem*, 2007, Fundão.

Gestão de águas residuais de matadouros – Processos de tratamento convencionais e inovadores

Flávia Fernandes[1], Silvana Luz[3], Alexandra Afonso[1,3], Adelaide Almeida[3], Fátima Carvalho[3], Eliana Jerónimo[1,2,] Ana R. Prazeres[1,2,*]

[1] Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Beja, Portugal *ana.prazeres@cebal.pt

[2] ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Évora, Portugal

[3] Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Rua Pedro Soares, Apartado 6155, 7800-295, Beja, Portugal

Resumo

Os impactes ambientais causados pela descarga de efluentes de matadouros no meio hídrico têm aumentado devido à intensificação das atividades de abate e transformação de carne e aos elevados consumos de água relacionados com as rigorosas exigências a nível de higienização e desinfeção das carnes. Neste contexto, intensifica-se a necessidade das indústrias de abate e processamento de carne na tomada de medidas de gestão de modo a cumprir a legislação aplicável, com mitigação dos impactes ambientais através da redução dos seus efluentes e da procura por soluções de tratamento mais eficientes e economicamente viáveis. Vários tipos de processos de tratamento biológico, físico-químico e combinados têm sido aplicados para aumentar a remoção de matéria orgânica, azoto e fósforo destes efluentes. Apesar das elevadas taxas de eliminação de matéria orgânica conseguidas através dos sistemas biológicos (geralmente superior a 70 %), estes processos apresentam algumas desvantagens sobretudo relacionadas com os elevados tempos de retenção hidráulica, elevados volumes de reator e elevada sensibilidade para a garantia de crescimento microbiano adequado. Os métodos físico-químicos mais aplicados em águas residuais de matadouros (ARM) têm sido a flotação por ar dissolvido (FAD), coagulação-floculação (CF), eletrocoagulação (EC), tecnologias de membrana (TM) e oxidação avançada (OA). Em comparação com os tratamentos biológicos, os tratamentos físico-químicos são mais simples, com menor sensibilidade e menores tempos de retenção hidráulica, no entanto muitos deles falham na viabilidade económica. Este trabalho pretende mostrar as dificuldades atuais na gestão de ARM, os tratamentos convencionais biológicos e físico-químicos que têm sido aplicados. Serão ainda apresentadas algumas soluções inovadoras baseadas em reações de oxidação e precipitação, com remoções próximas de 90 % de carência química de oxigénio (CQO), que estão a ser desenvolvidas no âmbito do projeto HYDROREUSE – Tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais utilizando um sistema hidropónico inovador com plantas de tomate.

Palavras-chave: processos biológicos, processos físico-químicos, matéria orgânica, sólidos suspensos, eficiência de remoção

Management of slaughterhouse wastewaters – Conventional and innovative treatment processes

Abstract

The environmental impacts caused by the discharge of slaughterhouse effluents in receptor medium have increased due to the intensification of slaughtering activities and meat processing and the high water consumptions related to the strict hygienic and disinfection requirements of the meats processing. In this context, it also increases the need of the slaughter and meat processing industries to adopt management measures in order to comply with the applicable legislation, with mitigation of the environmental impacts through the reduction of their effluents and the search for more efficient and economically viable treatment solutions. Several types of biological, physicochemical and combined treatment processes have been applied to increase the removal of organic matter, nitrogen and phosphorus from these effluents. Despite the high organic matter removal rates achieved through biological systems (generally up to 70 %), these processes

present some drawbacks mainly related to high hydraulic retention times, high reactor volumes and high sensitivity to ensure adequate microbial growth. The most applied physicochemical methods in slaughterhouses wastewaters (SW) have been the dissolved air flotation (DAF), coagulation-flocculation (CF), electrocoagulation (EC), membrane technologies (MT) and advanced oxidation (AO). Compared with biological treatments, physicochemical treatments are simpler, with less sensitivity and shorter hydraulic retention times, however many of them fail in economic viability. This work intends to show the current difficulties in the management of SW, the conventional biological and physical-chemical treatments that have been applied. Some innovative solutions based on oxidation and precipitation reactions, with removals of about 90 % of chemical oxygen demand (COD), will also be presented, which are being developed under the HYDROREUSE project (Treatment and reuse of agro-industrial wastewaters using an innovative hydroponic system with tomato plants).

Keywords: biological processes, physicochemical processes, organic matter, suspended solids, removal efficiency

1. Introdução

A diminuição de recursos hídricos disponíveis, motivado tanto pelo crescente aumento da população mundial como pelo aquecimento global e alterações climáticas, tem aumentado a procura por soluções alternativas de água não potável, especialmente em países onde a disponibilidade de água é extremamente escassa (Carr et al., 2004; US EPA, 2004). Com isto, os sistemas de gestão de águas residuais têm vindo a reorganizar os seus objetivos com vista a um maior aproveitamento e valorização deste tipo de águas, desde da diminuição da produção de efluentes através de consumos sustentáveis de água até à sua reutilização/reciclagem (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015). Para além disso, as normas para a descarga de efluentes industriais têm vindo a tornar-se progressivamente mais rigorosas, aumentando a necessidade do desenvolvimento de tecnologias cada vez mais avançadas e eficientes de gestão e tratamento de águas residuais (Carr et al., 2004; US EPA, 2004).

As águas residuais dos matadouros (ARM) são um dos tipos de águas residuais industriais que mais tem merecido atenção, sobretudo em países tradicionalmente consumidores de carne, estando a sua produção associada a graves impactes ambientais e de saúde pública (European Comission, 2007). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency*, EPA) classifica mesmo as ARM como uma das águas residuais mais nocivas devido à sua complexa composição em fibras, gorduras e proteínas, com libertação de amónia (NH_3) e capaz de causar a desoxigenação dos rios e a contaminação das águas subterrâneas (US EPA, 2004).

Adicionalmente, acrescem as preocupações do setor agroindustrial relacionadas com as elevadas quantidades de ARM que são produzidas. Devido às rigorosas exigências a nível de higienização e desinfeção das carnes e limpeza das instalações e equipamentos, a indústria de transformação de carne e matadouros é dos setores onde se consome mais água em todo o mundo, gastando até 29 % da água consumida pelo setor agrícola (European Comission, 2007; Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015). Em média são consumidos 2900 e 2690 L de água/1000 kg de peso morto durante o abate e cerca de 5600 e 4630 L de água/1000 kg de produto acabado durante o processamento de carnes, para pequenas e grandes instalações, respetivamente (US EPA, 2002; Mittal, 2004). Segundo Bouwman et al. (2013), até 2050 está prevista uma duplicação da produção de carne em todo o mundo, com consequente aumento das atividades de abate e transformação de carne. Como consequência do aumento destas atividades, aumentará o consumo de água doce, resultando num maior volume de águas residuais produzido que deverá ser tratado de forma eficaz antes da sua descarga para o meio recetor.

Tendo em vista formas de reduzir o impacte ambiental e o perigo para a saúde pública causado pela descarga de efluentes de matadouro, este trabalho pretende avaliar o desempenho e a aplicabilidade dos processos convencionais no tratamento de ARM, observando as suas vantagens e desvantagens e ao mesmo tempo discutir algumas soluções inovadoras.

2. Caracterização das águas residuais de matadouro

As ARM (Figura 1) são resultado da mistura das águas provenientes das linhas de abate e processamento das carnes e das linhas de limpeza e desinfeção. A Tabela 1 apresenta a composição físico-química geral das ARM. No entanto, é de notar que a composição e qualidade das ARM pode variar com o tipo e número de animal abatido, tipos de atividades de processamento e forma de gestão da água no processo industrial (Mittal, 2004). Estes efluentes caracterizam-se pela elevada presença de matéria orgânica (carência química de oxigénio (CQO) = 500 – 16000 mg L^{-1}) devido à presença de sangue, urina e fezes e altos teores em nutrientes, como azoto (50 – 840 mg L^{-1}) e fósforo (25 – 200 mg L^{-1}). Além disso, estes efluentes apresentam elevado conteúdo de sólidos suspensos totais (SST) (270 – 6400 mg L^{-1}) e partículas coloidais, na forma de gorduras, fibras e fragmentos de pele, pelo e osso. A maior parte da matéria orgânica é biodegradável, variando geralmente entre 150-5000 mg de O_2 L^{-1} em termos de carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), sendo estes valores duas a quatro vezes superiores às águas residuais domésticas (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015).

Figura 1. Águas residuais de matadouros

A matéria orgânica presente serve como fonte de nutrientes para o crescimento microbiano, resultando na proliferação de microrganismos, incluindo bactérias, vírus e protozoários, e na produção de odores desagradáveis através do O_2 que é consumido. Muitos microrganismos patogénicos, tais como *Escherichia coli* O157:H7, *Shigella* spp., *Salmonella* spp. e *Campylobacter* spp., são ainda libertados nas fezes e durante a evisceração dos animais, aumentado os perigos para a saúde pública. Para além disso, podem também estar presentes nas ARM detergentes e desinfetantes utilizados nas atividades de limpeza dos pisos e dos equipamentos e ainda produtos farmacêuticos usados para fins veterinários.

Tabela 1. Composição química geral das águas residuais de matadouro

Parâmetro	Unidade	Intervalo	Valores médios
COT	mg L^{-1}	70 - 1200	540
CQO	mg O_2 L^{-1}	500 - 16000	4200
CBO_5	mg O_2 L^{-1}	150 - 5000	1200
SST	mg L^{-1}	270 - 6400	1200
Óleos e gorduras	mg L^{-1}	100 - 300	200
Fósforo total	mg L^{-1}	25 - 200	50
Azoto total	mg L^{-1}	50 - 840	420
pH	escala de Sorensen	4,90 - 8,10	7,00
Cor	mg L^{-1} Pt escala	175 - 400	290
Turvação	FAU	200 - 300	280

COT – Carbono orgânico total; CQO – Carência química de oxigénio; CBO – Carência bioquímica de oxigénio; SST – Sólidos suspensos totais; FAU – Unidades de atenuação de formazina; Pt - Platina-cobalto. **Fonte:** Adaptado de Real-Olvera and Lopez-Lopez, 2012; Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015.

3. Processos de gestão utilizados no tratamento de águas residuais de matadouro

Para que um processo de tratamento de uma água residual seja sustentável ele deverá ser estável, com baixo consumo de recursos, atrativo do ponto de vista económico e ser eficiente na remoção da carga poluente de modo a que água possa ser descarregada no meio recetor (Muga e Mihelcic, 2008). Por outro lado, a seleção de um tratamento está muitas vezes sujeita às características da própria água, à tecnologia disponível e à regulamentação vigente em cada país (Mittal, 2006; Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015).

Vários processos de tratamento biológico, físico-químico ou processos combinando tratamentos biológicos e/ou físico-químicos, têm sido aplicados no tratamento de ARM (Figura 2). A maioria dos estudos foca-se sobretudo na aplicação de tratamentos biológicos. De facto, a elevada concentração em matéria orgânica presente nas ARM faz com que os processos biológicos, através da digestão por meio de microrganismos em ambiente aeróbio ou anaeróbio, seja a forma de tratamento mais tipicamente utilizada.

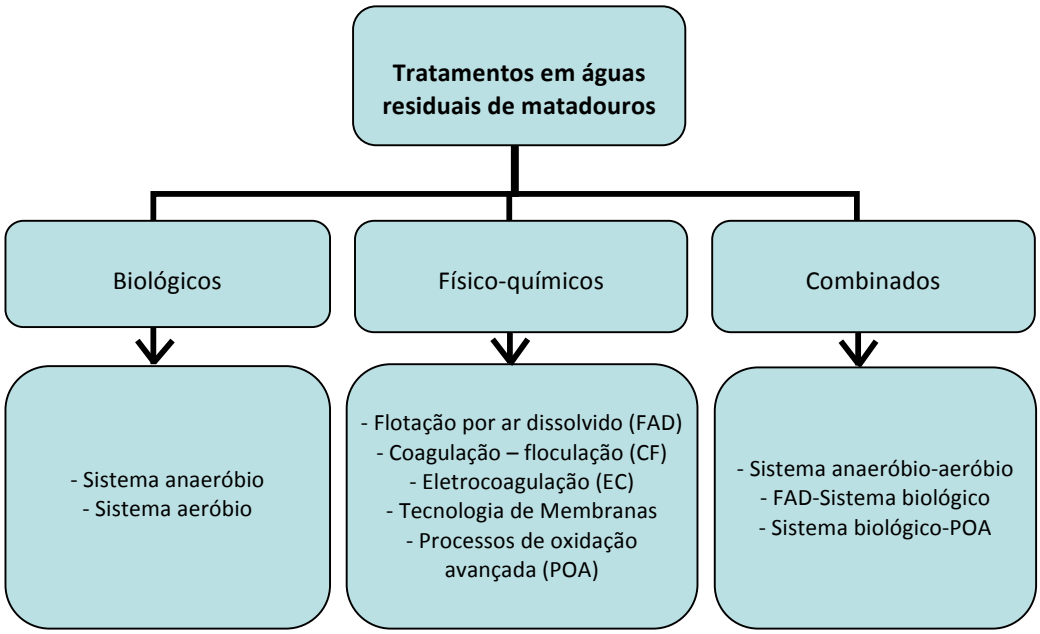


Figura 2. *Esquema de tratamentos usuais em águas residuais de matadouro*

3.1 Processos biológicos

A aplicação dos processos biológicos em ARM tem sido feita de diversas formas, através por exemplo de filtros anaeróbios, reatores anaeróbios compartimentados, lagoas anaeróbias, reatores de leito de lamas de fluxo ascendente, processos aeróbios de lamas ativadas ou reatores aeróbios sequenciais em *batch*. De entre os processos biológicos, a digestão em anaerobiose é geralmente o tratamento mais utilizado para ARM. Comparativamente com a digestão aeróbia, a digestão anaeróbia permite maior remoção de CQO, apresentando gamas de remoção entre 70 – 96 % *vs.* 34 – 98 % conseguidos em sistemas aeróbios, baixa produção de lamas (entre 5 e 20 %), menores consumos energéticos e exigência de equipamentos mais simples (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015).

Apesar das altas taxas de remoção de matéria orgânica atingidas, tanto os sistemas anaeróbios como os aeróbios requerem tempo de contato suficiente entre as águas residuais e os microrganismos de forma a garantir a eficiência do processo, o que aumenta os tempos de retenção hidráulica e a necessidade de elevados volumes de reator (Mittal, 2006). Para além disso, para que um tratamento

biológico funcione sem qualquer inibição do crescimento microbiano geralmente são aplicados processos de pré-tratamento físico-químicos que permitam remover óleos e gorduras e sólidos em suspensão (Chan et al., 2009). As condições operacionais de temperatura devem também ser ajustadas ao crescimento ótimo dos microrganismos, assim como a utilização de detergentes e produtos químicos utilizados nas operações do matadouro não devem comprometer os processos biológicos, o que aumenta a instabilidade destes processos (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015).

Na maioria das vezes a aplicação de processos biológicos não é suficiente para que degradação da matéria orgânica cumpra com os limites de descarga dos efluentes, pelo que deverão ser aplicados processos complementares (Chan et al., 2009).

3.2 Processos físico-químicos

Os processos físico-químicos mais comuns no tratamento de ARM têm sido a flotação por ar dissolvido e a coagulação-floculação, sobretudo aplicados como processos de pré-tratamento. Nos últimos anos têm surgido estudos com aplicação de processos físico-químicos alternativos no tratamento de ARM mas com sucesso comprovado noutro tipo de águas residuais indústrias, como efluentes das indústrias têxtil, papeleira, petroquímica ou da produção de azeite. De entre estes processos incluem-se os processos eletroquímicos, a tecnologia de membranas e os processos avançados de oxidação, embora estes dois últimos ainda com menor expressão no tratamento de ARM que os eletroquímicos.

A flotação por ar dissolvido (FAD) tem sido tipicamente aplicada no tratamento primário de ARM para reduzir a carga em gorduras e óleos e em sólidos suspensos leves (Figura 3) antes de um tratamento biológico. Neste processo, a totalidade ou uma fração do efluente é saturada com ar a 250-300 kPa a partir do fundo de tanques de flotação, arrastando as moléculas poluentes para a superfície (Mittal, 2006). A eficiência de remoção do processo é geralmente melhorada através da adição de substâncias químicas, tais como coagulantes (por exemplo, sulfato de alumínio e cloreto férrico) e floculantes (por exemplo, polímeros como a poliacrilamida), que permitem aumentar a precipitação de proteínas e a flotação de gorduras (Mittal, 2006). Geralmente, através do sistema de FAD conseguem-se eficiências de remoção de 30-90 % e 70-80 % para CQO e CBO_5, respetivamente (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015). No entanto, para além do custo do processo, uma outra desvantagem do sistema FAD relaciona-se com a baixa separação de SST, quando aplicado como processo isolado (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015).

Figura 3. Flotação de lamas em águas residuais de matadouros

O processo de coagulação-floculação (CF), através da adição de várias combinações de coagulantes e floculantes, tem sido tipicamente usado no tratamento de ARM para a remoção de matéria orgânica e de partículas coloidais em suspensão. De entre os coagulantes convencionais para o tratamento de ARM, destacam-se o cloreto de ferro, sulfato de ferro e o sulfato de alumínio. Recentemente, novos coagulantes têm sido aplicados incluindo polímeros orgânicos e o cloreto de polialumínio (PAC). No entanto, a aplicação de coagulantes de alumínio e de polímeros catiónicos tem sido controversa pois apesar das elevadas eficiências de remoção são geradas lamas e efluentes líquidos com altos níveis

de toxicidade para os peixes, aumentando as preocupações ambientais e de saúde pública (Al-Mutairi, 2006). Como alternativa aos coagulantes sintéticos têm surgido nos últimos anos alguns estudos com aplicação de coagulantes naturais no tratamento de ARM, como as sementes de algodão, com remoções de turvação de 43 % em ARM provenientes de suinicultura (Werberich et al., 2006), ou o pó de sementes de plantas tropicais de acácia, com remoções de CQO de 64 % (Real-Olvera et al., 2016). Adicionalmente aos coagulantes são geralmente misturados produtos inorgânicos como adjuvantes tais como sílica, carvão ativado, carbonato de cálcio precipitado ou polieletrólitos sintéticos de forma a aumentar as eficiências de remoção sobretudo em águas residuais com elevada carga de matéria orgânica. A remoção de matéria orgânica pelo sistema CF é influenciada por diversos fatores, como as condições de coagulação e as características da própria matéria orgânica, pelo que existe uma grande amplitude nas eficiências de remoção em ARM, com variações entre 10 a 90 % (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015).

A eletrocoagulação (EC) tem vindo a emergir como alternativa à tradicional CF, apresentado eficácia na remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos e mesmo de patogénicos de ARM. O processo tem demonstrado eficiência de remoção de CQO entre 70-90 %. A EC consiste na destabilização de partículas contaminantes através da introdução de uma corrente elétrica no efluente. Diversos materiais têm sido utilizados como elétrodos, incluindo Pt, TiO_2, SnO_2, Al ou Fe, sendo estes dois últimos os mais utilizados (Bayar et al., 2011). Entre as principais características da EC que a tornam uma tecnologia atrativa no tratamento de ARM incluem-se a utilização de equipamentos simples, fácil operação e segurança, baixo tempo de retenção hidráulica e reduzida produção de lamas, sem adição de produtos químicos (Bayramuglu et al., 2006; Bayar et al., 2011). No entanto, existem ainda algumas dúvidas em relação ao custo-eficácia do processo (Bayramuglu et al., 2006)

A tecnologia de membranas (TM) tem vindo a emergir como alternativa para o tratamento de ARM dadas as elevadas eficiências de remoção de microrganismos, partículas coloidais e matéria orgânica observadas. Diversos processos de TM têm sido já testados em ARM, incluindo a nanofiltração, osmose inversa, ultrafiltração e microfiltração, com eficiências de remoção entre 83-97 %, dependendo do poro da membrana (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015). Apesar das elevadas remoções, entre as principais dificuldades na disseminação deste processo no tratamento de ARM está a colmatação das membranas que leva à redução dos fluxos e conduz à necessidade de aplicação de pré-tratamentos para redução da matéria orgânica inicial (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015; Coskun et al., 2016). Apesar da relação custo-eficácia do processo ainda gerar controvérsias, alguns estudos relatam a vantagem económica da TM sobre as tecnologias convencionais, com redução de custos de cerca 2,5 vezes (Coskun et al., 2016).

Mais recentemente tem sido estudada a aplicação de processos de oxidação avançada (POA) no tratamento de ARM. Os POA mais estudados em ARM têm sido os processos UV/H_2O_2 com eficiências de remoção de CQO entre 83 a 98 % (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015). Para além de remoção de matéria orgânica, os POA têm mostrado alta eficiência na inativação de bactérias patogénicas em ARM (Barrera et al., 2012). A tecnologia de radiação gama e as reações eletro-Fenton constituem outros POA estudados para ARM.

O Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL), no âmbito do projeto "HYDROREUSE – Tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais utilizando um sistema hidropónico inovador com plantas de tomate", está a explorar alguns processos físico-químicos baseados em processos de oxidação e precipitação que ainda foram pouco estudados no tratamento de ARM. A aplicação destes tratamentos em ARM recolhidas na região de Beja, Portugal, com cargas iniciais de 4660 ± 1040,3 mg L^{-1} de CQO, tem conduzido a elevadas remoções de CQO, turvação e fósforo. Embora ainda preliminares, estes resultados tornam-se atrativos do ponto de vista económico e ambiental dada a simplicidade, rapidez dos processos e baixas concentrações de agentes precipitantes e oxidantes que têm sido testadas. No entanto, mais estudos necessitam de ser feitos para validar estas tecnologias como alternativas eficazes no tratamento ou pré-tratamento de ARM.

3.3 Processos combinados

Na procura de melhor desempenho e melhores eficiências de remoção, muitas vezes observa-se a aplicação de vários processos biológicos e/ou físico-químicos combinados, beneficiando-se de diferentes tecnologias para melhorar a gestão de ARM. As combinações mais comuns incluem a aplicação conjunta de processos anaeróbios-aeróbios e de um processo biológico acoplado a um processo físico-químico, como pré-tratamento (Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015). Como referido anteriormente a FAD é tipicamente associada a um processo biológico como tratamento primário para remoção de óleos e gorduras e SST (Mittal, 2006). Al-Mutairi et al. (2008) e Manjunath et al. (2000) observaram a aplicação de processos biológicos, quer através de lamas ativadas ou reatores anaeróbios compartimentados, assistidos com FAD, observando a vantagem da aplicação combinada destes processos na remoção de SST e na obtenção de efluentes que cumprem os limites legais para descarga. Outras combinações testadas recentemente incluem a aplicação de sistemas biológicos com POA, quer através de processos de UV/H_2O_2 ou fotoeletro-Fenton (Cao e Mehrvar, 2011; Vidal et al., 2016). Bustillo-Lecompte et al. (2014) avaliaram o custo-eficiência da aplicação isolada e combinada de sistemas aeróbios (lama ativada), anaeróbios (reatores anaeróbios compartimentados) e POA (UV/H_2O_2) no tratamento de ARM. Tendo em conta as eficiências de remoção de carbono orgânico total (COT), consumos energéticos, tempos de retenção hidráulica e gastos de água e reagentes, as eficiências globais dos processos foram de 75, 89, 94 % para a aplicação isolada de POA, sistema anaeróbio e sistema aeróbio, respetivamente, e de 96 e 100 % para as combinações dos sistemas aeróbio-anaeróbio e anaeróbio-aeróbio-POA. De fato, a aplicação do sistema combinado anaeróbio- aeróbio-POA apresentou as melhores performances, permitindo um acréscimo de 15 % nas remoções de COT em relação aos restantes sistemas durante o mesmo tempo de operação.

4. Conclusões

O crescente alerta da sociedade sobre a importância da água e os estritos requisitos impostos pela legislação no tratamento de efluentes poluentes tem impulsionado a procura por novas tecnologias no tratamento de águas. Existe uma vasta gama de tecnologias convencionais e avançadas de tratamento de águas residuais que têm sido aplicadas em ARM. No entanto, as tecnologias convencionais ficam aquém na remoção de contaminantes conduzindo à produção de efluentes que muitas vezes não satisfazem os níveis de regulamentação exigidos para descarga ou os padrões para posterior reutilização. Em particular, os processos biológicos, amplamente utilizados necessitam de processos complementares para aumentar a sua estabilidade e permitir a produção de efluentes compatíveis com os limites de descarga. Muitas das tecnologias emergentes no tratamento de ARM, apesar das melhorias nas eficiências de remoção da carga poluente, têm falhado na viabilidade económica. Por conseguinte, é necessário o estudo de mais sistemas de tratamento de águas residuais rentáveis, eficientes e integrados para ARM. Neste sentido, no âmbito do projeto HYDROREUSE estão a ser desenvolvidos processos físico-químicos inovadores para tratamento de ARM baseados em reações de oxidação e precipitação. Estes processos são simples e de baixo custo, apresentando elevadas eficiências de redução de CQO, turvação e nutrientes.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao programa ALENTEJO 2020 pelo financiamento do projeto HYDROREUSE - Tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais utilizando um sistema hidropónico inovador com plantas de tomate (ALT20-03-0145-FEDER-000021), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

Bibliografia

Al-Mutairi, N. Z. 2006. Coagulant toxicity and effectiveness in a slaughterhouse wastewater treatment plant. *Ecotoxicol Environ Saf*, 65: 74–83.

Al-Mutairi, N. Z., F. A. Al-Sharifi and S. B. Al-Shammari. 2008. Evaluation study of a slaughterhouse wastewater treatment plant including contact-assisted activated sludge and DAF. *Desalination* 225: 167–175.

Barrera, M., M. Mehrvar, K. A. Gilbride, L. H. McCarthy, A. E. Laursen, V. Bostan and R. Pushchak. 2012. Photolytic treatment of organic constituents and bacterial pathogens in secondary effluent of synthetic slaughterhouse wastewater. *Chem Eng Res Des*, 90: 1335–1350.

Bayar, S., Y. S. Yildiz, A. E. Yilmaz and S. Irdemez. 2011. The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method. *Desalination*, 280: 103–107.

Bayramoglu, M., M. Kobya, M. Eyvaz and E. Senturk. 2006. Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater. *Sep Purif Technol*, 51: 404–408.

Bouwman, L., K. K. Goldewijk, K. W. Van Der Hoek, A. H. W. Beusen, D. P. Van Vuuren, J. Willems, M. C. Rufino, and E. Stehfest. 2013. Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900-2050 period. *Proc Natl Acad Sci USA,* 110: 20882–20887.

Bustillo-Lecompte, C. F., M. Mehrvar and E. Quiñones-Bolaños. 2014. Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic-aerobic and UV/H_2O_2 processes. *J Environ Manage*, 134: 145–152.

Bustillo-Lecompte, C. F. and M. Mehrvar. 2015. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *J Environ Manage*, 161: 287–302.

Cao, W. and M. Mehrvar. 2011. Slaughterhouse wastewater treatment by combined anaerobic baffled reactor and UV/H_2O_2 processes. *Chem Eng Res Des*, 89: 1136–1143.

Carr R. M., U. J. Blumenthal and D. D. Mara. 2004. Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture: revisiting WHO guidelines. *Water Sci Technol*, 50: 31–38.

Chan, Y. J., M. F. Chong, C. L. Law and D. Hassell. 2009. A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chem Eng J*, 155: 1–18.

Coskun, T., E. Debik, H. A. Kabuk, N. M. Demir, I. Basturk, B. Yildirim, D. Temizel and S. Kucuk. 2016. Treatment of poultry slaughterhouse wastewater using a membrane process, water reuse, and economic analysis. *Desalination Water Treat*, 57: 4944–4951.

European Commission (Directorate General for Health and Consumer Protection): Food Chain Evaluation Consortium (FCEC) – Civic Consulting, Agra CEAS Consulting, Bureau van Dijk and Arcadia International. 2007. *Study on the stunning/killing practices in slaughterhouses and their economic, social and environmental consequences*. Final report-Part I. Red meat. Brussels, Belgium: European Commission.

Manjunath, N. T., I. Mehrotra and R. P. Mathur. 2000. Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system. *Wat Res*, 34: 1930–1936.

Melo, R., Cabo-Verde, S., Branco, J. and Botelho, M. L. 2008. Gamma radiation induced effects on slaughterhouse wastewater treatment. *Radiat Phys Chem*, 77:98–100.

Mittal, G. S. 2004. Characterization of the Effluent Wastewater from Abattoirs for Land Application. *Food Rev Int*, 20: 229–256.

Mittal, G. S. 2006. Treatment of wastewater from abattoirs before land application—a review. *Bioresource Technol*, 97: 1119–1135.

Muga, H. E. and J. R. Mihelcic. 2008. Sustainability of wastewater treatment technologies. *J Environ Manage*, 88: 437–447.

Real-Olvera, J. D. and A. Lopez-Lopez. 2012. Biogas production from anaerobic treatment of agro-industrial wastewater. In *Biogas*, InTech. Ed. S. Kumar. Rijeka, Croatia.

Real-Olvera, J. D., E. Rustrian-Portilla, E. Houbron and F. J. Landa-Huerta. 2016. Adsorption of organic pollutants from slaughterhouse wastewater using powder of Moringa oleifera seeds as a natural coagulant. *Desalination Water Treat*, 57: 9971–9981.

US EPA. 2002. *Environmental assessment of proposed effluent limitations guidelines and standards for the meat and poultry products industry point source*. EPA-821-B-01-008. Washington, D.C.: Office of Water, US Environmental Protection Agency.

US EPA. 2004. *Effluent limitations guidelines and new source performance standards for the meat and poultry products point source category*. Fed. Regist. 69 (173). Washington, D.C.: US Environmental Protection Agency.

Vidal, J., C. Huiliñir and R. Salazar 2016. Removal of organic matter contained in slaughterhouse wastewater using a combination of anaerobic digestion and solar photoelectro-Fenton processes. *Electrochim Acta*, 210: 163–170.

Werberich, T., A. G. Amaral, R. M. Schneider and M. C. Bongiovani. 2016. Coagulation/flocculation of slaughterhouse wastewater using cottonseed as coagulant. *Nativa*, 4: 134–138.

Redução do nível de contaminação de águas residuais de queijarias por precipitação básica

Silvana Luz[1], Flávia Fernandes[2], Alexandra Afonso[1,2], Eliana Jerónimo[2,3], Fátima Carvalho[1], Ana R. Prazeres[2,3*]

[1] Departamento de Tecnologias e Ciências Aplicadas, Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Rua Pedro Soares, Apartado 6155, 7800-295, Beja, Portugal.

[2] Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Beja, Portugal. *ana.prazeres@cebal.pt

[3] ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Évora, Portugal.

Resumo

As águas residuais de queijarias podem provocar graves problemas ambientais devido à sua composição físico-química, em termos de matéria orgânica com valores de cerca de 25000 mg L^{-1}, sólidos totais de aproximadamente 9000 mg L^{-1} e fósforo em torno de 3500 mg L^{-1}. Para além disso, é um efluente que apresenta um pH geralmente ácido, com valores entre 3 - 5. Assim, este trabalho teve como objetivo a aplicação de tratamento por precipitação básica às águas residuais provenientes de queijarias, de forma a reduzir o seu nível de contaminação. A água residual de queijaria bruta estudada apresentou um pH de 4,52, condutividade de 5,23 dS m^{-1}, carência química de oxigénio (CQO) de 4917 mg L^{-1}, fósforo de 3411,8 mg L^{-1}, e bicarbonatos de 1339,7 mg L^{-1} $CaCO_3$. Procedeu-se também ao estudo das absorvâncias características, utilizando um fator de diluição de 1:50, de compostos de baixo peso molecular (0,639 cm^{-1}), compostos aromáticos e insaturados (0,180 cm^{-1}), cor (0,092 cm^{-1}) e densidade ótica celular (0,060 cm^{-1}), obtidas nos comprimentos de onda espectrofotométricos a 220, 254, 410 e 600 nm, respetivamente. O tratamento consistiu na aplicação de diferentes dosagens de modo a obter um aumento de pH entre 6 e 13. A remoção máxima de CQO obteve-se a um pH de 11, com uma eficiência de aproximadamente 30%. Este processo mostrou-se eficiente na redução de fósforo, com valores de eliminação de 62 - 94%, para uma gama de pH de 8 - 13. Para as absorvâncias características obtiveram-se remoções máximas de 48, 71, 92 e 95%, respetivamente.

Palavras-chave: indústria de lacticínios, produção de queijo, desoxigenação, eutrofização, matéria orgânica

Reduction of the contamination level of cheese whey wastewater by basic precipitation

Abstract

The cheese wastewater can cause serious environmental problems due to its physicochemical composition in terms of organic matter with values of about 25000 mg L^{-1}, total solids of approximately 9000 mg L^{-1} and phosphorus around 3500 mg L^{-1}. In addition, it is an effluent that has generally an acidic pH, with values between 3 and 5. Thus, this work had the purpose of applying treatment by basic precipitation to wastewater from cheese industry, in order to reduce its level of contamination. The raw cheese wastewater studied had a pH of 4,52, conductivity of 5,23 dS m^{-1}, chemical oxygen demand (COD) of 4917 mg L^{-1}, phosphorus of 3411,8 mg L^{-1}, and bicarbonates of 1339,7 mg L^{-1} $CaCO_3$. The characteristic absorbances were also studied, using a 1:50 dilution factor, of low molecular weight compounds (0,639 cm^{-1}), aromatic and unsaturated compounds (0,180 cm^{-1}), color (0,092 cm^{-1}) and cellular optical density (0,060 cm^{-1}), obtained at the spectrophotometric wavelengths of 220, 254, 410 and 600 nm, respectively. The treatment consisted of the application of different dosages in order to obtain a pH increase between 6 and 13. The COD maximum removal was obtained at a pH of 11, with an efficiency of approximately 30%. This process proved to be efficient in reducing phosphorus, with elimination values of 62 - 94%, for a pH range of 8 - 13. For the characteristic absorbances, maximum removals of 48, 71, 92 and 95%, respectively, were obtained.

Keywords: Dairy industry, cheese production, deoxygenation, eutrophication, organic matter

1. Introdução

A produção de queijo exige elevado consumo de água, estimando-se um volume de cerca de 15 litros de água por cada litro de leite utilizado no processo de fabrico (Prazeres et al., 2018). Consequentemente, o volume de água residual produzido constitui uma questão ambiental preocupante, devido ao elevado teor de matéria orgânica, gorduras e sólidos suspensos, salinidade e pH ácido.

Este efluente é gerado durante os vários processos de produção do queijo, designadamente, na coagulação, moldagem/ prensagem, desmoldagem, embalamento e lavagem de pavimentos e equipamentos (INETI, 2001). O efluente apresenta elevado teor de óleos e gorduras, provenientes das perdas de queijo e soro, levando à formação de camadas espessas na superfície das lagoas de armazenamento. Este efeito causa condições de anaerobiose com conversão de lactose em ácido lático, provocando a libertação de fortes odores (Prazeres et al., 2016a). Essas condições são propícias ao aparecimento de vetores transmissores de doenças (Prazeres et al., 2011).

O soro do leite é um dos componentes mais problemáticos desta indústria, uma vez que é o subproduto que apresenta uma maior contaminação (Rajeshwari et al., 2000; Prazeres et al., 2012). Estima-se em média que, por cada 1 kg de queijo produzido, são necessários 10 kg de leite e gerados 9 kg de soro (Prazeres et al., 2012).

Antigamente, era prática comum os produtores de queijo fazerem a descarga dos efluentes produzidos no processo de fabrico para os terrenos ou diretamente para meios hídricos recetores, como rios, lagos, ribeiras, oceanos, etc., sem a aplicação de qualquer pré-tratamento (Prazeres et al., 2012). Contudo, o efluente proveniente da queijaria, quando descarregado no ambiente sem controlo prévio, pode provocar diversos problemas ambientais e de saúde pública (Prazeres, 2013; Prazeres et al., 2016b). Estes efluentes podem conduzir à devastação da fauna devido às gorduras suspensas, uma vez que impedem a entrada de oxigénio (condições anaeróbias). Além disso, a eutrofização dos meios recetores pode ocorrer devido à presença de fósforo e azoto (Prazeres, 2013).

Hoje em dia, a realidade é menos nociva, mas ainda longe de ser a ideal. A maioria das queijarias faz a descarga dos seus efluentes para lagoas, tanques de armazenamento, fossas ou no coletor municipal (quando cumprem com os requisitos de descarga). Para o efluente de queijaria têm vindo a ser estudados tratamentos biológicos, como a digestão anaeróbia e digestão aeróbia e processos físico-químicos, como a coagulação/floculação, precipitação e oxidação (Carvalho et al., 2013).

Com este trabalho, pretende-se estudar um processo físico-químico de precipitação básica para redução da contaminação orgânica e dos nutrientes do efluente de queijaria.

2. Material e Métodos

2.1. Água residual bruta de queijaria

A água residual, designada de efluente bruto, foi recolhida na lagoa de armazenamento de efluentes de uma queijaria instalada na região do Baixo Alentejo, que utiliza nas suas produções leite de ovelha e cabra.

O efluente apresenta uma coloração amarelada (Figura 1) devido à presença de vitamina B2, também designada de riboflavina, proveniente do soro do leite (De Wit, 2001; Prazeres et al., 2012). A existência de grandes quantidades de gordura suspensa e forte odor constituem outras propriedades deste tipo de efluente. Este é principalmente constituído por: soro e sorelho resultantes de perdas na produção, águas de lavagem com a presença de detergentes e desinfetantes que advêm da limpeza e desinfeção de equipamentos, instalações, tanques e utensílios, lubrificantes utilizados nas operações de manutenção, sólidos de leite e sal (Mendes e Mendonça, 2013; INETI, 2001).

O efluente proveniente de queijaria estudado apresenta as seguintes características (Tabela 1): um elevado teor de matéria orgânica (CQO ≈ 5000 mg L^{-1}) e nutrientes (fósforo ≈ 3400 mg L^{-1}). O pH é ácido (≈ 4,5) e a condutividade elevada (≈ 5,23 dS m^{-1}). As lagoas de armazenamento apresentam densas camadas de óleos e gorduras que estão presentes no efluente (Figura 2), contendo elevado teor de sólidos totais (≈ 9000 mg L^{-1}), principalmente na forma de sólidos dissolvidos totais (Prazeres et al., 2016a).

Figura 1. Efluente Bruto

Tabela1. Caracterização físico-química do efluente bruto proveniente de queijaria

Parâmetro	Unidade	Valor médio
pH	escala de Sorensen	4,52 ± 0,205
Condutividade	dS m^{-1}	5,23 ± 0,277
Turvação	NTU	594,9 ± 49,54
CQO	mg L^{-1}	4916,7 ± 353,55
Fósforo	mg L^{-1}	3411,8 ± 1255,64
Cálcio	mg L^{-1}	236,2 ± 28,94
Magnésio	mg L^{-1}	109,5 ± 36,77
Alcalinidade total	mg L^{-1} $CaCO_3$	1339,7 ± 251,14
Bicarbonatos	mg L^{-1} $CaCO_3$	1339,7 ± 251,14
Dureza total	mg L^{-1} $CaCO_3$	1039,7 ± 168,69
Dureza cálcica	mg L^{-1} $CaCO_3$	589,3 ± 72,20
Dureza magnesiana	mg L^{-1} $CaCO_3$	450,4 ± 151,30
Fenóis totais	mg L^{-1}	75,9 ± 6,76
	Absorvâncias características	
220 nm	cm^{-1}	0,639 ± 0,0383 (1:50)[a]
254 nm	cm^{-1}	0,180 ± 0,0147 (1:50)[a]
410 nm	cm^{-1}	0,092 ± 0,0065 (1:50)[a]
600 nm	cm^{-1}	0,060 ± 0,0072 (1:50)[a]

[a] Fator de diluição utilizado para medir as absorvâncias características.

Os dados resultaram da realização de 5 réplicas de uma amostragem.

Figura 2. Lagoa de armazenamento do efluente proveniente de queijaria

2.2. Tratamento por adição de precipitante básico

A adição de precipitantes básicos pode gerar espécies insolúveis, que retêm e arrastam partículas coloidais em suspensão, o que permite a eficaz remoção de matéria orgânica e turvação (Prazeres, 2013). Assim, neste trabalho procedeu-se à aplicação de diferentes dosagens de precipitante ao efluente bruto, de modo a obter um aumento de pH entre 6 e 13 (Figura 3). As oito condições de pH foram depois analisadas nos seguintes parâmetros: pH, condutividade, turvação, CQO, fósforo, alcalinidade à fenolftaleína e ao alaranjado de metilo, dureza total, cálcica e magnesiana, absorvâncias características (220 nm - compostos de baixo peso molecular, 254 nm - compostos aromáticos e insaturados, 410 nm - cor e 600 nm - densidade ótica celular), e fenóis totais.

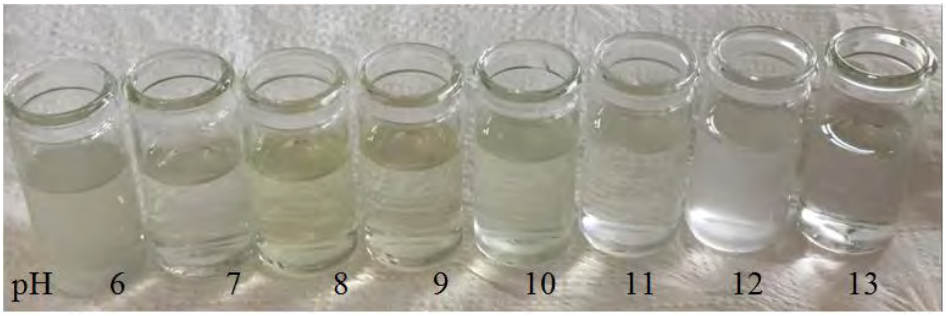


Figura 3. Efluente tratado por precipitação básica nas diversas condições operacionais

2.3. Métodos

Os equipamentos e métodos utilizados para a caracterização do efluente bruto e tratado apresentam-se na seguinte tabela.

Tabela 2. Equipamentos e métodos utilizados para a caracterização do efluente bruto e tratado

Parâmetro	Equipamento	Método	Referência
pH	Potenciómetro Consort C 861	Potenciométrico	---
Condutividade	Condutivímetro VWR CO 3100 H	Condutivimétrico	---
Turvação	Turbidímetro WTW Turb550	Turbidimétrico	---
CQO	Placa de digestão Techne Dri-block DB 200/3 Espectrofotómetro Thermo Scientific Helios α	Espectrofotométrico	APHA et al., 1998
Fósforo	Espectrofotómetro Thermo Scientific Helios α	Espectrofotométrico	APHA et al., 1998
Alcalinidade total	---	Volumétrico	APHA et al., 1998
Dureza total	---	Volumétrico (Indicador – Negro de eriocromo T)	APHA et al., 1998
Dureza cálcica	---	Volumétrico (Indicador – Calcon)	APHA et al., 1998
Absorvâncias características			
220 nm	Espectrofotómetro Thermo Scientific Helios α	Espectrofotométrico	Kasprzyk-Hordern et al., 2006
254 nm	Espectrofotómetro Thermo Scientific Helios α	Espectrofotométrico	APHA et al., 1998
410 nm	Espectrofotómetro Thermo Scientific Helios α	Espectrofotométrico	Rivas et al., 2005
600 nm	Espectrofotómetro Thermo Scientific Helios α	Espectrofotométrico	Megharaj et al., 2003
Fenóis totais	Espectrofotómetro Thermo Scientific Multiskan FC	Espectrofotométrico	Falleh et al., 2008

3. Resultados e Discussão

3.1. Estudo das eficiências de remoção e condições ótimas no processo de precipitação básica

A adição do precipitante básico ao efluente bruto foi realizada variando as condições de operação em relação ao parâmetro pH (6 – 13). A adição do precipitante permitiu a formação de precipitado em todas as condições de operação estudadas, obtendo-se um volume de 20 a 120 mL de precipitado por litro de efluente bruto.

Os resultados obtidos no processo estudado encontram-se na Figura 4, em relação aos seguintes parâmetros: pH e condutividade (a); cálcio e magnésio (b); hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos (c); absorvâncias características a 220, 254, 410 e 600 nm (d); fósforo (e); CQO e turvação (f).

No efluente tratado com condições de pH mais elevado (pH 13), observou-se um aumento significativo no pH, condutividade e concentração de cálcio do efluente tratado, face as restantes concentrações. A utilização de pH elevado (pH 13) alterou também a predominância das espécies alcalinas, verificando-se a presença em grandes quantidades de hidróxidos e carbonatos, contrariamente às restantes condições (pH 6 – 12), em que predominam bicarbonatos. Verificou-se também nas condições mais extremas (pH 12 – 13), elevadas remoções de compostos de baixo peso molecular, compostos aromáticos e insaturados, cor e densidade ótica celular, obtidas nos comprimentos de onda espectrofotométricos a 220, 254, 410 e 600 nm.

No geral, um aumento do pH de precipitação conduziu a um aumento da eficiência de remoção de fósforo e turvação, obtendo-se as eficiências máximas de 96% a pH 12 e 99% a pH 13, respetivamente. Em termos de matéria orgânica (CQO) obteve-se uma redução máxima de 30% ao pH 11. Os resultados obtidos estão de acordo com trabalhos anteriores do grupo, em que a aplicação de um precipitante básico sódico permitiu obter elevadas eficiências de remoção de CQO (40%), turvação (91%), fósforo (53%) e cálcio (50%) (Prazeres et al., 2016a). Resultados análogos foram também reportados por Rivas et al., 2011 e Prazeres et al., 2011.

3.2. Caracterização do efluente obtido nas condições ótimas no processo de precipitação básica

Após o estudo das condições operacionais do processo de precipitação básica, selecionou-se o pH 12 como a condição ótima para a remoção dos parâmetros avaliados. Na Tabela 3 apresenta-se a caracterização físico-química do efluente obtido no processo de precipitação nas condições ótimas de operação. O efluente obtido apresenta pH alcalino (≈ 9,2) e elevado valor de condutividade (≈ 5,20 dS m^{-1}).

Apesar de manter um elevado teor de matéria orgânica (CQO ≈ 4200 mg L^{-1}), obteve-se reduzidas concentrações de fósforo (≈ 150 mg L^{-1}), turvação (≈ 39 NTU), fenóis totais (≈ 29 mg L^{-1}), e compostos de baixo peso molecular (≈ 0,389 cm^{-1}), compostos aromáticos e insaturados (≈ 0,061 cm^{-1}), cor (≈ 0,008 cm^{-1}) e densidade ótica celular (≈ 0,003 cm^{-1}), obtidas nos comprimentos de onda espectrofotométricos a 220, 254, 410 e 600 nm.

A alcalinidade e dureza do efluente tratado apresenta-se principalmente sob a forma de bicarbonatos e cálcio, respetivamente, com uma concentração aproximada de 1659 mg L^{-1} $CaCO_3$ e 534 mg L^{-1}, respetivamente.

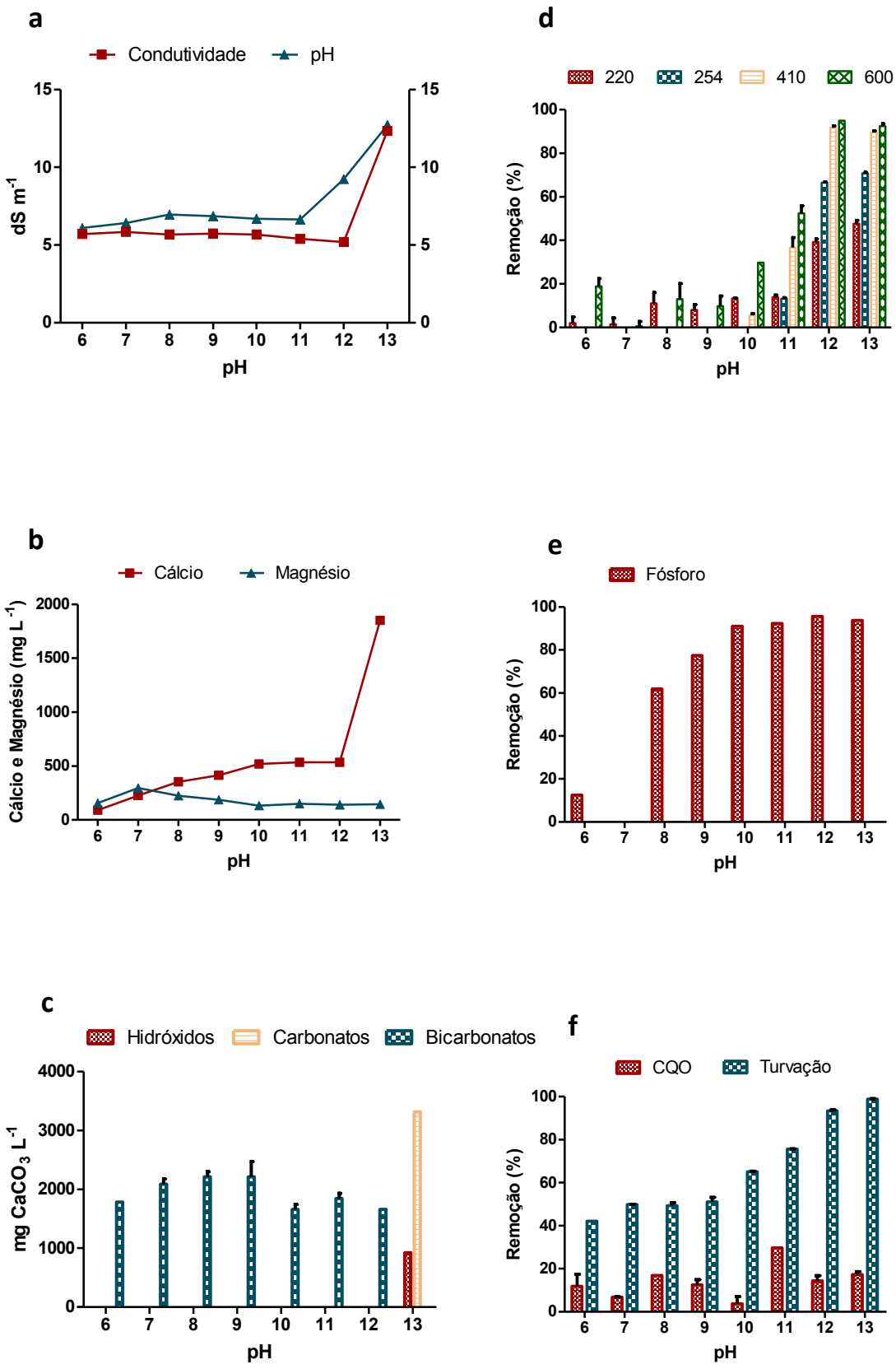


Figura 4. Resultados obtidos no processo de precipitação básica aplicado a águas residuais provenientes de queijaria

Tabela 3. Caracterização físico-química do efluente tratado por precipitação básica nas condições de operação ótimas

Parâmetro	Unidade	Valor médio
pH	escala de Sorensen	9,24 ± 0,001
Condutividade	dS m^{-1}	5,20 ± 0,035
Turvação	NTU	39,23 ± 2,905
CQO	mg L^{-1}	4208,3 ± 117,85
Fósforo	mg L^{-1}	148,7 ± 61,51
Cálcio	mg L^{-1}	534,0 ± 10,64
Magnésio	mg L^{-1}	141,4 ± 12,90
Alcalinidade total	mg L^{-1} $CaCO_3$	1659,3 ± 0,00
Bicarbonatos	mg L^{-1} $CaCO_3$	1659,3 ± 0,00
Dureza total	mg L^{-1} $CaCO_3$	1914,2 ± 76,62
Dureza cálcica	mg L^{-1} $CaCO_3$	1313,5 ± 26,54
Dureza magnesiana	mg L^{-1} $CaCO_3$	581,8 ± 53,08
Fenóis totais	mg L^{-1}	28,97 ± 1,429
Absorvâncias características		
220 nm	cm^{-1}	0,389 ± 0,0092 (1:50)[a]
254 nm	cm^{-1}	0,061 ± 0,0007 (1:50)[a]
410 nm	cm^{-1}	0,008 ± 0,0007 (1:50)[a]
600 nm	cm^{-1}	0,003 ± 0,000 (1:50)[a]

[a] Fator de diluição utilizado para medir as absorvâncias características.

4. Conclusões

O efluente bruto proveniente de queijaria constitui um severo problema ambiental e de saúde pública, devido ao seu pH ácido e elevado teor de matéria orgânica, óleos e gorduras, sólidos suspensos, fósforo e sais.

Atualmente, a maioria das queijarias está a armazenar os seus efluentes em lagoas, tanques de armazenamento e fossas sépticas ou a descarregar no coletor municipal, o que ainda está longe se ser a solução ideal para este efluente tão problemático. Como forma de colmatar as lacunas existentes nesta área, procedeu-se ao estudo de um processo de tratamento, de forma a minimizar ou até eliminar os riscos que este apresenta no meio ambiente.

O processo de precipitação básica utilizado neste estudo não permite que o mesmo seja descarregado em meio hídrico ou no coletor municipal. No entanto, verificou-se remoções significativas em alguns parâmetros, designadamente, absorvâncias características, fósforo, fenóis totais e turvação. O efluente tratado necessita de um pós-tratamento de forma a obter valores permitidos por lei para descarga.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao programa ALENTEJO 2020 pelo financiamento do projeto HYDROREUSE - Tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais utilizando um sistema hidropónico inovador com plantas de tomate (ALT20-03-0145-FEDER-000021), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

Bibliografia

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). 1998. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th ed. Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF.

Carvalho, F., A. R. Prazeres and J. Rivas. 2013. Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the Total Environment* 445-446: 385–396.

De Wit, J.N. 2001. *Lecturer's Handbook on whey and whey products.* Belgium, Brussels: European Whey Products Association.

Falleh, H., R. Ksouri, K. Chaieb, N. Karray-Bouraoui, N. Trabelsi, M. Boulaaba and C. Abdlly. 2008. Phenolic composition of *Cynara cardunculus L.* organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies* 331 (5): 372–379.

Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI). 2001. *Guia Técnico – Indústria de lacticínios*. Lisboa, Portugal.

Kasprzyk-Hordern, B., U. Raczyk-Stanislawiak, J. Swietlik and J. Nawrocki. 2006. Catalytic ozonation of natural organic matter on alumina. *Applied Catalysis* B 62 (3-4): 345–358.

Megharaj, M., S. Avudainayagam and R. Naidu. 2003. Toxicity of hexavalent chromium and its redution by bacteria isolated from soil contaminated with tannery waste. *Current Microbiology* 47 (1): 51–54.

Mendes, C. and P. Mendonça. 2013. Problemática das águas residuais de queijarias nos concelhos de Seia e Oliveira do Hospital. Águas do Zêsere e Côa – Grupo Águas de Portugal. (Acesso em 20 de Abril de 2017). http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/problematica_aguas_residuais_queijarias_seia_oliveira_hospital.pdf

Prazeres, A. R., A. Albuquerque, S. Luz, E. Jerónimo and F. Carvalho. 2018. Hydroponic system: a promising biotechnology for food production and wastewater treatment. In *Food Biosynthesis.* Grumezescu, A. M. and A. M. Holban, Chapter 11, 317-350. Elsevier. ISBN: 978-0-12-811372-1. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811372-1.00011-7

Prazeres, A. R., J. Rivas, M. A. Almeida, M. Patanita, J. Dôres and F. Carvalho. 2016a. Agricultural reuse of cheese whey wastewater treated by NaOH precipitation for tomato production under several saline conditions and sludge management. *Agricultural Water Management* 167: 62–74.

Prazeres, A. R., J. Rivas, Ú. Paulo, F. Ruas and F. Carvalho. 2016b. Sustainable treatment of different high-strength cheese whey wastewaters: an innovative approach for atmospheric CO_2 mitigation and fertilizer production. *Environmental Science and Pollution Research* 23 (13): 13062–13075.

Prazeres, A. R. 2013. Tratamientos integrados aplicados a aguas residuales procedentes de pequeñas y medianas queserías. Ph.D. Thesis. Universidad de Extremadura, Badajoz.

Prazeres, A. R., F. Carvalho and J. Rivas. 2012. Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management* 110: 48–68.

Prazeres, A., F. Carvalho, J. Rivas, M. Patanita and J. Dores. 2011. Reutilização de águas residuais da indústria do "Queijo de Serpa". III – Efeitos na caracterização química das folhas de tomate (*Lycopersicum Esculentum mil.*) em diferentes níveis de salinidade. In Atas do *XI Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente*, 3-16. 20 e 21 de Maio, Lisboa, Portugal.

Rajeshwari, K. V., M. Balakrishnan, A. Kansal, A. K. Lata and V. V. N. Kishore. 2000. State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. Renewable and Sustainable Energy Reviews 4 (2): 135–156.

Rivas, F. J., F. Beltrán, F. Carvalho, O. Gimeno and J. Frades. 2005. Study of different integrated physical-chemical + adsorption processes for landfill leachate remediation. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 44 (8): 2871–2878.

Rivas, J., A.R. Prazeres and F. Carvalho. 2011. Aerobic biodegradation of precoagulated cheese whey wastewater. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59 (6): 2511–2517.

Tratamento por precipitação química ácida de águas residuais provenientes de lagares

Alexandra Afonso[1,2], Flávia Fernandes[2], Silvana Luz[1], Eliana Jerónimo[2,3], Fátima Carvalho[1], Ana R. Prazeres[2,3*]

[1] Departamento de Tecnologias e Ciências Aplicadas, Escola Superior Agrária de Beja, Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Rua de Pedro Soares, Apartado 6155, 7800-295, Beja, Portugal.

[2] Centro de Biotecnologia Agrícola e Agroalimentar do Alentejo (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Beja, Portugal. *ana.prazeres@cebal.pt

[3] ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Évora, Portugal.

Resumo

A gestão dos efluentes provenientes de lagares tem sido conduzida por aplicação de diversos tratamentos físico-químicos e biológicos, bem como a utilização no solo. No entanto, o mecanismo mais utilizado continua a ser o armazenamento em lagoas e a evaporação natural nos períodos mais quentes do ano. Assim, este trabalho teve como objetivo a caracterização e tratamento de águas residuais provenientes de lagares. Neste contexto, procedeu-se à amostragem de águas residuais de um lagar de sistema contínuo de duas fases, situado na região do Baixo Alentejo. Estes efluentes apresentavam propriedades ácidas, com pH entre 4-5, cor escura, cheiro intenso e desagradável, carência química de oxigénio (CQO) entre 7000-8000 mg L^{-1}, teores de nutrientes médios em cálcio de 211 mg L^{-1}, magnésio de 74 mg L^{-1} e fósforo de 1050 mg L^{-1}. Além disso, estas águas residuais exibiam uma condutividade elétrica média de 2,7 dS m^{-1} e um teor de fenóis totais de 540 mg de equivalentes de ácido gálico L^{-1}. Os testes de tratabilidade consistiram na aplicação ao efluente bruto de processos de precipitação química ácida em diferentes condições. Este processo permitiu a clarificação do efluente com remoção máxima de turvação e fósforo de cerca de 97 e 37%, respetivamente. Resultados semelhantes foram obtidos na redução das absorvâncias a 254 mn (23%), 410 nm (57%) e 600 nm (96%). O efluente final apresentava um teor de magnésio entre 1070 – 2130 mg L^{-1}, tendo verificando-se ainda um aumento da condutividade elétrica em função do decréscimo de pH.

Palavras-chave: agroindústria, águas-ruças, matéria orgânica, turvação, fósforo

Treatment by acid chemical precipitation of olive mill wastewater

Abstract

The management of effluents from olive oil production has been conducted by applying various physiochemical and biological treatments, as well as the use in the soil. However, the most commonly used mechanism remains lagoon storage and natural evaporation during the hottest periods of the year. Thus, this work aimed at studying the characterization and treatment of wastewater from olive oil production. In this context, raw wastewater samples were collected from an olive mill with two-phase continuous system, located in the Baixo Alentejo region. These effluents presented acidic properties, with pH between 4 and 5, dark color, intense and unpleasant odor, chemical oxygen demand (COD) between 7000 and 8000 mg L^{-1}, average nutrient contents in calcium of 211 mg L^{-1}, magnesium of 74 mg L^{-1} and phosphorus of 1050 mg L^{-1}. In addition, these wastewaters had an average electrical conductivity of 2.7 dS m^{-1} and a total phenols content of 540 mg of gallic acid equivalents L^{-1}. The treatability tests consisted of the application to raw effluent of acidic chemical precipitation processes under different conditions. This process allowed the clarification of the effluent with maximum removal of turbidity and phosphorus of about 97 and 37%, respectively. Similar results were obtained in the reduction of absorbances at 254 nm (23%), 410 nm (57%) and 600 nm (96%). The final effluent had a content of magnesium between 1070 and 2130 mg L^{-1}, with an increase in the electrical conductivity as a function of pH decrease.

Keywords: agroindustry, olive mill wastewater, organic matter, turbidity, phosphorus

1. Introdução

A transformação da azeitona em azeite é uma das atividades agroindustriais de grande importância nos países mediterrâneos, nomeadamente, Espanha, Itália, Grécia e Portugal, resultado das condições edafo-climáticas da região.

O processo de transformação de azeitona em azeite tem tido alterações, sendo o sistema tradicional caracterizado pelo esmagamento manual da azeitona com auxílio de prensas e da adição de água. Hoje em dia o processo evoluiu, mas a necessidade de adição de água mantém-se. Atualmente as principais etapas da produção de azeite são a remoção de folhas, limpeza e lavagem da azeitona, moenda, batedura ou maxalagem e por fim a separação de fases (Figura 1).

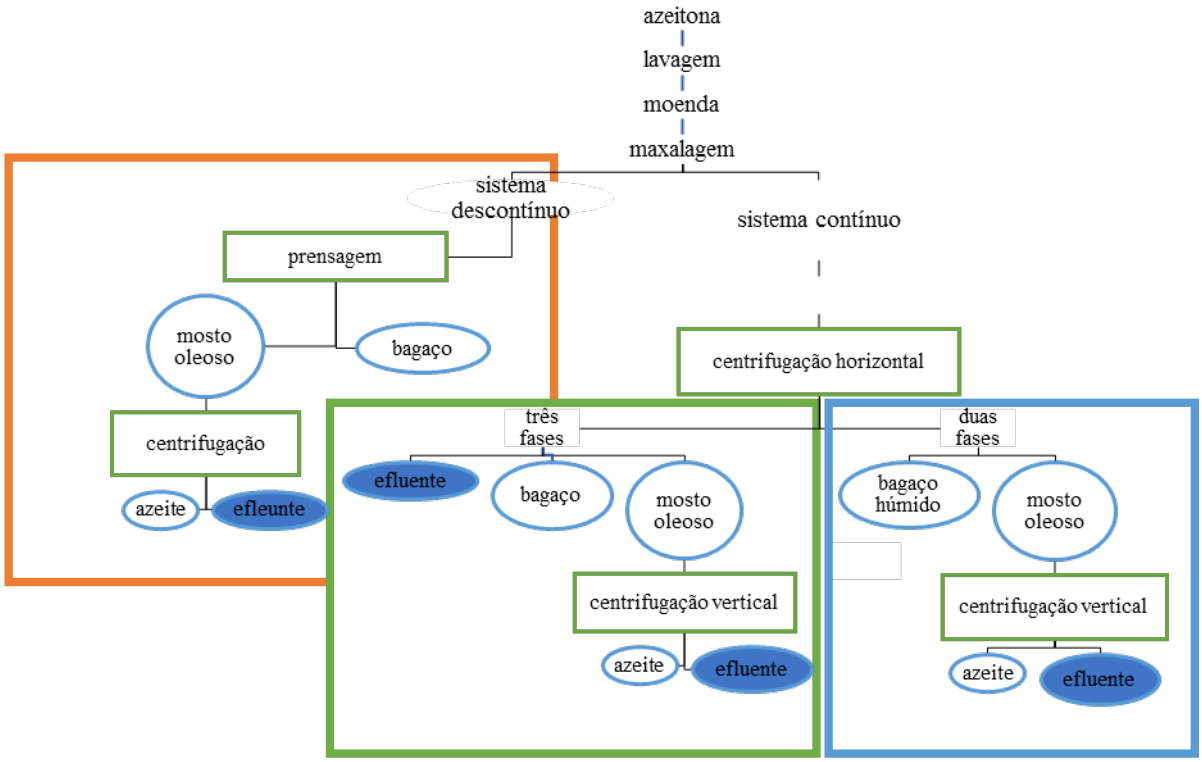


Figura 1. Diagrama do processo de extração de azeite

Relativamente à etapa de separação de fases existem dois métodos que podem ser utilizados, especificamente o método de prensagem e o método de centrifugação (Kapellakis *et al.*, 2008; Ferraz, 2012). O sistema de prensas, ou sistema descontínuo, corresponde ao processo mais antigo. Posteriormente, surgiu o método de centrifugação com sistema de extração contínuo de três fases e mais recentemente o método de centrifugação com sistema de extração contínuo de duas fases (Aires, 2007).

Apesar de existirem diferentes processos de transformação da azeitona, as principais etapas são comuns. Contudo, as quantidades de água que são adicionadas ao processo são diferentes, e consequentemente a quantidade de efluente líquido que é produzido no lagar também difere. Na Tabela 1 apresenta-se os principais *inputs* e *output* nos diferentes processos de extração.

Nos últimos anos, esta atividade tem-se expandido, permitindo o desenvolvido das regiões. No entanto, a construção de novos lagares, com capacidade para transformar grandes quantidades de azeitona e dispersos por uma grande área geográfica, tem elevados impactes no ambiente no que se refere ao armazenamento e tratamento dos efluentes produzidos. Durante a produção de azeite

gera-se grandes quantidades não só de efluentes, mas também de resíduos. As águas residuais, denominadas de águas-ruças, são resultantes da adição e utilização de água nas diferentes etapas, desde a lavagem de azeitona aos processos de extração. A problemática deste tipo de efluentes resulta em grande parte da sazonalidade da atividade de laboração dos lagares e da sua composição físico-química e microbiológica.

***Tabela 1**. Principais inputs e outputs nos sistemas de extração de azeite (adpatado de Azbar et al., 2004).*

Sistema	**Inputs**		**Outpus**	
Tradicional	Azeitona	1000 kg	Azeite	≈200 kg
	Água de lavagem	0,1 – 0,12 m^3	Bagaço (25% água + 6% azeite)	≈400 kg
			Efluente líquido (88% água + sólidos e azeite)	≈600 kg
Três fases	Azeitona	1000 kg	Azeite	200 kg
	Água de lavagem	0,1 – 0,12 m^3	Bagaço (50% água + 4% azeite)	500- 600 kg
	Água na centrifugação	0,5 – 1 m^3		
	Água de limpeza	0,01 m^3	Efluente líquido (94% água + 1% azeite)	1000 – 1200 kg
Duas fases	Azeitona	1000 kg	Azeite	200 kg
	Água de lavagem	0,1 – 0,12 m^3	Efluente líquido (60% água + 3% azeite)	800 – 950 kg

As características dos efluentes, quer qualitativa e quer quantitativamente, difere em função do tipo de extração, sistema de processo do lagar, volume de água adicionada, influenciando o tipo e concentração de contaminantes presentes no efluente. Outros fatores como tipo e maturação da azeitona, teor em humidade, produtos fitofármacos aplicados, características do solo agrícola, período de colheita e as condições atmosféricas influenciam a composição do efluente líquido produzido (Niaounakis & Halvadakis, 2006).

Geralmente, os efluentes provenientes de lagares apresentam elevada carga orgânica, presença de compostos fenólicos, e são de difícil biodegradabilidade, o que impede a sua descarga diretamente em recursos hídricos ou em estações de tratamento de água residuais. Têm sido aplicados alguns tratamentos, quer físico-químicos, por adição de cal hidratada (Boukhoubza, *et al.* 2009), reagente de Fenton (Papaphilippou, *et al*. 2013) e tecnologias de membranas (Turano *et al*, 2002), quer tratamentos biológicos por digestão anaeróbia ou aeróbia (Paraskeva & Diamadopoulos, 2006).

A utilização deste tipo de efluente no solo também constitui um mecanismo de gestão utilizado. No entanto, o armazenamento em lagoas e a evaporação natural, nos períodos mais quentes do ano, continuam a ser as práticas mais usuais. Estas medidas, para além de não serem as mais corretas, causam problemas associados à libertação de odores e à proliferação de insetos nas áreas circundantes ao lagar.

Logo, o presente trabalho pretendeu estudar as propriedades físico-químicas do efluente bruto, e avaliar a eficácia da aplicação de um tratamento por precipitação química ácida ao efluente bruto na remoção de matéria orgânica e de nutrientes neste efluente.

2. Material e Métodos

2.1. Recolha e caracterização do efluente de lagar

A recolha do efluente foi realizada num lagar de azeite do concelho de Serpa (Baixo Alentejo), cujo processo de transformação de azeitona é efetuado num sistema de extração de duas fases. O efluente apresenta-se visualmente homogéneo com cor escura e turva (Figura 2), e cheiro desagradável.

Figura 2. Amostra de efluente proveniente de lagar

Na Tabela 2 apresenta-se a caracterização do efluente estudado. Este apresenta um pH de 4,6, elevado teor em matéria orgânica com valor médio de CQO de 7910 mg O_2 L^{-1}, uma condutividade média de 2,7 dS m^{-1}, teores de nutrientes médios em cálcio de 211 mg L^{-1}, magnésio de 74 mg L^{-1} e fósforo de 1050 mg L^{-1}. Além disso, estas águas residuais apresentam um teor de fenóis totais de 540 mg de equivalentes de ácido gálico L^{-1}.

***Tabela 2**. Caracterização do efluente proveniente de lagar*

Parâmetro	**Unidade**	**Média ± Desvio padrão**
pH	Escala de Sorensen	4,63±0,142
Condutividade elétrica	dS m^{-1}	2,69±0,133
Abs $_{220}$	cm^{1}	1,027±0,0994 [a]
Abs $_{254}$	cm^{1}	0,366±0,0637 [a]
Abs $_{410}$	cm^{1}	0,076±0,0140 [a]
Abs $_{600}$	cm^{1}	0,031±0,0054 [a]
Turvação	NTU	280,1±2,63
CQO	mg O_2 L^{-1}	7910±330,7
Fósforo total	mg $CaCO_3$ L^{-1}	1049,7±84,74
Alcalinidade total	mg $CaCO_3$ L^{-1}	2039,2±344,81
Bicarbonatos	mg $CaCO_3$ L^{-1}	2039,2±344,81
Dureza total	mg $CaCO_3$ L^{-1}	970,5±470,86
Dureza cálcica	mg $CaCO_3$ L^{-1}	525,5±106,16
Dureza magnesiana	mg $CaCO_3$ L^{-1}	445,0±435,54
Cálcio	mg Ca^{2+} L^{-1}	210,6±42,55
Magnésio	mg Mg^{2+} L^{-1}	73,6±15,86
Fenóis totais	mg L^{-1}	540,4±50,42

[a] Amostra com fator de diluição de 1:50. CQO – Carência química de oxigénio.
Valores obtidos após 5 réplicas.

2.2. Ensaio de precipitação química ácida

Os ensaios de precipitação química ácida aplicados ao efluente de lagar foram realizados em copos de precipitação com um volume de amostra de 200 mL, colocados sobre placas de agitação para permitir a homogeneização do precipitante em toda a amostra de efluente e um intervalo de pH entre 1 e 3 (Figura 3). Os ensaios realizados tiveram como objetivo a aplicação de um processo químico para pré-tratamento de efluentes de lagar de azeite, que permitissem a sua descarga nos coletores municipais e/ou reutilização em atividades agrícolas.

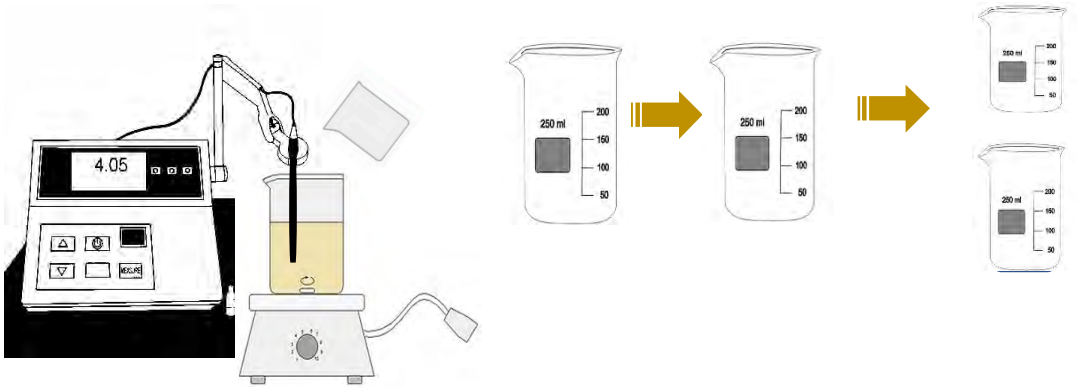


Figura 3. Sequência do processo de tratamento por precipitação química ácida

2.3. Métodos analíticos

Os valores de pH foram determinados pelo método potenciométrico com um elétrodo de pH SenTix 41. Para determinar a condutividade elétrica e temperatura utilizou-se um condutivímetro CO 3100 H SET da VWR. A turvação foi determinada num turbidímetro Turb550 da WTW. Para determinar o CQO e fósforo total foram utilizados métodos espetrofotométricos (APHA *et al*., 1998). A determinação da dureza total e dureza cálcica foi realizada de acordo com o método volumétrico de complexação com EDTA (APHA *et al*., 1998), e a alcalinidade pelo método volumétrico de neutralização com HCl (APHA *et al*., 1998). A determinação dos fenóis totais foi realizada pelo método espetrofotométrico (Falleh *et al*., 2008).

Foram realizadas leituras de absorvâncias a comprimentos de onda na região do ultravioleta: 220 mn para indicação da presença de compostos de baixo peso molecular e 254 nm para indicação de compostos orgânicos de elevado peso molecular, com numerosas ligações duplas e triplas e grupos fenólicos (APHA *et al*., 1998; Kasprzyk-Hordern *et al*., 2006; Rivas *et al*., 2010). Foram também efetuadas leituras de absorvâncias a comprimentos de onda na região do visível: 410 nm característico da cor (Rivas *et al*., 2010) e 600 nm que permite ter informação sobre a densidade ótica de células em suspensão (Megharaj *et al*., 2003).

3. Resultados e Discussão

A Figura 4 mostra as alterações visuais verificadas pela adição do precipitante químico ácido, observando-se mudanças significativas na cor do efluente tratado comparativamente ao efluente bruto. Os resultados obtidos no processo de tratamento por precipitação química ácida são apresentados na Figura 5. Nos ensaios de precipitação química ácida verificou-se relações entre o pH e a condutividade do efluente tratado e o pH de precipitação aplicado, obtendo-se um aumento significativo da condutividade à medida que se adiciona o precipitante. Assim, verificou-se um valor de condutividade de 37,9 dS m^{-1} para pH 1 (Figura 5A).

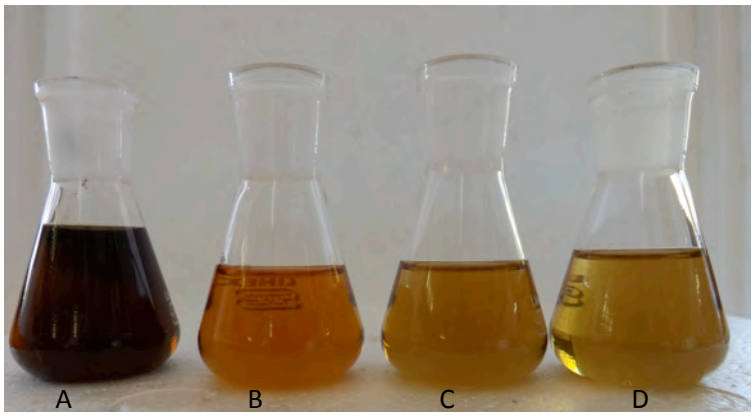


Figura 4. Efluente bruto proveniente de lagar (A) e efluente tratado após precipitação química ácida a pH 1 (B), pH 2 (C) e pH 3 (D)

Embora não existam valores limite de emissão para o parâmetro condutividade na descarga de águas residuais, para fins de rega é necessário ter em conta este parâmetro, uma vez que pode originar degradação do solo e ser letal para determinadas culturas agrícolas.

Em relação aos teores de ião magnésio, observou-se um aumento da concentração relativamente ao efluente bruto. Por outro lado, verificou-se uma redução da concentração do ião para as condições de pH mais extremas estudadas. O efluente produzido a pH 2 apresentou o teor em iões magnésio mais baixo, correspondente a 1076,5 mg L^{-1} (Figura 5B). Verifica-se que o efluente tratado por precipitação química ácida não apresenta cálcio na sua composição, tendo ocorrido a sua precipitação e sedimentação com eficiências de eliminação de cerca de 100%.

O processo de precipitação não se mostrou eficiente para a eliminação de fenóis totais (Figura 5F) e matéria orgânica na forma de CQO (Figura 5E), verificando-se a produção de um efluente com valores nos intervalos de 554 - 614 mg.L^{-1} e 7806 - 8981 mg O_2L^{-1}, respetivamente. Pela análise dos valores de absorvância a 220 nm, constata-se um aumento da presença de compostos de baixo peso molecular (Figura 5D), podendo ter ocorrido quebra de ligações durante a aplicação do processo de tratamento.

Na turvação verificou-se elevadas eficiências de remoção a pH 2 e pH 3, obtendo-se valores de cerca de 83 e 97%, respetivamente (Figura 5E). Estes resultados estão em concordância com os valores obtidos na absorvância a 410 nm (Figura 5D), verificando-se que o efluente fica mais claro, face ao efluente bruto. Contudo a pH extremo, pH=1, não foi possível obter remoção de turvação. O processo estudado mostrou-se eficiente na eliminação de absorvância a 254 e 600 nm (Figura 5D), e fósforo (Figura 5F), com taxas de remoção máximas de cerca 23, 57 e 37%, respetivamente.

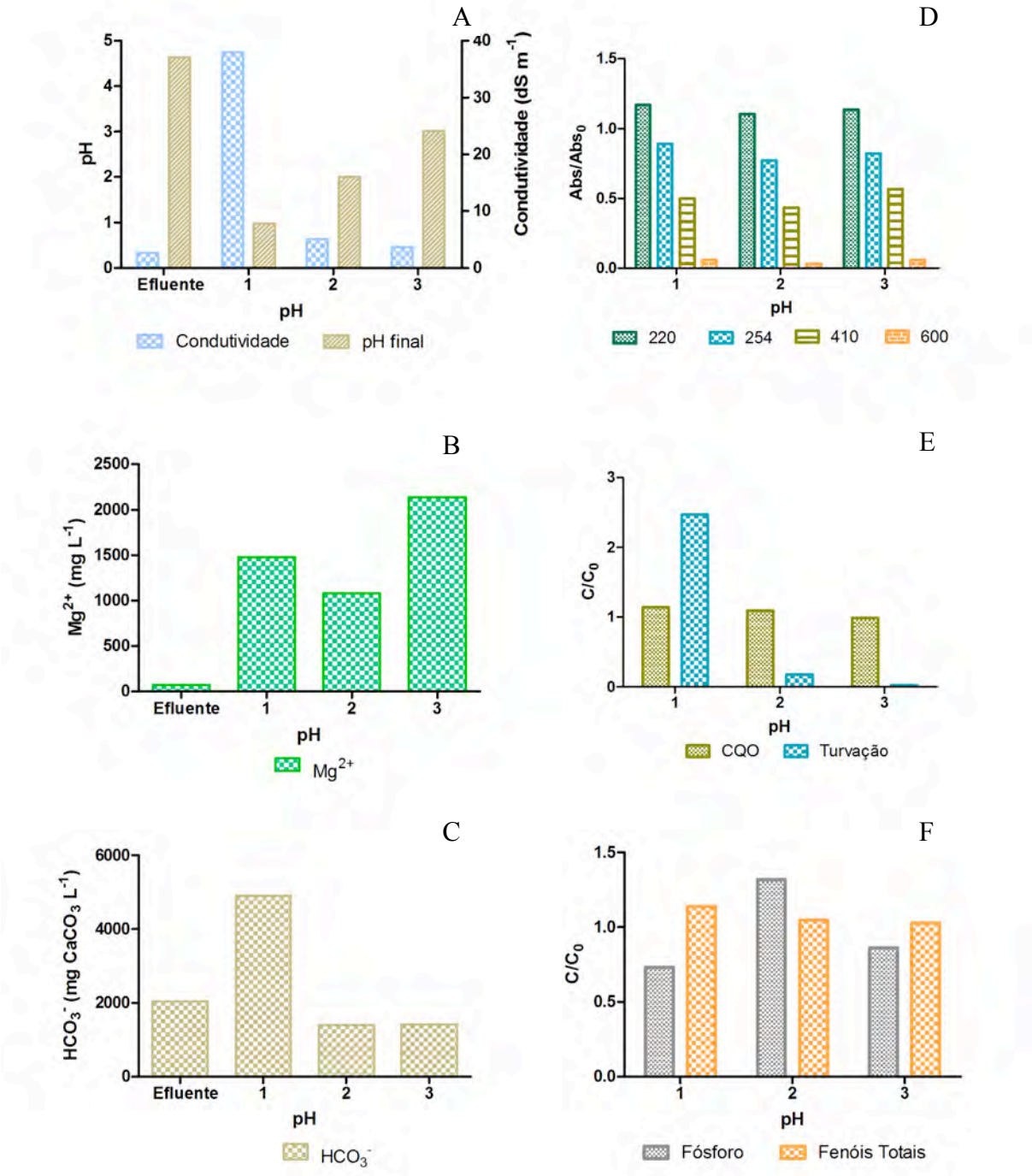


Figura 5. Estudo da aplicação do processo de tratamento por precipitação química ácida

4. Conclusões

Nos últimos anos os efluentes líquidos provenientes da produção de azeite têm merecido atenção, uma vez que estes apresentam elevada capacidade de poluição dos meios hídricos e solo. Alguns tratamentos físico-químicos e biológicos têm sido aplicados para a resolução deste problema, contudo acarentam custos que alguns produtores não podem sustentar, apresentam dificuldade de estabilização dos reatores biológicos e por vezes não conseguem produzir efluentes compatíveis com a legislação ambiental. Neste sentido, e numa procura de um tratamento simples e económico estudou-se um processo por precipitação química ácida.

A aplicação deste tratamento não permite que o efluente seja descarregado, contudo permitiu a clarificação do efluente com remoção de 97% de turvação e 37% de fósforo. Além disso, verificou-se remoção de cálcio e de absorvâncias características (254, 410 e 600 nm). O efluente após tratamento apresenta um teor em magnésio entre 1070 – 2130 mg L^{-1}, verificando-se um aumento da condutividade elétrica em função do decréscimo do pH.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao programa ALENTEJO 2020 pelo financiamento do projeto HYDROREUSE - Tratamento e reutilização de águas residuais agroindustriais utilizando um sistema hidropónico inovador com plantas de tomate (ALT20-03-0145-FEDER-000021), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

Bibliografia

Aires, C. M. G. L. S. 2007. Contribuição para o estudo da aplicação de subprodutos da indústria de extracção de azeite em solos agrícolas. Tese de doutoramento. Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF.

Azbar N., A. Bayram, A. Filibeli, A. Muezzinoglu, F. Sengul and A. Ozer. 2004. A review of waste management options in olive oil production. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34 (3): 209–247.

Boukhoubza, F., A. Jail, F. Korchi, L. L. Idrissi, H. Hannache, J. C. Duarte, L. Hassanib and A. Nejmeddine, 2009. Application of lime and calcium hypochlorite in the dephenolisation and discolouration of olive mill wastewater. *Journal of environmental management*, 91 (1), 124-132.

Falleh, H., R. Ksouri, K. Chaieb, N. Karray-Bouraoui, N. Trabelsi, M. Boulaaba and C. Abdlly. 2008. Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies* 331 (5): 372–379.

Ferraz, M. M. P. D. F. 2012. Contribuição para o estudo do tratamento de efluentes de lagares de azeite. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Niaounakis, M. and C. Halvadakis. 2006. *Olive processing waste management: Literature review and patent survey.* 2nd ed. Italy: Elsevier.

Kapellakis, I. E., K. P. Tsagarakis and J. C. Crowther. 2008. Olive oil history, production and by-product management. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7 (1): 1-26.

Kasprzyk-Hordern, B., U. Raczyk-Stanislawiak, J. Swietlik and J. Nawrocki. 2006. Catalytic ozonation of natural organic matter on alumina. *Applied Catalysis* B 62 (3-4): 345–358.

Megharaj, M., S. Avudainayagam and R. Naidu. 2003. Toxicity of hexavalent chromium and its redution by bacteria isolated from soil contaminated with tannery waste. *Current Microbiology* 47 (1): 51-54.

Papaphilippou, P. C., C. Yiannapas, M. Politi, V. M. Daskalaki, C. Michael, N. Kalogerakis, D. Mantzavinos and and D. Fatta-Kassinos. 2013. Sequential coagulation–flocculation, solvent extraction and photo-Fenton oxidation for the valorization and treatment of olive mill effluent. *Chemical engineering journal*, 224: 82-88.

Paraskeva, P. and E. Diamadopoulos. 2006. Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81 (9): 1475–1486.

Rivas, J., A. R. Prazeres, F. Carvalho and F. Beltrán. 2010. Treatment of Cheese Whey Wastewater: Combined Coagulation−Flocculation and Aerobic Biodegradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 58 (13): 7871-7877.

Turano, E., S. Curcio, M. G. De Paola, V. Calabrò and G. Iorio, 2002. An integrated centrifugation–ultrafiltration system in the treatment of olive mill wastewater. *Journal of Membrane Science*, 209 (2): 519-531.

Da captação à disposição final: gestão da água em uma fazenda de bovinos de leite no sul do Brasil

Nicole Friedrich Neumann[1] , Lucas Arns Neumann[2] , Paulo Belli Filho[3], Jorge M. R. Tavares[4]

[1,3,4] Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, CTC, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário 88040-970 Florianópolis, Brasil. nifneumann@gmail.com, paulo.belli@ufsc.br, jorge.tavares@posgrad.ufsc.br

[2] Escola de Agrárias e Medicina Veterinária, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Campus São José dos Pinhais 80215-901 São José dos Pinhais, Brasil. lucasneumann.a@hotmail.com

Resumo

A bovinicultura de leite é uma das atividades que utiliza mais água na agropecuária sendo consumido, em média, 100 L por animal durante o processo de ordenha. Adicionando a ingestão diária, a irrigação de pastagens e culturas para obtenção de grão, obtém-se um valor médio de 6 L de água por litro de leite produzido. O estudo buscou identificar, quantificar e minimizar os usos da água no processo produtivo de leite, em uma fazenda na região Sul do Brasil, propondo posteriormente, um plano para o uso eficiente da água no processo de ordenha e a disposição final adequada do dejeto gerado. A pesquisa terá a duração de 6 meses, no total, sendo dividida em três etapas: 1) diagnóstico do consumo diário de água no processo de lavagem da ordenha através da instalação de hidrômetros nas linhas de água utilizadas; 2) implementação de medidas minimizadoras do consumo de água; 3) a decorrer atualmente, validação das medidas implementadas e elaboração final do plano de gestão da água e do dejeto produzido. Na etapa de diagnóstico obteve-se no processo de ordenha o consumo médio de 84,1 $L \cdot vaca^{-1} \cdot d^{-1}$, um valor superior comparado com a ingestão de água estimada por modelos matemáticos (78,4 $L \cdot vaca^{-1} \cdot d^{-1}$). Assim, as medidas implementadas com o objetivo de reduzir o volume consumido foram: modificação do processo de limpeza e desinfecção da sala de preparação da ordenha (redução de lavagens húmidas de 3 para 1), colocação de um controlador de vazão para evitar o transbordo de água no reservatório de armazenamento, troca do equipamento utilizado no processo de lavagem (alta pressão, baixa vazão), desvio das águas pluviais provenientes do telhado. No final da segunda etapa, e após avaliação dos resultados obtidos a partir das medidas implementadas, será elaborado um plano final de gestão que abrangerá os usos da água no decorrer do processo de ordenha do leite: da captação (projeto para utilização da água da chuva) até à disposição final do excreta produzida (projeto de um sistema de tratamento descentralizado, wetland construído).

Palavras-chave: Bovinicultura de leite, uso eficiente da água, medidas de minimização, destino final do excreta.

From water catchment to its final disposal: water management applied to a dairy cattle farm in southern Brazil

Abstract

Milk cattle breeding is one of the activities that most use water in agriculture and is consumed, on average, 100 L per animal during milking. When added to the daily intake, irrigation of pastures and crops to obtain grain, we obtain an average value of 6 L of water per liter of milk produced. The present work aimed to identify, quantify and minimize the different uses of water in the milk production process in a farm in the South region of Brazil, to propose afterward, a management plan for an efficient use of water and the excreta generated in the milking process. The research will have a duration of 6 months and it is divided into three field stages: the first one, already accomplished, diagnosed the daily consumption of water during the milking process with three water meters in the water lines used in the process; the second consisted in the implementation of measures to minimize water consumption and, consequently, to evaluate the production of manure on the farm; the third, currently in process, corresponds to the validation of the implemented measures and final elaboration of the water and manure management plan for the farm. In the diagnostic step, was obtained the

average consumption of 84,1 L cow^{-1} d^{-1} in the milking process, a higher value compared to the water intake estimated by mathematical models (78,4 L cow^{-1} d^{-1}). Thus, the measures implemented with the objective of reducing the volume consumed were: modification of the cleaning and disinfection process of the milking room (reduction of the number of wet washes from 3 to 1), placement of a flow controller to avoid the overflow of the storage tank, change of equipment used in the washing process, diversion of rainwater that flows from the roof. At the end of the second stage, and after evaluating the results from the implementation of the measures, a final management plan will be elaborated to cover the uses of water during the whole milking process: from catchment (project to use the rainwater) to the final disposal of the manure produced (project of a decentralized treatment system).

Keywords: Milk cattle breeding; efficient use of water; mitigating measures; manure final disposal.

1. Introdução

A água é fundamental à produção animal: é insumo, recurso natural e alimento (Palhares, 2016). No entanto, para muitos produtores no Brasil o seu custo é baixo ou nulo, visto que grande parte capta de poços artesianos ou de corpos hídricos que estão em sua propriedade. Associado a este fato, o país possui posição vantajosa quanto à disponibilidade de recursos hídricos: 13% da água doce disponível mundialmente estão em solo brasileiro (Agência Nacional de Águas, 2013), pelo que os produtores apresentam baixa preocupação quando o assunto é fazer o manejo correto da água.

Se por um lado há água em abundância, também é evidência que no mesmo país existem regiões onde a seca e falta de acesso à água de qualidade é uma certeza. Os números indicam que mais de 35 milhões de brasileiros não tem acesso à água tratada (Instituto Trata Brasil, 2015). Assim, para proteger e assegurar acesso a água para todos, é preciso utilizar de maneira racional os recursos hídricos, uma vez que a atividade agropecuária é o setor que mais utiliza água e a redução do seu consumo é de elevado interesse.

A bovinocultura de leite, inserida no setor agropecuário, utiliza em média seis litros de água por litro de leite produzido; adicionalmente 100 litros de água são utilizados, em média, durante o processo de ordenha (Cooperativa Central Dos Produtores Rurais De Minas Gerais, 2004). O presente trabalho buscou identificar, quantificar e minimizar os usos da água no processo produtivo de leite, em uma fazenda na região Sul do Brasil, propondo posteriormente, um plano para o uso eficiente da água no processo de ordenha e a disposição final adequada do dejeto gerado

2. Material e Métodos

A fazenda de leite estudada está localizada na cidade de Campo Largo, Brasil. Atualmente, possui 36 hectares de área e 53 vacas leiteiras, produzindo em média por dia, 27 L de leite por vaca *Jersey* e 43 L por vaca *Holstein Frísia*. A produção média diária de leite é de 24,1 litros/vaca. O modo de produção é criação à pastagem natural com fornecimento de silagem produzida na propriedade.

A fazenda utiliza três fontes de água: dois mananciais que nascem na parte nordeste da propriedade e um rio a sudoeste (Rio Salgadinho). A quantidade de água captada em cada manancial é desconhecida pelos produtores devido aos caminhos que a rede hidráulica apresenta na fazenda. A Figura 1 apresenta uma imagem aérea da fazenda, identificando em azul claro as duas nascentes, em azul escuro o rio e em branco as instalações onde se realiza o processo de ordenha (3x ao dia).

Figura 1. Vista aérea da fazenda (Fonte: Google Maps).

A pesquisa tem prevista a duração total de seis meses e será dividida em três etapas. A primeira iniciada em janeiro de 2017 determinou o consumo de água das salas de preparação e de ordenha, com finalidade de determinar o uso da água no processo. Para isso, foram realizadas visitas técnicas e medições diárias do consumo de água através da utilização de três hidrômetros. O primeiro hidrômetro mede o consumo de água na sala de ordenha e foi instalado na tubulação de entrada da caixa de água, a qual é abastecida por um dos mananciais. O segundo hidrômetro corresponde ao consumo da sala de preparação e por isso, foi instalado na mangueira utilizada na limpeza do referido ambiente (Figura 2). O terceiro hidrômetro foi instalado na tubulação de entrada do reservatório-bebedouro da sala de preparação. Este último é utilizado como controle do consumo, visto que por se encontrar na entrada do reservatório, seu consumo deve ser superior a soma do consumo dos demais.

Figura 2.Instalação do hidrômetro na sala de preparação

A leitura dos hidrômetros está a ser realizada diariamente pelo proprietário da fazenda, (19h30), e é registrada em planilha específica. Após a coleta semanal dos dados, estes são analisados para eliminação de erros e, posteriormente, trabalhados estatisticamente a fim de obter o volume de água consumido nas salas de preparação e de ordenha.

Durante a segunda etapa, foram aplicadas medidas de minimização e avaliadas quais destas influenciaram na redução do consumo, por meio de análise estatística. Dessa maneira, durante a terceira etapa, será elaborado um plano de gestão, o qual abordará soluções para uso mais eficiente da água durante todo o seu ciclo: desde a captação até a sua disposição final. Foi utilizado o programa SigmaPlot para as análises estatística-descritivas, testes de regressão linear múltipla e de correlação de Pearson.

3. Resultados e Discussão

Durante o diagnóstico, foram realizadas visitas técnicas à fazenda para compreender quais são os usos de água na produção de leite e como reduzi-los. Também foi observada uma alta geração de dejetos, como consequência do elevado consumo de água pelos animais. Atualmente, esses dejetos são raspados e lavados com água sob pressão, dos pisos das salas de preparação e ordenha, após cada ordenha. Em seguida, uma parte dos dejetos escoa até a fossa, onde é armazenada e posteriormente, espalhada por um trator nas plantações da fazenda. A cada 2 ou 3 dias essa atividade é realizada. Outra parcela, no entanto, escoa por gravidade pelo terreno. Como há um curso d'água em uma cota inferior no terreno, há um risco de contaminação. Há ainda o agravante de o corpo hídrico ser utilizado mais a jusante para abastecimento público da cidade.

Também notaram-se diversas rachaduras no reservatório de água utilizado para limpeza dos pátios; ausência de um mecanismo para controle da vazão no reservatório; acúmulo da água da chuva e mistura desta com os dejetos nos pátios; água da lagoa próxima a leiteria invadindo os pátios em dias chuvosos, aumentando as poças e oferecendo risco aos animais; excesso de água utilizada durante a limpeza dos pátios.

Durante a primeira etapa, foram obtidos os valores médios de consumo de água referentes ao mês de janeiro de 2017: 3670 e 870 litros d^{-1} nas salas de preparação e de ordenha, respectivamente. O consumo total de água por vaca de leite foi de 84,1 litros d^{-1} e sua produção média de leite igual a 30,9 litros vaca $^{-1}$ d^{-1}. De acordo com a análise de 55 estudos e modelos matemáticos por Appuhamy et al. (2016), a ingestão média de água por uma vaca de leite é 78,4 ± 2,6 litros d^{-1} e a produção média de leite é de 28,1 litros vaca $^{-1}$ d^{-1}. Uma vez que em média 10% do total de água consumida na sala de ordenha é referente à dessedentação animal (Palhares, 2016), o consumo médio de água para o estudo de Appuhamy et al. seria estimado em 784 litros d^{-1}. Logo, apesar de haver maior gasto relativo de água, o rendimento da fazenda analisada por este estudo é maior, conforme aponta a Tabela 1.

Tabela 1. Comparação do rendimento nas fazendas analisadas por Appuhamy et al. (2016) e por este estudo.

Autor	Consumo de água na sala de ordenha (L)	Produção média de leite (L)	Proporção água:leite
Appuhamy et al. (2016)	784	28,1	27,9
Fazenda Campo Largo	870	30,9	28,2

Assim, a partir do dia 15 de fevereiro, foram implantadas as seguintes medidas de minimização: vedação de fendas e buracos no reservatório de armazenamento de água; colocação de controladores de vazão para evitar o transbordo de água no reservatório (Figura 3); desentupimento da tubulação que conduz os efluentes da lagoa até a valeta; troca do equipamento utilizado no processo de lavagem (alta pressão, baixa vazão); modificação do processo de limpeza e desinfecção da sala de preparação da ordenha (redução de lavagens húmidas de 3 para 1).

Figura 3.Instalação de controladores de vazão no reservatório de água, na sala de preparação

Após a implantação das medidas de minimização, foi realizado um novo monitoramento do consumo diário de água e análise estatística, segundo o método anteriormente descrito. Assim, por meio de regressão linear, observou-se que o consumo médio de água por vaca de leite baixou para 74,2 litros.d^{-1} (período de 15 de fevereiro a 07 de abril). Também foi averiguado que cada lavagem do pátio de preparação acrescenta 2,49 litros de água por vaca de leite diariamente (Tabela 2). As variáveis temperatura do ar e umidade relativa não apresentaram interação significativa, sendo portanto, excluídas das causas da redução observada do consumo de água. Após a medida de vedação de furos e colocação de controladores de vazão no reservatório de água, houve redução igual a 8,78 L.$vaca^{-1}$.d^{-1} (P<0,01). Notou-se que ao adiconar a variável tempo decorrente de intervenção, a influência desta intervenção na economia de água foi de 1,76 litrospor vaca, a cada 10 dias.

Além disso, o produtor relatou a redução das poças de água e dejetos no pátio, consequentemente poupando tempo de limpeza dos pátios e oferecendo maior segurança aos animais. Abaixo, a Figura 4 mostra a variação do consumo médio de água durante o período de diagnóstico e a Figura 5 ilustra o gráfico durante o período de implantação de medidas minimizadoras.

Tabela 2.Resultado da regressão linear múltipla entre número de lavagens e consumo de água por vaca.

	Coeficiente	**Std. Error**	**P**
Constante	72,112	2,380	<0,001
Número de lavagens	2,499	0,922	0,008

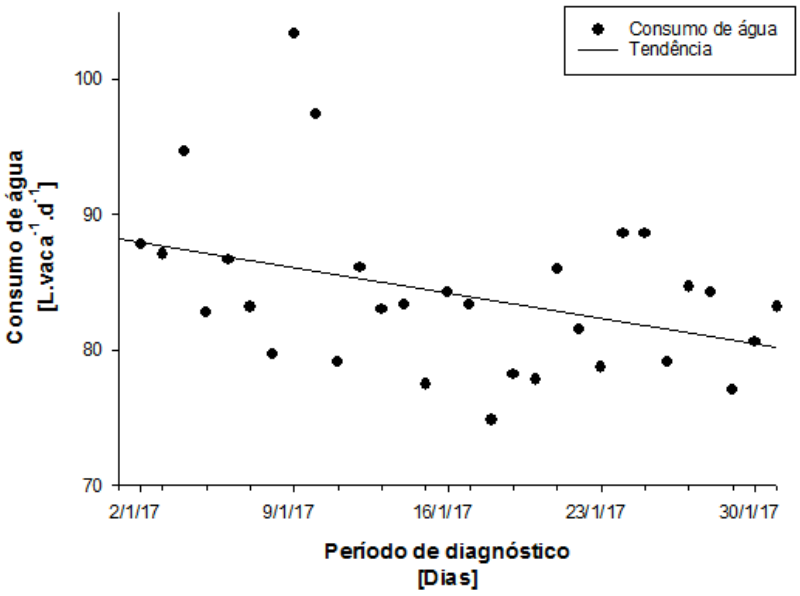


Figura 4.Consumo médio de água durante o período de diagnóstico

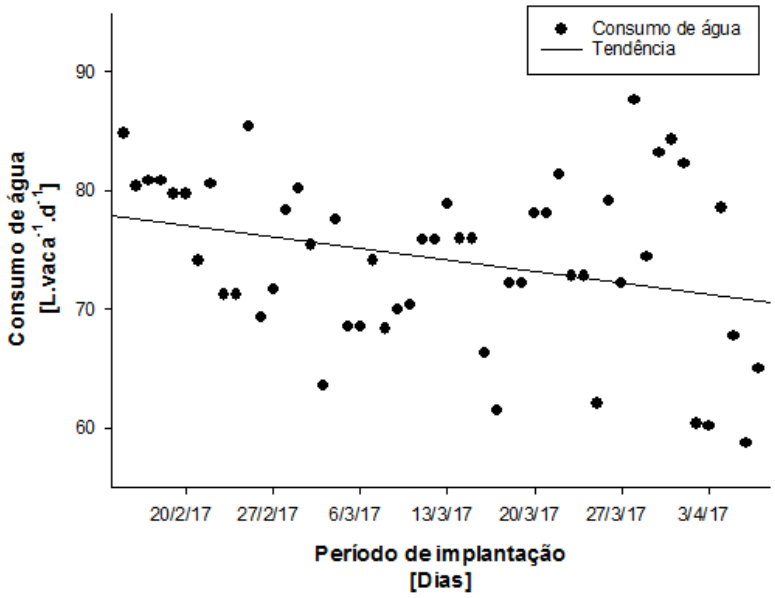


Figura 5.Consumo médio de água durante o período de implantação

Com base nos resultados estatísticos, observa-se que as medidas de vedação de buracos no reservatório de água, colocação de controladores de vazão, redução da quantidade de lavagens húmidas da sala de preparação e troca de ponteira da mangueira influenciaram significativamente na diminuição do consumo de água por vaca de leite; portanto, são medidas válidas. O desentupimento da manilha também teve influência não quantificada, contudo validada pela melhoria notada pelo produtor.

Além das medidas minimizadoras, o tempo de intervenção também demonstrou influência. Já no período do diagnóstico, foi possível notar a tendência em reduzir o gasto de água, conforme decorria o tempo. Esse resultado é explicado pela teoria de conduta social (Schultz et al., 2007): ao relatar para o produtor e funcionários da fazenda que o consumo de água estava acima do previsto pela

literatura, induziu-se uma conscientização e mudança de hábitos. Assim, por mais que não se dessem conta, os funcionários passaram a utilizar a água mais eficientemente.

A última etapa do estudo consiste na elaboração de um plano de gestão da água para a fazenda analisada. Nele, constarão medidas para tornar o uso da água mais eficiente, a começar pela captação. Primeiramente, será regularizada a outorga de captação de água junto ao órgão ambiental responsável. Também será proposta a proteção das nascentes, conforme determina o Código Florestal Brasileiro. Além disso, será projetado um sistema de aproveitamento de água da chuva para substituir a água, provinda de nascentes, utilizada na limpeza de pátios. Quanto ao procedimento de limpeza, será mantida a frequência de lavagem húmida de uma vez ao dia. Para a disposição final de dejetos e efluentes da produção, será elaborado um projeto de tratamento descentralizado (*wetland*). Adicionalmente, será proposto um sistema de nebulização na sala de preparação, a fim de reduzir os gastos de água com banhos nas vacas em dias de maiores temperaturas.

4. Conclusões

As medidas minimizadoras aplicadas apresentaram influência sobre a redução de consumo de água na fazenda, em especial a redução da quantidade de lavagens húmidas de três vezes para uma vez ao dia. Por meio do plano de gestão, objetiva-se potencializar o uso eficiente da água, abordando todo o seu ciclo: da captação a disposição final.

Agradecimentos

Agradecimentos ao Laboratório de Tratamento de Efluentes Líquidos e Gasosos (LABEFLU) por proporcionar todo o apoio técnico e incentivar a pesquisa.

Bibliografia

Agência Nacional Das Águas. 2013. *Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos traz balanço da situação e da gestão das águas no Brasil*. Brasília: Ed. ANA. (Acesso em 21 de março de 2017) http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=12365

Appuhamy, J. A. D. R. N., J. V. Judy, E. Kebreab and P. J. Kononoff. 2016. Prediction of drinking water intake by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99: 7191-7205. (Acesso em 11 fevereiro de 2017) http://dx.doi.org/10.3168/jds.2016-10950

Instituto Trata Brasil. 2015. *Perdas de Água: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica*. São Paulo: Ed. Trata Brasil.

Palhares, J. C. P. 2016. A experiência brasileira no manejo hídrico das produções animais. In *Produção Animal e Recursos Hídricos*. Ed. J. C. P. Palhares, ch. 1, 11-32. São Carlos: Editora Cubo.

Schultz, P. W., J. M. Nolan, R. B. Cialdini, N. J. Goldstein and V. Griskevicius. 2007. The Constructive, Destructive, and Reconstructive Power of Social Norms. *Psychological Science*, 18: 429-434. (Acesso em 30 de março de 2017) https://jsmf.org/meetings/2008/july/social%20norms%20Cialdini.pdf

¿Cómo seleccionar alternativas con mayor respaldo social para la modernización de regadíos?

Herminia Puerto[1], Carmen Rocamora[2], Ricardo Abadía[3]

[1,2,3] Departamento de Ingeniería, EPSO, Universidad Miguel Hernández, Ctra de Beniel km 3,2 Orihuela, Alicante, España. hpuerto@umh.es; rocamora@umh.es; abadia@umh.es

Resumen

Desde 2002, a través de sucesivos planes nacionales de regadíos, se ha llevado a cabo en España actuaciones muy importantes en materia de agua que han supuesto una disminución del consumo de agua para riego a pesar del ligero incremento de la superficie regada. La modernización de regadíos se ha basado sobre todo en la transformación del riego en superficie a sistemas de riego a presión, en su mayoría riego por goteo. A pesar de las grandes inversiones realizadas se han detectado problemas relacionados con la adaptación de la forma de actuar de las comunidades de regantes a las nuevas infraestructuras. En el sur de la provincia de Alicante se plantea en la actualidad la modernización del regadío tradicional y, a la vista de otras experiencias, para garantizar el éxito de una estrategia de modernización, aparece como determinante el tener en cuenta las posiciones de todos los actores implicados como son las actuaciones que están dispuestas a subvencionar las administraciones, los problemas más importantes y las soluciones que demandan los regantes y el impacto que van a tener estas actuaciones sobre el medio ambiente y los servicios ecosistémicos que proporciona la agricultura tradicional.

En 2016 tuvo lugar una jornada, organizada por la EPSO-UMH, para tratar la problemática y perspectivas de futuro del regadío tradicional de la Vega Baja del Segura, en el sur de la provincia de Alicante (España) con participación de representantes de todos los sectores implicados. Cada representante, administración, regantes y ambientalistas, plantearon su posición en distintas ponencias haciendo énfasis en los aspectos, a su juicio, más importantes. El análisis de la información expuesta en estas ponencias puede hacerse desde un punto de vista subjetivo o bien utilizando técnicas de minería de datos, como la minería de textos, que permite analizar textos no estructurados (lenguaje natural), para interpretar su significado automáticamente, extraer conceptos relevantes y las relaciones entre ellos para responder preguntas de interés.

En este trabajo se determina, aplicando técnicas de minería de textos, los planteamientos más relevantes de cada grupo considera la hora de plantear la modernización del regadío tradicional, de modo que la información obtenida sirva para plantear soluciones técnicas de modernización del regadío aceptables para todos los actores involucrados.

Palabras clave: Regadío tradicional, comunidades de regantes, minería de textos

How to select alternatives with high social support for modernisation of irrigation?

Abstract

Since 2002, significant initiatives regarding water have been performed in Spain in the framework of successive national plans for irrigation, which have lead to a decrease in water use consumption despite a slight increase of the irrigated surface. Modernization of irrigation has been founded on the transformation of surface irrigation into pressurized irrigation systems, mainly drip irrigation. In spite of the big investments, problems have been detected related to the adaptation of irrigation societies to the new irrigation infrastructures. The question of the modernization of traditional irrigation in the South of Alicante province arises now. In the light of experience so far in other regions, taking into account the positions of all the agents involved in the process appears as a determinant to guarantee the success of modernization. That is, the actions that the administrations are willing to subsidise, the main problems and solutions that the farmers require, and the impact of the irrigation actions on the environment and the ecosystem services provided by traditional agriculture.

In 2016 a conference was organised in the EPSO-UMH to discuss about the difficulties and future prospects of traditional irrigation in the Low Segura River Basin, in the South of Alicante province, in which of all the involved sectors took part. Representatives of Local Administrations, irrigating producers and environmentalists exposed their positions throughout their presentations, emphasising the most important aspects. The information explained in these presentations can be analysed from a subjective point of view, or my means of data mining techniques, such as text mining, which allows to analyse unstructured texts (natural language), in order to automatically interpret their meaning, and extract relevant concepts and relations between them to answer questions of interest.

In this paper text mining techniques are applied to determine the most relevant ideas of each group of agents in their approach of modernisation of traditional irrigation, so as the information can be used to propose technical solutions of modernisation which are acceptable by all the involved actors.

Keywords: Traditional irrigation, irrigation societies, text mining

1. Introducción

Desde 2002, a través de sucesivos planes nacionales de regadíos, se ha llevado a cabo en España actuaciones muy importantes en materia de agua que han supuesto una disminución del consumo de agua para riego a pesar del ligero incremento de la superficie regada (Playán y Mateos, 2006; Lecina et al., 2010; ESYRCE, 2015). La modernización de regadíos se ha basado sobre todo en la transformación del riego en superficie a sistemas de riego a presión, en su mayoría riego por goteo (Abadía et al., 2008). A pesar de las grandes inversiones realizadas se han detectado problemas relacionados con la adaptación de la forma de actuar de las comunidades de regantes a las nuevas infraestructuras.

En el sur de la provincia de Alicante se plantea en la actualidad la modernización del regadío tradicional y, a la vista de otras experiencias, para garantizar el éxito de una estrategia de modernización, aparece como determinante el tener en cuenta las posiciones de todos los actores implicados como son las actuaciones que están dispuestas a subvencionar las administraciones, los problemas más importantes y las soluciones que demandan los regantes y el impacto que van a tener estas actuaciones sobre el medio ambiente y los servicios ecosistémicos que proporciona la agricultura tradicional.

En 2016 tuvo lugar una jornada, organizada por la EPSO-UMH, para tratar la problemática y perspectivas de futuro del regadío tradicional de la Vega Baja del Río Segura, en el sur de la provincia de Alicante (España) con participación de representantes de todos los sectores implicados. Cada representante, administración, regantes y ambientalistas, plantearon su posición en distintas ponencias haciendo énfasis en los aspectos, a su juicio, más importantes. El análisis de la información expuesta en estas ponencias puede hacerse desde un punto de vista subjetivo o bien utilizando técnicas de minería de datos, como la minería de textos, que permite analizar textos no estructurados (lenguaje natural), para interpretar su significado automáticamente, extraer conceptos relevantes y las relaciones entre ellos para responder preguntas de interés.

La minería de textos en un aspecto particular de la minería de datos que se refiere al proceso que intenta descubrir patrones en grandes volúmenes de datos utilizando métodos de inteligencia artificial, aprendizaje automático, estadística y sistemas de bases de datos. La minería de datos, a su vez se engloba en un proceso más amplio llamado extracción de conocimiento en bases de datos (*Knowledge Discovery in Databases* o KDD). Según Frawley et al. (1991) el descubrimiento del conocimiento se define como "la extracción no trivial de información implícita, desconocida y potencialmente útil de los datos".

El objetivo de este trabajo es determinar, aplicando técnicas de minería de textos, los planteamientos es que cada actor considera más relevantes a la hora de plantear la modernización del regadío tradicional, de modo que la información obtenida sirva para plantear soluciones técnicas de modernización del regadío aceptables para todos los actores involucrados. Para ello se ha

utilizado el software estadístico de distribución libre R (R Core Team, 2017), y se ha utilizado un planteamiento descriptivo para la presentación de los datos

2. Metodología

El 30 de septiembre de 2016 tuvo lugar, en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, una Jornada Técnica titulada "Situación actual y perspectivas de futuro del regadío tradicional de la Vega Baja del Segura". En ella se invitó a debatir y presentar sus opiniones sobre los problemas actuales del regadío y sus posibles soluciones de cara al futuro, a representantes de las distintas administraciones relacionadas con la gestión del agua para riego del Estado, Comunidad Autónoma y Provincia, ADM1, ADM2 y ADM3, respectivamente, junto con dos expertos del ámbito académico EXP1 y EXP2. Las intervenciones de cada uno de los ponentes se grabaron en vídeo y se transcribieron en archivos de texto con formato *.txt* para proceder a su análisis.

Para el análisis de las ponencias se utilizó el programa libre de análisis estadístico R (R Core Team, 2017) ejecutada desde RSudio (RStudio Team, 2016). Las librerías que se necesitaron para el desarrollo del programa y análisis de los datos fueron las siguientes: library(NLP) (Hornik, 2017), library(tm) (Feinerer y Hornik, 2017), library(qdap) (Rinker, 2013), library(dplyr) (Wickham y Francois, 2016), library(slam) (Hornik, Meyer y Buchta, 2016), library(Matrix) (Bates y Maechler, 2017), library(ggplot2) (Wickham, 2009), library(scales) (Wickham, 2016), library(RColorBrewer) (Neuwirth, 2014), library(wordcloud) (Fellows, 2014).

La transcripción de cada ponencia, almacenada en un archivo con formato *txt* por separado, se cargó como objeto y se pasó a *Corpus*, con las indicaciones necesarias sobre formato e idioma.

```
#Carga de datos de los textos
#variable cname con el nombre del directorio donde estan los archivos de texto
cname <- file.path("C:", "R", "textoc")
length(dir(cname)) #numero de archivos en el directorio
dir(cname) #archivos que hay en el directorio
#El objeto fuente se pasa a Corpus() que carga los documentos y los almacena en la memoria en una variable llamada docs
docs <- Corpus(DirSource(cname), readerControl=list(language="es"))
docs #imprime caracteristicas de la variable docs
summary(docs) #sumario de docs
inspect (docs [1:5]) #inspecciona la variable docs
```

Una vez se obtuvo el texto original, el segundo paso fue procesarlo para eliminar e igualar los términos. Por este orden, se eliminaron los números, algunos caracteres especiales como el guion y dos puntos y se transformó el texto a minúsculas. En lugar de reducir las palabras a su raíz (utilizar *Stemming*), se transformaron algunas palabras como "aguas" a "agua", "administraciones", a "administración", etc. Finalmente, se eliminaron palabras de parada (artículos, pronombres, etc.) y se eliminaron los espacios en blanco sobrantes. Después de sucesivos análisis previos, se eliminaron también algunas palabras con escaso significado como "etc","permanentemente", "realmente", etc.

```
#eliminar numeros
docs <-tm_map(docs, removeNumbers)
#create the toSpace content transformer
toSpace <- content_transformer(function(x, pattern) gsub(pattern, " ",x))
```

```
docs <- tm_map(docs, toSpace, "-")

docs <- tm_map(docs, toSpace, ":")

#convertir todo a minusculas

docs <- tm_map(docs, content_transformer(tolower))

#unir vega baja en vegaBaja

docs <- tm_map(docs, content_transformer(gsub), pattern ="vega baja",
replacement="vegabaja")

#convertir aguas en agua

docs <- tm_map(docs, content_transformer(gsub), pattern ="aguas",
replacement="agua")

#convertir sistemas en sistema

docs <- tm_map(docs, content_transformer(gsub), pattern ="sistemas",
replacement="sistema")

#convertir administraciones en administración

docs <- tm_map(docs, content_transformer(gsub), pattern ="administraciones",
replacement="administración")

#convertir problemas en problema

docs <- tm_map(docs, content_transformer(gsub), pattern ="problemas",
replacement="problema")

#convertir económico en economico

docs <- tm_map(docs, content_transformer(gsub), pattern ="económico",
replacement="economico")

#convertir climático en climatico

docs <- tm_map(docs, content_transformer(gsub), pattern ="climático",
replacement="climatico")

#eliminar simbolos de puntuacion

docs <- tm_map(docs, removePunctuation)

#eliminar stopwords

docs <- tm_map(docs, removeWords, stopwords("spanish"))

writeLines(as.character(docs[[1]]))

# elimina espacios en blanco

docs <- tm_map(docs, stripWhitespace)

writeLines(as.character(docs[[1]]))

#elimina terminos especificados

docs <- tm_map(docs, removeWords,
c("través","si","tener","ser","tan","mismo","etc","permanentemente","realmente","ha
ce", "último","últimos", "sino","dos", "tres", "diez", "además", "puede", "cosas",
"creo", "aunque", "cada", "fundamentalmente" ))
```

El siguiente paso fue la creación de la matriz de términos de los documentos y eliminación de los términos dispersos con las funciones respectivas del paquete “tm”.

```
#crea una matriz de terminos de los documentos

dtm <- DocumentTermMatrix(docs)
```

```
inspect(dtm)
findFreqTerms(dtm, lowfreq = 10)
#elimina palabras dispersas
dtms <- removeSparseTerms(dtm, 0.4)
inspect(dtms)
```

La representación gráfica de la frecuencia de palabras se obtuvo en forma de gráfico de barras con la frecuencia de cada palabra estableciendo un mínimo de frecuencia igual a 15, y en forma de nube de palabras estableciendo un máximo de 40 palabras, en ambos casos para evitar gráficos demasiado abigarrados.

```
# gráfico de frecuencia de palabras
dtms.data <- as.matrix(dtms)
freq <- sort(colSums(dtms.data), decreasing = TRUE)
head(freq, 14)
wf <- data.frame(palabra=names(freq), frecuencia=freq)
head(wf)
subset(wf, frecuencia>15)%>%
  ggplot(aes(palabra, frecuencia))+
  geom_bar(stat = "identity")+
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1))
# dibuja la nube de palabras
set.seed(123)
dark2 <- brewer.pal(6,"Dark2")
wordcloud(names(freq),freq, max.words = 40, rot.per = 0.3, colors = dark2)
```

Para el análisis estadístico se utilizó una función para encontrar asociaciones entre las palabras más frecuentes como agua y riego. Esta misma función se utilizó para explorar asociaciones de la palabra “modernización”. Finalmente, como medida de la similitud de las ponencias, se calculó la distancia entre los ponentes como la distancia euclídea entre cada uno de los vectores de frecuencia de palabras de cada ponente de la matriz de términos de los documentos.

```
#análisis estadístico
# busca asociaciones entre términos
findAssocs(dtms, "agua", corlimit=0.7)
findAssocs(dtms, "riego", corlimit=0.7)
findAssocs(dtms, "modernización", corlimit=0.3)
#calcula la distancia Euclídea entre documentos
distancias <- as.matrix(dist(dtms.data,
                             method = "euclidean",
                             diag = FALSE,
                             upper = FALSE,
                             p = 2))
```

3. Resultados y Discusión

Después del pre-procesado de los textos, en total se obtuvieron 1808 términos de los cinco documentos para la matriz *dtm*, que presentó una dispersión del 73%. Después de eliminar palabras dispersas, se trabajó con 60 palabras y una matriz con una dispersión del 14%.Los resultados del análisis de la aparición de palabras en las transcripciones de las ponencias defendidas en las jornadas, se observa que la frecuencia mayor se da para la palabra “agua” o “aguas” ya que estas palabras se igualaron en el análisis. Le siguen, por orden de frecuencia, “sistema”, “regadío”, “segura” y “riego”. Otras palabras relevantes fueron “administración”, “calidad”, “importante”, “problema” y “tradicionales” (Figura 1).

Palabras como “parte” o “bien” no aportan significado ya que, por ejemplo, en el caso de este último no permite distinguir entre su uso como nombre o como adverbio.

En la Figura 2 se muestra la nube de palabras obtenidas en este análisis de frecuencia, las palabras más frecuentes se muestran con tamaño de letra mayor.

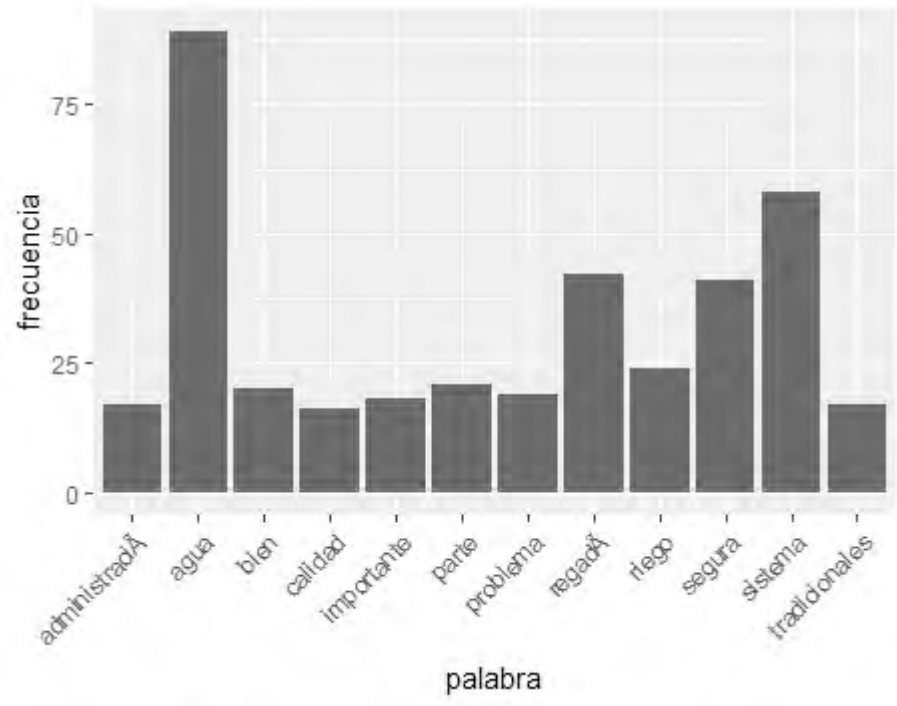


Figura 1. Frecuencia de palabras

Figura 2. Nube de palabras GLOBAL

Del análisis de la asociación entre las palabras más frecuentes (tabla 1), se observa la relación entre la palabra "agua" y el río Segura, la calidad del agua y los regadíos tradicionales. El "riego" está relacionado con la administración, los recursos, la energía y el regadío. Y el "regadío" se asocia con los términos que definen el tipo de riego en la zona, azarbes y acequias, la política, los recursos y la palabra tradicionales.

Tabla 1. Asociaciones entre palabras más frecuentes y el resto de palabras.

$agua

segura	llevar	calidad	cuestión	cierto	momento	tradicionales
0,92	0,89	0,84	0,75	0,73	0,72	0,72

$riego

administración	recursos	hablando	zona	energía	todas	utilización	regadío
0,97	0,89	0,87	0,82	0,81	0,79	0,76	0,73

$regadío

zona	azarbes	acequias	todas	vez	punto	política	recursos	riego	tradicionales
0,95	0,94	0,94	0,89	0,80	0,78	0,78	0,74	0,73	0,73

En la tabla 2 se ha señalado en negrita los valores más altos de distancia, que indican una mayor diferencia entre los discursos de cada ponente en términos de las palabras utilizadas y su frecuencia de aparición en los discursos de dada ponente. La mayor diferencia se observa entre el Experto 1 y el Experto 2, muy seguramente debida a la diferencia de campos de especialidad de cada uno de ellos, y del Experto 2 con la Administración autonómica (ADM2). Las similitudes mayores, señaladas en la tabla mediante subrayado, se observan entre el Experto 2 y la Administración provincial (ADM2), por un lado y entre el Experto 1 y la Administración Estatal (ADM1), por otro.

Cabe destacar que a pesar de tratarse de unas jornadas en torno al futuro del regadío tradicional de la comarca, la palabra modernización no aparece entre las 40 más frecuentes. Tampoco aparece en ninguna de las nubes obtenidas con las palabras más frecuentes de cada ponencia, de lo que se puede deducir que, o bien no es una prioridad para ninguno de los agentes implicados, o bien se

considera como una actuación implícita de la que son responsables los regantes como parte interesada.

Tabla 2. Matriz de distancias euclídeas entre las frecuencias de palabras de los discursos de los ponentes

	ADM1.txt	ADM2.txt	ADM3.txt	EXP1.txt	EXP2.txt
ADM1.txt	0,00000	27,64055	29,73214	25,74879	33,97058
ADM2.txt		0,00000	28,42534	32,54228	**40,00000**
ADM3.txt			0,00000	**37,16181**	23,06513
EXP1.txt				0,00000	**42,46175**
EXP2.txt					0,00000

4. Conclusiones

La minería de textos permite analizar de forma objetiva el lenguaje de distintos actores en sus discursos relativos al mismo tópico, para extraer conclusiones en cuanto a las similitudes y diferencias entre ellos.

En las ponencias analizadas, la palabra que aparece con más frecuencia es “agua” o “aguas”. Sin embargo las referencias a la modernización son escasas y esta palabra no aparece entre las más frecuentes.

Las diferencias más importantes en el mensaje de los ponentes, relacionadas con la distancia euclídea entre las frecuencias de palabras de sus discursos, se observan entre los dos expertos.

Bibliografía

Abadía, R., M. C. Rocamora, A. Ruiz and H. Puerto, H. 2008. Energy efficiency in irrigation distribution networks I: theory. *Biosystems Engineering* 101:21–27

Bates, D. and M. Maechler. 2017. Matrix: Sparse and Dense Matrix Classes and Methods. R package version 1.2-10. https://CRAN.R-project.org/package=Matrix

ESYRCE (Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos). 2015. Análisis de los Regadíos Españoles. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/ (Acceso el 29 de abril de 2017)

Feinerer, I. and K. Hornik. 2017. tm: Text Mining Package. R package version 0.7-1. https://CRAN.R-project.org/package=tm

Fellows, I. 2014. wordcloud: Word Clouds. R package version 2.5. https://CRAN.R-project.org/package=wordcloud

Frawley, W.J., Piatetsky-Shapiro, G., and Matheus, C. Knowledge Discovery In Databases: An Overview. In Knowledge Discovery In Databases, eds. G. Piatetsky-Shapiro, and W. J. Frawley, AAAI Press/MIT Press, Cambridge, MA., 1991, pp. 1-30

Hornik, K. 2017. NLP: Natural Language Processing Infrastructure. R package version 0.1-10. https://CRAN.R-project.org/package=NLP

Hornik, K., D. Meyer. and C. Buchta. 2016. slam: Sparse Lightweight Arrays and Matrices. R package version 0.1-40. https://CRAN.R-project.org/package=slam

Lecina, S., D. Isidoro, E. Playán and R. Aragües. 2010. Irrigation modernization and water conservation in Spain: the case of Riegos del Alto Aragón. *Agric. Water Manage*. 97, 1663–1675.

Neuwirth, E. 2014. RColorBrewer: ColorBrewer Palettes. R package version 1.1-2. https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer

Playan, E. and L. Mateos. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management* 80, 100–116

R Core Team. 2017. R: *A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing,* Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: http://www.R-project.org/.R

RStudio Team. 2016. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. Boston, MA. http://www.rstudio.com

Rinker, T. W. 2013. qdap: Quantitative Discourse Analysis Package. 2.2.5. University at Buffalo. Buffalo, New York. http://github.com/trinker/qdap

Wickham, H. 2009. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2009.

Wickham, H. 2016. scales: Scale Functions for Visualization. R package version 0.4.1. https://CRAN.R-project.org/package=scales

Wickham, H. and R. Francois. 2016. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 0.5.0. https://CRAN.R-project.org/package=dplyr

Efeito sobre propriedades hidráulicas do solo de mobilizações com tração animal: resultados de ensaio no NE Portugal

Tomás de Figueiredo[1], Aitor García-Tomillo[2], Arlindo Almeida[1], João Rodrigues[3], António Paz-Gonzalez[2], Jorge Dafonte[4], João Nunes[3], Zulimar Hernández[5], Douglas Bandeira[2]

[1] CIMO – Centro de Investigação de Montanha, Instituto Politécnico de Bragança, 5300-253 Bragança, Portugal, tomasfig@ipb.pt, acfa@ipb.pt

[2] Centro de Investigaciones Científicas Avanzadas (CICA), Grupo AQUASOL-Facultad de Ciencias, Universidad de La Coruña, Campus A Zapateira s/n 15008 A Coruña, Espenha, aitor.garcia.tomillo@udc.es, tucho@udc.es, douglas_ibf@hotmail.com

[3] APTRAN – Associação Portuguesa de Tracção Animal, 5300-253 Bragança,, Portugal, joaobrandaorodrigues@gmail.com, chorisia@gmail.com

[4] Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior de Lugo, Universidade de Santiago de Compostela, Campus de Lugo, 27002 Lugo, Espanha, jorge.dafonte@usc.es

[5] Grupo de Esafología, Departamento de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autonoma de Madrid, C Tomas y Valiente, s / n, Cantoblanco, Espanha, zulimar.hernandez@uam.es

Resumo

Este trabalho propõe-se comparar o efeito sobre propriedades hidráulicas do solo de mobilizações com modalidades de tração animal e motorizada. O estudo centrou-se nas curvas de dessecação de amostras não perturbadas, tomadas em ensaio experimental em Vale de Frades, NE de Portugal. Foram aplicados, em 2 passagens, 5 tratamentos em parcelas agrícolas (30mx3m): Trator com escarificador, Vacas com arado, Vacas com cultivador, Burros com arado, Burros com cultivador (animais em parelha). Foram colhidas 30 amostras na camada 0-5 cm (3 por parcela), em cilindros de 100 cm^3, antes e depois dos tratamentos. Em laboratório, as amostras foram submetidas a ensaio de permeabilidade, após o que foi acompanhada a sua perda de peso ao longo de 11 dias. Foram calculados: permeabilidade saturada, densidade aparente, porosidade total, teor de humidade e porosidade drenada em intervalos de tempo crescentes. As curvas exponenciais de dessecação obtiveram-se por regressão. Registaram-se diferenças significativas entre tratamentos nos teores de humidade até 4 dias de dessecação, com valores menores no trator relativamente aos tratamentos com tração animal. Os tratamentos conduziram à redução da porosidade total, da permeabilidade, da porosidade de retenção às 24h (significativa), sendo os impactos mais expressivos no tratamento com trator. Os resultados revelam-se promissores como contributo para estimular futura investigação sobre tração animal e sua aplicação na agricultura de montanha.

Palavras-chave: Curvas de dessecação, porosidade de retenção, porosidade de drenagem, permeabilidade do solo, zonas de montanha

Effect on soil hydraulic properties of tillage operations with animal traction: results of an experiment in NE Portugal

Abstract

This work compares the effect on soil hydraulic properties of tillage operations performed with different animal and motorized traction options. The study focus on the exploration of desiccation curves of undisturbed soil samples, taken in an experiment at Vale de Frades, NE Portugal. Treatments were applied in two passages in contiguous plots (30 m x 3 m), in a flat agricultural field with medium texture soil, poor in organic matter: 1, Tractor with cultivator; 2, Cows with plow; 3, Cows with cultivator; 4, Donkeys with plow; 5, Donkeys with cultivator (animals in pairs). Thirty undisturbed soil samples were collected in the 0-5 cm layer (3 per plot) in 100 cm^3 cylinders before and after treatments. In the laboratory, samples were kept in the cylinders, saturated (2 days) and submitted to a permeability test (4 days), after which, avoiding evaporation from cylinders top,

their weight loss was monitored over 11 days. Saturated permeability, bulk density, total porosity, moisture content and drainage porosity in increasing time intervals were calculated. The exponential desiccation curves were obtained by regression. Significant differences between treatments were detected in moisture content up to 4 days of desiccation, with lower values in the tractor as compared to treatments with animal traction. The treatments led to the reduction of total porosity, permeability, retention porosity after 24h (significant), the tractor treatment imposing the most relevant impacts. Results are promising as a contribution to stimulating future research on animal traction and its application in mountain farming systems.

Keywords: Desiccation curves, retention porosity, drainage porosity, soil permeability, mountain areas

1. Introdução

As mobilizações, com a sua ação perturbadora da estrutura do solo, têm consequência direta nas suas propriedades hidráulicas. Aquelas perturbações são parte dos processos considerados na investigação sobre compactação do solo. Os efeitos da compactação são de múltiplo alcance, uma vez que perturbações estruturais são acompanhadas de alterações no espaço poroso dos solos, reduzindo a porosidade e afetando a dimensão dos poros, restringindo o movimento da água no solo e a penetração radicular, pelo que podem ainda afetar o desenvolvimento das plantas e a produtividade das culturas (Batey, 2009; Hamza and Anderson, 2005). De resto, a compactação é a principal ameaça ao recurso solo na Europa, colocando em risco cerva de 40% dos solos da União Europeia (EEA, 2012).

A compactação está vulgarmente associada à ação da maquinaria utilizada nas atividades agrícolas. Operações efetuadas com recurso a tração animal são também perturbadoras da estrutura do solo, sendo todavia muito escassa a informação de base experimental necessária à adequada avaliação desse impacto (García-Tomillo et al., 2016; García-Tomillo et al., 2017). O pisoteio animal em áreas de pastagem é a referência mais frequente ao impacto do trafego de animais sobre o solo (Sigua and Coleman, 2015).

Todavia, à tração animal vem sendo reconhecido forte potencial de aplicação, enquanto contributo para a sustentabilidade dos sistemas culturais, em especial em zonas de montanha (FAO, 2014;). De facto, em zonas de montanha, a motorização das atividades agrárias enfrenta dificuldades que o progresso tecnológico ainda não resolveu inteiramente. Por outro lado, nestas zonas persistem núcleos de raças autóctones com vocação de trabalho, cuja funcionalidade é necessário mante para garantir a preservação do património genético que representam (Rodrigues et al. 2017).

Este trabalho propõe-se comparar o efeito sobre propriedades hidráulicas do solo de mobilizações realizadas com diferentes modalidades de tração, animal e motorizada, como parte de mais amplo estudo dos impactos no solo de tração animal aplicada em agricultura de montanha.

2. Material e Métodos

O ensaio experimental decorreu em Vale de Frades, NE de Portugal (41°38'46,3 "N, 6°29'47,7" W, 700 m de altitude), em zona de clima mediterrânico, na climatologia regional qualificado de Terra Fria de Planalto (temperatura média anual ca. 12ºC, precipitação média anual ca. 700 mm). O ensaio realizou-se num terreno agrícola plano, com solo de textura mediana (15 % argila), pobre em matéria orgânica (1,8%), qualificado de Regossolo dístrico derivado de xisto (WRB, e interpretações de Figueiredo, 2013 sobre Agroconsultores e Coba, 1991).

Foram aplicados, em duas passagens, 5 tratamentos em parcelas contíguas (30 m x 3 m): 1. Trator com escarificador; 2. Vacas com arado; 3. Vacas com cultivador; 4. Burros com arado; 5. Burros com cultivador (Figura 1). Os animais, em parelha, operaram sob a direção dos proprietários seguindo o protocolo de ensaio pré-estabelecido. Foram colhidas 30 amostras não perturbadas de solo na

camada 0-5 cm (3 no eixo central de cada parcela, próximo das extremidades e no meio), em cilindros de 100 cm^3, antes e depois da aplicação dos tratamentos.

Em laboratório, as amostras foram saturadas (2 dias) e submetidas a ensaio de permeabilidade (4 dias), em permeâmetro de carga constante e circuito fechado (Hillel, 1998). Foi calculada a permeabilidade saturada inicial (1º dia) e final (média dos 3 dias finais) e classificados os valores obtidos de acordo com SCS/USDA. No presente trabalho apenas são analisados os resultados da permeabilidade final.

Após o ensaio de permeabilidade, as amostras foram mantidas nos cilindros, e submetidas a um processo de dessecação por drenagem livre. A fim de evitar evaporação, os cilindros foram tapados na face superior. Acompanhou-se a perda de peso dos cilindros ao longo de 11 dias mediante pesagem às 24h, 96h, 144h, 192h e 264h de drenagem, a partir da condição de saturação inicial das amostras. No final as amostras foram secas em estufa a 105ºC durante 48h para determinação do seu peso seco. Foram calculados: densidade aparente, porosidade total, teor de humidade e porosidade de retenção e de drenagem tomando como referência as 24h de dessecação, face à reduzida dimensão das amostras (Hillel, 1998). As porosidades foram calculadas pelo teor de humidade afetado da densidade aparente de cada amostra, a total à saturação, a de retenção às 24h e a de drenagem por diferença da total para esta última.

As curvas exponenciais que descrevem o processo de dessecação obtiveram-se por regressão aplicada com os dados das 30 amostras. Para além das estatísticas descritivas das propriedades determinadas, aplicou-se ANOVA a dois critérios para avaliar o efeito sobre esses parâmetros dos fatores testados no ensaio: Tratamento (os cinco mencionados) e Mobilização (condição anterior – Antes – e posterior – Depois – às mobilizações). Para avaliar o efeito dos referidos fatores nos parâmetros de regressão das curvas de dessecação realizou-se também a ANOVA a dois critérios.

Figura 1. Meios de tração e alfaias utilizados no ensaio: escarificador montado em trator (A), vacas Mirandesas (B), burros Mirandeses (C), cultivador (D), arado romano (E).

3. Resultados e Discussão

Nas amostras colhidas Antes da mobilização, a Humidade do solo decresceu ao longo de 11 dias de 54% para 8% (médias de todos os tratamentos). Quando comparados com estes, os valores iniciais foram genericamente mais baixos nas amostras colhidas Depois da mobilização (48%), mas idênticos no final do ensaio de dessecação. Os efeitos testados (Tratamento e Mobilização) sobre a Humidade do solo ao longo do ensaio foram significativos no período inicial (0h e 24h); às 96h (4 dias), o efeito do Tratamento manteve-se significativo, e a interação (Tratamento x Mobilização) foi significativa para os tempos de dessecação de 96h, 144h (6 dias) e 192h (8 dias). No período inicial (até aos 4 dias, inclusive), os valores do Tratamento 1 (Tração Motorizada) foram notoriamente inferiores aos dos restantes Tratamentos (Tração Animal), com diferenças significativas entre o primeiro e estes últimos às 24h de dessecação (Figura 2). Esta distinção persistiu de modo claro ao longo do ensaio nas amostras colhidas Depois da mobilização (Figura 3).

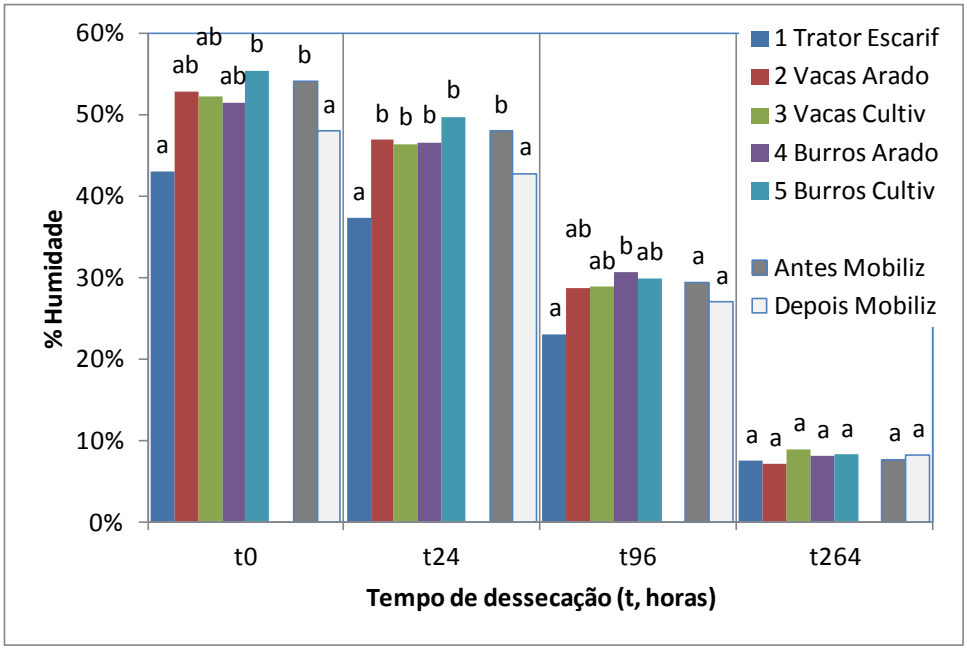


Figura 2. Comparação de médias da Humidade do solo por Tratamento e Antes e Depois da Mobilização, no período inicial (até aos 4 dias) e no final (11 dias) do ensaio de dessecação (letras diferentes no topo das colunas representam diferenças significativas entre médias por grupo de colunas, teste de Tukey, p<0,05).

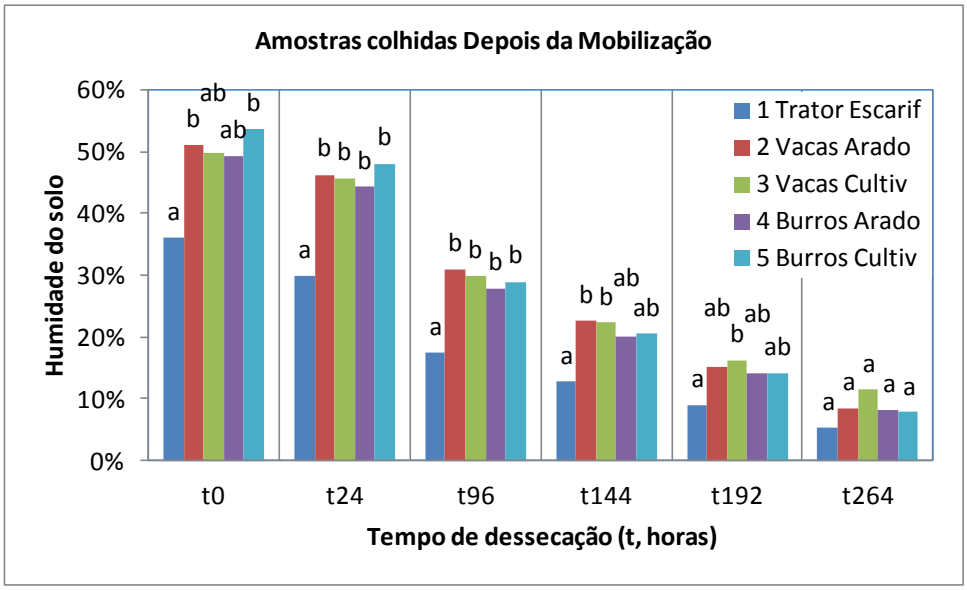


Figura 3. Evolução da Humidade do solo ao nos Tratamentos longo do ensaio de dessecação em amostras colhidas Depois da Mobilização (letras diferentes no topo das colunas representam diferenças significativas entre médias por grupo de colunas, teste de Tukey, p<0,05).

Os coeficientes de determinação das curvas de dessecação, obtidas por regressão, foram elevados (R^2 > 0,970), mostrando a qualidade do ajustamento exponencial ao declínio da Humidade do solo com tempo. O fator das equações de regressão ($H = a\ e^{b\ t}$; H, %; t, horas) é uma estimativa da Humidade à saturação e o efeito do Tratamento e da Mobilização afetaram significativamente esse parâmetro (interação não significativa). Assim, no conjunto distingue-se o Tratamento 1 (Tração Motorizada), sem diferenças significativas em relação aos restantes (Tração Animal) Antes da mobilização, mas significativamente mais baixo Depois da mobilização (Figura 4). Pelo contrário, o expoente das equações não foi significativamente afetado pelos efeitos testados, variando entre -0,006 e -0,008, com uma média global de -0,007. A Figura 5 contrasta os impactos da Mobilização

sobre estas curvas no Tratamento 1 (Trator-escarificador) e no Tratamento 5 (Burros-cultivador), expressivo no primeiro caso e negligenciável no segundo.

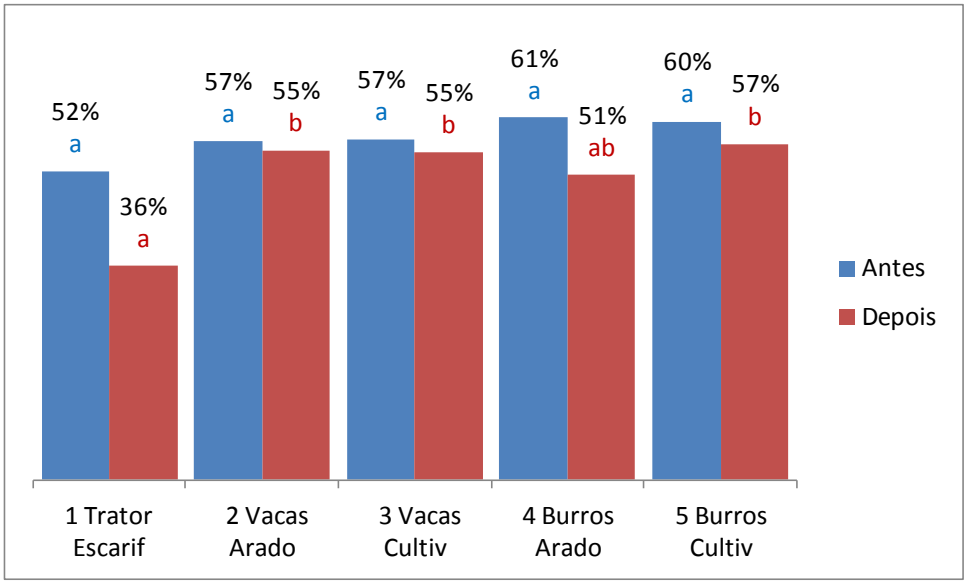


Figura 4. Variação da Humidade do solo à saturação, estimada por regressão, por efeito do Tratamento e da Mobilização (letras diferentes no topo das colunas representam diferenças significativas entre as médias dos Tratamentos, Antes e Depois da mobilização, teste de Tukey, p<0,05).

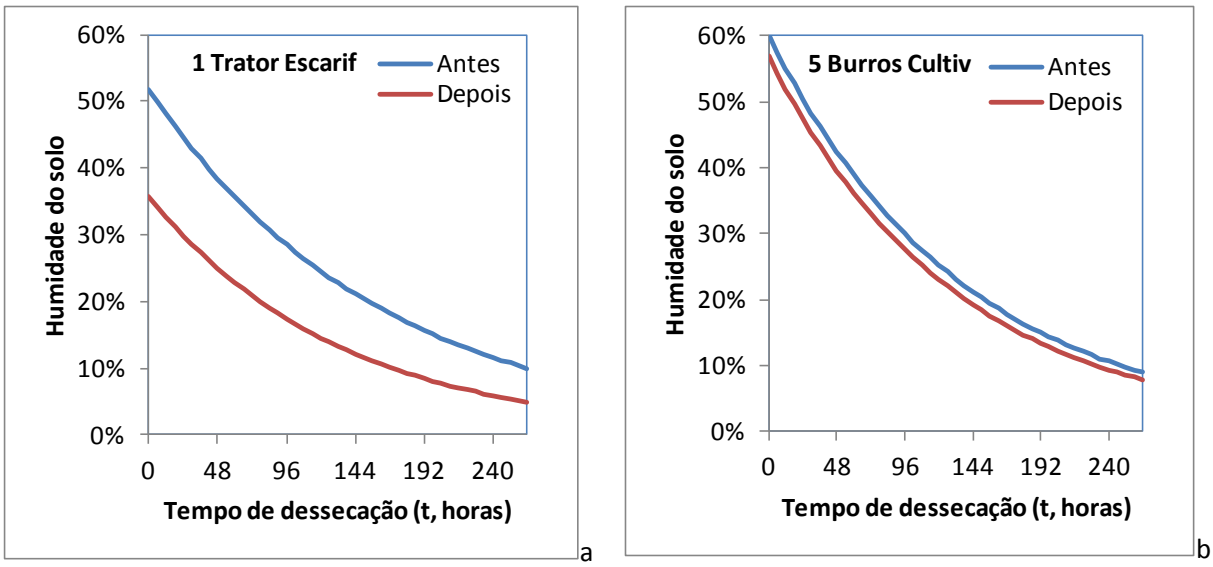


Figura 5. Curvas de dessecação obtidas por ajustamento exponencial para amostras colhidas Antes e Depois da mobilização: (a) Tratamento de maior impacto, 1. Trator-Escarificador (Tração Motorizada) (b) Tratamento de menor impacto, 5. Burros-Cultivador (Tração Animal).

As curvas de dessecação permitiram identificar as perturbações na estrutura do solo devidas às mobilizações, que também se traduzem em alterações no espaço poroso. Neste caso, tomaram-se as 24h de tempo de dessecação para estimar a porosidade de drenagem (macroporosidade, esvaziada por drenagem interna nesse tempo) da porosidade de retenção (microposidade, contendo a água no solo no mesmo tempo). Os efeitos Tratamento e Mobilização apenas foram significativos na

Porosidade de retenção, com o Tratamento 1 a mostrar valores significativamente menores do que nos Tratamentos com Tração Animal, Depois da Mobilização, contra diferenças não significativas entre Tratamentos, Antes da Mobilização (Figura 6). No conjunto dos tratamentos com Tração Animal, os Tratamentos 4 e 5, utilizando Burros como animal de tração, mostram também os menos expressivos impactos da Mobilização na porosidade, de resto também observado nas cuirvas de dessecação (Figura 5b). Refletindo estas alterações no espaço poroso do solo, a permeabilidade saturada decresceu por efeito da Mobilização, ainda que sem diferenças significativas entre Tratamentos (Tabela 1).

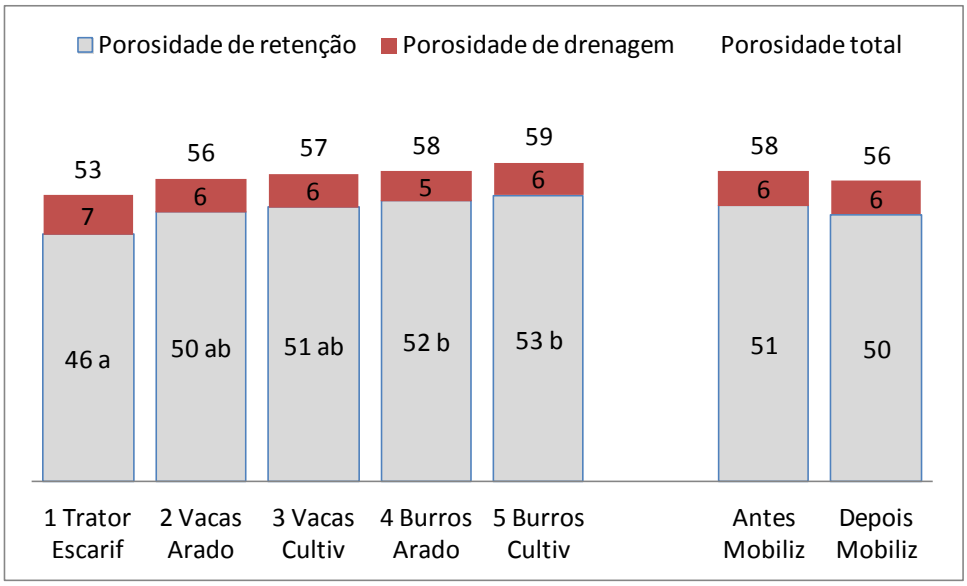


Figura 6. Comparação das médias da Porosidade total, de retenção e de drenagem (%) às 24h de dessecação por Tratamento e Antes e Depois da Mobilização (letras diferentes nas colunas representam diferenças significativas entre médias, teste de Tukey, p<0,05).

Tabela 1. Média ± Desvio Padrão e classificação da Permeabilidade saturada (Ks) por Tratamento, das amostras colhidas Antes e Depois da Mobilização

Tratamento	Antes da Mobilização		Depois da Mobilização	
	Ks (cm h^{-1})	Classificação	Ks (cm h^{-1})	Classificação
1 Trator-Escarificador	26,04 ± 8,40	Muito Rápida	13,33 ± 4,18	Rápida
2 Vacas-Arado	13,14 ± 9,05	Rápida	7,67 ± 6,51	Mod Rápida
3 Vacas-Cultivador	23,73 ± 26,92	Rápida	5,52 ± 1,66	Moderada
4 Burros-Arado	24,32±13,25	Rápida	22,29±5,01	Rápida
5 Burros-Cultivador	10,16±2,05	Mod Rápida	4,61±2,52	Moderada

As perturbações na estrutura do solo impostas pelas mobilizações são genericamente consideradas no âmbito dos processos de compactação por tráfego e operação de maquinaria em áreas cultivadas (Horn et al., 1995). Globalmente, os resultados mostram que os efeitos das mobilizações no espaço poroso e nas propriedades hidráulicas do solo são concordantes com a bibliografia. Todavia, em reforço de resultados anteriores (García-Tomillo et al., 2016; García-Tomillo et al., 2017), mostram também que as mobilizações realizadas com recurso à tração animal têm impacto significativamente menor na microporosidade ou porosidade de retenção (6% menos com trator do que com tração animal, em média), o que se traduz em maior capacidade de armazenamento de água no solo

mobilizado com tração animal. Embora a porosidade total não mostre efeito significativo do tratamento, a diferença entre os dois tipos de tração é da mesma ordem, já que na macroporosidade ou porosidade de drenagem os valores foram semelhantes nos dois casos. Tal poderá contribuir para explicar o efeito não significativo do tratamento na permeabilidade saturada do solo, mais diretamente relacionada com a porosidade de drenagem. Pelo contrário, as curvas de dessecação refletem o movimento da água em meio não saturado para o qual, depois do movimento gravitacional inicial (aqui assumido nas primeiras 24h após a saturação), mais contribui o espaço poroso de menor dimensão, no qual se diferenciam significativamente os dois tipos de tração. No contexto do ensaio, não são identificáveis os impactos negativos do pisoteio animal descritos por Drewry et al. (2008).

4. Conclusões

Com os resultados do ensaio foi possível quantificar impactos sobre as propriedades hidráulicas do solo devidos à mobilização, significativos quando aplicada tração motorizada, de menor monta nos tratamentos com tração animal e dentro destes os que utilizaram Burros como força de tração.

Destacam-se as diferenças significativas observadas entre tratamentos nos teores de humidade até 4 dias de dessecação, com valores menores no trator relativamente aos tratamentos com tração animal. Os tratamentos conduziram à redução da porosidade total e de retenção após 24h (significativa), da permeabilidade, mais expressiva no tratamento com trator.

Os resultados revelam-se promissores como contributo para estimular futura investigação sobre tração animal e sua aplicação na agricultura de montanha.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos agricultores de Vale de Frades, Concelho de Vimioso, envolvidos no ensaio, pelo seu entusiasmo e desempenho, aceitando disponibilizar o seu tempo, as suas alfaias e os seus animais de trabalho para realizar as operações necessárias à condução do ensaio.

Bibliografia

Agroconsultores e Coba. 1991. *Carta do Solos, Carta do uso Actual da Terra e Carta da adaptação da Terra do Nordeste de Portugal*. Vila Real. Universidade de Trás-as-Montes e Alto Douro.

Batey T. 2009. Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use Management* 25: 335-345.

Drewry J.J., Cameron K.C., Buchan G.D. 2008. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing: a review. *Australian Journal of Soil Research* 46: 237-256.

EEA – European Commission, European Environmental Agency (EEA). 2012. *The State of Soil in Europe*. JCR Reference Report. 2012.

FAO, 2014. *The role, impact and welfare of working (traction and transport) animals*. Animal Production and Health Report, 2014a, 5. Rome, United Nations Food and Agriculture Organization.

Figueiredo, T. de. 2013. *Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano*. Série Estudos 84. Bragança. Instituto Politécnico de Bragança.

García-Tomillo A., de Figueiredo T. de, Almeida, A., Paz-González, A., Dafonte, J.,.Rodrigues, J., Nunes, J., Bandeira, D. 20016. Efectos comparados de modalidades de laboreo utilizando tracción animal em propriedades físicas del suelo: resultados preliminares de ensayo experimental. In: *Solos e Água: fontes (esgotáveis) de vida e de desenvolvimento*. Comissão

Editorial do VII CICS 2016 / VI CNRD. 2016. Livro de Actas do VII Congresso Ibérico das Ciências do Solo (CICS 2016) / VI Congresso Nacional de Rega e Drenagem, 13-15 de Setembro de 2016. 239-242. Beja. Instituto Politécnico de Beja).

García-Tomillo, A, T. de Figueiredo, A. Almeida, J. Rodrigues, J. D. Dafonte, A. Paz-González, J. Nunes, Z. Hernandez. 2017. Comparing effects of tillage treatments performed with animal traction on soil physical properties and soil electrical resistivity: preliminary experimental results. *Open Agriculture* 2: 300–307.

Hamza M.A., Anderson WK. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82: 121–145.

Hillel D. 1998. *Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations*. New York. Academic Press.

Horn R., Domzal H., Slowinskajurkiewicz A., van Ouwerkerk C. 1995. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil and Tillage Research* 35: 23–36.

Mooney S.J., Nipattasuk W. 2003. Quantification of the effects of soil compaction on water flow using dye tracers and image analysis. *Soil Use and Management*. 19: 356–363.

Rodrigues, J.B., P. Schlechter, H. Spychiger, R. Spinelli, N. Oliveira, T. Figueiredo. 2017. The XXI century mountains: sustainable management of mountainous areas based on animal traction. *Open Agriculture* 2: 300–307. (DOI 10.1515/opag-2017-0034)

SCS/USDA – Soil Survey Division Staff. 1993. Soil survey manual. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Agricultural Handbook No. 18. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office.

Sigua G.C, Coleman S.W. 2015. Long-term effect of cow congregation zone on soil penetrometer resistance: implications for soils and forage quality. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 517–523

WRB – World Reference Base for Soil Resources. 2014. *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports 2014. No. 106. Rome. FAO.

Repercusión económica de la uniformidad de riego en cultivos de gran demanda de agua en zonas semiáridas

Ana Kelliane Silva,.[1], Francisco A Lima [1], Alfonso Domínguez [2], José Mª Tarjuelo [3]. Angel Martínez-Romero, [4]

[1] Estudiante de Doctorado, Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM)

[2] Dr. Ingeniero Agrónomo Titular de Universidad; UCLM

[3]Dr. Ingeniero Agrónomo Catedrático de Universidad; UCLM

[4] Dr. Ingeniero Agrónomo, Profesor Asociado; EIIAB, Dpt. Mecánica Aplicada e Ingeniera de Proyectos, UCLM, Centro Regional de Estudios del Agua, Ctra. de Las Peñas km. 3,2, 02071 Albacete Email: jose.tarjuelo@uclm.es

Resumen

Este trabajo pretende cuantificar el efecto de la uniformidad de distribución del agua por el sistema de riego por aspersión fija en maíz, analizando la repercusión del manejo del sistema de riego en el margen bruto del cultivo (MB), a la vez que validar el modelo MOPECO-CU, que tiene en cuenta el efecto de la uniformidad de riego sobre el rendimiento del cultivo. El ensayo se llevó a cabo en una parcela de 3 ha, con dos sectores de riego (S1 y S2) de igual tamaño, con un sistema de aspersión fija. En el sector S1 se realizó la programación de riegos tratando de cubrir las necesidades de agua del cultivo en la zona que recibía la media del agua aplicada en el marco de riego. El sector S2 lo manejó el propietario de la parcela, según su experiencia de más de quince años sembrando maíz, aplicando un 19% más de agua que en el S1. Para analizar la respuesta del cultivo se muestrearon tres zonas. Una representativa del 25% del área que menos agua recibió, otra representativa del 50% y otra del 25% que más agua recibió. Con un CU= 84%, existen diferencias significativas en el rendimiento del cultivo, el MB y demás indicadores de eficiencia de la producción, entre las zonas que reciben distinta cantidad de agua, recomendando mejorar la uniformidad de reparto de agua con el sistema de riego, colocando dos boquillas en el aspersor en lugar de una sola, y aplicar en torno a 800 mm/ha para aproximarse al óptimo económico del cultivo.

Palabras clave: maíz, riego por aspersión, modelo MOPECO, margen bruto

Economic impact of irrigation uniformity on crops with high water demand in semi-arid areas

Abstract

This work aims to quantify the effect of irrigation water distribution uniformity in permanent sprinkler irrigation system in maize, analysing the impact of the irrigation system management on the gross margin of the crop (MB), and to validate the model MOPECO-CU, which takes into account the effect of irrigation uniformity on crop yield. The test was carried out on a 3 ha plot, with two irrigation sectors (S1 and S2) of equal size. In the sector S1, irrigation scheduling was performed trying to cover the water requirement of the crop in the area that received the average of the water applied with the irrigation system. The sector S2was managed by the farmer, according to his experience of more than 15 years cropping maize, applying 19% more of total water than in S1. Three zones were sampled to analyse the crop response. One, representative of 25% of the area that received less water, another representative of 50% and another representative of the 25% that received more water. With a CU = 84%, there are significant differences in crop yield, MB and other indicators of production efficiency between areas receiving different amounts of water, recommending to improve the uniformity of water distribution with the irrigation system, using, for instance, two nozzles in the sprinkler instead of one, and apply around 800 mm ha^{-1} to approach the economic optimum of the crop.

Keywords: maize, sprinkler irrigation, MOPECO model, gross margin

1. Introducción

El riego de precisión se concibe como aquel que permite determinar el momento, la cuantía y el modelo espacial de las aplicaciones de agua en todos los riegos, para intentar alcanzar el objetivo de maximizar el rendimiento, la eficiencia de uso del agua y la rentabilidad, pudiendo utilizar para ello modelos de simulación o mediciones directas.

El manejo óptimo del riego requiere la integración de muchos factores como la interacción suelo-planta-atmósfera, la selección del método y el sistema de riego apropiado, los fertilizantes, la energía y los demás medios de producción, junto con el conocimiento del objetivo de producción económicamente óptimo, además de los condicionantes sociales y medio ambientales. Por ello, es necesario disponer de herramientas y modelos que puedan contribuir directamente a mejorar el uso del agua, la energía y los demás medios de producción, con un enfoque holístico, contemplando a la vez todos los factores que intervienen en el proceso. Entre otras, herramientas como MOPECO (Domínguez et al 2012), pueden servir de gran ayuda en el ahorro de agua y la selección del plan de cultivos adecuado a nivel de finca, con el objetivo de optimizar la productividad económica del agua y minimizar el impacto ambiental.

Este trabajo pretende cuantificar el efecto de la uniformidad de distribución del agua por el sistema de riego por aspersión fija en maíz, analizando la repercusión del manejo del sistema de riego en el margen bruto del cultivo (MB), a la vez que validar el modelo MOPECO-CU, que tiene en cuenta el efecto de la uniformidad de riego sobre el rendimiento del cultivo.

2. Materiales y Métodos

El ensayo se llevó a cabo en una parcela de 3 ha, con dos sectores de riego (S1 y S2) de igual tamaño, con un sistema de aspersión fija a marco 17x15 m en rectángulo, trabajando a 4,4 bar, con una boquilla de 5,2 mm en los aspersores, y regando siempre de noche, con baja velocidad de viento (1, 6 m/s de media), y utilizando un transductor de presión y dos pares de sondas Watermark para medir el potencial del agua en el suelo a 20 y 40 cm en dos puntos. Al inicio de la campaña de riegos se realizaron dos evaluaciones para conocer la uniformidad de reparto y la pluviometría del sistema.

La parcela del estudio se cultivó con maíz (*Zea mays* L), variedad ANTISS, ciclo FAO 700. En el sector S1 se realizó la programación de riegos tratando de cubrir las necesidades de agua del cultivo en la zona que recibía la media del agua aplicada en el marco de riego, utilizando un balance simplificado de agua en suelo, calculando la ETc con la fórmula de Penman Monteith y utilizando los valores de Kc previamente validados para la zona de Albacete. El sector S2 lo manejó el propietario de la parcela, según su experiencia de más de quince años sembrando maíz.

Para analizar la respuesta del cultivo se muestrearon tres zonas. Una representativa del 25% del área que menos agua recibió, otra representativa del 50% y otra del 25% que más agua recibió. Con el mismo objetivo, se definieron además dos escenarios de simulación:

Escenario A1, en el que se simula el rendimiento del cultivo a nivel de parcela con ayuda de MOPECO-CU (López-Mata et al. 2010), teniendo en cuenta la uniformidad del agua en suelo, en el supuesto de que ésta sigue una distribución normal (Keller y Bliesner 1990). Para ello, se ha supuesto que el agua neta media aportada al cultivo con el riego coincide con la que llega al suelo. Esta metodología supone la parcela dividida en 25 fracciones más pequeñas, que tratan de representar a las distintas cantidades de agua aplicada según el coeficiente de uniformidad de agua en el suelo. Para cada una de estas 25 zonas se realiza un balance de agua en el suelo, calculando el correspondiente rendimiento del cultivo, así como el rendimiento total obtenido en la parcela mediante la integración de las mismas.

Escenario A2, que, partiendo de la altura bruta media de agua descargada por el sistema de riego (Hb), simula el rendimiento del cultivo con MOPECO, calculando la aportación neta media en la parcela como producto de Hb por la eficiencia de aplicación (Ea). Esta se ha estimado por el procedimiento establecido por Keller y Bliesner (1990), considerando el CU del agua en el suelo y un área bien regada (a), calculando la Ea= Ra x Pe, siendo Pe la proporción de agua que llega al suelo y Ra=Hn/Hba, donde Hn es la altura neta media en la parcela que ha quedado a disposición del cultivo (Keller y Bliesner 1990), y Hba la altura bruta media que se infiltra en el suelo, es decir, la altura bruta media aplicada (Hb) menos las perdidas por evaporación y arrastre (Pe). Este escenario, considera que todos los puntos de la parcela reciben la misma cantidad neta media de agua, y determina el rendimiento medio de la parcela.

Los datos obtenidos en las evaluaciones indican una pluviometría media del sistema de 8,5 mm/h, de los que 8 mm/ llegan al suelo, con un CU del 84%. Con este nivel de uniformidad, existen diferencias significativas en el rendimiento del cultivo, el MB y demás indicadores de eficiencia de la producción, entre las zonas que reciben distinta cantidad de agua, recomendando mejorar la uniformidad de reparto de agua con el sistema de riego, colocando dos boquillas en el aspersor en lugar de una sola, y aplicar en torno a 800 mm ha^{-1} para aproximarse al óptimo económico del cultivo

3. Resultados y Discusión

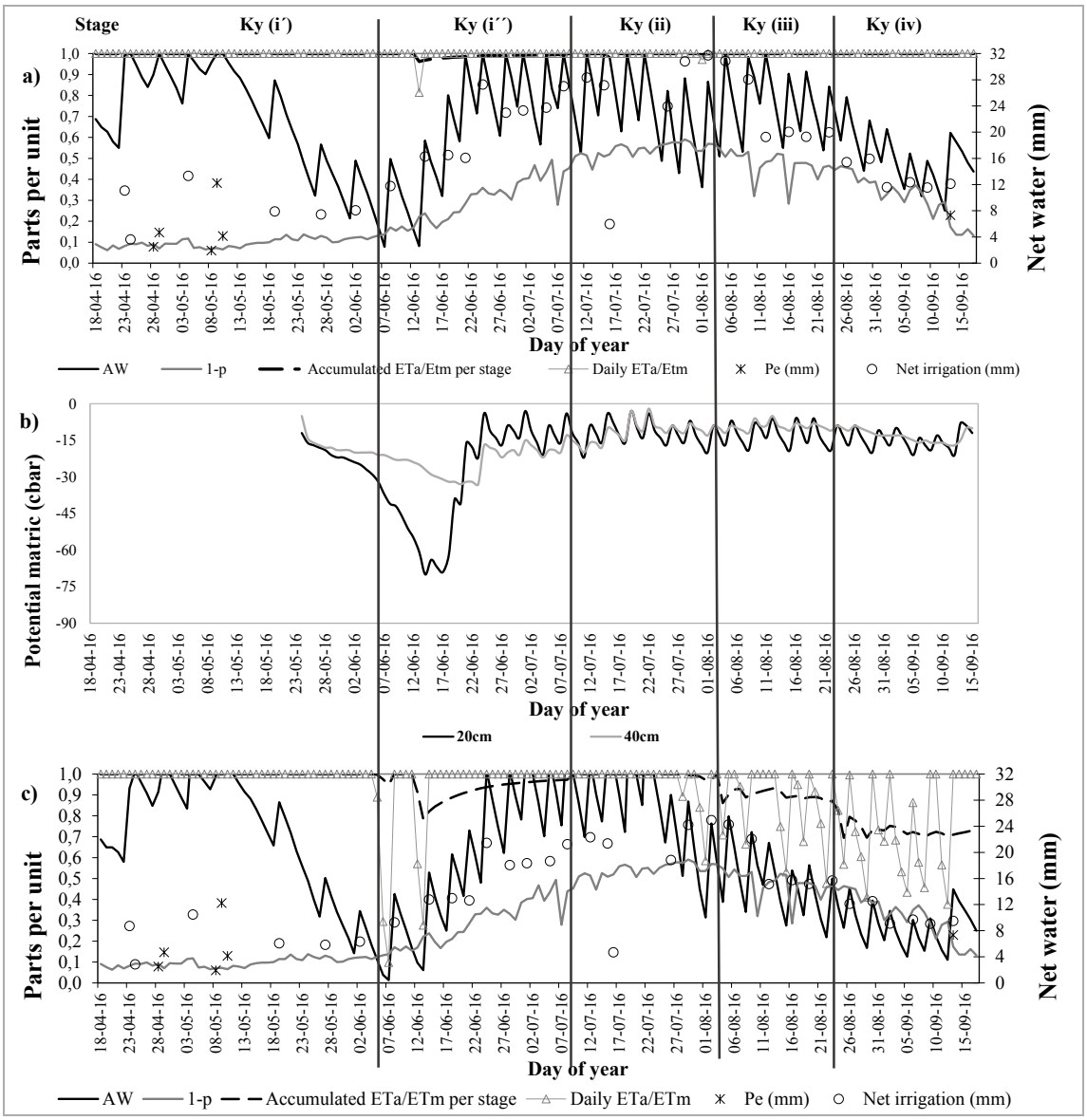
3.1. Programación de riegos

Los datos obtenidos en las evaluaciones indican una pluviometría media del sistema de 8,5 mm/h, de los que 8 mm/ llegan al suelo, con un CU del 84%. La pluviometría descargada en cada evento de riego se estimó en relación a la presión media de trabajo en cada riego, registrada por el transductor de presión.

Todos los riegos fueron aplicados en periodo nocturno, en condiciones de baja velocidad del viento, alcanzando un valor medio de 1,6 m s-1, y un valor máximo de 3,8 m s-1. Con ayuda del modelo MOPECO se determinó la duración de cada riego para la programación del sector S1, considerando un valor medio de pluviometría que llega al suelo de 8 mm h-1.

El modelo MOPECO simula la evolución diaria del contenido de agua en la zona radicular y calcula la ETa diaria del cultivo. Con el fin de validar las simulaciones del modelo, se compara la evolución teórica del contenido de humedad del suelo de la zona que recibe el valor medio del agua aplicada con el riego (Fig. 1a) con las medidas del potencial de agua en el suelo en el sector S1 (Fig. 1b). La simulación y las medidas del potencial ponen de manifiesto que el cultivo no sufrió estrés por déficit hídrico en ningún momento de la campaña, siendo la relación ETa/ETm al final de la campaña = 1.

En el sector S1, la cantidad media de agua neta que llegó a la zona radicular (riego neto más precipitación efectiva) fue de 741,8 mm, mientras que la bruta fue de 786,0 mm, con una precipitación efectiva durante el ciclo del cultivo de 33,4 mm. La evolución del contenido de humedad del suelo pone de manifiesto que en algunos momentos se superó la capacidad de campo del suelo, por lo que el modelo estimó una percolación de 125,7 mm. Esto se debió a las lluvias acaecidas en mayo y un error con el programador de riegos, que regó los dos sectores a la vez durante 8 h. En el sector S2, la cantidad de agua neta que llegó a la zona radicular fue de 864,7 mm, y la bruta fue de 917,8 mm. Las pérdidas por percolación profunda estimadas fueron de 230,5 mm (un 83% más).



AW: available soil water in the root zone calculated as actual soil water content minus soil water content at wilting point divided by total available soil water (TAW) (dimensionless); p is the fraction of TAW that a crop can extract from this zone without suffering water stress (dimensionless). When the AW line is below the 1-p line, the crop is under water deficit conditions, decreasing the daily ET_a/ET_m value; Accumulated ET_a/ET_m is calculated per K_y stage (dimensionless); Pe: effective rainfall (mm). The 20 and 40 cm in Fig. 6b are the depth of the soil water potential sensors.

Figura 1. a) evolución del contenido de humedad en el suelo siguiendo el balance simplificado de agua en el suelo con MOPECO para la zona representativa del área que recibió la cantidad media de agua aplicada con el riego en el sector S1; b) evolución del potencial del agua en el suelo, medida con sensores Watemark, para la anterior zona; c) evolución del contenido de humedad en el suelo siguiendo el balance simplificado de agua en el suelo con MOPECO para la zona representativa del área que recibió la media del 25% inferior del agua aplicada con el riego.

3.2. Rendimiento del cultivo

Los resultados de rendimiento de maíz obtenidos en los muestreos, expresados en todos los casos con un 14% de humedad, muestran que la zona de seguimiento del sector S1 consiguió un rendimiento medio inferior en un 8,8% al del sector S2, el cual recibió un 16,6% más de agua neta (Tabla 1 y Fig. 2). El rendimiento máximo (Ym) considerado en base a los muestreos fue estimado en 18.400 kg ha^{-1}, por lo que el sector S2 se aproximó a este valor, mientras que la zona del sector S1

que estuvo sometida a estrés hídrico, redujo el rendimiento medio del sector en su conjunto. Para cada uno de los dos sectores, el agricultor cosechó 14.149 kg ha^{-1} en S1 y 15.829 kg ha^{-1} en S2, lo que supone un 11,9% más para éste último. Cabe destacar también que el sector S1 presentaba mayor cantidad de malas hierbas que el S2, lo que también influyó en los resultados obtenidos.

Tabla 1. Resultados de rendimiento en los sectores S1 y S2 para los seis muestreos (M1 a M6) realizados y las tres zonas representativas del agua aplicada con el riego en cada sector (Z1-0,75 I_N; Z2-1,00 I_N; Z3-1,25 I_N), así como los resultados de las simulaciones con MOPECO.

	Agua neta aplicado (mm)	**Agua bruto aplicado (mm)**	**Rendimiento muestreo (kg ha^{-1})**	**Rendimiento medio muestreo (kg ha^{-1})**	**Rendimiento simulado (kg ha^{-1})**
Sector S1	741,8	787,0		16.635	
Z1-M1 (0,75 I_N)	591,1	626,7	14.705	14.520 a	15.860
Z1-M2 (0,75 I_N)			14.336		
Z2-M3 (1,00 I_N)	741,8	787,0	16.743	16.910 b	18.359
Z2-M4 (1,00 I_N)			17.077		
Z3-M5 (1,25 I_N)	962,9	1022,2	18.452	18.474 c	18.400
Z3-M6 (1,25 I_N)			18.496		
Esce. A1-S1	741,8	787,0			17.334
Esce. A2-S1	705,1	814,4			17.727
Sector S2	864,7	917,8		18.097,0	
Z1-M1 (0,75 I_N)	687,9	729,7	17.058	17.642 bc	17.733
Z1-M2 (0,75 I_N)			18.227		
Z2-M3 (1,00 I_N)	864,7	917,8	18.798	18.814 c	18.400
Z2-M4 (1,00 I_N)			18.831		
Z3-M5 (1,25 I_N)	1124,3	1193,9	17.279	17.834 bc	18.400
Z3-M6 (1,25 I_N)			18.390		
Esce. A1-S2	864,7	917,8			17.991
Esce. A2-S2	803,4	928,8			18.328

Las diferentes letras indican las diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$); Z1, representativa del 25% menos regada; Z2, representativa de la media del agua aplicada; Z3, representativa del 25% del área más regada.

Los rendimientos obtenidos en el sector S1, en las tres zonas delimitadas en función de la cantidad de agua recibida, mostraron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 1). En el caso de los rendimientos obtenidos en el sector S2 no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las tres zonas de muestreo, aunque marcó diferencias entre las zonas Z1 y Z3 con respecto a la Z2, que fue la que obtuvo el mayor rendimiento medio. Los resultados del sector S2 ponen de manifiesto que un exceso de agua aplicada en el cultivo de maíz perjudicó al rendimiento final obtenido. Este resultado puede estar justificado por un lavado de los nutrientes disponibles para el cultivo en la zona radicular

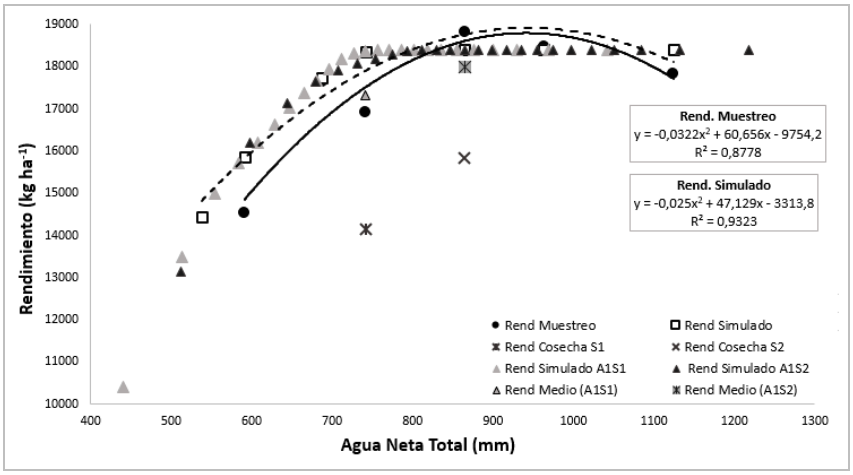


Figura 2. Relación entre el rendimiento y la lámina de agua neta (riego neto más precipitación efectiva) aplicada al cultivo obtenidos en los muestreos y con las simulaciones de MOPECO, así como las ecuaciones de las curvas polinómicas de ajuste. Adicionalmente se han representado los rendimientos en las 25 zonas simuladas en el escenario A1 para los sectores S1 y S2, así como los resultados de rendimiento obtenidos con la cosechadora en el conjunto de los sectores S1 y S2.

3.3. Efecto de la uniformidad de aplicación del agua de riego sobre el rendimiento simulado con MOPECO

Como complemento de lo anterior, se han simulado con MOPECO los dos escenarios adicionales indicados en el apartado 2.6:

- Para el escenario A1, se ha supuesto que el agua aportada al cultivo con el riego es la que llega al suelo, que se corresponde con 8 mm h^{-1}, para una presión media de 4,6 bar. Estos valores se han ajustado según la presión media en cada riego que indican los transductores de presión, y se ha supuesto un CU= 84% al haber regado solo por la noche, y con velocidades de viento muy bajas (1,63 m s^{-1} de media).
- Para el escenario A2 se ha partiendo de que la pluviometría media aplicada por los aspersores durante la evaluación de riego fue como media 8,5 mm h^{-1}, para una presión de 4,6 bar, y utilizando los tiempos reales de riego, se ha considerado un CU= 84% del agua en el suelo y un área bien regada a=50%, al usar para la programación de los riegos el valor medio aplicado, con lo que la Ea= Ra x Pe= 0,92x 0,94 = 0,86.

En la Figura 2 se han representado, además, para los sectores S1 y S2, los resultados de la simulación para las 25 zonas de simulación de MOPECO-CU en el escenario A1, así como el valor del rendimiento para la zona en su conjunto, con valores de 17.334,2 kg ha-1, para 741,8 mm de agua neta, en el sector S1 (Tabla 1), que se aproxima al valor medio muestreado en todo el marco de riego (16.635 kg ha-1), mostrando un buen ajuste con los resultados de los muestreos. Para el sector S2, el modelo MOPECO-CU estima una ETa/ETm media de 99%, con un rendimiento estimado de 17.990,6 kg ha-1para una aplicación de agua neta de 864,7 mm, coincidiendo prácticamente con el valor medio muestreado en todo el marco de riego (18.097 kg ha-1). La Figura 2 muestra que hay un buen ajuste con los valores medios en los muestreos, aunque el MOPECO no refleja la posible pérdida de producción con el exceso de agua aplicada, ya que mantiene constante el rendimiento cuando se alcanza su valor potencial (Tabla 1). Los resultados del escenario A2 (Tabla 1), también se ajustan bien con los valores medidos muestreados y simulados con MOPECO-CU.

Al igual que ocurrió con el rendimiento, la relación entre agua bruta y margen bruto indica una disminución del MB a partir de unos 900 mm de agua bruta (riego bruto mas precipitación efectiva) (Fig. 3), con los datos obtenido en los muestreos. Un comportamiento semejante se obtiene con los datos simulados por MOPECO. Cabe destacar también un buen ajuste entre los datos simulados por

el modelo MOPECO-CU y los datos medidos, donde ahora, los datos simulados sí marcan una disminución de MB cuando se aplica agua en exceso, a partir de 750 mm de agua bruta.

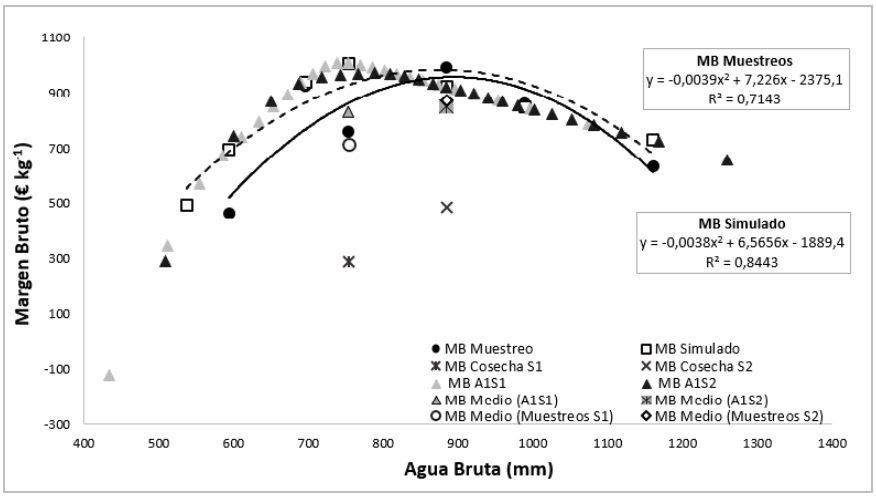


Figura 3. Relación entre MB y agua bruta aplicada para los datos medidos en los muestreos y para los simulados con MOPECO. Además, se muestran los resultados para las 25 zonas simuladas en el escenario A1, tanto para el sector S1 como para el S2, así como los resultados de MB obtenidos con los rendimientos de la cosechadora para los sectores S1 y S2 para el agua a 0,07 € m^{-3}.

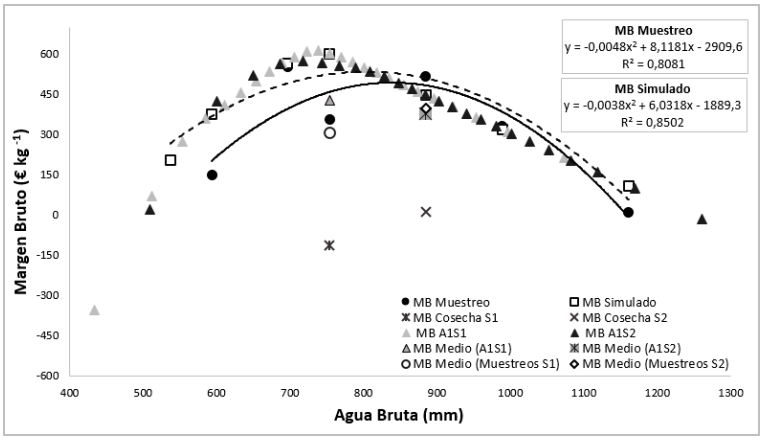


Figura 4. Relación entre MB y agua bruta aplicada para los datos medidos en los muestreos y para los simulados con MOPECO. Además, se muestran de los resultados para las 25 zonas simuladas en el escenario A1, tanto para el sector S1 como para el S2, así como los resultados de MB obtenidos con los rendimientos de la cosechadora para los sectores S1 y S2 para el agua a 0,12 € m^{-3}.

Al comparar los resultados obtenidos, con una estrategia de manejo del riego aparentemente menos eficiente como la utilizada en el sector S2, que aplica como media un 17% de agua neta, por encima de las necesidades del cultivo, aplicadas como media al sector S1, obtiene un 8,8 % más de rendimiento y un 22% más de MB en base a los datos de muestreos. Estas diferencias son aún mayores se utilizan los datos de rendimiento cosechado en cada uno de los sectores en su conjunto, con un 11,9% de incremento del rendimiento en el sector S2 respecto al S1, y un incremento del 67% en el MB, para un incremento del 17% en el agua de riego.

Cabe también resaltar que esto ocurre con un coste del agua en la zona de estudio (0,07 € m3), que puede considerarse bajo, por lo que en otras zonas del acuífero Mancha Oriental, con un coste superior 0,12 € m^{-3} los márgenes brutos obtenidos podrían llegar a valores negativos (Fig. 4). En las zonas con alto coste de agua, los agricultores tratan de reducir los costes, principalmente los ligados

a fertilizantes, productos fitosanitarios, labores y semilla, con el fin de alcanzar valores de MB razonables.

4. Conclusiones

La uniformidad en la aplicación del agua de riego tiene una influencia muy significativa en el rendimiento y en el margen bruto (MB) obtenido con el cultivo. En este trabajo se ha puesto de manifiesto como una uniformidad del 84%, que podría considerarse como aceptable, puede ocasionar descensos significativos en el rendimiento y el de MB en el conjunto de la parcela al compararlo con una estrategia de manejo del riego menos eficiente, que aplica como media un 17% de agua neta por encima de las necesidades del cultivo, pero que obtiene un 11,9% más de rendimiento y un 67% más de MB utilizando los datos de rendimiento cosechado en cada sector en su conjunto. Estas diferencias de MB serían menores al aumentar el coste de extracción y transporte del agua hasta la parcela.

El módulo de MOPECO que tiene en cuenta el efecto de la uniformidad del agua de riego ha simulado adecuadamente los rendimientos obtenidos en las distintas zonas de muestreo. La simulación de diferentes CU ha puesto de manifiesto el efecto que este parámetro puede tener sobre el rendimiento medio de la parcela y sobre el margen bruto finalmente obtenido.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado dentro del Proyecto AGL2014-59747-C2-1-R, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, (MINECO) (Co-financiado por fondos FEDER).

Bibliografía

Domínguez A., Martínez R.S., de Juan J.A., Martínez-Romero A., Tarjuelo J.M. 2012a. Simulation of maize crop behavior under deficit irrigation using MOPECO model in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*. 107, 42-53.

Keller J, Bliesner R D (1990). *Sprinkler and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York.

López-Mata E; Tarjuello JM; De Juan JA; Ballesteros R; Domínguez A. 2010. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. *Agricultural Water Management* 98: 190-198.

Estudio de propiedades hidrofísicas de calcisoles vitícolas

Caridad Pérez-de-los Reyes [1,2], Carlos Bonilla [1] , Sandra Bravo [1] , Francisco Jesús García Navarro [1,2] , Jose Ángel Amorós [1,2]

[1] Escuela de Ingenieros Agrónomos, Ronda de Calatrava, 7. 13071 Ciudad Real (España). Universidad de Castilla La Mancha.

[2] Instituto de Geología Aplicada. Ronda de Calatrava, 7. 13071 Ciudad Real (España). Universidad de Castilla La Mancha

Resumen

En este trabajo se han determinado las propiedades (% de arena, % limo y % arcilla, % materia orgánica, % $CaCO_3$, % caliza activa y C.I.C) y las curvas características de humedad (con placas Richards) de los horizontes superficiales (A) y subsuperficiles (B) de 18 calcisoles dedicados al cultivo de la vid de las provincias españolas de Ciudad Real (15) y Albacete (3). El objetivo del trabajo era comprobar la influencia de la profundidad del perfil en las propiedades de retención de humedad y determinar la relación entre las propiedades de retención de humedad y otras propiedades del suelo, especialmente el porcentaje de $CaCO_3$ y caliza activa.

Después de la determinación de las curvas características de humedad en los horizontes A y B y aplicando un análisis de varianza, las medias de los valores de CC (Capacidad de Campo, humedad gravimétrica a -33kPa), PMP (Punto de Marchitamiento Permanente, humedad gravimétrica a -1500 kPa) y CRAD (Capacidad de Retención de Agua Disponible, CC-PMP) no se diferenciaban estadísticamente, por lo que la profundidad del horizonte no era un factor determinante en el establecimiento de las propiedades hidrofísicas bajo las condiciones de este estudio.

Se realizó un análisis de componentes principales y una matriz de correlación sobre los datos de las propiedades físicas e hidrofísicas de los 36 horizontes, concluyendo que las propiedades del suelo que más influían sobre el CRAD eran el contenido en $CaCO_3$ (R= 0,6602), la caliza activa (R= 0,6447), el contenido en arena (R= -0,6159) y el contenido en limo (R= 0,4789). Estos resultados son coherentes con lo expresado anteriormente por otros investigadores, especialmente en relación a la influencia del contenido en $CaCO_3$ y caliza activa en la CRAD.

Palabras clave: Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente, agua útil, suelos calizos, curva característica de humedad

Study of the hydrophysical properties of vineyard Calcisols

Abstract

The physical properties (% sand, % silt and % clay, % organic matter, % $CaCO_3$, % active limestone and CEC) and moisture characteristic curves (with Richards plates) of surface (A) and subsurface (B) horizons of 18 Calcisols of the Spanish provinces of Ciudad Real (15) and Albacete (3), dedicated to the cultivation of the vine, were determined. The objective of the work was to verify the influence of the profile depth on the moisture retention properties and to determine the relationship between the moisture retention properties and other physical properties of the soil, especially the percentage of $CaCO_3$ and active limestone.

After determination of the moisture characteristic curves in horizons A and B and application of variance analysis, the mean values of FC (Field Capacity, gravimetric humidity at –33 kPa), PWP (Permanent Wilting Point, gravimetric humidity at –1500 kPa) and AWC (Available Water Capacity, FC-PWP) did not differ statistically. This finding indicates that the depth of the horizon was not a key factor in the establishment of hydrophysical properties under the conditions of this study.

A principal components analysis and correlation matrix were performed on the physical and hydrophysical properties of the 36 horizons. It was found that the soil properties that had most influence on AWC were the $CaCO_3$ content (R = 0.6602), active limestone (R = 0.6447), sand content (R = –0.6159) and silt content (R =

0.4789). These results are consistent with those of previous studies reported by other researchers, especially in relation to the influence of $CaCO_3$ and active limestone content in AWRC.

Keywords: Field Capacity, Permanent Wilting Point, Available Water Capacity, Calcisols, moisture characteristic curves

1. Introducción

La retención del agua es la propiedad hidrofísica del suelo que puede ser descrita por la dependencia entre el contenido de agua del suelo y el potencial del agua del suelo (Walczak et al., 2006). Desde el punto de vista agronómico, para el establecimiento de las dosis de riego, es necesario conocer esta relación a través de las curvas características de humedad que permiten definir la Capacidad de Campo (CC, humedad gravimétrica a -33kPa), el Punto de Marchitamiento Permanente (PMP, humedad gravimétrica a -1500 kPa) y la Capacidad de Retención de Agua Disponible de cada suelo o Agua Útil (CRAD= CC-PMP).

La curva característica de humedad de cada suelo es única y depende de las propiedades del mismo. Las principales propiedades del suelo que influyen en el valor de estos parámetros según los distintos estudios realizados por numerosos investigadores son, entre otras, la textura, la estructura, la materia orgánica y el contenido en carbonato cálcico. En cuanto a la textura, un alto contenido en arena implica una disminución en el contenido de humedad a cualquier potencial (Abrol et al. 1967; Kironchi et al., 1995), un alto contenido en limo (o en arcilla+limo) supone una mayor retención de humedad a CC (Abrol et al. 1967; Hollis et al., 1977) y un alto contenido en arcilla se relaciona con mayor PMP (Abrol et al. 1967; Kironchi et al., 1995). Por lo que se refiere a la estructura, Pachepsky y Rawls (2003) indicaron que el grado estructural parece ser un fuerte predictor de la retención de agua a -33 kPa y -1500 kPa.

El contenido en materia orgánica es otra de las características que se consideran muy influyentes en cuanto a las propiedades de retención de humedad. En el año 2003 Rawls et al. concluyeron que a altos valores de carbono orgánico, todos los suelos mostraban un incremento en la retención de agua. Hollis et al. (1977), sugirieron que el contenido en carbono orgánico era, de lejos, el factor más influyente en la CC y la CRAD y Pérez-de-los-Reyes et al. (2013) destacaron la influencia de la materia orgánica en las propiedades de retención de humedad de un suelo forestal.

El estudio de la influencia del carbonato cálcico en las propiedades de retención de humedad es escaso y sólo se ha realizado en suelos de regiones áridas y semiáridas. Abrol et al. (1969) indicaron que el contenido en carbonato cálcico debe ser tenido en cuenta cuando se estiman los valores de agua disponible partiendo de consideraciones texturales, parámetro también considerado por Walczak et al. (2006). Con respecto a los suelos calizos, en 2011 Khodaverdiloo et al. realizaron un estudio de obtención y validación de funciones de edafotransferencia en suelos calizos de Irán en el que se concluyó que no había diferencias significativas entre funciones de edafotransferencia con la variable $CaCO_3$ y sin ella y que este hecho podía ser atribuido a que otros parámetros del suelo.

Castilla La Mancha es una región situada en el centro de España, bajo un clima mediterráneo, con una superficie dedicada al viñedo de 463.639 ha en 2013 (OEMV, 2013). Alrededor de un 39 % de los suelos utilizados en el cultivo de la vid son suelos calizos, clasificados como calcisoles según IUSS-ISRIC-FAO (2006). Este tipo de suelos se caracterizan por una acumulación secundaria sustancial de carbonato cálcico (que por lo general suele producirse en el horizonte subsuperficial) y predominan en tierras llanas de regiones áridas y semiáridas asociadas con materiales parentales altamente calcáreos. Una de sus características agronómicas más destacadas es que los calcisoles alcanzan su máxima capacidad productiva sólo cuando son adecuadamente regados, por lo que el conocimiento de sus propiedades de retención de humedad es de alto interés para los viticultores de la región.

En este contexto, ante la escasez de estudios científicos sobre propiedades de retención de humedad de suelos calizos y ante el elevado número de hectáreas de este tipo de suelos utilizadas para viñedo

de regadío, el objetivo de este trabajo era determinar la relación entre las propiedades de retención de humedad y otras propiedades físicas del suelo, especialmente el porcentaje de $CaCO_3$ y caliza activa, y comprobar la influencia de la profundidad del perfil en las propiedades de retención de humedad en calcisoles vitícolas de la región de Castilla La Mancha.

2. Materiales y Métodos

El estudio se realizó en 18 suelos calizos de las provincias de Ciudad Real (15) y Albacete (3) que habían sido anteriormente estudiados en el Atlas de Suelos Vitícolas de Castilla La Mancha (Amorós et al., 2015). Los datos de la descripción del perfil, clasificación del suelo y valores de textura, % materia orgánica, % $CaCO_3$, % caliza activa y CIC fueron tomados de dicha publicación. En la Tabla 1 puede observarse la localización y clasificación de los perfiles, que están numerados según dicho Atlas.

Tabla 1. Localización y clasificación IUSS-ISRIC-FAO de los perfiles estudiados (el número de perfil coincide con la numeración del mismo en el Atlas de Suelos Vitícolas de Castilla La Mancha)

Nº PERFIL	UBICACIÓN	CLASIFICACIÓN
1	Variante Alcázar de San Juan – Campo de Criptana. *(Alcázar de San Juan, Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Ruptic, Chromic)
2	Variante Alcázar de San Juan – Campo de Criptana. *(Campo de Criptana, Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Siltic, Chromic)
4	Paraje Pinilla. Ctra. Tomelloso – Pedro Muñoz. *(Tomelloso, Ciudad Real)*	Haplic Calcisol (Siltic, Chromic)
6	Vega del río Záncara. *(Tomelloso, Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Ruptic, Arenic)
7	Extracción de áridos. *(Tomelloso, Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Ruptic, Chromic)
9	Viñedo situado en la circunvalación de Socuéllamos dirección a Las Mesas. *(Socuéllamos, Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Siltic, Chromic)
10	Viñedo situado en la carretera de Socuéllamos a El Provencio, km.2. *(Socuéllamos, Ciudad Real)*	Haplic Calcisol (Chromic, Novic)
13	Situado en la carretera N-420 Km. 314, cerca de Pedro Muñoz. *(Pedro Muñoz, Ciudad Real)*	Endogleyic Calcisol (Clayic, Chromic)
30	Viñedo situado en la parcela Merlot 1. *(Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Chromic, Novic)
31	Viñedo situado en la parcela Tempranillo 5. *(Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Skeletic, Novic)
49	Viñedo situado en la parcela correspondiente a la variedad cencibel en el campo de variedades. *(Tomelloso, Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Chromic, Novic)
55	Cercano a la carretera N-420, Km 229. *(Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Ruptic, Skeletic)
59	Gravera situada en la carretera Tarazona de la Mancha a La Roda (CM 3106) Km. 77,5.*(Tarazona de la Mancha, Albacete)*	Petric Calcisol (Ruptic, Chromic)
72	Parcela Nº 10, El Muro. *(Almansa, Albacete)*	Hypercalcic Calcisol (Skeletic, Chromic)
77	Parcela "El Pinar". *(Villarrobledo, Albacete)*	Hipocalcic Calcisol (Ruptic, Arenic)
85	Viñedo situado en la parcela "La Huerta Malandra" en la carretera de Manzanares. *(Villarrubia, Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Chromic, Novic)
94	Viñedo situado en parcela Zucamar. *(Almagro, Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Chromic, Novic)
98	Viñedo situado en parcela vino Gala. *(San Carlos del Valle Ciudad Real)*	Petric Calcisol (Chromic, Novic)

Por otro lado, y para cada uno de los horizontes superficiales y subsuperficiales, se determinaron por triplicado los valores de la humedad gravimétrica de las muestras de tierra fina seca al aire en función de los potenciales mátricos según el método de Richards (1948). Se determinó la humedad gravimétrica a -10, -33, -100, -300, -900 y -1500 kPa siendo la Capacidad de Campo (CC) la humedad gravimétrica a -33 kPa y el Punto de Marchitez Permanente (PMP) la humedad gravimétrica a -1500 kPa. De los valores obtenidos se calculó la capacidad de retención de agua disponible o agua útil como diferencia de las anteriores (CRAD=CC-PMP).

El análisis estadístico de los datos se realizó usando los programas STATGRAPHICS Plus 5.1 (Copyright© 1994-2000 Statistical Graphics Corp) y Excel 2013 (Copyright© 2014 Microsoft). Una vez determinadas las curvas características de humedad, se aplicó un análisis de varianza a las medias de los valores de CC, PMP y CRAD de los horizontes superficiales y subsuperficiales utilizando el test de múltiples rangos (menor diferencia significativa de Fisher) con una significación de P<0,5. Además, se realizó un análisis de componentes principales y una matriz de correlación sobre los datos de las propiedades físicas e hidrofísicas de los 36 horizontes representándose el modelo lineal de correlación cuando dicha relación era significativa.

3. Resultados y Discusión

En la Figura 1 pueden observarse ejemplos de curvas características de humedad de diversos suelos vitícolas estudiados tanto en el perfil superficial como en el subsuperficial: perfil 1, perfil 6, perfil 72 y perfil 77.

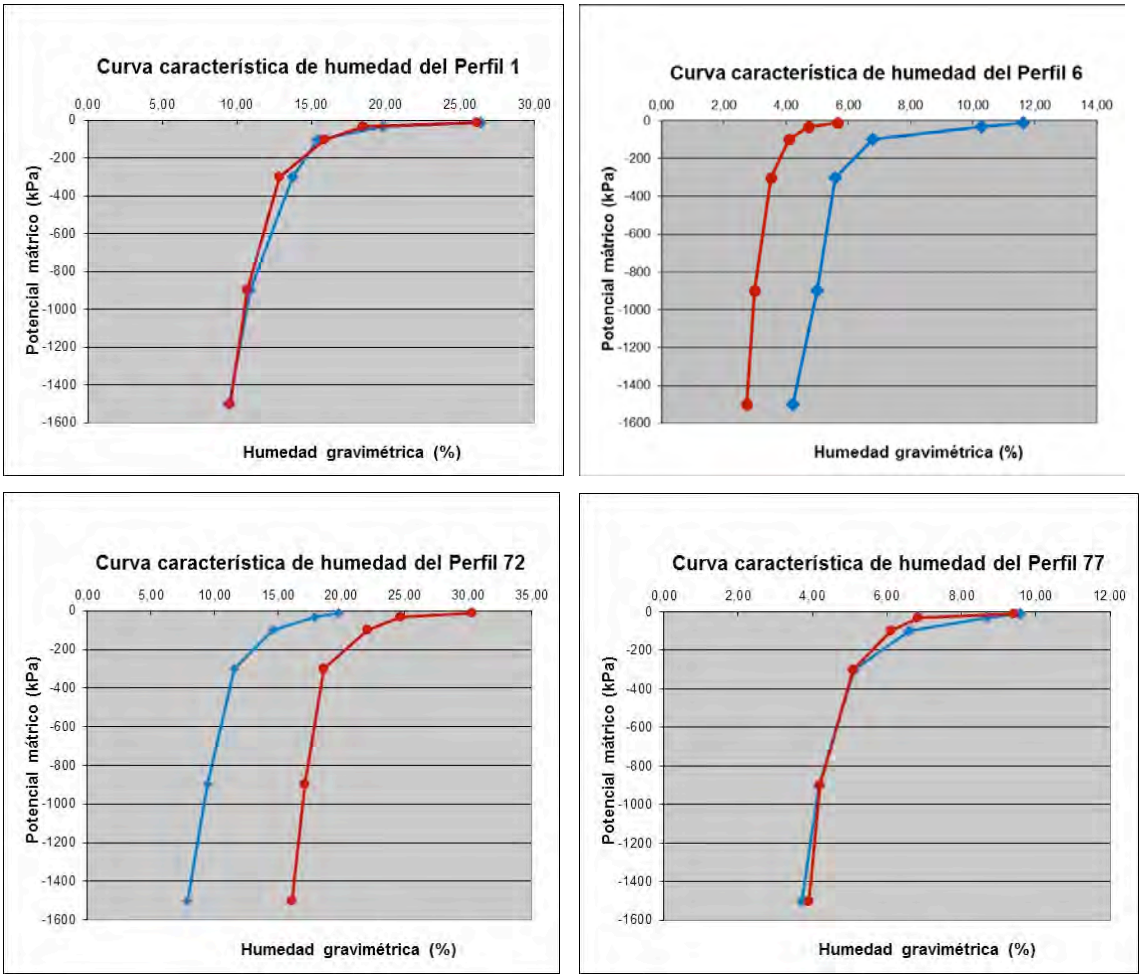


Figura 1. Ejemplo de curvas características de humedad de los horizontes superficiales (línea de color azul) y subsuperficiales (línea de color rojo) de diversos calcisoles vitícolas.

Una vez determinadas las curvas, se establecieron los valores de CC, PMP y CRAD de los diversos perfiles según el horizonte superficial (A) o subsuperficial (B) que quedan recogidas en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de los valores de Capacidad de Campo (CC, %), Punto de Marchitez Permanente (PMP, %) y Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD, %) de los perfiles vitícolas estudiados según horizonte superficial (A) o subsuperficial (B)

	CC % (A)	PMP % (A)	CRAD% (A)	CC% (B)	PMP % (B)	CRAD % (B)
Perfil 1	19,85	9,51	10,34	18,47	9,58	8,89
Perfil 2	21,7	11,38	10,32	23,5	12,42	11,08
Perfil 4	23,03	12,51	10,52	24,62	15,54	9,08
Perfil 6	10,29	4,23	6,06	4,71	2,72	1,99
Perfil 7	10,05	4,37	5,68	9,45	4,8	4,65
Perfil 9	21,03	8,48	12,55	24,93	13,78	11,15
Perfil 10	17,06	8,11	8,95	11,87	6,03	5,84
Perfil 13	17,13	8,84	8,29	20,94	10,98	9,96
Perfil 30	9,84	5	4,84	9,46	5,02	4,44
Perfil 31	15,26	7,92	7,34	34,09	9,73	24,36
Perfil 49	18	9,54	8,46	16,69	8,56	8,13
Perfil 55	21,92	10,5	11,42	18,53	8,38	10,15
Perfil 59	14,34	8,04	6,3	35,04	25,81	9,23
Perfil 72	17,93	7,86	10,07	24,65	16,1	8,55
Perfil 77	8,67	3,72	4,95	6,85	3,9	2,95
Perfil 85	15,81	8,48	7,33	15,33	8,19	7,14
Perfil 94	19,6	10,14	9,46	18,26	9,54	8,72
Perfil 98	18,89	8,97	9,92	25,07	9,81	15,26

Se partía de la hipótesis inicial de que los valores de las propiedades de retención de humedad debían ser diferentes según se considera el horizonte A o el horizonte B dado que las propiedades que influyen en las características de retención normalmente varían con la profundidad. Sin embargo, aplicando un análisis de varianza a los resultados de la tabla 2, no se encontraron diferencias significativas entre los valores de CC, PMP y CRAD de los horizontes superficiales y subsuperficiales en los perfiles estudiados. Esta conclusión es controvertida ya que es coherente con los datos obtenidos por otros autores como Al Majou et al. (2008) que no encontraron influencia del tipo de horizonte (A o B) en la predicción propiedades de retención de humedad a través de funciones de edafotransferencia en suelos de Francia, pero se diferencian de los resultados obtenidos por Igwe et al. (2013) donde sí se encontraron estas diferencias. El número de muestras de los diversos estudios y los tipos de suelo pueden tener influencia en este hecho.

Dado que la profundidad del horizonte no influía sobre las propiedades de retención de humedad, se trabajó sobre el conjunto de horizontes (36), realizando un análisis de componentes principales y una matriz de coeficientes de correlación lineal entre las distintas propiedades de los suelos y las propiedades de retención de humedad (Tabla 3).

Tabla 3. Resumen de los valores de las propiedades de los 36 horizontes estudiados (parte superior) y matriz de correlación lineal entre propiedades del suelo y propiedades de retención de humedad (parte inferior, en negrita y sombreado los valores con relación estadísticamente significativa).

	Arena %	Limo %	Arcilla %	M.O. %	$CaCO_3$ %	Caliza Activa %	CIC ($cmol^+/kg$)	CC %	PMP %	CRAD %
MEDIA	56,7	25,2	18,1	1,6	27,2	10,9	16,4	17,9	9,1	8,7
DESVIACIÓN TÍPICA	19,9	16,6	9,5	0,7	17,6	5,3	6,4	6,8	4,2	3,8

	%arcilla	%arena	$\%CaCO_3$	%limo	%M.O.	CRAD %	%Caliza Activa	CC %	CIC $cmol^+/kg$	PMP %
%arcilla	1,000									
%arena	-0,5590	1,000								
$\%CaCO_3$	0,2875	-0,4721	1,000							
%limo	0,0989	-0,8804	0,4027	1,000						
%M.O.	-0,2964	-0,0537	0,1712	0,2319	1,000					
CRAD %	**0,4547**	**-0,6159**	**0,6602**	**0,4789**	0,2712	1,000				
%Caliza Activa	0,3462	-0,4650	0,8565	0,3598	0,1124	**0,6447**	1,000			
CC %	**0,6239**	**-0,7107**	**0,4982**	**0,4956**	0,1273	0,8391	**0,5825**	1,000		
CIC $cmol^+/kg$	0,3760	-0,1701	0,1872	-0,0101	-0,0939	0,1128	0,1568	0,1754	1,000	
PMP %	**0,6015**	**-0,5934**	0,2021	**0,3676**	0,0092	0,4453	**0,3553**	0,8607	0,1870	1,000

Los valores medios de las propiedades reflejadas en la Tabla 3 son los habituales en este tipo de suelos, si se comparan con los de otros autores como Pérez-de-los-Reyes, M.L. (2015) donde la CC era de 18,22 %, el PMP = 9,15 % y la CRAD = 9,07 %. En cuanto a la matriz de correlación, el contenido en arcilla, en arena y en limo presenta una relación lineal significativa con la capacidad de campo (CC), el punto de marchitamiento permanente (PMP) y el agua útil (CRAD). El contenido de arena muestra una relación inversa "moderadamente fuerte" para la CC, el PMP y la CRAD (R=-0,7107; R=-0,5934 y R=-0,6159 respectivamente). El contenido de arcilla, presenta una relación "moderadamente fuerte" para CC y PMP (R=0,6239 y R=0,6015 respectivamente) y algo más débil en el caso de la CRAD (R=0,4547). Por último, el contenido de limo presenta relaciones lineales "relativamente débiles" tanto en la CRAD (R=0,4789), como en la CC y PMP (R=0,4956 y 0,3676 respectivamente). Estos resultados son coherentes con lo indicado por Abrol et al. (1969), Kironchi et al. (1995) e Igwe et al. (2015).

El contenido en materia orgánica, no presenta influencia significativa con ninguna de las propiedades de retención de humedad. Así lo indicaba Igwe et al. (2013) cuando afirmaban que no existía ningún tipo de relación lineal entre la cantidad de carbono orgánico y las propiedades de retención de humedad, en contradicción con el pensamiento generalizado de que la materia orgánica influye de manera importante en la retención de humedad en el suelo (Hollis et al. (1977), Rawls et al. (2003) y Pérez-de-los-Reyes, M.L. (2015). Del mismo modo, tampoco existe relación entre la capacidad de intercambio catiónico y las propiedades de retención de humedad.

Centrádonos en uno de los objetivos del trabajo, el contenido en carbonato cálcico presenta una influencia "relativamente fuerte" tanto en la CRAD como en la CC (R=0,6602 y R=0,4982

respectivamente) (Figura 2, izquierda). Estos resultados permiten afirmar que el aumento del contenido de $CaCO_3$, aumenta el agua útil en el suelo. Esta conclusión ya había sido manifestada por diferentes autores (Abrol et al., 1969; Khodaverdiloo et al., 2011; y Pérez-de-los-Reyes et al., 2013). En especial, Khodaverdillo et al. (2011), indicaron que el $CaCO_3$ debía ser tenido en cuenta como componente del suelo que interviene en las propiedades de retención de humedad en suelos calizos. Por otro lado, el contenido de caliza activa muestra una relación significativa con las tres propiedades de retención de humedad a estudio, siendo "moderadamente fuerte" en CRAD (R=0,6447, Figura 2, derecha) y CC (R=0,5825) y "débil" con el PMP (R=0,3553). Al igual que ocurría con el contenido en $CaCO_3$ (con similares valores R con respecto a CRAD), a mayor cantidad de caliza activa, mayor será la cantidad de agua retenida en ese suelo.

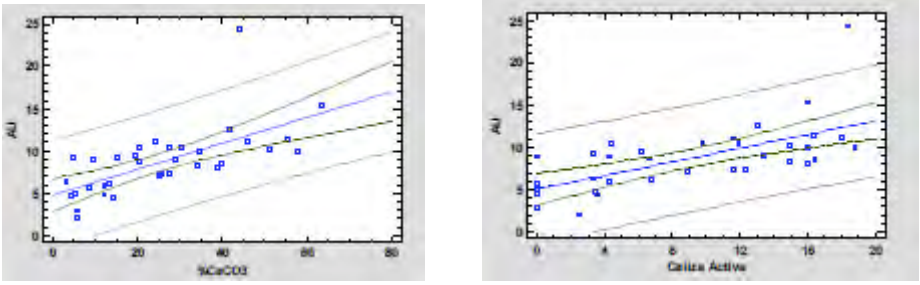


Figura 2. Relación lineal entre contenido en $CaCO_3$ y agua útil (AU), (izquierda) y relación lineal entre caliza activa y agua útil (AU), derecha.

4. Conclusiones

Del trabajo realizado se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- la profundidad del horizonte no es un factor determinante en los valores de las propiedades de retención de humedad en suelos calizos.
- El carbonato cálcico y la caliza activa tienen una importante influencia en la CRAD en calcisoles (R=0,6602 y R=0,6447), por encima de otras propiedades, también influentes, como el contenido en arena (R=-0,6159) y en menor magnitud, el contenido en limo y arcilla (R=0,4789 y R=0,4547 respectivamente).
- El contenido de arena y de arcilla tienen una influencia fuerte en la CC (R=-0,7107 y R=0,6239 respectivamente) y PMP (R=-0,5934 y R=0,6015 respectivamente).
- El contenido de materia orgánica no presenta influencia significativa en ninguna de las propiedades de retención de humedad de los calcisoles estudiados.

Bibliografía

Abrol, I.P., Khosla, B.K. and Bhumbla, D.R. 1969. Relationship of texture to some important soil moisture constants. *Geoderma* 2: 33-39.

Al Majou, H., Bruand, A., Duval, O., Le Bas, C. and Vautier, A. 2008. Prediction of soil water retention properties after stratification by combining texture, bulk density and the type of horizon. *Soil Use and Management* 24: 383-391.

Amorós, J.A.; Pérez de los Reyes, C.; Bravo, S. and Jiménez Ballesta, R. 2015. *Atlas de suelos vitícolas de Castilla La Mancha*. Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. Escuela de Ingenieros Agrónomos. UCLM.

Hollis, J.M., Jones, R.J.A. and Palmer, R.C. 1977. The effects of organic matter and particle size on the water-retention properties of some soils in the West Midlands of England. *Geoderma* 17: 225-238.

IUSS ISRIC FAO. 2006. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Informe sobre recursos mundiales de suelos nº 103. FAO, Roma.

Igwe, C.A. Zarei, M. and Stahr, K. 2013. Soil hydraulic physic-chemical properties of Ultisols and Inceptisols in south-eastern Nigeria. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59(4): 491-504.

Kironchi, G., Kinyali, S.M. and Mbuvi, J.P. 1995. Environmental influence on water characteristics of soils in two semi-arid catchments in Laikipia, Kenia. *African Crop Science Journal* 3: 479-486.

Khodaverdiloo, H., Homaee, M., Th van Genuchten, M. and Ghorbani, S. 2011. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. *Journal of Hydrology* 399: 93-99.

OEMV, Observatorio Español del Mercado del Vino. 2013. Superficie de viñedo en España 2013. http://www.oemv.es/esp/superficie-de-vinedo-en-espana-2013-994k.php. Último acceso: 19-11-2014

Pachepsky, Y. and Rawls, W. 2003. Soil structure and pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science*, 54: 443-451.

Pérez-de-los-Reyes, C., Amorós, J.A., García Navarro, F.J., Bravo, S. and Jiménez Ballesta, R. (2013). Water retention properties of an acidic vineyard soil modified by sugar foam liming. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 28:381-384.

Pérez-de-los-Reyes, M. L. 2015. *Caracterización de las propiedades de retención de humedad en suelos vitícolas de Castilla La Mancha*. Trabajo de Fin de Grado. Escuela de Ingenieros Agrónomos de Ciudad Real. UCLM.

Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchie, J.C., Sobecki, T.M. and Bloodworth, H. 2003. Effect of soil carbon on soil water retention. *Geoderma* 116: 61-76.

Richards, L.A. 1948. Porous Plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science* 66: 105-110.

Walczak, R.T., Moreno, F., Slawinski, C., Fernandez, E. and Arrue, J.L. 2006. Modeling of soil water retention curve using soil solid phase parameters. *Journal of Hydrology* 329, 527-533.

Automatización en la caracterización del cultivo de céspedes en praderas urbanas

José Marín[1], Javier Rocher[2], Lorena Parra[2], Antonio Plaza[4], Pedro V.Mauri[4], Juan Ruiz-Fernández[4], Sandra Sendra[2,3], Jaime Lloret[2]

[1] Área Verde. Universidad Politécnica de Madrid. jmarin@areaverde.com

[2]Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras (IGIC), Universitat Politècnica de València, Calle Paranimf, n-1, 46730, Gandia, Valencia. jlloret@dcom.upv.es

[3]Departamento de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones, Universidad de Granada, Periodista Daniel Saucedo Aranda S/N C.P. 18071 (Granada) Granada. ssendra@ugr.es

[4]Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA). Finca "El Encin" A-2, Km 38,2. 28800 Alcalá de Henares (Madrid). pedro.mauri@madrid.org

Resumen

En este artículo mostramos el uso de diferentes técnicas para automatizar el proceso de seguimiento del cultivo de césped. Utilizando distintos sensores trataremos de realizar medidas in-situ sobre la calidad del cultivo. El sistema que proponemos será capaz de realizar medidas de la cantidad de césped existente en una zona determinada. Para ello se utilizarán distintos sensores ópticos, sensibles a diferentes longitudes de onda. El uso de videocámaras está desaconsejado debido al gran ancho de banda que se consume al enviar el video. Por tanto, analizaremos que longitudes de onda ofrecen una mayor correlación entre la señal del sensor y el peso del césped. Además, presentamos un sistema que será capaz de captar la información in-situ. El sistema está compuesto por sensores RGB (TCS230) conectados a un módulo Arduino Mega 2560. Así mismo, cuenta con una pantalla táctil para seleccionar la especie de cultivo que se está analizando y el tamaño de la parcela. En la misma pantalla se muestran los resultados del análisis y si los datos se están tomando de forma correcta o no.

Este sistema supone una reducción del tiempo necesario para el seguimiento del cultivo, así como la disminución de los gastos derivados de ello. Además, el uso de sensores ópticos proporciona un método no invasivo, que podría utilizarse para la monitorización de otro tipo de cultivos o espacios naturales.

Palabras clave: praderas urbanas, jardinería sostenible, sensores ópticos,histograma, Arduino.

Automatization of the characterization of grass cultivation in urban grasslands

Abstract

In this paper, we show the use of different techniques to automate the monitoring process of grasslandscultivation. Using different sensors we pretend to take measurements about the quality of the grass cultivation. The proposed system is capable of measuring the amount of grass existing in a given area. For that, different optical sensors, sensitive to different wavelengths, are used. The use of cameras is not recommended because of the large bandwidth consumed to send the gathered video. Therefore, we analyze which wavelengths offer the highest correlation between the sensor signal and the grass weight. In addition, we present a system that can capture the information in situ. The system consists of RGB sensors (TCS230) connected to an Arduino Mega 2560 module. It also has a tactile screen to select which cultivation species are being analyzed and the size of the plot. The screen shows the results of the analyses and whether the data are in the correct form or not.

This system supposes a reduction of the time necessary to follow-up the cultivation, as well as the reduction of the expenses derived from it. In addition, the use of optical sensors provides a non-invasive method, which can be used for monitoring other crops or natural spaces.

Keywords: urban grasslands, sustainable gardening, optical sensors, histogram, Arduino.

1. Introducción

Las praderas urbanas, comúnmente cubiertas de distintas especies de céspedes, suponen una alta demanda hídrica. Debido a que el agua es un recurso relativamente escaso, pues solo el 3% del agua del mundo es dulce y de esta un 2% se encuentra en los polos y el resto se encuentra como agua subterránea, lagos, ríos etc… (NASA 2017). Menos del 1% del agua puede ser utilizada para el riego, la industria, consumo humano, etc. Con el actual aumento de la población, los periodos de inundaciones y sequias por el cambio climático y la degradación del agua es más importante que nunca la gestión de este recurso. FAO (2015) estima que en 2050 habrá agua suficiente para producir los alimentos para la población mundial pero el consumo excesivo, la degradación de los recursos y el cambio climático reducirá el suministro de agua en muchas regiones. En el caso de España, el Centro de Estudios Y Experimentación de Obras Públicas(2011) habla de que en el futuro existirá una menor cantidad de agua disponible. Además aumentaran los periodos de sequía e inundación. Por tanto, será necesario fomentar una jardinería sostenible (concepto equivalente a agricultura de precisión) a los céspedes para reducir su consumo de agua. Este concepto implica la utilización las tecnologías de la información para monitorear las parcelas con el objetivo de que su cultivo sea lo más sostenible posible (Bongiovanni and Lowenberg-Deboer 2004).

Las tecnologías que se podrían utilizar para monitorizar una parcela de césped son las que se muestran a continuación. La primera opción son las imagen por satélite. El satélite con mayor precisión que existe actualmente es el WorldView-4 con una precisión de 1,24 m y un tiempo de retorno al mismo punto de 4,5 días (Imaging 2017). Estas características son insuficientes para el monitoreo de un césped que necesita un riego diario. Mulla (2013) indica que los inconvenientes de esta tecnología son su resolución espacial y espectral además de sus tiempos de retorno al mismo punto. Otra opción es la utilización de drones para fotografiar toda el área de estudio (Cambra 2013). Esto nos permitiría no tener que instalar una red de una resolución espacial y temporal mayor que con los satélites. En este caso, el problema radica en que un dron no puede volar cuando hay mucho viento ni sobrevolar zonas urbanas. La última opción sería utilizar sensores. En este artículo proponemos un sistema basado en sensores utilizando sensores RGB (TCS230) para poder automatizar las labores de seguimiento de las praderas urbanas. Para los experimentos se han utilizado las especies de césped *Brachypodium distachyo* con *Zoysia* y de *Brachypodium distachyo* con *Buchloe dactyloides*. Primero, mostramos la relación existente entre el histograma del césped y las características del cultivo, peso húmedo en este caso. El sensor tomará información del césped y se analizara en el módulo de Arduino Mega 2560.

El resto del artículo está estructurado como sigue, la sección 2 presenta el material y métodos empleados de los experimentos. El apartado 3 muestra la relación encontrada entre los histogramas y los pesos del césped. La propuesta del sensor para caracterizar el cultivo de césped se muestra en la sección 4. Por último, la sección 5 muestra las conclusiones.

2. Materiales y Métodos

2.1. Estado del arte

En la actualidad, existen importantes líneas de investigación que permitan monitorizar diferentesparámetros del cultivo mediante el análisis de las ondas electromagnéticas. Bellvert et al. (2014)demostró que el índice de estrés hídrico del cultivo se podía medir mediante el uso de imágenes térmicas obtenidas por drones. Lloret et al. (2011) propuso el uso de redes de sensores wifi para determinar la presencia de enfermedades, plagas u otros agentes dañinos en los viñedos. Macedo-Cruz et al. (2011)utilizó cámaras fotográficas para determinar el daño por heladas en *Avena sativa*. Tilling et al. (2007)usó datos del FieldSpec ® para determinar el contenido de N en cultivos. Campos et al. (2010)confirmó el uso de la teledetección como herramienta para la estimación de la evapotranspiración de uvas de vino de regadío plantadas en sistemas de enrejado.

2.2. Material vegetal utilizado

En esta subsección vamos a detallar el material vegetal utilizado, la ubicación de las parcelas y la duración de los experimentos. El material vegetal utilizado en el presente trabajo se ha obtenido en el Encín, perteneciente al IMIDRA en Alcalá de Henares-Madrid. En dicho centro, se está desarrollando un estudio con el objetivo de mejorar la eficiencia hídrica de las praderas urbanas. Se está trabajando en el análisis de especies alternativas a la mezcla patrón. Dichas alternativas, consisten en diferentes combinaciones de gramíneas autóctonas con especies de climas cálidos.

Para analizar la viabilidad de las mezclas en un entorno urbano con reducciones hídricas, se está realizando una serie de estudios. Diferentes especies se mezclan en distintas proporciones en parcelas de 1.5m^2 con 3 regímenes de evapotranspiración (ETP) distintos, identificados como ETP1, ETP2 y ETP3. Todos los casos se realizan por triplicado siendo identificados como R1, R2 y R3. En estos momentos el experimento está empezando y de momento todas las parcelas están en las mismas condiciones de ETP. Este hecho nos permite tener una cantidad de material vegetal para calibrar nuestro sistema antes de iniciar el experimento.

Para evaluar el estado de las parcelas se valorará en un futuro la fitosociología de la comunidad y a la calidad del cultivo. Los indicadores de calidad serán los siguientes: uniformidad, densidad e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Para ello, se realizarán periódicamente siegas en las que se pesará la cantidad de césped que ha crecido. Esta metodología es muy laboriosa y requiere una alta dedicación por parte del personal del Encín. Las especies vegetales que se están cultivando en este momento y las combinaciones que existen son las que se muestran en la Figura 1.

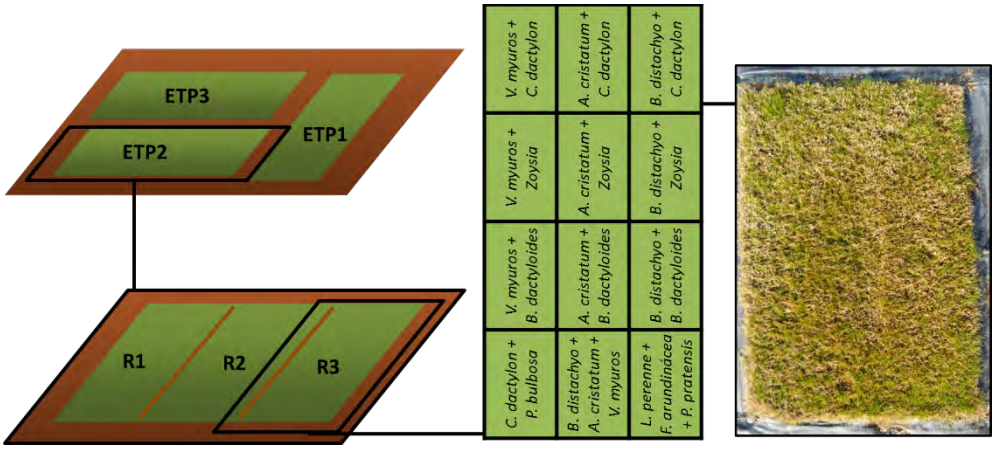


Figura 1. Disposición de las diferentes especies de césped del material vegetal utilizado

2.3. Material y métodos imágenes

Para poder relacionar la información obtenida a partir de las imágenes con el estado del césped se han realizado una serie de medidas. Se han realizado unas fotografías a dos de las nueve combinaciones de césped plantadas. En concreto, se han fotografiado las combinaciones de *Brachypodium distachyo* con *Zoysia* y de *Brachypodium distachyo* con *Buchloe dactyloides*. Se han obtenido 7 fotografías para cada combinación de césped. De forma paralela, se han obtenido unas submuestras de cada parcela y se ha pesado el césped de las submuestras. Se ha obtenido el peso húmedo de las submuestras. Nuestro objetivo será relacionar ambas variables.

Para tomar las fotografías se ha utilizado una cámara SONY DSC-W120con unas dimensiones de 2048 x 1536 pixeles. Con una resolución horizontal y vertical de 72 ppp y una profundidad de 24 bits. La configuración de la cámara para tomar las imágenes fue la siguiente: relación focal = f/7.1, tiempo de exposición=1/80s, distancia focal=5mm y sensibilidad fotográfica=125.

Las fotografías han sido tomadas a una altura de 1.5m y contenían la totalidad de la parcela de césped. A partir de dichas imágenes se obtiene el histograma RGB de cada una y se trata de relacionar con el peso obtenido de las submuestras tomadas. Las submuestras se extraen tras tomar la fotografía. Todas las fotografías han sido tomadas el mismo día y con la misma exposición solar.

3. Relación

3.1. Selección de la banda a estudiar

En esta sección detallamos la relación que existe entre el histograma RGB y la cantidad de césped. Con el fin de hallar dicha relación se hace un análisis previo, en el cual se evalúa la idoneidad de cada una de las 3 bandas que forman la fotografía. En la Figura 2se muestra el resultado de visualizar cada banda RGB de la fotografía y la fotografía en RGB. Nuestra hipótesis de trabajo es que podremos estimar el peso del césped en función de la cobertura del césped. Para ello tratamos de hallar una relación entre el histograma, que está en función de la cobertura del césped, y el peso del césped. En la figura 2a) podemos ver la imagen en RGB, donde se aprecia que en la parte inferior derecha hay una zona que no está cubierta por césped. Nuestro objetivo es encontrar en cuál de las tres bandas esa diferencia es más notable. De las tres bandas, Rojo (b), Verde (c) y Azul (d), la diferencia entre la tonalidad del césped y de la tierra es mayor en la banda del azul. En las otras dos, algunas regiones del césped seco tienen una tonalidad similar a la tierra. Este hecho haría imposible diferenciar entre ambas coberturas. Por tanto, la banda elegida para estudiarse con más detalle es la banda del azul.

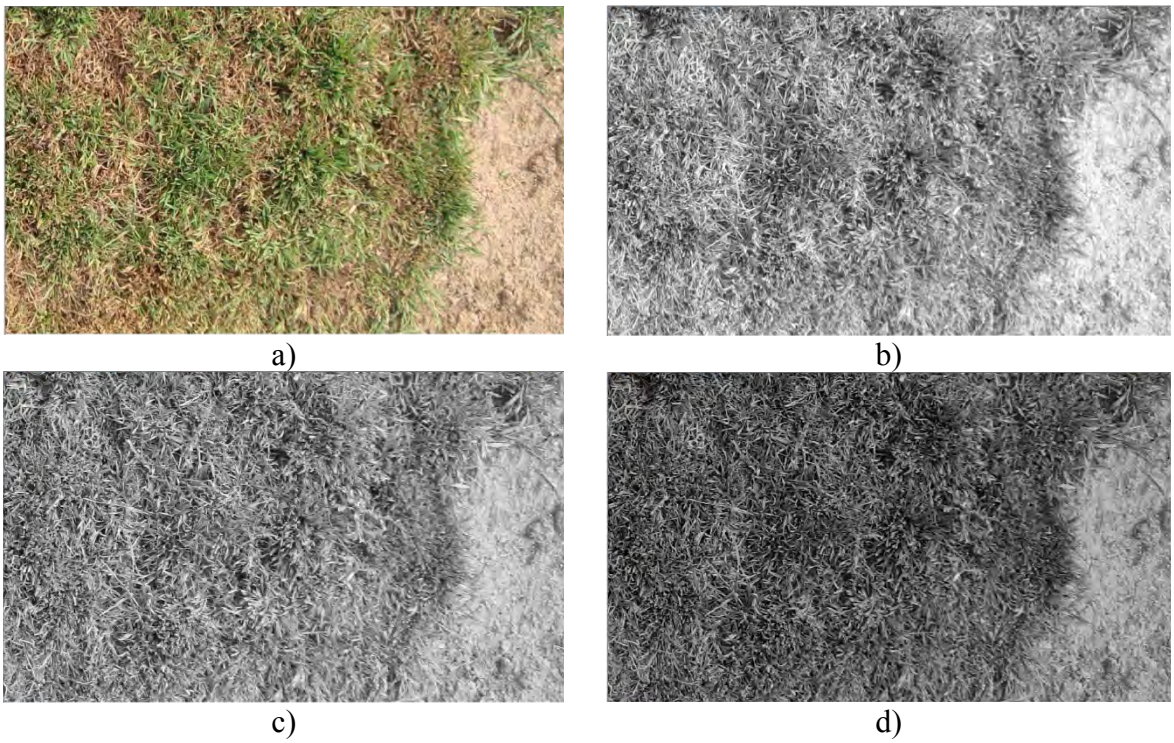


Figura 2. Detalle de una imagen tomada al césped en RGB (a), Banda Roja (b), Banda Verde (c) y Banda Azul (d).

A continuación, se estudia en detalle la relación entre los histogramas de la banda del azul de cada una de las parcelas estudiadas de cada una de las especies. De las 9 posibles parcelas de cada especie solo se han usado 7 en cada especie. Utilizando un software especializado para tratamiento de imágenes satélite ArcMap (ESRI, 2011) se han obtenido los histogramas de las bandas del azul para cada imagen. Dichos histogramas se muestran en las Figuras 3 y 4. La Figura 3 muestra el histograma de cada parcela con las especies *Brachypodium distachyo* con *Zoysia*. Podemos ver que los

histogramas de las parcelas son muy similares. Podemos decir lo mismo de la Figura 4, donde vemos los histogramas de las pacerlas con *Brachypodium distachyo* con *Buchloe dactyloides*. En ambas figuras las parcelas son identificadas con la nomenclatura siguiente ETPnº-Rnº. ETPnº hace referencia al régimen de evapotranspiración planeado para cada parcela en un futuro, puede tomar valores entre 1 y 3. Mientras que la Rnº hace referencia a la repetición y puede tomar valores entre 1 y 3.

3.2. Estudio de los histogramas

En esta sección, mostramos como se ha encontrado la relación entre una región del histograma y el peso del césped. Para ello, se han realizado regresiones lineales entre el peso húmedo, como variable independiente, y el número de pixeles (%) para cada valor normalizado de brillo, como variable independiente. De los 256 posibles valores de valor normalizado de brillo, de 0 a 255, solo algunos de ellos presentaban una correlación con los pesos del césped. En las Figuras 5y 6se muestran las correlaciones lineales con mayor coeficiente de correlación encontrados para cada una de las combinaciones de césped. La correlación para las especies *Brachypodium distachyo* con *Zoysia* aparece en la Figura 5. Podemos ver que para pesos de submuestra de entre 16.38g de y 20.48g existe una relación con el valor normalizado de brillo = 0 del histograma. Por otro lado, en la Figura 6podemos ver la relación existente para las especies *Brachypodium distachyo* con *Buchloe dactyloides.* En este caso la relación se da para los pesos desde 16.87g hasta 22.04g y el valor normalizado de brillo = 134. Las Ecuaciones (1) y (2) muestran la relación matemática descrita en las Figura 5y 6respectivamente. El valor normalizado de brillo se expresa como *VNB*. La Ecuación (1) presenta un valor de correlación de 0.9367 y la Ecuación (2) de 0.9316. El peso húmedo se expresa como *Peso*.

Con las Ecuaciones (1) y (2) queda demostrada la posibilidad de estimar el peso de una parcela de césped usando los valores RGB obtenidos del cultivo.

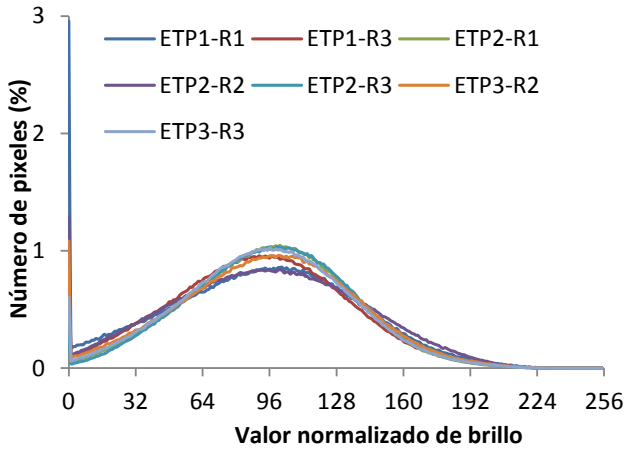


Figura 3. Histograma de *B. distachyo* con *Zoysia*

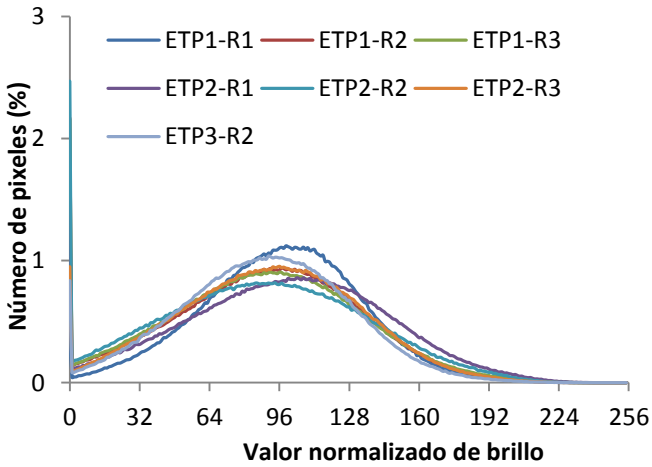


Figura 4. Histograma de *B. distachyo* con *B. dactyloides*

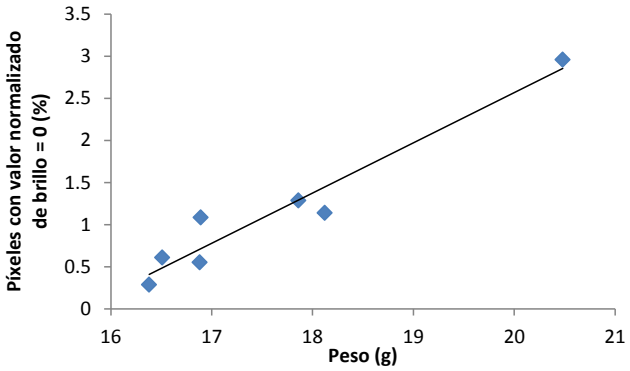


Figura 5. Correlación entre el peso y el valor normalizadode brillo = 0 en *B. distachyo* con *Zoysia*

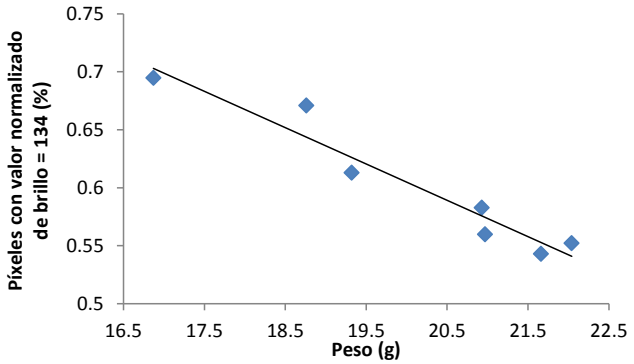


Figura 6. Correlación entre el peso y el valor normalizadode brillo = 134 en *B. distachyo* con *B. dactyloides*

Peso *B. distachyo* con *Zoysia*(g)= (VNB 0 (%)+9.3614)/0.5965 (1)

Peso *B. distachyo* con *B. dactyloides*(g)= (VNB 134 (%)-1.2312)/-0.0313 (2)

4. Dispositivo electrónico para la automatización de toma de medidas

El futuro en la mejora del control de cultivos y como es en nuestro caso la monitorización y clasificación de praderas urbanas, está en el desarrollo de sistemas de sensado inteligentes (Cambra 2015) y en utilización de nuevas tecnologías, como redes de sensores (Karim 2013).

Por tanto, tras comprobar que podemos establecer una relación entre el valor de la banda azul de una imagen y su peso, proponemos el desarrollo de un sistema electrónico capaz de automatizar este proceso. Esta sección describe el sistema propuesto, así como el algoritmo desarrollado para la toma de medidas y su procesado.

4.1 Descripción del sistema.

Nuestra propuesta, se basa en un dispositivo móvil del tamaño de una escoba que el operario debe pasar sobre la zona de césped que desee medir o monitorizar (Ver Figura 7). Simultáneamente, serán tomados 15 valores RGB, en una misma línea, a lo largo del soporte del dispositivo. Estos valores se transmiten mediante cables al módulo de Arduino Mega 2560 ubicado en la caja estanca y finalmente todo el proceso de toma de medidas y la aplicación será controlada desde la pantalla táctil. El módulo Arduino Mega 2560 consta de 54 entradas/salidas digitales, 16 entradas analógicas y 256KB de memoria para almacenar códigos de programa.

Para monitorizar el césped y extraer los valores RGB se emplea el sensor TCS230. Este sensor combina diversos foto-diodos de silicio configurables y un convertidor de corriente a frecuencia en un solo chip. El módulo está formado por una matriz de 8 X 8 diodos de los cuales 16 se destinan al filtrado de luz azul, 16 se destinan al filtrado de luz verde, 16 se destinan al filtrado de luz roja y finalmente 16 diodos se utilizan sin ningún tipo de filtro. También contiene 4 leds blancos que iluminan la zona a sensar, para asegurar que los colores registrados siempre se realizan con las mismas condiciones de luminosidad. Los cuatro tipos de colores están distribuidos uniformemente por toda la matriz para minimizar el efecto de la no-uniformidad. El sensor, además, es capaz de generar una señal de onda cuadrada de frecuencia proporcional a la intensidad de la luz.

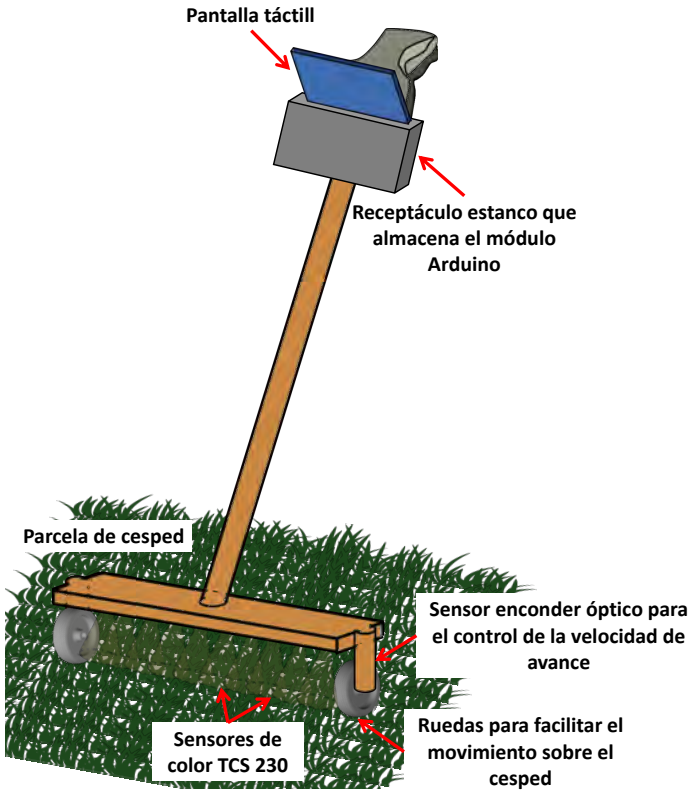


Figura 7. Sistema electrónico propuesto

Figura 8. Sistema de control de velocidad

Por otra parte, el movimiento del sistema sobre el césped debe hacerse a una velocidad que permita tomar los valores y almacenarlos para su posterior procesado. Para facilitar dicho movimiento el dispositivo es dotado de 2 ruedas, que controlará un encoder óptico basado en un optoacoplador. El encoder óptico, además de monitorizar la velocidad de giro, actuará como trigger para indicar al módulo Arduino los momentos en los que debe tomar las medidas. La Figura 8 muestra cómo está implementado esta parte del sistema.

Tanto los sensores de color como el encoder están conectados con el módulo de Arduino. La pantalla táctil nos permitirá controlar la aplicación y el proceso de medida. La pantalla usada es un TFT táctil de 2.4''(TJCTM24024), de 240x320 pixeles de resolución y un controlador táctil XPT2046 para el Touch. El módulo dispone de una ranura para una tarjeta SD. La Figura 9 muestra la interconexión de todos los dispositivos.

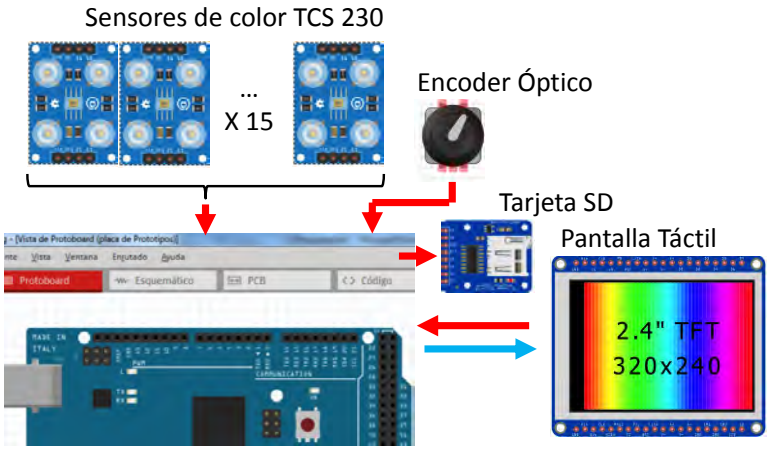


Figura 9. Diagrama de montaje de la electrónica del sistema

4.2 Proceso de medida

Para realizar el proceso de medida debemos considerar cada parcela como una cuadrícula con una serie de posiciones donde se tomarán medidas (Ver Figura 10). El área de sensado de nuestro dispositivo es de 10 cm. Teniendo en cuenta que la parcela tiene 1,5m de longitud y 1,0 m de ancho, deberemos realizar 15 pasadas, desplazándonos 10cm en cada pasada, para recorrer por completo toda la parcela.

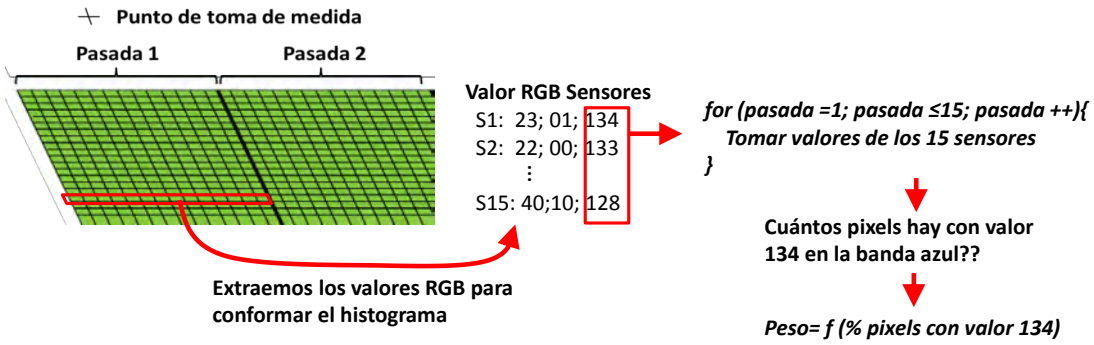


Figura 10. Procesado automático de las medidas tomadas

Para que los valores RGB sean tomados correctamente, debemos asegurarnos que la velocidad de avance del sistema no sea superior a los 0,024m/s, Equivalente a tener 42 puntos de medida por metro. Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, de cada parcela con un tamaño de 1,5x1,0 m^2obtendríamos 9450 puntos. A partir de los cuales, calcularíamos el porcentaje de pixeles del valor deseado para obtener el peso húmedo del césped. Para ello, utilizaríamos las Ecuaciones (1) y (2).

4.3 Algoritmo de funcionamiento y aplicación de control del sistema

Para el correcto funcionamiento del sistema, necesitamos desarrollar un pequeño algoritmo que controle la adquisición de los datos. La Figura 11 muestra el diagrama de funcionamiento. Como podemos observar, el primer paso, es definir los parámetros como la parcela a analizar y parámetros de medida. Estos incluyen, entre otros, el tipo de especie plantada, ya que el valor que deseamos detectar viene marcado por el tipo de especie. Consideramos para este caso, que nuestra parcela tiene 1,50m de largo y que nuestro sensor tiene 10 cm de ancho. Esto implica que deberemos hacer 15 pasadas para cubrir por completo toda el área. Tras inicial el proceso de medida, debemos controlar que la velocidad de mantiene por debajo de los 0,024m/s. Esto implica que necesitaremos 42 segundos en recorrer el ancho de la parcela, que es 1,0 m. Si se supera dicho valor, la medida se aborta y deberá iniciarse de nuevo la pasada actual. En caso de que el avance del dispositivo sea el correcto, el sistema comprobará se si se ha llegado al final de la pasada y si se ha cubierto por completo el área. Si esto es así, los datos se almacenarán y finalizará el proceso de toma de medidas.

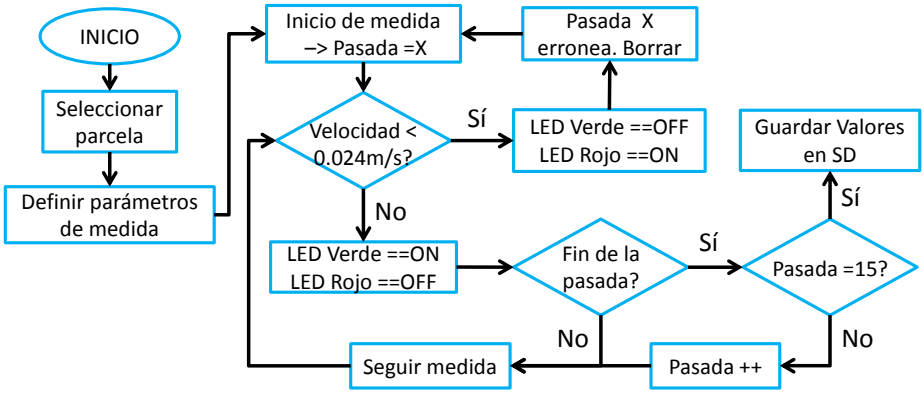


Figura 11. Diagrama de funcionamiento del sistema propuesto

Finalmente, se ha desarrollado una interfaz de usuario para la pantalla táctil que permite al operario almacenar los datos de las medidas y controlar el proceso. En la Figura 12 observamos la pantalla inicial de la aplicación, donde podemos introducir mediante un teclado emergente datos identificativos de la parcela, como su codificación y el tipo de especie que en ella se ha plantado. Además, podemos determinar en qué banda queremos analizar los datos, aunque en nuestro caso, los mejores resultados han sido obtenidos en la banda azul. La Figura 13 muestra el valor que deseamos detectar (VBN que depende de la especie que estemos tratando) y mediante 2 indicadores, uno verde y uno rojo, informa al operador si la velocidad de avance es la correcta para garantizar la adquisición de los datos o no.

Figura 12. Pantalla inicial.

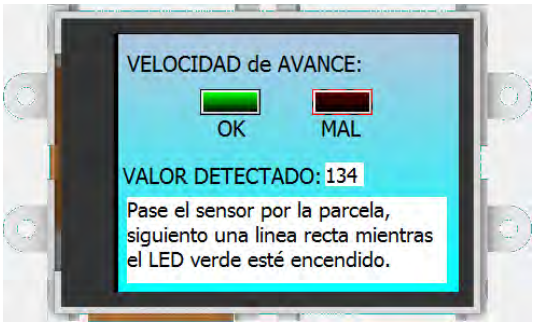


Figura 13. Pantalla de progreso de la medida

5. Conclusiones

En este artículo hemos demostrado la correlación entre el peso del césped de una parcela y el VBN de la banda azul. Esto nos permite automatizar fácilmente las labores de seguimiento y monitorización de cultivos experimentales. Así como gestionar praderas urbanas ajustando el riego y estimando la producción de residuos tras una siega.

Inicialmente hemos mostrado la relación existente entre el histograma y la calidad del cultivo. Este proceso es similar al realizado con las imágenes satélite en multitud de cultivos pero a una escala más reducida. Más adelante, hemos diseñado un sistema de toma de datos simple que facilitará la obtención de los VNB del histograma. Además, el sistema diseñado será capaz de obtener los VNB de las otras dos bandas (rojo y verde) de forma que en un futuro podremos monitorizar otros parámetros como la humedad del suelo o detectar enfermedades del césped. El sistema diseñado está pensado para el césped pero podría aplicarse a otras especies de gramíneas de corte bajo o a las fases iniciales de otros cultivos.

Nuestros futuros trabajos estará centrados en hallar otras relaciones entre los histogramas y distintos parámetros de calidad del cultivo, como puede ser la humedad, el brillo, la cobertura o detectar enfermedades. También trabajaremos en tratar de diferenciar entre distintas especies de césped a partir de los histogramas generados.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado con un contrato pre-doctoral del programa Ayudas para contratos predoctorales de Formación del Profesorado Universitario FPU (Convocatoria 2014), con referencia FPU14/02953 del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. El proyecto ha sido financiado por IMIDRA con el proyecto FP16-JARD.

Bibliografía

Bellvert, J., P. J. Zarco-Tejada, J. Girona, and E. Fereres. 2014. “Mapping Crop Water Stress Index in a

'Pinot-Noir' Vineyard: Comparing Ground Measurements with Thermal Remote Sensing Imagery from an Unmanned Aerial Vehicle." *Precision Agriculture* 15 (4): 361–76. doi:10.1007/s11119-013-9334-5.

Bongiovanni, R., and J. Lowenberg-Deboer. 2004. "Precision Agriculture and Sustainability." *Precision Agriculture* 5 (4): 359–87. doi:10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa.

Cambra, Carlos, Diaz, Juan R., and Lloret, Jaime, "Communication Ad Hoc Protocol for Intelligent Video Sensing using AR Drones", En las *actas del IEEE Ninth International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks* (MSN 2013), Dalian (China), 11-13 de diciembre de 2013.

Cambra, Carlos, Díaz, Juan R., and Lloret, Jaime. 2015. "Deployment and Performance Study of an Ad Hoc Network Protocol for Intelligent Video Sensing in Precision Agriculture." *Lecture Notes in Computer Science* 8629(). Springer: 165-175.

Campos, Isidro, Christopher M U Neale, Alfonso Calera, Claudio Balbontín, and Jose González-Piqueras. 2010. "Assessing Satellite-Based Basal Crop Coefficients for Irrigated Grapes (Vitis Vinifera L.)." *Agricultural Water Management* 98 (1). Elsevier B.V.: 45–54. doi:10.1016/j.agwat.2010.07.011.

Centro de Estudios Y Experimentación de Obras Públicas. 2011. "Estudio de Los Impactos Del Cambio Climático En Los Recursos Hídricos Y Las Masas de Agua - Ficha 1: Evaluación Del Impacto Del Cambio Climático En Los Recursos Hídricos En Régimen Natural," 714.

ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. "Towards a Water Critical Perspectives for Policy-Makers," 62. http://www.fao.org/nr/water/docs/FAO_WWC_white_paper_web.pdf.

Imaging, Satellite. 2017. "Satellite Sensor." *Http://www.satimagingcorp.com/satellite-Sensors/geoeye-2/*.

Karim, Lutful, Anpalagan, Alagan, Nasser, Nidal, Almhana, Jalal. 2013. "Sensor-based M2M Agriculture Monitoring Systems for Developing Countries: State and Challenges." *Network Protocols and Algorithms* 5(3):68-86.

Lloret, Jaime, Ignacio Bosch, Sandra Sendra, and Arturo Serrano. 2011. "A Wireless Sensor Network for Vineyard Monitoring That Uses Image Processing." *Sensors* 11 (6): 6165–96. doi:10.3390/s110606165.

Macedo-Cruz, Antonia, Gonzalo Pajares, Matilde Santos, and Isidro Villegas-Romero. 2011. "Digital Image Sensor-Based Assessment of the Status of Oat (Avena Sativa L.) Crops after Frost Damage." *Sensors* 11 (6): 6015–36. doi:10.3390/s110606015.

Mulla, David J. 2013. "Twenty Five Years of Remote Sensing in Precision Agriculture: Key Advances and Remaining Knowledge Gaps." *Biosystems Engineering* 114 (4). IAgrE: 358–71. doi:10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.

NASA. 2017. "The Importance of Freshwater.". Disponible en:*Https://pmm.nasa.gov/waterfalls/science/freshwater*.

Tilling, Adam K., Garry J. O'Leary, Jelle G. Ferwerda, Simon D. Jones, Glenn J. Fitzgerald, Daniel Rodriguez, and Robert Belford. 2007. "Remote Sensing of Nitrogen and Water Stress in Wheat." *Field Crops Research* 104 (1–3): 77–85. doi:10.1016/j.fcr.2007.03.023.

Análisis sensorial de tres ecotipos de garbanzo leoneses cultivados en diferentes suelos de la provincia

José B. Valenciano[1], Juan A. Boto[2], Víctor Marcelo[3], Miguel A. Sanz[4]

[1] Dpto. Ingeniería y Ciencias Agrarias, Avda. Portugal 41, 24071 León. Spain. joseb.valenciano@unileon.es

[2] Dpto. Ingeniería y Ciencias Agrarias, Avda. Portugal 41, 24071 León. Spain. ja.boto@unileon.es

[3] Dpto. Ingeniería y Ciencias Agrarias, Avda. Portugal 41, 24071 León. Spain. v.marcelo@unileon.es

[4] Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, Crtra Burgos km 118, 47071 Valladolid. Spain.

Resumen

El garbanzo es la principal leguminosa grano de consumo humano cultivada en la región Mediterránea, siendo España uno de los principales productores en Europa. En León es un cultivo tradicional, generalmente de siembra primaveral y cultivado en secano. La calidad del producto obtenido está asociada, además del material genético, al medio en el que se desarrolla el cultivo. El presente trabajo pretende buscar una relación entre tres ecotipos locales de garbanzo de la provincia de León y las características de los suelos en los que han sido cultivados.

Se establecieron 20 parcelas experimentales (entre 2014 y 2015), en diferentes comarcas de la provincia de León, donde se cultivaron 3 ecotipos locales (Vbre-4, Vvjas-4 y Vvjas-5). Se tomaron muestras de los suelos para su análisis. Una vez cosechados los garbanzos se procedió a realizar su valoración organoléptica.

Los tres ecotipos evaluados presentaban una valoración muy buena o excelente. La mejor valoración se obtuvo con el ecotipo Vbre-4 en un suelo ligeramente básico, con muy bajo contenido en potasio y bajo contenido en magnesio. Los suelos con un pH muy ácido afectaron a la calidad final del producto obtenido, y, generalmente, también, se puedo asociar a suelos con elevado contenido en calcio. Las mejores valoraciones globales se encontraron en suelos con bajo contenido en potasio. Los valores más altos de mantecosidad se presentaron asociados a suelos con un pH neutro o ligeramente ácido y con bajo contenido en potasio, y también de magnesio, siendo el ecotipo Vvjas-5 el que presentó los valores menos favorables.

Palabras clave: *Cicer arietinum*, evaluación sensorial, leguminosa grano, mantecosidad.

Sensory analysis of three ecotypes of chickpea Leon grown in different soils of the province

Abstract

Chickpea is the principal grain legume crop for human consumption cultivated in the Mediterranean region, Spain being one of the leading European chickpea-producing countries. In the province of León it is a traditional crop, usually sown in spring and grown in non-irrigated soils. The quality of the product obtained, as well as the genetic material, is associated with the environment in which the crop develops. The present study will try to identify a relationship between three local ecotypes of chickpea in the province of León and the characteristics of the soils in which they have been cultivated.

20 experimental plots (between 2014 and 2015), were set up in different regions of the province of León, where 3 local ecotypes (Vbre-4, Vvjas-4 and Vvjas-5) were cultivated. Soil samples were taken for analysis. Once the chickpeas were harvested, an organoleptic assessment was carried out.

The three evaluated ecotypes showed a rating of very good or excellent. The best valuation was obtained by ecotype Vbre-4 in slightly basic soil, very low in potassium and low in magnesium. Soils with a very acidic pH affect the final quality of the product obtained and, usually, it may also be associated with soils with a high content of calcium. The best global evaluations were found in soils with low potassium content. The highest values of gumminess were associated with soils with a neutral or slightly acidic pH and low in potassium and also magnesium, Vvjas-5 being the ecotype with the least favourable values.

Keywords: *Cicer arietinum*, sensory analysis, grain legume, gumminess.

1. Introducción

El garbanzo (*Cicer arietinum*) es la principal leguminosa grano de consumo humano cultivada en la región Mediterránea, siendo España uno de los principales productores en Europa, aunque su cultivo ha descendido de forma significativa en los últimos años. Su producción es insuficiente para satisfacer la demanda interna, motivo por el cual se realizan grandes importaciones. Knights et al. (2007) han mencionado la falta de inversión pública en investigación, la mejora y la transferencia de tecnología, como algunas de las posibles causas de la disminución de su cultivo en Europa.

En la provincia de León es un cultivo tradicional, generalmente de siembra primaveral y cultivado en secano, y, siguiendo la misma tendencia que en Europa, su cultivo está en retroceso. Durante muchos siglos, los agricultores de León han cultivado garbanzos para autoconsumo y para los mercados locales. Estos agricultores, para la producción, usaban sus propias semillas, seleccionando y almacenando parte de su cosecha; estas prácticas aún se mantienen en zonas tradicionales.

Su consumo está extendido por todo el mundo, es considerado una fuente excelente de proteína dietética (Frías et al., 2000) y constituye uno de los principales ingredientes de la alimentación saludable que representa la Dieta Mediterránea. En España, el tipo preferido para consumo humano directo es el tipo *kabuli*. Generalmente, se consume la semilla seca y entera, después de haber sido remojada y cocida, aunque en las últimas décadas se está diversificando su forma de preparación. Los atributos más valorados son el tamaño de la semilla, el color, el sabor y el espesor de su tegumento (Yadav et al., 2007). Además, estos garbanzos deben presentan una elevada, completa y rápida hidratación, no presentando semillas duras (Wood y Harden, 2006). La calidad del producto obtenido está asociada, además del material genético, al medio en el que se desarrolla el cultivo. Su calidad nutricional depende del medio, condiciones climáticas y características del suelo, de las prácticas agronómicas y de los factores de estrés (Wood y Grusak, 2007), entre otros. Su calidad culinaria se determina mediante una serie de pruebas sensoriales utilizando un panel de catadores que evalúan, tras el remojo y cocción, unos determinados índices.

El presente trabajo pretende buscar una relación entre la calidad culinaria de tres ecotipos locales de garbanzo de la provincia de León y las características de los suelos en los que han sido cultivados.

2. Materiales y Métodos

El material vegetal utilizado corresponde a tres ecotipos de garbanzo (Vbre-4, Vvjas-4 y Vvjas-5) de la provincia de León (Valenciano et al., 2013), todos pertenecientes al tipo *kabuli*. Estos ecotipos fueron sembrados, siembra primaveral, durante dos campañas (2014 y 2015) en 20 localizaciones distintas (5 en 2014 y 15 en 2015) de la provincia de León, representativas de zonas de cultivo tradicional; aunque no todos los ecotipos se establecieron en las 20 localizaciones (sólo en seis localizaciones se establecieron los tres).

Previamente a la preparación del terreno se tomaron muestras de los suelos de las parcelas para su posterior análisis en laboratorio. Dichos análisis reflejaron una amplia variación de las características de los suelos (tabla 1).

La parcela experimental mínima fue de 100 m^2 (en algunas localizaciones fue bastante superior, para adaptarse a los condicionantes de los agricultores), con una separación interlíneas de 0,55 m y una separación entre plantas variable entre 0,08 y 0,15 m. La preparación del terreno, la siembra y las técnicas de cultivo utilizadas fueron las tradicionales en las diferentes comarcas de la provincia. La recolección fue realizada en los meses de julio y/o septiembre dependiendo de las comarcas.

Tabla 1. Características de los suelos. Rango de variación de los parámetros de los suelos de las diferentes localizaciones.

Parámetro	Rango de variación
pH (agua)	4,6 – 8,5
Materia orgánica (%)	0,45 – 4,21
Textura	Limosa – Franco-arcillosa
Potasio [cmol(+)/kg]	0,12 – 1,02
Fósforo (ppm) (Olsen)	5 – 174
Nitrógeno (%)	0,08 – 027
Calcio [cmol(+)/kg]	1,49 – 18,65
Magnesio [cmol(+)/kg]	0,23 – 2,03
C.I.C. [cmol(+)/kg]	2,98 – 23,52

Para la determinación de la calidad culinaria se realizaron unas pruebas sensoriales utilizando un panel de catadores encargados de describir mediante unos índices las distintas muestras que se les dieron a probar. El remojo, la cocción y la preparación de las muestras para la realización del Análisis Sensorial fueron realizadas siguiendo las indicaciones de Sanz y Atienza (1999). Las muestras una vez preparadas fueron sometidas a una evaluación sensorial por catadores entrenados, evaluando las muestras en términos de apariencia, sabor y textura, usando una escala de 0 a 5 puntos. Se evaluaron los siguientes caracteres organolépticos: integridad de la semilla, presencia de pieles sueltas, superficie de la piel, dureza de la piel, mantecosidad y granulosidad.

3. Resultados y Discusión

Este trabajo se llevó a cabo en varias zonas de cultivo tradicional de la provincia de León, con diferentes condiciones y características de suelo. Los resultados obtenidos mostraron variaciones para los rendimientos de los tres ecotipos en los diferentes suelos, aunque siempre el Vvjs-4 se comportó como el más productivo, pese a tener la semilla más pequeña (Valenciano et al., 2013). La disponibilidad de agua fue uno de los principales limitantes del rendimiento (Soltani et al., 1999).

Los resultados obtenidos mostraron que los tres ecotipos evaluados presentaban, en general, una valoración sensorial muy buena o excelente, si bien el ecotipo Vbre-4 presentó valoraciones ligeramente superiores. Este ecotipo presentó para todas las muestras una calificación de excelente. La mayor valoración, en el análisis sensorial, fue obtenida por el ecotipo Vbre-4, cultivado en un suelo ligeramente básico, con muy bajo contenido en potasio y en materia orgánica y bajo contenido en magnesio. Aunque no se encontraron correlaciones muy claras entre la valoración del análisis sensorial y las características del suelo.

En cuanto a las valoraciones parciales, existieron variaciones entre ecotipos. La integridad del grano después de la cocción alcanzó siempre valoraciones muy altas, aunque, por ecotipos, se puede destacar que el Vvjas-5 obtuvo una valoración ligeramente inferior. En cuanto a mantecosidad en ningún caso se encontraron muestras muy poco mantecosas, siendo el Vvjas-5 el que presentó los valores menos favorables para mantecosidad. Los valores más altos de mantecosidad se presentaron asociados a suelos con un pH neutro o ligeramente ácido y con bajo contenido en potasio, y también de magnesio. Tampoco se encontraron muestras con piel duras, en este caso el ecotipo Vvjas-4 fue el que presentó muestras con unas pieles ligeramente menos blandas y el Vvjas-5 el que presentó mayor variación para este parámetro. Todas las muestras fueron poco granulosas.

Los suelos con un pH muy ácido no sólo afectaron al desarrollo de las plantas (Ahlawat et al., 2007), sino también a la calidad final del producto obtenido, los suelos muy ácidos dieron las valoraciones globales menos favorables. Los suelos muy ácidos también presentaron los valores más altos para dureza de la piel y algunos de los valores más bajos para mantecosidad.

El suelo con mayor valoración global presentó un contenido en materia orgánica bajo, mientras que los tres suelos con contenido en materia orgánica superior al 3,0 % presentaron una calificación, sólo, de muy buena. Kay (1990) menciona a las terrenos con elevado contenido en materia orgánica sin descomponer como poco adecuadas para obtener garbanzos de buena calidad. Los valores más altos para mantecosidad se obtuvieron en suelos con un contenido de materia orgánica en torno al 2,0 %.

Las mejores valoraciones globales se encontraron en suelos con bajo contenido en potasio. Este resultado no era esperado, pues se menciona la influencia positiva que el potasio tiene sobre la calidad del garbanzo (López Bellido y Fuentes, 1990), especialmente porque contribuye a reducir la absorción de calcio por parte de la planta (Ondategui, 1996). Los valores más altos de mantecosidad, en general, se encontraron en suelos con bajo contenido en potasio.

No se encontró ninguna correlación muy alta entre textura y calidad; pero aquellos suelos con un porcentaje más alto de arcilla proporcionaron, todos, unos garbanzos con calidad excelente. De Miguel (1989) menciona a los vertisoles andaluces (arcillosos) como los que producen los garbanzos más tiernos. Ondategui (1996) menciona la elevada presencia de arcilla como uno de los factores que puede dar lugar a garbanzos con piel demasiado gruesa, pero no se detectó dicha correlación con los parámetros de superficie y dureza de la piel, quizás porque el contenido en arcilla deba ser más alto. El espesor de la piel contribuye a embastecer su palatabilidad (De Miguel, 1989), además de influir en el tiempo necesario para el remojo y en el proceso de cocción.

Generalmente, también, se encontró que muchas de las muestras con valoraciones menos favorables correspondían a suelos con elevado contenido en calcio. Los suelos para el cultivo del garbanzo deben ser pobres en cal en forma de sulfato, pues produce el endurecimiento del mismo (Ondategui, 1996).

El contenido en magnesio de los suelos utilizados, generalmente, fue bajo. Mientras que el de fósforo fue alto o muy alto. No se encontró ninguna posible relación entre el contenido de éstos y la valoración de las muestras, así como con los valores de los parámetros de calidad. Aunque la mayor valoración global se obtuvo en un suelo con bajo contenido en magnesio, y los valores más altos de mantecosidad se dieron también en suelos similares; aunque López Bellido y Fuentes (1990) encontraron una relación positiva entre el potasio intercambiable y la calidad del garbanzo.

La mayoría de los suelos utilizados eran suelos poco fértiles. Sólo un suelo de los utilizados tuvo una C.I.C. muy alta, en él se obtuvo unas de las valoraciones más bajas, aunque como se indicó anteriormente las muestras fueron catalogadas como “muy buena”. López Bellido y Fuentes (1990) encontraron una relación directa entre la fertilidad de los suelos y la calidad de los garbanzos, pero los suelos utilizados en sus ensayos presentaban una fertilidad muy superior a los utilizados en el presente trabajo

4. Conclusiones

No se pueden extraer conclusiones que permitan relacionar de forma clara los parámetros de calidad sensorial y las características de los suelos utilizados. Se podría decir que la utilización de suelos con pH muy ácidos y el elevado contenido en calcio en ellos afectan de forma negativa a la calidad del garbanzo. También se podría concluir que los diferentes ecotipos utilizados mostraron un comportamiento distintos en las diferentes localizaciones, siendo el Vbre-4 el que presentó mejor valoración.

Agradecimientos

Los autores agradecen al apoyo económico prestado por la Diputación de León (León, España).

Bibliografía

Ahlawat, I. P. S., B. Gangaiah and M. Ashraf Zahid. 2007. Nutrient management in chickpea. In: *Chickpea breeding and management*. Eds. S. S. Yadav, R. Redden, W. Chen and B. Sharma. Pp. 213-232. Wallingford, Oxon: CAB International.

De Miguel, E. 1989. *El garbanzo, una alternativa para el secano*. Madrid: Mundi-Prensa.

Frías, J., C. Vidal-Valverde, S. Sotomayor, C. Díaz-Pollán and G. Urbano. 2000. Influence of processing on available carbohydrate content and antinutritional factors of chickpeas. *European Food Research and Technology* 210: 340-345

Kay, D. D. 1990. *Legumbres alimenticias*. Zaragoza: Acribia.

Knights, E.J., Açikgöz, N., Warkentin, T., Bejiga, G., Yadav, S.S., and Sandhu, J.S. (2007) Area, production and distribution. In: *Chickpea breeding and management*. Eds. S. S. Yadav, R. Redden, W. Chen and B. Sharma. Pp. 167-178. Wallingford, Oxon: CAB International.

López Bellido, L., and M. Fuentes. 1990. Cooking quality of chickpea. In: Present status and future prospects of chickpea crop production and improvement in the Mediterranean countries. Eds. M. C. Saxena, J. I. Cubero and J Wery. Pp 113-125. Zaragoza: CIHEAM, Options Méditerranéennes: Série A, Séminaires Méditerranéens, 9.

Ondategui, J. 1996. El garbanzo. In : *El cultivo de las leguminosas de grano en Castilla y León*. Pp 357-398. Valladolid: Junta de Castilla y León.

Sanz, M, and J. Atienza. 1999. Sensory analysis of beans (*Phaseolus vulgaris*). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 3: 201-204.

Soltani, A., K. Ghassemi-Golezani, F. R. Khooie and M. Moghaddam. 1999: A simple model for chickpea growth and yield. *Field Crops Research* 62: 213-224.

Valenciano, J. B., J. A. Boto, B. Reinoso and V. Marcelo. 2013. Agromorphological characterisation and preliminary evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) conserved on farms in León province (Spain). *Legume Research* 36 (3): 245-249.

Wood, J. A., and M. A. Grusak. 2007. Nutritional value of chickpea. In: *Chickpea breeding and management*. Eds. S. S. Yadav, R. Redden, W. Chen and B. Sharma. Pp. 101-142. Wallingford, Oxon: CAB International.

Wood, J. A., and S. Harden. 2006. A method to estimate the hydration and swellin properties of chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Food Science* 71: E190-E195.

Yadav, S. S., N. Longnecker, F. Dusunceli, G. Bejiga, M. Yadav, A. H. Rizvi, M. Manohar, A. A. Reddy, Z. Xaxiao and W. Chen. 2007. Uses, consumptiom and utilization. In: *Chickpea breeding and management*. Eds. S. S. Yadav, R. Redden, W. Chen and B. Sharma. Pp. 72-100. Wallingford, Oxon: CAB International.

Aproximación preliminar de un modelo de predicción para la estimación de la evapotranspiración de referencia usando sensores de humedad

Daniel Marín-Sánchez[1], Antonio Fernández-López[2], Ginés García-Mateos[1], José Miguel Molina-Martínez[3], Manuel Ferrández-Villena García[2], Antonio Ruiz-Canales[2]

[1] Departamento de Informática y Sistemas. Facultad de Informática. Universidad de Murcia, Campus de Espinardo, 30100 Murcia, España, danielms@um.es, ginesgm@um.es

[2] Departamento de Ingeniería. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández, Ctra. de Beniel, km 3,2, 03312 Orihuela, Alicante, España, aruizcanales@gmail.com, m.ferrandez@umh.es

[3] Grupo de Investigación en Ingeniería Agromótica y del Mar. Universidad Politécnica de Cartagena, Pº Alfonso XIII 52, 30203 Cartagena, Murcia, España, josemiguel.molina.martinez@gmail.com

Resumen

La evapotranspiración de un cultivo (ETc) según metodología FAO-56, es el producto de la evapotranspiración de referencia (ETo) por un coeficiente de cultivo, Kc. Los instrumentos necesarios de medida directa de ETo (lisímetros y estaciones Bowen) tienen costes elevados y son inasumibles para explotaciones de pequeño tamaño. Pero ETo se puede estimar indirectamente mediante sensores de menor coste. Se describe una aproximación preliminar a la validación de un modelo de predicción de ETo mediante sensores de humedad del suelo. En un cultivo de grama gruesa (*Pennisetum Clandestinum* L), se instalaron 4 sensores capacitivos comerciales FDR (*field domain reflectrometry*) (EnviroSCAN® de Sentek) para medir la humedad del suelo. Cada sensor tomaba datos a intervalos de 5 minutos en 4 profundidades entre mayo de 2015 y septiembre de 2016. Se contrastaron con datos de temperatura, precipitación y ETo (Penman-Monteith) de una estación agroclimática de la red del Servicio de Asesoramiento al Regante de la Comunidad Valenciana. Mediante técnicas de reconocimiento de patrones, se analizó la estimación de ETo usando sensores de humedad y datos de temperatura, precipitación y riego. El mejor método fue Randomizable Filtered Classifier, basado en el algoritmo K*. Dio un coeficiente de correlación por encima de 0,9936, error medio absoluto de 0,0899 y error medio relativo del 6,52% sobre la ETo. El método calibra un modelo de predicción para el cálculo de ETo, balance hídrico y necesidades de riego. Simplifica el número de sensores, reduce costes y consigue una herramienta potente para predecir datos agrometeorológicos y adaptarlos a microclimas específicos.

Palabras clave: Regresión estadística; reconocimiento de patrones; balance hídrico; algoritmo K*.

Preliminary approximation of a prediction model for reference evapotranspiration estimation using soil moisture sensors

Abstract

Crop reference evapotranspiration (ETc), according to FAO-56 methodology, is the product of reference evapotranspiration (ETo) by a crop coefficient, Kc. The necessary instruments for direct measurement of ETo (lysimeters and Bowen ratio stations) have high costs and are unacceptable for little size farms. However, ETo can also be indirectly estimated by means of lower cost sensors. A preliminary approximation for the validation of a prediction model of ETo by means of soil moisture sensors is described. In a crop of thick grass (*Pennisetum Clandestinum* L), 4 FDR (field domain reflectrometry, EnviroSCAN® de Sentek) commercial capacitance sensors were installed. Every sensor was gathering data in an interval of 5 minutes in 4 depths from May 2015 to September 2016. These data were contrasted with temperature, rainfall and ETo (Penman-Monteith) data from an agroclimatic station of the Irrigation Assessment Service of the Valencian Community (Spain). By

means of pattern recognition techniques, ETo estimation based on the use of soil moisture sensors and temperature, rainfall and irrigation values has been analysed. The best method was Randomizable Filtered Classifier technique, based on K* algorithm. The observed correlation coefficient is 0.9936, with an absolute average error of 0.0899 and 6.52% as relative average error. This methodology will allow calibrating a prediction model for ETo calculation and water balance and crop irrigation needs. The number of employed sensor is simplified with an associated cost reduction. Moreover, a powerful tool for prediction and adaptation of this model for specific microclimates is obtained.

Keywords: Statistical regression; pattern recognition; water balance; K* algorithm.

1. Introducción

En ciencias agrícolas, la determinación de las necesidades de agua de un cultivo a lo largo del tiempo se basa en medidas del balance de agua en el suelo, medidas en planta y demanda evaporativa. El uso de medidas de la humedad del suelo se ha adoptado como una estrategia adecuada para la estimación del balance de agua en el suelo y se han desarrollado muchos métodos para medirlo (Ramos et al., 2017; Albaugh et al., 2014). El objetivo último de estas técnicas es suministrar a los agricultores una información sobre los volúmenes de riego más apropiados para aplicar en cada período fenológico del cultivo, dependiendo de los niveles deseados de rendimiento y otros parámetros. Para la determinación de la humedad del suelo se emplea un rango amplio de sensores (Hosseini and McNairn, 2017; Vienken et al., 2013). Hay un amplio rango de técnicas de medidas de la humedad del suelo basadas en la electricidad y se han aplicado en la prospección geofísica (Linck and Fassbinder, 2014) y agronomía (Fatas et al., 2014), entre otros. En estas técnicas de medida se incluyen métodos capacitivos como la reflectometría del dominio de frecuencia (FDR) (Oates et al., 2017; Al-Asadi y Mouazen, 2014).

En la agricultura mediterránea, y en particular en el sureste español, la disponibilidad de agua en el suelo es una de las principales limitaciones para la práctica de una agricultura económicamente sostenible. Por ese motivo una correcta gestión del riego es el principal determinante de la calidad y cantidad de las cosechas obtenidas, e implica la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos y una programación óptima del riego (Osman et al., 2017; Al-Karadsheh et al., 2002; Evans y Buchleiter 2000; Sadler et al. 2005).

La evapotranspiración de un cultivo (ETc) según metodología FAO-56, es el producto de la evapotranspiración de referencia (ETo) por un coeficiente de cultivo, Kc. Este coeficiente Kc (Doorenbos y Pruitt, 1975) tiene en cuenta la fase de desarrollo de la especie cultivada, el tipo de riego (aspersión, localizado, etc.) así como las técnicas de cultivo (densidad de plantación, poda, etc.). La FAO (Allen et al., 1998) propone valores de Kc para un gran número de especies, en condiciones estándares de cultivo. Se necesita un ajuste de este coeficiente cuando las condiciones difieren de las condiciones estándares en la que se obtuvo (Kato y Kamichika, 2006). Los instrumentos necesarios de medida directa de ETo (lisímetros y estaciones Bowen) tienen costes elevados y son inasumibles para explotaciones de pequeño tamaño.

La ETo se puede estimar también indirectamente relacionando su valor con medidas mediante sensores de menor coste. De esta forma se obtendrían las características del estado hídrico del suelo (contenido en agua, potencial hídrico, balance hídrico, etc.). Estas mediciones se contrastarían con los valores de la ETo obtenidos mediante medida indirecta. Es un método de programación ampliamente extendido y utilizado por los agricultores, debido a su simplicidad, pero tiene el inconveniente de dar medidas puntuales, que pueden ser a veces no representativas de la parcela.

Todo lo expuesto previamente sugiere que, por razones de robustez, fiabilidad y coste, es recomendable combinar el método de la FAO-56 con medidas del estado hídrico del suelo. En esta comunicación se analiza mediante técnicas de reconocimiento de patrones (Yhann and Simpson, 1995), la estimación de ETo usando medidas directas de sensores de humedad y datos de

temperatura, precipitación y riego.

2. Materiales y Métodos

2.1. Adquisición de datos

El experimento se realizó entre mayo de 2015 y septiembre de 2016. Los dispositivos se probaron en una parcela experimental de 34 m^2 perteneciente a la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO) de la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH) y con filas de cultivo orientadas N-S. Se empleó grama gruesa (*Pennisetum Clandestinum* L) con cobertura total. Se emplea esta especie cespitosa para determinar directamente la evapotranspiración de referencia. El suelo de la parcela experimental es franco, con una capacidad de campo de 0,27 ($gr \cdot cm^{-3}$) y un punto de marchitez de 0,15 ($gr \cdot cm^{-3}$). El agua de riego empleada es de una calidad media, con una conductividad eléctrica ligera-moderada y un moderado contenido en sales totales. La instalación cuenta con un sistema de riego a presión con programador que suministró un riego óptimo al cultivo durante todo el ensayo.

Figura 1. Ubicación definitiva de la parcela experimental en la EPSO-UMH. Latitud 38º 4' 10.17''N y longitud 0º 59' 6.81''W. Altitud de 19 m.s.n.m.

Los datos agroclimáticos para el estudio previo del balance hídrico han sido obtenidos de la página web del IVIA, de la estación climática La Murada de Orihuela, con coordenadas UTM (678796, 4227878), instalada a 96 m sobre el nivel del mar y es una estación Modelo 3 que es el esquema mayoritario de la Red SIAR adoptado del Ministerio de Agricultura español.

El sensor FDR comercial utilizado consta de unos anillos cilíndricos dispuestos a cuatro profundidades (10, 20, 30 y 40 cm) en una única sonda, con un tubo de acceso de PVC, tipo EnviroSCAN® de Sentek. En total se instalaron 4 sensores de este tipo.

Los datos de humedad del suelo se recogieron cada 5 minutos en el período de mayo a agosto de 2015. Los sensores comerciales se instalaron y normalizaron en el laboratorio y posteriormente se realizó su instalación en la parcela experimental. Los datos recogidos por los sensores en dataloggers fueron recopilados semanalmente.

2.2. Preparación de los datos y algoritmos de regresión

Antes de su análisis, a los datos se les aplicó una preparación inicial. Puesto que las mediciones de humedad habían sido tomadas con gran frecuencia (cada cinco minutos) y los datos de evapotranspiración, precipitaciones, riego y temperatura de los que se disponía eran diarios, para

cada profundidad del sensor se calculó la media diaria, la mediana diaria y la desviación típica diaria, y fueron estos tres valores los que se consideraron en lugar de las mediciones reales. De esta manera se obtuvieron unos datos con la misma frecuencia que ya podían ser objeto de análisis.

A estos datos se les aplicaron una serie de algoritmos de aprendizaje computacional para entrenar modelos de regresión que pudieran aproximar con la mayor precisión posible la evapotranspiración a partir del resto de datos disponibles (estadísticas diarias de los sensores de humedad, temperatura, precipitaciones y riego).

Los algoritmos utilizados para entrenar los modelos fueron:

- Redes neuronales usando la herramienta Matlab (MathWorks, Inc., USA).
- Máquinas de soporte vectorial y árboles de regresión en el software libre R (R Foundation, USA).
- Todos los modelos disponibles en el programa de aprendizaje computacional libre Weka 3.8.1 (Universidad de Waikato, Nueva Zelanda).

Como ya se ha comentado, para la realización de los experimentos se disponía de datos de cuatro sensores de humedad, además de los datos de temperatura, precipitaciones, riego y evapotranspiración (el dato de referencia a predecir por los regresores). En todos estos valores había información incompleta, habiendo algunos días para los que no se tenían datos de algunos de ellos. Por eso motivo, se desecharon todos los días en los que faltaba alguno de los parámetros. Al final quedaron datos válidos de 188 días distintos.

2.3. Conjuntos de datos alternativos

Dado que bastantes días fueron eliminados por tener información incompleta, se generó un conjunto de datos alternativo al que se le aplicaron las mismas técnicas de aprendizaje computacional. Dicho conjunto se obtuvo tomando las estadísticas mencionadas anteriormente (media, mediana y desviación típica) de los sensores por periodos de 6 horas, en lugar de por días. De esta manera, por cada día completo se obtienen 4 instancias diferentes: de 0 a 6; de 6 a 12; de 12 a 18; y de 18 a 24. Puesto que no todos los días tenían datos para todas las horas, no se obtuvieron los 752 ejemplos esperados (el cuádruple de 188) sino 693.

Por último, para aumentar aún más la cantidad de instancias disponibles, también se generó un tercer conjunto de datos, siguiendo el mismo proceso que para generar el conjunto anterior, pero sin tener en cuenta los datos de uno de los cuatro sensores de humedad, el número 3, ya que éste era el que tenía más datos faltantes. Al no considerar este último sensor, el número de ejemplos aumentó hasta 931.

3. Resultados y Discusión

Las pruebas realizadas para la obtención de un modelo preciso de estimación de ETo consisten en la aplicación de todos los métodos de aprendizaje computacional antes descritos, aplicados sobre los tres conjuntos de datos creados: datos diarios, datos cada 6 horas, y datos cada 6 horas con el sensor 3 eliminado. En todos los experimentos, la división de los datos fue de 80% para entrenamiento y 20% para validación.

En la Tabla 1 se muestra el error cuadrático medio resultante de cada una de las pruebas de regresión. Puesto que en Weka se analizaron decenas de algoritmos de regresión y la mayoría tenían resultados muy pobres, solo se muestran, por brevedad, los datos del mejor algoritmo para cada conjunto de datos. Para el primer conjunto, el mejor algoritmo fue *M5 Rules* y para los otros dos el método denominado *Randomizable Filtered Classiffier*.

Tabla 1. Errores cuadráticos medios para los distintos algoritmos de regresión analizados, sobre los tres conjuntos de datos disponibles

Algoritmo	Datos diarios	Datos con frecuencia 6 h	Datos con sensor 3 eliminado
Árbol de regresión	0.7000	0.6700	0.6600
Mejor modelo de Weka	0.4973	0.3567	**0.1829**
SVM	0.5354	0.4994	0.4043
Red neuronal	0.5481	0.3037	0.2972

Tras analizar los resultados de las pruebas con distintos modelos y ajustar los hiperparámetros de los algoritmos de aprendizaje computacional, se puede observar que de forma global los menores errores fueron los obtenidos utilizando el algoritmo *Randomizable Filtered Classiffier* de Weka sobre el tercer conjunto de datos (el que incluye los sensores agrupados cada 6 horas sin tener en cuenta los del sensor 3, del que se tenía mucha información incompleta). Dicho algoritmo toma a su vez otro algoritmo como hiperparámetro; el que mejores resultados generó fue *K** con un valor de *global blend* de 15.

Respecto a las estadísticas de los resultados, el mejor modelo proporcionó unas predicciones con un coeficiente de correlación de 0.9936 y un error cuadrático medio de 0.1829. El error medio absoluto fue de 0.0899, lo que expresado en términos relativos sobre los valores de la ETo se traduce en un error medio relativo del 6,52%.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de predicciones de la ETo usando el método óptimo, en comparación con los valores reales obtenidos con el método de Penman-Monteith, para un subconjunto de los datos formado por 233 medidas de evapotranspiración reales y sus correspondientes estimaciones.

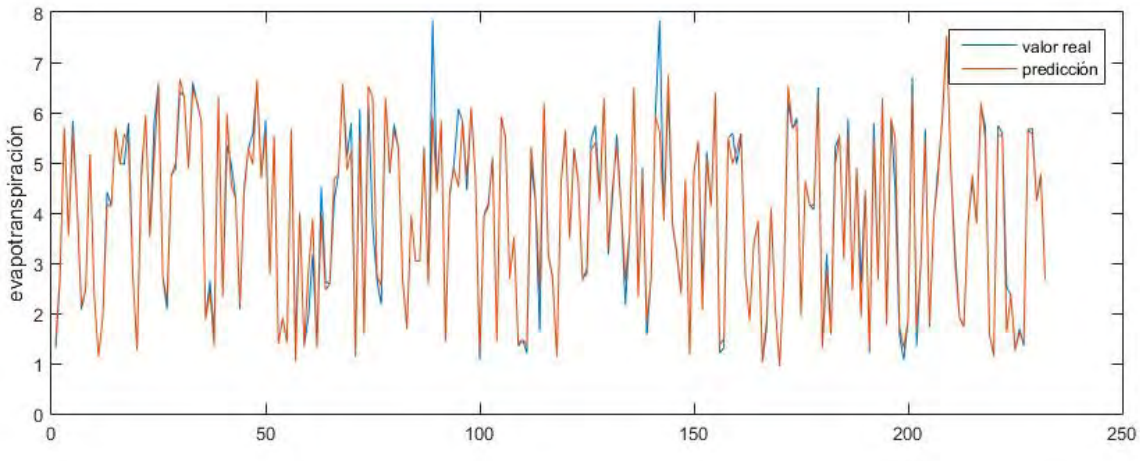


Figura 2. Gráfica con valores de evapotranspiración reales y predicciones generadas por el modelo

Por otra parte, en la Figura 3 se muestra la comparativa entre valores reales y predichos por el citado el algoritmo *Randomizable Filtered Classiffier.* La recta de regresión que aparece corresponde a la ecuación:

$$y = 0.9518x + 0.1699 \quad (1)$$

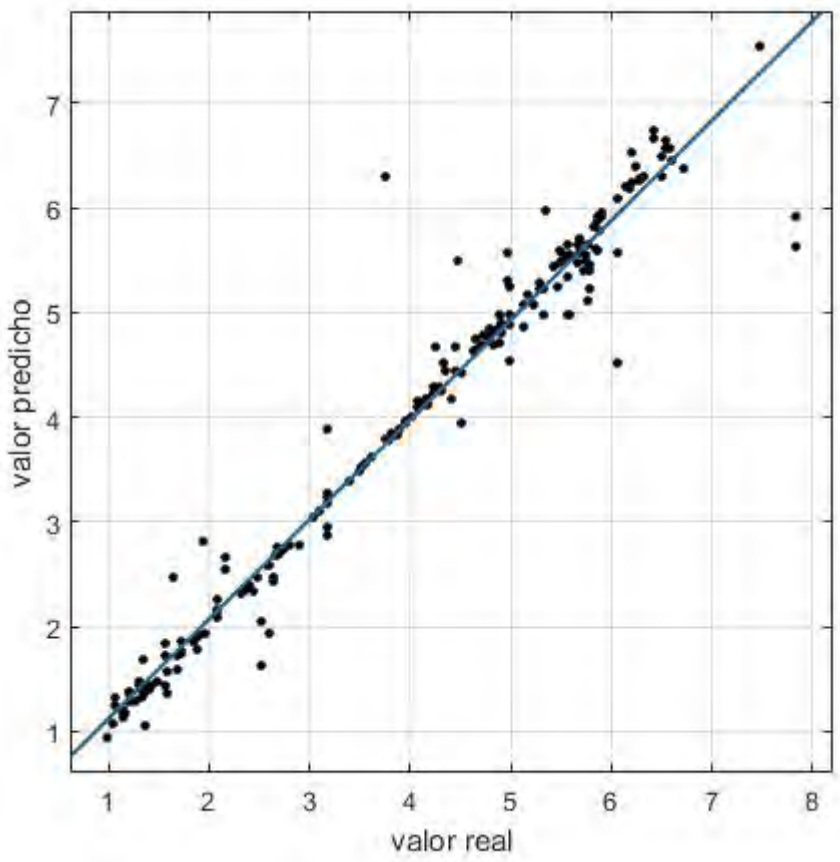


Figura 3. Gráfica de correlación entre los valores reales de evapotranspiración y las predicciones del modelo Randomizable Filtered Classiffier

Por último, en la figura 4 se muestra un histograma que recoge la distribución de los errores cometidos al aproximar la evapotranspiración, para el mismo subconjunto de datos. Como puede verse, la gran mayoría de los errores están en un intervalo de ±1, siendo muy poco los ejemplos en los que se comete un error mayor.

4. Conclusiones

En este trabajo se han presentado los resultados preliminares de una investigación cuyo propósito último es crear un modelo preciso que permita estimar la evapotranspiración de referencia (ETo) usando sensores de humedad del suelo. Los resultados obtenidos con estos experimentos indican que es posible obtener una aproximación muy precisa de ETo utilizando únicamente los datos de temperatura, precipitaciones, riego y humedad, mediante técnicas genéricas de aprendizaje computacional. El alto coeficiente de correlación entre el valor predicho y el valor real (mayor que 0.99) indica que este método podría usarse como un sustituto efectivo de los lisímetros y estaciones Bowen, requiriendo dispositivos mucho más baratos.

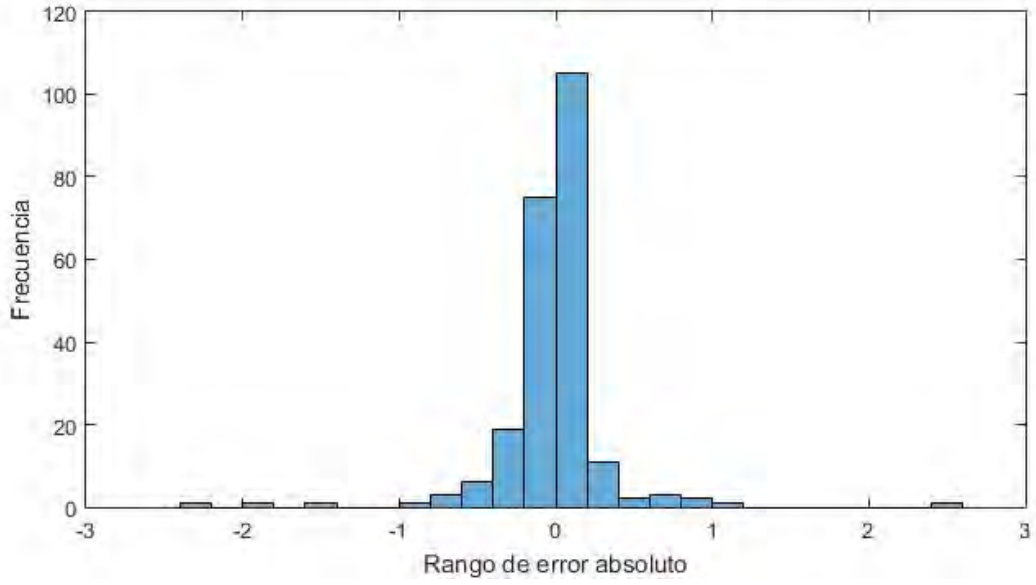


Figura 4. Histograma de los errores absolutos cometidos por el modelo de regresión Randomizable Filtered Classiffier

No obstante, el hecho de que los resultados sean preliminares significa que es necesario realizar más experimentos en este sentido. Por ejemplo, dado que la adquisición de datos se ha realizado en un único entorno, sería aconsejable hacer más pruebas en entornos diferentes con climas diferentes, cultivos, tipos de suelo, etc., puesto que unas condiciones diferentes podrían producir cambios significativos en la evapotranspiración y podrían afectar a la efectividad del modelo creado. Aunque los modelos fueran diferentes, se podría usar el mismo proceso de obtención de datos, preparación y comparación de algoritmos, descrito en este artículo.

Finalmente, el modelo presentado no tiene en cuenta los conocimientos a priori acerca del cálculo de la evapotranspiración, y se limita a utilizar un algoritmo general de aprendizaje computacional. Es probable que los resultados obtenidos puedan ser mejorados en el futuro introduciendo cambios en el modelo para tener en cuenta estos conocimientos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el MINECO español, así como los fondos FEDER de la Comisión Europea, bajo el proyecto TIN2015-66972-C5-3-R.

Bibliografía

Al-Asadi, R. A. and Mouazen, A. M. 2014. Combining frequency domain reflectometry and visible and near infrared spectroscopy for assessment of soil bulk density. *Soil and Tillage Research*, *135*, 60-70.

Al-Karadsheh, E., Sourell, H. and Krause, R. 2002. Precision Irrigation: New strategy irrigation water management. In *Conference on International Agricultural Research for Development*. Deutscher Tropentag, Witzenhausen (pp. 9-11).

Albaugh, J.M., Domec, J.-C., Maierc, C.A., Sucre, E.B., Zakiya, H., Leggettd, Z.H. and King, J.S. 2014. Gas exchange and stand-level estimates of water use and gross primary productivity in an experimental pine and switchgrass intercrop forestry system on the Lower Coastal Plain of North Carolina, U.S.A. *Agric. For. Meteorol*. 192–193, 27–40.

Allen, Rick G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Papers. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1975. *Crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage. Paper nº 24. Roma.

Evans, R.G, and Buchleiter, G. W. 2000. "*Controls for Precision Irrigation with Self-Propelled Systems.*"

Fatas, E., Vicente, J., Latorre, B., Lera, F., Vinals, V., Lopez, M.V., Blanco, N., Pena, C., Gonzalez-Cebollada, C. and Moret-Fernandez, D. 2014. TDR-LAB 2.0 Improved TDR Software for soil water content and electrical conductivity measurements. *Procedia Environ. Sci*. 19, 474–483.

Hosseini, M., and McNairn, H. 2017. Using multi-polarization C- and L-band synthetic aperture radar to estimate biomass and soil moisture of wheat fields. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 58: 50-64.

Kato, T; Kamichika, M. 2006. Determination of a crop coefficient for evapotranspiration in a sparse sorghum field. *Irrigation and Drainage*, 55 (2): 165-175.

Linck, R. and Fassbinder, J.W.E. 2014. Determination of the influence of soil parameters and sample density on ground-penetrating radar: a case study of a Roman picket in Lower Bavaria. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 6 (1), 93–106.

Oates, M.J., Ramadan, K., Molina-Martínez, J.M. and Ruiz-Canales, A. 2017. Automatic fault detection in a low cost frequency domain (capacitance based) soil moisture sensor. *Agricultural Water Management*, 183: 41-48.

Osman, H., Ammar, M. and El-Said, M. 2017. Optimal scheduling of water network repair crews considering multiple objectives. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23 (1): 28-36.

Ramos, T.B., Simionesei, L., Jauch, E., Almeida, C. and Neves, R. 2017. Modelling soil water and maize growth dynamics influenced by shallow groundwater conditions in the Sorraia Valley region, Portugal. *Agricultural Water Management* 185: 27–42.

Sadler, E.J., Evans, R.G., Stone, K.C. and Camp, C.R. 2005. Opportunities for Conservation with Precision Irrigation. *Journal of Soil and Water Conservation*, Soil and Water Conservation Society, 60 (6): 371–79.

Vienken, T., Reboulet, E., Leven, C., Kreck, M., Zschornack, L. and Dietrich, P. 2013. Field comparison of selected methods for vertical soil water content profiling. *J. Hydrol.* 501, 205–2012.

Yhann, S.R. and Simpson, J.J. 1995. Application of neural networks to AVHRR cloud segmentation. IEEE *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33 (3): 590-604.

Efeito do regime hídrico e da fertilização azotada no rendimento e qualidade da cultura do tomate

Miclay Carvalho[1], M. Ângelo Rodrigues[2], A. Castro Ribeiro[3]

[1] 1 ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal. miclaycarvalho9@gmail.com

[2,3] Centro de Investigação da Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal. angelor@ipb.pt; antrib@ipb.pt

Resumo

O uso da água e fertilizantes na agricultura de forma sustentável tornou-se uma prioridade, simultaneamente com a implementação de técnicas culturais que mantenham rendimentos elevados, melhorando assim as produtividades da água e da fertilização. O objetivo desse estudo consiste em avaliar os efeitos de diferentes níveis de rega e de fertilização azotada no rendimento e qualidade da cultivar de tomate coração-de-boi.

O ensaio foi delineado em talhões subdivididos ("split block") com três tratamentos de irrigação: 33,3%ETc (R1); 66,7%ETc (R2) e 100%ETc (R3) e quatro níveis de azoto: sem azoto (N0), 50 kg ha^{-1} (N1), 100 kg ha^{-1} (N2) e 200 kg ha^{-1} (N3). Avaliou-se o efeito dos tratamentos nas componentes da produção e da qualidade, no azoto aparentemente recuperado (NAR) e na produtividade da água.

Os resultados mostram, para produtividade total e comercial, uma interação significativa entre fertilização azotada e lâminas de água aplicadas. No tratamento N3R2 registou-se a maior produtividade (102,5 Mg ha^{-1}) que foi significativamente superior aos restantes tratamentos. A consistência e o pH não foram afetadas pelos níveis de azoto e rega. O azoto aparentemente recuperado (NAR) aumentou linearmente com o aumento da dose de fertilizante azotado. No tratamento N3 registou-se o maior valor de NAR (23,3 %).

A rega deficitária teve um efeito no aumento do teor de sólidos solúveis totais e na produtividade da água. O tratamento R1 registou o maior valor de produtividade da água com 22,6 kg m^{-3}, seguido do tratamento R2 e R3 com 16,1 kg m^{-3} e 8,8 kg m^{-3}, respetivamente.

Palavras-chave: Rega deficitária, produtividade da água, azoto aparentemente recuperado, *Solanum lycopersicum*.

Effect of irrigation and nitrogen fertilization on tomato fruit yield and quality

Abstract

Sustainable water and fertilizer used in agriculture has become a priority, along with the adoption of field management strategies that maintain high yields, thus improving both fertilizer and water productivity. The objective of this study was to evaluate the effects of different levels of irrigation and nitrogen fertilization on yield and quality parameters of the tomato fruit (cv. coração-de-boi)

The experiment was arranged as a split block design with three irrigation treatments: 33.3%ETc (R1); 66.7%ETc (R2) e 100%ETc (R3) and four nitrogen rates: no nitrogen (N0), 50 kg ha^{-1} (N1), 100 kg ha^{-1} (N2) and 200 kg ha^{-1} (N3). The effect of the treatments on the production and quality components, apparent nitrogen recovery (ANR) and water productivity was evaluated.

The results show, for total and commercial yield, a significantly interaction between nitrogen fertilization and irrigation. The highest yield was 102.5 Mg ha^{-1} in the N3R2 treatment, which was significantly higher than the yields from the other treatments. Consistency and pH were not affected by nitrogen and water levels. Apparent nitrogen recovery (ANR) increased linearly with increasing level of nitrogen fertilizer. The highest ANR was 23.3% in the N3 treatment.

The deficit irrigation treatments had an effect on the increase of total soluble solids content and water productivity. The water productivity (WP) was strongly related to the type of irrigation treatment used. The mean WP for the R1 treatment was 22.6 kg m^{-3}, followed by R2 (16.1 kg m^{-3}) and R3 treatment (8.8 kg m^{-3}).

Keywords: Deficit irrigation; water productivity; apparent nitrogen recovery; *Solanum lycopersicum*

1. Introdução

A população mundial aumentou de 3,1 bilhões em 1961 para 7,4 bilhões em 2016. Porém estima-se que em 2050 a população mundial atingirá 9,7 bilhões. Entretanto, a área irrigada duplicou e o consumo de água triplicou (FAO, 2015). As alterações climáticas terão um impacto crescente e notável, em particular sobre a agricultura e os recursos hídricos. A FAO estima que em 2050 a agricultura continuará a ser o maior sector consumidor de água a nível mundial. Contudo, hoje, a escassez de água afeta mais de 40% da população mundial, uma percentagem que alcançará os 2/3 em 2050 (FAO, 2016).

Depois da revolução industrial a agricultura está em constante evolução, doravante o sistema de irrigação tem de se adaptar às novas exigências, que consiste no uso racional e eficiente da água, bem como aumentar a produtividade da água. Segundo FAO (2015), a produção mundial de alimentos superou o crescimento demográfico. Este aumento da produtividade agrícola deveu-se ao melhoramento genético, com a produção das novas variedades, utilização racional de fertilizantes e a irrigação. O tomate é a segunda cultura hortícola mais importante em termos de área cultivada no mundo seguido da cultura da batata (FAOSTAT, 2015).

A nutrição mineral é um dos fatores de maior relevância na produtividade e na qualidade nutricional dos frutos do tomate. De entre os principais nutrientes destaca-se o azoto, sendo esta cultura muito exigente neste nutriente (Farneselli et al., 2015). O azoto é um dos elementos químicos que mais consomem energia. A fixação industrial requer pressão e temperatura elevadas para fazer a rotura da ligação covalente tripla entre os átomos de moléculas N2, o que aumenta o custo da sua produção (Wang et al., 2013).

A cultura do tomateiro é geralmente irrigada por superfície o que provoca perdas de água por escoamento superficial e erosão do solo. Além disso, o excesso de água de irrigação conduz a uma menor produtividade da água, ou seja, a uma menor razão entre rendimento da cultura e a água utilizada (Zheng et al., 2013). Logo, o uso sustentável da água e adubação na agricultura tornaram-se uma prioridade global e a adoção de estratégias de irrigação que permitam fazer uma melhor gestão de água de irrigação, melhorando a eficiência do uso da água, doravante poderão contribuir para a preservação deste recurso (Patanè et al., 2011; Wang et al., 2013), em particular, nas regiões de maior escassez de água. Além disso, a maximização da produtividade da água pode ser mais rentável para o agricultor do que a maximização do rendimento das culturas (Costa et al., 2007; Kuşçu et al., 2014).

No contexto da melhoria da produtividade da água, há um interesse crescente na irrigação deficitária (ID), uma prática de irrigação na qual se aplica uma quantidade de água de rega inferior às necessidades máximas da cultura, mas para que a planta não entre em stresse hídrico severo, permitido, assim, efeitos mínimos sobre a quebra do rendimento (Pereira, 2004). Em caso de seca ou pouca disponibilidade de água a ID pode levar a maiores ganhos económicos e maximizar os rendimentos por unidade de água. No entanto, esta abordagem requer um conhecimento preciso sobre a resposta da cultura ao stresse hídrico em diversas fases do seu desenvolvimento (Jensen et al., 2010; Birhanu e Tilahun, 2010).

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar o efeito de diferentes níveis de rega e de fertilização azotada no rendimento da cultura do tomate e nos principais parâmetros de qualidade.

2. Material e Métodos

O ensaio decorreu na área experimental da Quinta de Santa Apolónia da Escola Superior Agrária de Bragança, Portugal (Latitude: 41°48'20'' N; Longitude: 6°45'25'' W; Altitude: 673 m), no período de junho a outubro de 2016. O clima do local, segundo classificação de Köppen, é do tipo mediterrâneo (Csa), com precipitação e temperatura média anual de 758,3 mm e 12,3°C, respetivamente. O solo onde foi instalado o ensaio é classificado como Regossolo Eutrico (FAO, 2006).

Os tratamentos consistiram em três dotações de rega (R1 corresponde a 33,3%, R2 a 66,7% e R3 a 100% da evapotranspiração da cultura (ETc)) e quatro níveis de azoto (N0 sem N, N50 corresponde a 50 kg ha^{-1}, N100 a 100 kg ha^{-1} e N200 a 200 kg ha^{-1}, respetivamente) na variedade "coração de boi". O ensaio foi delineado em talhões subdivididos ("split block") em que os talhões principais ou grandes talhões são as dos níveis de azoto e os pequenos talhões (sub-talhões) as diferentes dotações de rega. Foram efetuadas três repetições por cada tratamento. A dimensão de cada sub-talhão foi de 2 x 4m. A dimensão total da parcela é 160 m^2.

Antes do transplante foram aplicados fertilizantes de acordo com as recomendações de análises do solo realizadas para o efeito: 150 kg de nitrato de potássio (K20) ha^{-1}, 150 kg de superfosfato (P2O5) ha^{-1} e sem N (N0), 25 kg de nitrato de amónio (NH4 NO3) ha^{-1} (N50), 50 kg de nitrato de amónio (NH4 NO3) ha^{-1} (N100) e 100 kg de nitrato de amónio (NH4 NO3) ha^{-1} (N200). Fez-se duas aplicações: a primeira antes do transplante e a segunda 45 dias após o transplante, sendo sem N (N0), 25 kg de nitrato de amónio (NH4 NO3) ha^{-1} (N50), 50 kg de nitrato de amónio (NH4 NO3) ha^{-1} (N100) e 100 kg de nitrato de amónio (NH4 NO3) ha^{-1} (N200), respetivamente. As plantas foram transplantadas em 31 de maio de 2016 com 2 meses após a sementeira, com um compasso de plantação foi 0,50 por 0,50 m. O sistema de condução foi em eixo central com um caule principal.

A rega foi feita de acordo com a evapotranspiração da cultura (ETc) para cada tratamento. A ETc foi determinada com base nos coeficientes culturais (Kc) e na evapotranspiração de referência (ETo) (Equação 1). A ETo foi calculada pelo método Penman-Monteith (Allen et al., 2006).

$$ETc = ETo\ Kc \quad (1)$$

A dotação real de rega foi calculada de acordo com equação:

$$R = \frac{ETc - Pu}{Ef} \quad (2)$$

Onde *R* é dotação de rega (mm); *ETc* a evapotranspiração da cultura (mm); *Pu* a precipitação útil (mm) e *Ef* a eficiência de rega. Foi considerada uma eficiência de rega de é 95%. A *Pu* foi determinada de acordo com o método da FAO (Smith, 1992). A rega foi efetuada pelo método de rega gota-a-gota com uma rampa por linha de planta, com gotejadores de 1,5 L h^{-1} distanciados de 0,20 m. Foram efetuadas três regas por semana com um intervalo de rega de um a dois dias. A rega iniciou-se após a transplantação, em 08 junho, e terminou no dia 07 de outubro.

A colheita foi realizada manualmente, de forma escalonada em 12 plantas por cada tratamento. A primeira colheita ocorreu no dia 05 de agosto de 2016 e estendeu-se até 10 de outubro. Os frutos foram colhidos entre rosa-esverdeado e róseo ou seja entre 3 e 4 na escala de maturação (Paula, 2013).

Foram avaliadas as características quantitativas e qualitativas da produção por tratamento. Foi determinado número de frutos por planta, diâmetro do fruto, massa fresca do fruto, produção, produtividade e biomassa total. Em relação a característica qualitativa foi determinado o pH da polpa, o teor de sólidos solúveis totais (°Brix), a consistência e o teor de azoto, potássio, fósforo, magnésio e cálcio.

A produção média de frutos (kg $planta^{-1}$), para cada sub-talhão experimental, foi calculada com base no número de frutos por planta e na respetiva massa fresca. A partir dos dados de produção por planta, calculou-se a produtividade da cultura (Mg ha^{-1}). A produção total (PT) é a soma da produção

comercial e a produção de frutos descartados. A produção comercial (PC) representa a soma da produção de frutos grandes, médios e pequenos.

O teor em sólidos solúveis totais foi determinado por refratometria. O pH foi obtido por leitura em potenciômetro digital. A consistência foi determinada com o auxílio de um TA.XT plus Texture Analyser (Stable Micro Systems Ltd, Surrey, United Kingdom) com ponteira de 2 mm de diâmetro. Para a determinação da consistência foram utilizados 3 frutos por cada tratamento, num total de 36 amostras por parcela, dos quais foi retirada, em três pontos dos frutos, uma camada fina de epiderme do fruto com auxílio de um bisturi. Em seguida, os frutos foram perfurados com a agulha do texturómetro na área sem epiderme. A pressão para perfurar o fruto, fornecida pelo texturómetro e expressa em kiloPascal (kPa), foi utilizada para avaliar a consistência do fruto.

Para análise do fruto e folha colheu-se 3 amostras por cada sub-talhão, num total de 36 amostras por parcela. As amostras foram secas em estufa à temperatura de 70 °C, até peso constante. Em seguida, o material foi moído num moinho da marca Foss, modelo cyclotec™ 1093. O azoto foi determinado pelo método Kjeldahl (Bremmer, 1996).

O processo de cálculo do azoto aparentemente recuperado (NAR, %) consistiu em subtrair ao azoto contido na biomassa aérea das plantas das modalidades fertilizadas, o azoto contido na biomassa aérea das plantas da modalidade testemunha. Este valor foi dividido pela quantidade de azoto aplicado como fertilizante (Rodrigues e Coutinho, 2000; Rodrigues et al., 2006). O azoto aparentemente recuperado foi calculado a partir da seguinte equação:

$$\text{NAR (\%)} = \frac{\text{Modalidades fertilizadas} - \text{Modalidade testemunha (não fertilizada)}}{\text{Azoto aplicado como fertilizante}} \quad (3)$$

Para o cálculo da NAR usaram-se os três valores de N0 de diferentes lâminas de água.

O cálculo da produtividade da água (WP) foi efetuado através da seguinte equação:

$$\text{WP} = \frac{\text{Produção total}}{\text{Água aplicada}} \quad (4)$$

em que *WP* é a produtividade de água (kg m^{-3}); a produção total considerada em (kg ha^{-1}) e a quantidade da água aplicada através da rega mais a precipitação útil em m^3 ha^{-1}.

A análise dos dados foi efetuada com programa estatístico IBM SPSS Statistics 22. As médias com diferenças significativas foram separadas com o teste Tukey HSD (α = 0,05).

3. Resultados e Discussão

3.1. Condições meteorológicas durante o ensaio e água aplicada

Durante o período do ensaio, a temperatura do ar variou entre 2,3 e 37,9°C (Figura 1). O tempo térmico diário foi determinado pela acumulação da diferença entre temperatura média do ar e a temperatura de base. Foi utilizada uma temperatura de base de 10°C para a cultura de tomateiro (Zotarelli et al., 2009a). O tempo térmico acumulado aumentou consoante as etapas de desenvolvimento da cultura, sendo de 152,1, 686,3, 1205,3 e 1342,2°C dia para as fases inicial, de desenvolvimento, intermédia e final, respetivamente (Tabela 1). A precipitação acumulada durante o período em que ocorreu a realização do ensaio foi de 36,0 mm, distribuída por 12 dias. O mês de setembro foi o mês que registou a maior precipitação acumulada com 20,4 mm.

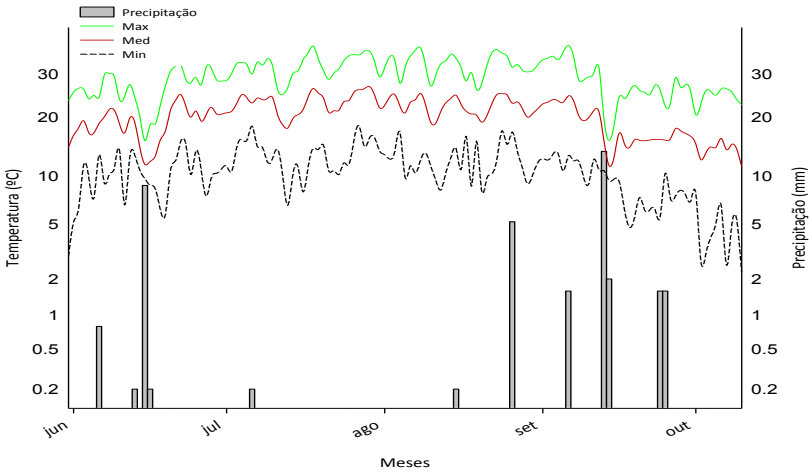


Figura 1. Curso da temperatura média, máxima e mínimas do ar (°C) e precipitação (mm) durante o período do ensaio

A evapotranspiração da cultura aumentou de acordo com as etapas de desenvolvimento da cultura e o coeficiente cultural (Tabela 1). O Kc é estimado para simplificar e padronizar o cálculo das necessidades hídricas da cultura, sendo definido como a fração entre a ETc e evapotranspiração de uma superfície de referência, ETo (Equação 1). Esse coeficiente integra os efeitos da altura de cultura, da evaporação do solo e da taxa de transpiração da cultura (Allen et al., 2006).

Tabela 1. Valores acumulados de da evapotranspiração da cultura(ETc), evapotranspiração de referencia (ETo), precipitação, tempo térmico, e dotações de rega (R1, R2 e R3) em função das etapas de desenvolvimento da cultura do tomateiro

Fases	Duração (dias)	ETc (mm)	ETo (mm)	Precipitação (mm)	Tempo térmico (^{o}C dia^{-1})	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)
Inicial	21	63,57	105,9	10,0	152,1	14,9	36,1	60,6
Desenvolvimento	42	217,96	247,6	0,2	686,3	72,9	145,5	229,7
Intermédia	42	236,52	205,7	7,0	1205,3	74,8	153,7	244,9
Final	28	75,41	82,5	18,8	1342,2	13,2	38,3	67,4
Total	133	593,46	641,7	36,0	1342,2	175,7	373,5	602,6

3.2. Produtividade

Os resultados mostram que a houve interação significativa entre fertilização azotada e lâminas de rega para produtividade total e comercial, número de frutos por planta, sendo que N200R2 apresentou melhor resultado e N0R3 obteve pior. Resultados semelhantes foram obtidos por Erdal et al. (2006) e Ferreira et al. (2010). O azoto afetou significativamente o número total de frutos por planta, número total de frutos por hectare, número total de frutos comerciais. O tratamento que obteve a maior quantidade de frutos foi N200R2, com média de 21,0 frutos por planta e a menor produção foi para N50R3, com 7,3 frutos por planta (Tabela 2). Resultados semelhantes foram registados por Elia e Conversa (2012). Neste ensaio a dose N50 obteve menor número de frutos por planta e consequentemente menor produtividade, embora não havendo diferenças significativas entre tratamentos (N0 e N50). Pensa-se que isto se deveu à mortalidades de plantas no tratamento (N50) antes do término do ciclo. Porém, o número de frutos por planta e a massa média fresca dos frutos estão diretamente ligados à produtividade. É o caso do tratamento N200R2 que obteve maior quantidade de frutos, produtividade total de 102,5 Mg ha^{-1} e comercializável de 100,8 Mg ha^{-1}. No caso do tratamento N200R1, obteve-se 20,2 frutos por planta, uma produtividade total de 58,6 Mg ha^{-1} e 52,7 Mg ha^{-1} para produtividade comercializável. Sendo tal valor consequência da massa por

fruto, que ficou abaixo do recomendado para comercialização. Birhanu e Tilahun (2010) registaram valores médios de número de frutos por planta em torno de 14 a 59 com as variedades de tomate Melka Shola e Melkassa Marglob. A massa média fresca por fruto variou entre 0,07 e 0,14 kg, para os tratamentos N50R1, N200R1 e N50R3, respetivamente. Porém, dentro da produção comercializável, a massa média fresca variou de 0,10 a 0,12 kg por fruto (Tabela 2). Essa diferença de massa entre produção total e produção comercializável deve-se ao fato de na produção total estarem incluídos os frutos que foram descartados. Como na produtividade comercializável se excluem os frutos com defeitos e com um determinado calibre (Regulamento (CE) n.o 543/2011 da comissão, 2011), a massa média por fruto tem a tendência a ser superior em comparação a massa média total por fruto. Marodin (2011) registou uma massa média de frutos de 0,088 kg, valores próximos aos dos tratamentos N0R1 e N100R1 neste ensaio. Elia e Conversa (2012) obtiveram uma massa média por fruto em torno 0,037 a 0,045 kg com as doses de azoto N300 a N200 kg ha^{-1}, valores muitos inferiores aos registados neste ensaio. Elnesr et al. (2015) também observaram uma massa média de fruto entre 0,11 a 0,15 kg, valores bastantes próximos aos registados nos tratamentos N0R2, N0R3, N50R2, N50R3, N100R2, N200R2 e N200R3.A massa média dos frutos no tratamento R1 foi inferior à dos tratamentos R2 e R3 (Tabela 2). Resultados semelhantes foram registados por Zhai et al. (2016). A fertilização azotada não afetou significativamente (p= 0,929) a massa fresca média de fruto.

Tabela 2. Valor médios de produtividade total (P total) de tomate, produtividade comercializável (P comercial), número total de frutos (NTF) por planta, número total de frutos por hectare, número total de frutos comercializáveis (NTFC) por hectare, massa média fresca por fruto (MMFF), massa média fresca por fruto comercializável (MMFC) em função da dose de azoto (N0, N50, N100, N200) e lâmina de água aplicadas (R1, R2, R3).

Tratamento	P total (Mg ha^{-1})	P comercial (Mg ha^{-1})	NTF $planta^{-1}$ (nº)	NTF ha^{-1} (nº)	NTFC ha^{-1} (nº)	MMFF (kg)	MMFC (kg)
N0R1	40,3 ^{bcd}	36,6 ^{bcd}	14,25 ^{c}	570000 ^{b}	356667 ^{b}	0,08 ^{b}	0,10 ^{a}
N0R2	50,7 ^{c}	49,0 ^{c}	11,75 ^{c}	470000 ^{b}	356667 ^{b}	0,12 ^{a}	0,12 ^{a}
N0R3	27,3 ^{d}	25,2 ^{d}	8,42 ^{c}	336667 ^{b}	193333 ^{b}	0,11 ^{a}	0,11 ^{a}
N1R1	34,3 ^{cd}	31,7 ^{cd}	13,50 ^{c}	540000 ^{b}	360000 ^{b}	0,07 ^{b}	0,10 ^{a}
N1R2	33,6 ^{cd}	33,0 ^{cd}	8,58 ^{c}	343333 ^{b}	296667 ^{b}	0,11 ^{a}	0,10^{a}
N1R3	27,7 ^{d}	25,3 ^{d}	7,33 ^{c}	293333 ^{b}	183333 ^{b}	0,14 ^{a}	0,10 ^{a}
N2R1	44,6 ^{bcd}	41,5 ^{bcd}	14,67 ^{b}	586667 ^{ab}	403333 ^{ab}	0,08 ^{b}	0,10 ^{a}
N2R2	67,3 ^{b}	65,6 ^{b}	14,83 ^{b}	593333 ^{ab}	496667 ^{ab}	0,12 ^{a}	0,11 ^{a}
N2R3	70,0 ^{b}	67,1 ^{b}	17,25 ^{b}	690000 ^{ab}	530000 ^{ab}	0,10 ^{a}	0,10 ^{a}
N3R1	58,6 b^{cd}	52,7 ^{bcd}	20,17 ^{a}	806667 ^{a}	566667 ^{a}	0,07 ^{b}	0,10 ^{a}
N3R2	102,5 ^{a}	100,8 ^{a}	21,00 ^{a}	840000 ^{a}	736667 ^{a}	0,12 ^{a}	0,11 ^{a}
N3R3	100 ^{a}	97,1 ^{a}	20,75 ^{a}	830000 ^{a}	633333 ^{a}	0,13 ^{a}	0,12 ^{a}

†Médias seguidas da mesma letra na coluna não são significativamente diferentes pelo teste Tukey HSD (α=0,05)

A produção por planta variou de 0,68 a 2,56 kg, para os tratamentos N0R3 e N200R2, respetivamente. Borgognone et al. (2013) em sistema de cultivo hidropónico com tomate enxertado obtiveram um valor médio da produção por planta em torno de 0,77 a 1,22 kg, valores muito abaixo aos registados nos tratamentos N0R1, N50R1, N50R2 e N100R1, deste ensaio. Malash et al. (2008), num estudo sobre efeito de diferentes métodos de irrigação na produtividade e qualidade do tomate da cultivar Floradade, encontraram valores médios de produção por planta entre 0,26 a 3,19 kg. Relativamente à produtividade comercializável, o tratamento N200R2 foi o que obteve maior produtividade comercializável com 100,8 Mg ha^{-1}, sendo o tratamento N0R3 o que obteve o menor resultado com 25,2 Mg ha^{-1}. O nível de fertilização azotada que obteve melhor produção foi N200, com diferenças significativas (p =0,0001) para N100, N50 e N0. Os níveis de azoto N50 e N0 não se diferenciaram significativamente (p=0,837), nem as diferenças entre os níveis N0 e N100 (p=0,088). Marouelli et al. (2014) obtiveram as melhores produtividades do tomateiro com as doses de N de 287 kg ha^{-1} e 270 kg ha^{-1}. A lâmina de água R1 registou menor produtividade seguida de R3 e R2.

Embora, a lâmina da água R2 tenha registado melhor produtividade, esta não se diferenciou significativamente (p=0,116) da R3, mas foi diferente (p=0,0001) da R1.

3.3. Qualidade do fruto

Os resultados mostraram que a variável SST foi afetada pela rega (p < 0,05). O teor em SST aumentou com a diminuição de água aplicada. O valor médio foi de 4,78 °Brix para o tratamento R1 e 4,21 para R2 e 4,44 para R3 (Tabela 3). Resultados semelhantes foram registados por Birhanu e Tilahun (2010), Zhai et al. (2016) e Zheng et al. (2013) que observaram uma relação linear decrescente do teor de sólidos solúveis totais com o aumento da lâmina de água de irrigação.

Tabela 3. Teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix), potencial hidrogeniónico (pH) e consistência do fruto em função da dose de azoto (N0, N50, N100, N200) e lâmina de água aplicadas (R1, R2, R3).

Tratamento	SST (°Brix)	pH	Consistência (KPA)
N aplicado (kg ha^{-1})			
0	4,38^{a}	4,21^{a}	335,71^{a}
50	4,60^{a}	4,22^{a}	387,20^{a}
100	4,45^{a}	4,18^{a}	400,97^{a}
200	4,48^{a}	4,21^{a}	372,28^{a}
Lâminas de rega			
R1	4,78^{a}	4,20^{a}	355,75^{a}
R2	4,21^{b}	4,19^{a}	423,94^{a}
R3	4,44^{b}	4,21^{a}	342,44^{a}

†Médias seguidas da mesma letra na coluna não são significativamente diferentes pelo teste Tukey HSD (α=0,05)

Os resultados mostraram que os valores de pH variaram entre 4,18 para o tratamento N100 e 4,22 para o tratamento N50 (Tabela 3). Valores semelhantes foram registados por Genuncio et al. (2010). Assunção (2016), num ensaio com diferentes fontes e doses de azoto com o tomate Dominador (híbrido comercial), registou valores de pH que variaram entre 4,0 e 4,3. Delazari (2014) e Machado e Oliveira (2005) registaram valores do pH que variaram na faixa de 4,24 a 4,39 num ensaio com diferentes regimes e profundidades de irrigação por gota-a-gota subterrânea. Ferreira et al. (2006) e Soto et al. (2015) também registaram valores médios do pH entre 4,58 a 4,61 com diferentes doses de azoto. A rega e fertilização azotada não afetaram significativamente (p = 0, 930) o pH.

Os resultados mostraram que os valores de consistência variaram entre 335,71 e 423,94 kPa (Tabela 3). Em relação à consistência dos frutos, não foram observadas diferenças significativas (p = 0,168) entre os tratamentos. Assunção (2016) encontrou valores próximos dos registados neste ensaio, mas sem diferenças significativas quando aplicada a dose de 100 kg ha^{-1}. Registou, no entanto, diferenças significativas para uma dose de 400 kg ha^{-1} com diferente fonte de azoto. Porto (2013) também não encontrou diferenças significativas na consistência dos frutos de tomate num ensaio em que estudou diferentes doses de azoto na produção e qualidade comercial dos frutos. Soto et al. (2015) também não encontram diferenças significativas na consistência do fruto num ensaio conduzido em fertirrigação em estufa e com diferentes doses de azoto. Em ensaios realizados em estufa Bénard et al. (2009) observaram diferenças significativas na consistência do fruto do cultivar Clotilde para diferentes doses de azoto. Segura et al. (2009) constataram a existência de uma interação significativa entre azoto e rega para a cultivar Pitenza, num ensaio conduzido em estufa.

3.4. Produtividade de água e azoto aparentemente recuperado

Os resultados mostraram que a produção média total de tomate aumentou com o aumento da dose de azoto, exceto em N50 em que se registou menor produção total (Tabela 4). A fertilização azotada afetou significativamente a concentração de azoto. Contudo, observa-se a maior concentração de azoto nos frutos nos tratamentos R1 e R2, enquanto R3 registou menor concentração. Já nas folhas,

verificou-se a situação inversa, visto que com a lâmina da água R3 registou-se uma concentração de azoto superior à R2 (Tabela 4).

Tabela 4. Produção média de tomate, azoto aparentemente recuperado (NAR) e produtividade da água (WP) em função da dose de azoto (N0, N1, N2, N3) e lâmina de água aplicadas (R1, R2, R3).

Fator	P. total (kg x 1000 ha^{-1})	N fruto (g kg^{-1})	N folha (g kg^{-1})	NAR (%)	WP (kg m^{3})
N aplicado (kg ha^{-1})					
0	39,44^{bc}	11,45^{b}	24,19^{a}	-------	12,57^{bc}
50	31,66^{c}	11,27^{b}	19,69^{b}	-12,59^{b}	10,10^{c}
100	60,63^{ab}	11,47^{b}	20,53^{b}	14,20^{ab}	16,99^{ab}
200	85,43^{a}	14,74^{a}	26,57^{a}	23,27^{a}	23,68^{a}
Lâminas de rega					
R1	44,45^{b}	12,47^{a}	22,84^{a}	3,32^{a}	22,60^{a}
R2	63,55^{a}	12,37^{a}	22,33^{a}	-0,44^{a}	16,11^{b}
R3	54,88^{a}	11,86^{a}	23,07^{a}	22,00^{a}	8,80^{c}

†Médias seguidas da mesma letra na coluna não são significativamente diferentes pelo teste Tukey HSD (α=0,05)

O aumento da dose de azoto não alterou os pesos médios dos frutos da produção total e comercial. Resultado diferente foi registado por Ferreira et al. (2010), que constataram um aumento no peso médio dos frutos comercializáveis com a aplicação de azoto. O NAR aumentou linearmente com o aumento da dose de fertilizante azotado, com exceção da dose N50, por razões já referidas. A maior produção média de tomate por unidade de azoto por planta foi obtida no tratamento N200. Os resultados mostraram que no tratamento N200 o valor de NAR foi superior, com uma percentagem de 23,3 % (Tabela 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Elia e Conversa (2012), que ainda constataram que a dose N200 é a mais recomendada nas condições de clima mediterrânico. Topcu et al. (2007) encontraram valores de NAR de 70% com a cultivar F1 Fantastic (tomate de mesa) numa produção protegida e sem diferenças significativas entre tratamentos de irrigação. Já Wang et al. (2013) constataram diferenças significativas para ambos fatores (rega e fertilização azotada) para o NAR. Neste estudo, embora houvesse pequenas diferenças de NAR em diferentes lâminas de água, estas não foram significativas (p = 0, 097). Zotarelli et al. (2009b) constataram haver interação significativa entre fertilização azotada e rega para o NAR na variedade de tomate Florida 47. Geralmente, à medida que se aumentam as doses de azoto aplicado os valores de NAR diminuem (Rodrigues, 2000; Rodrigues et al., 2006; Zotarelli et al., 2009b; Thompson et al., 2013; Ladeira, 2017). Contudo, nesse estudo os resultados foram inversos, provavelmente devido à variabilidade experimental. Também Sant'Ana et al. (2011) constataram que a eficiência de uso de azoto aumentou com as doses de azoto aplicadas na cultura do feijoeiro. Viegas (2017) também constatou que a eficiência de azoto aumentou com aumento da dose de azoto num ensaio em vasos com a cultura de soja. Estes resultados talvez se possam explicar pelo facto destas plantas serem da família das leguminosas, em que se este nutriente for aplicado em pequena quantidade pode estimular a fixação biológica e contribuir para maior recuperação de azoto.

No que respeita à produtividade da ágia (WP), verificou-se uma interação significativa da fertilização azotada e da rega. Os resultados revelaram que a WP para o tratamento R1 (33,3% ETc) registou melhor resultado na produção de matéria fresca em relação ao volume de água aplicado, registando 22,6 kg m^{-3}. O pior resultado foi registado no tratamento R3 (100% ETc), com 8,8 kg m^{-3}. A dose de fertilização azotada que registou melhor resultado foi N200 com 23, 7 kg m^{-3} e com pior resultado foi o N50 com 10,1 kg m^{-3} (Tabela 4). Djurović et al. (2016) registaram uma maior produtividade da água quando aplicaram maior volume de água 100%ETc num estudo sobre efeito de caulino no rendimento, qualidade e eficiência de uso da água do tomate. No entanto, outros autores (Topcu et al., 2007; Zotarelli et al., 2009b; Monte et al., 2013; Ismail e Mousa, 2014) observaram resultados semelhantes aos obtidos neste ensaio. Por se tratar de uma razão, a WP pode ser maximizada diminuindo o volume de água aplicada. Kalungu (2008) também constatou um comportamento

linear decrescente na WP em função do aumento das lâminas de água da irrigação. Machado e Oliveira (2005) não observaram diferença significativa da irrigação nos valores da WP do tomateiro. Carvalho et al. (2011) também referem que o aumento na disponibilidade de água no solo tende a propiciar decréscimos na WP.

4. Conclusões

Os resultados apresentados neste trabalho dizem respeito a um ano de ensaios de campo e, por isso, as conclusões apresentadas não tem um carácter definitivo. Será necessário dar continuidade a este trabalho com o objetivo de avaliar o efeito da variabilidade interanual. Os resultados obtidos permitem, contudo, concluir que neste primeiro ano de ensaios o tratamento N200R2 apresentou melhor comportamento e N0R3 obteve pior resultado para as produtividades total e comercial. O número total de frutos por planta, número total de frutos comercializáveis, a produtividade média de frutos grandes e número de frutos grandes foram significativamente afetadas pela dose de azoto aplicado, sendo que N200 apresentou o melhor resultado e N50 o pior.

A consistência e o pH dos frutos não foram significativamente afetadas pelo azoto e rega. O NAR aumentou linearmente com o aumento da taxa de fertilizantes azotados, sendo que N200 permitiu melhor NAR, com uma percentagem de 23,27 %.

A irrigação deficitária teve um efeito benéfico em alguns parâmetros da qualidade do fruto, como por exemplo no aumento do teor em sólidos solúveis totais. A produtividade da água foi positivamente afetada pela rega deficitária. A produtividade da água não aumentou quando esta última é fornecida para cumprir as necessidades hídricas ótimas totais da cultura. A lâmina de água R2 permitiu-nos poupar 33,3% da água em relação a R3, com um correspondente aumento de produção de 13,7 %. A adoção de estratégias de rega deficitária, onde uma redução de 33,3%ETc é aplicada e com uma dose de azoto N200 para toda a estação de crescimento, economiza água, minimizando as perdas de produção.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Engenheiro Amílcar Pimentel e ao Sr. Manuel a ajuda prestada na realização dos ensaios de campo. Ao Professor Vasco Cadavez pela ajuda na análise qualitativa dos frutos e à Professora Margarida Arrobas pela ajuda nas determinações analíticas.

Bibliografia

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., e Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje. 1-298. http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm (Acesso em 22 de julho de 2016).

Assunção, N. S. 2016. Fontes e doses de nitrogênio na qualidade e produtividade do tomateiro. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba Minas Gerais - Brasil.

Bénard, C., Gautier, H., Bourgaud, F., Grasselly, D., Navez, B., Caris-Veyrat, C., Génard, M. 2009. Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(10): 4112–4123.

Birhanu, K., e Tilahun, K. 2010. Fruit yield and quality of drip-irrigated tomato under deficit irrigation. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 10(2): 2139–2151.

Borgognone, D., Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., e Schwarz, D. 2013. Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. *Scientia Horticulturae* 149: 61–69.

Bremmer, J. M. 1996. Nitrogen Total. In: *Methods of Soil Analysis*. Part 3 - Chemical Methods. SSSA Book Series. 5: 1085- 1121. Busato.

Carvalho, J. F., Montenegro, A. A. D. A., Soares, T. M., Silva, Ê. F. D. F., e Montenegro, S. M. G. L. 2011. Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15(3): 256–263.

Costa, J. M., Ortuño, M. F., e Chaves, M. M. 2007. Deficit irrigation as a strategy to save water: Physiology and potential application to horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology* 49(10): 1421–1434.

Delazari, F. T. 2014. Produção e qualidade de frutos do tomateiro no sistema viçosa de tutoramento em função do estado hídrico- nutricional. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa Minas Gerais, Brasil.

Djurović, N., Ćosić, M., Stričević, R., Savić, S., e Domazet, M. 2016. Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of tomato. *Scientia Horticulturae* 201: 271–278.

Elia, A., e Conversa, G. 2012. Agronomic and physiological responses of a tomato crop to nitrogen input. *European Journal of Agronomy* 40: 64–74.

Elnesr, M. N., Alazba, A. A., El-Abedein, A. I. Z., e El-Adl, M. M. 2015. Evaluating the effect of three water management techniques on tomato crop. Plos ONE, 10(6): 1–17.

Erdal, I., Ertek, A., Şenyiğit, U., e Yilmaz, H. I. 2006. Effects of different irrigation programs and nitrogen levels on nitrogen concentration, uptake and utilisation in processing tomatoes (*Lycopersicum esculentum*). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46(12): 1653–1660.

FAO, 2006. World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports No. 103 (Vol. 43). https://doi.org/10.1017/S0014479706394902 (Acesso em 22 de agosto de 2016).

FAO, 2015. FAO - Water Development and Management Unit - Topics - Irrigation. FAO. 1-2. http://www.fao.org/3/a-i4591e.pdf (Acesso em 22 de agosto de 2016).

FAO, 2016. FAO - Notícias_ 2050_ A escassez de água em várias partes do mundo ameaça a segurança alimentar e os meios de subsistência. FAO. 1-2. http://www.fao.org/news/story/pt/item/ 283456/icode/ (Acesso em 22 de agosto de 2016).

FAOSTAT, 2015. Produção mundial. FAOSTAT. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (Acesso em 22 de agosto de 2016).

Farneselli, M., Benincasa, P., Tosti, G., Simonne, E., Guiducci, M., e Tei, F. 2015. High fertigation frequency improves nitrogen uptake and crop performance in processing tomato grown with high nitrogen and water supply. *Agricultural Water Management* 154: 52–58.

Ferreira, M. M. M., Ferreira, G. B., e Fontes, P. C. R. 2010. Eficiência da adubação nitrogenada do tomateiro em duas épocas de cultivo. *Revista Ceres* 57(2): 263–273.

Ferreira, M. M. M., Ferreira, G. B., Fontes, P. C. R., e Dantas, J. P. 2006. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. *Horticultura Brasileira* 24(2): 141–145.

Genuncio, G. C., Silva, R. A. C., Sá, N. M., Zonta, E., e Araújo, A. P. 2010. Produção de cultivares de tomateiro em hidroponia e fertirrigação sob razões de nitrogênio e potássio. *Horticultura Brasileira* 28(4): 446–452.

Ismail, S. M., e Mousa, M. A. A. 2014. Optimizing Tomato Productivity and Water Use Efficiency Using Water Regimes, Plant Density and Row Spacing Under Arid Land. *Irrigation and Drainage* 650: 640–650.

Jensen, C. R., Battilani, A., Plauborg, F., Psarras, G., Chartzoulakis, K., Janowiak, F., Andersen, M. N. 2010. Deficit irrigation based on drought tolerance and root signalling in potatoes and tomatoes. *Agricultural Water Management* 98(3): 403–413.

Kalungu, J. W. 2008. Respostas do tomateiro a diferentes lâminas de irrigação, doses de potássio e cobertura do solo em ambiente protegido. Dissertação. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Piracicaba.

Kuşçu, H., Turhan, A., e Demir, A. O. 2014. The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment. *Agricultural Water Management* 133: 92–103.

Ladeira, L. C. 2017. Valor agronómico de fertilizantes enriquecidos com microrganismos fixadores de azoto. Dissertação. Instituto Politécnico de Bragança Escola Superior Agrária, Bragança.

Machado, R. M. A., e Oliveira, M. D. R. G. 2005. Tomato root distribution, yield and fruit quality under different subsurface drip irrigation regimes and depths. *Irrigation Science* 24(1): 15–24.

Malash, N. M., Flowers, T. J., e Ragab, R. 2008. Effect of irrigation methods, management and salinity of irrigation water on tomato yield, soil moisture and salinity distribution. *Irrigation Science* 26(4): 313–323.

Marouelli, W. A., Souza, R. B., e Braga, M. B. 2014. Evaluation of sources, doses and application schedules of nitrogen on drip-irrigated tomato. *Horticultura Brasileira* 32(3): 327–335.

Marodin, C. 2011. Produtividade, qualidade físico-química e conservação pós-colheita de frutos de tomateiro em função de fontes e doses de silício. Dissertação. Universidade estadual do Centro-Oeste, unicentro-pr, Guarapuava.

Patanè, C., Tringali, S., e Sortino, O. 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Scientia Horticulturae* 129(4): 590–596.

Paula, J. T. 2013. Qualidade pós-colheita de genótipos de tomateiro colhidos em diferentes estádios de maturação. Dissertação. Universidade Estadual Do Centro-Oeste, Unicentro-PR, Guarapuava-PR.

Pereira, L. S. 2004. *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Europa-América. Lisboa

Porto, J. S. 2013. Fontes e doses de nitrogênio na produção e qualidade de tomate híbrido Silvety. Dissertação. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitoria da Vonquista Bahia - Brasil.

Regulamento (CE) n. O 543/2011 da comissão. 2011. Regulamentos. Oficial da União Europeia. 1-163. Http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/geral/files/reg_543_2011.pdf (Acesso em 14 de abril de 2017).

Rodrigues, M. 2000. Gestão do azoto na cultura da batata: Estabelecimento de indicadores do estado nutritivo das plantas e da disponibilidade de azoto no solo. Dissertação de doutoramento. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Rodrigues, M. Â., e Coutinho, J. F. 2000. Eficiência de utilização do azoto pelas plantas. Edição do Instituto Politécnico de Bragança. (47) 6-48. https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream /10198/205/1/47 (Acesso em 3 de fevereiro de 2017).

Rodrigues, M. A., Pereira, A., Cabanas, J. E., Dias, L., Pires, J., e Arrobas, M. 2006. Crops use-efficiency of nitrogen from manures permitted in organic farming. *European Journal of Agronomy* 25(4): 328–335.

Sant'Ana, E. V. P., Santos, A. B., e Silveira, P. M. 2011. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15(5): 458–462.

Segura, M. L., Contreras, J. I., Salinas, R., e Lao, M. T. 2009. Influence of Salinity and Fertilization Level on the Nutrient Distribution in Tomato Plants under a Polyethylene Greenhouse in the Mediterranean Area. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40(1–6): 498–513.

Smith, M. 1992. CROPWAT A computer program for irrigation planning and management. (FAO Irrgation and Drainage, Ed.). (Paper 46). Rome.

Soto, F., Gallardo, M., Thompson, R. B., Peña-Fleitas, M. T., e Padilla, F. M. 2015. Consideration of total available N supply reduces N fertilizer requirement and potential for nitrate leaching loss in tomato production. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200(3): 62–70.

Thompson, R. B., Gallardo, M., Rodríguez, J. S., Sánchez, J. A., e Magán, J. J. 2013. Effect of N uptake concentration on nitrate leaching from tomato grown in free-draining soilless culture under Mediterranean conditions. *Scientia Horticulturae* 150: 387–398.

Topcu, S., Kirda, C., Dasgan, Y., Kaman, H., Cetin, M., Yazici, A., e Bacon, M. A. 2007. Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation. *European Journal of Agronomy* 26(1): 64–70.

Viegas, R. I. F. 2017. Valor fertilizante de leguminosas herbáceas nos ecossistemas agrícolas. Dissertação. Instituto Politécnico de Bragança Escola Superior Agrária, Bragança.

Wang, Y., Liu, F., Jensen, L. S., de Neergaard, A., e Jensen, C. R. 2013. Alternate partial root-zone irrigation improves fertilizer-N use efficiency in tomatoes. *Irrigation Science* 31(4): 589–598.

Zhai, Y., Yang, Q., e Wu, Y. 2016. Soil salt distribution and tomato response to saline water irrigation under straw mulching. *Plos ONE* 11(11): 1–17.

Zheng, J., Huang, G., Jia, D., Wang, J., Mota, M., Pereira, L. S., … Liu, H. (2013). Responses of drip irrigated tomato (Solanum lycopersicum L.) Yield, quality and water productivity to various soil matric potential thresholds in an arid region of Northwest China. *Agricultural Water Management*, 129: 181–193.

Zotarelli, L., Dukes, M. D., Scholberg, J. M. S., Muñoz-Carpena, R., e Icerman, J. 2009a. Tomato nitrogen accumulation and fertilizer use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural Water Management*, 96(8): 1247–1258.

Zotarelli, L., Scholberg, J. M., Dukes, M. D., Muñoz-Carpena, R., e Icerman, J. 2009b. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural Water Management*, 96(1): 23–34.

Desarrollo de un método multiresiduo mediante SPE-GC-MS para la determinación de pesticidas y algunos de sus productos de degradación en aguas superficiales y subterráneas

María José Climent Morales[1], Eliseo Herrero Hernández[2], María Jesús Sánchez Martín[2], María Sonia Rodríguez Cruz[2], Roberto Enrique Urrutia Perez[1]

[1] Facultad de Ciencias Ambientales-EULA, Universidad de Concepción, Barrio Universitario s/n, 4030000 Concepción, Chile. mcliment@udec.cl

[2] Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca, IRNASA-CSIC, c/ Cordel de Merinas, 40-52, 37008 Salamanca, España. mjesus.sanchez@irnasa.csic.es

Resumen

Se ha desarrollado un método de análisis multirresiduo mediante extracción en fase sólida (SPE) y análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) para determinar 11 pesticidas y 5 de sus principales productos de degradación, en muestras de aguas naturales. Se optimizaron diferentes parámetros que pueden afectar la eficiencia del proceso SPE, como el tipo de sorbente, solvente de elución y volumen de muestra. Los mejores resultados se obtuvieron cuando se preconcentraron 500 mL de agua a través de los cartuchos poliméricos Oasis HLB y se emplearon para la elución acetona y acetonitrilo como disolventes. Para asegurar una buena cuantificación, se trabajó utilizando patrones marcados en la matriz, obteniendo una buena linealidad en el rango de concentraciones estudiadas (0.10-1.5 µg L^{-1}), con porcentajes de recuperación > 60%, precisiones < 19% y límites de detección < 0.1 µg L^{-1}. El método propuesto se utilizó para evaluar la presencia de pesticidas y sus productos de degradación en muestras de agua superficial y subterránea de la cuenca del río Cachapoal, Chile Central, zona afectada por una intensa actividad agrícola.

Palabras clave: Recursos hídricos, herbicidas, fungicidas, insecticidas, aguas naturales.

Development of a multirresidue method by SPE-GC-MS to evaluate the presence of pesticides and some of their degradation products in surface and ground waters

Abstract

A multiresidue analysis method using solid phase extraction (SPE) and gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS) was developed to determine 11 pesticides and 5 of their main degradation products in natural waters. Different parameters affecting the efficiency of the SPE process, such as sorbent type, elution solvent and sample volume were optimized. The best results were obtained by preconcentrating 500 mL of water through Oasis HLB polymeric cartridges and eluting them with acetone and acetonitrile. In order to ensure a good quantification, matrix-matched standards were used, obtaining a good linearity in the range of concentrations studied (0.10-1.5 µg L^{-1}), with recovery values> 60%, precisions <19% and detection limits <0,1 µg L^{-1}. The proposed methodology was used to evaluate the presence of pesticides and their degradation products in samples of surface and groundwater of the Cachapoal river basin, Central Chile, region affected by an intense agricultural activity.

Keywords: Water resources, herbicides, fungicides, insecticides, natural waters.

1. Introducción

Los pesticidas son compuestos químicos que se aplican al medio ambiente para eliminar plagas de plantas y animales, y así evitar la destrucción del 50-60% de la producción mundial de alimentos. Sin embargo, el uso intensivo de estos compuestos puede generar graves problemas de contaminación

ambiental, ya que se distribuyen entre el agua, suelo, aire y biota, afectando la biodiversidad de los ecosistemas (Schäfer et al., 2012) y la salud de las personas (Armstrong et al., 2013).

Los pesticidas pueden llegar a un cuerpo de agua por deriva durante su aplicación, por escorrentía, por lixiviación hacia las capas freáticas y por el lavado de recipientes o equipos posterior a su aplicación. Una vez en este medio, pueden ser degradados parcial o totalmente, permanecer sin cambios, depositarse en los sedimentos de ríos y lagos, bioconcentrarse en los organismos acuáticos o regresar a la atmósfera por volatilización (Willis, 2002). Estudios realizados en diferentes países (Herrero-Hernández et al., 2013; De Geronimo et al., 2015; Zheng et al., 2016), muestran que los pesticidas y sus productos de degradación son detectados con frecuencia en aguas superficiales y subterráneas, y en algunos casos, superando el límite máximo individual (0.1 µg L^{-1}) establecido por la Unión Europea (EU) para aguas de consumo humano (Knauer, 2016).

En general, la determinación de pesticidas en muestras de agua es un proceso laborioso, en el que las etapas de toma y pretratamiento, requieren hasta dos tercios del tiempo necesario para realizar el análisis completo. Las técnicas de pretratamiento más utilizadas son la extracción liquido-liquido, extracción con membranas, microextracción con disolvente gota-gota, extracción en fase sólida, microextracción en fase sólida y extracción con barra de agitación (Tankiewicz et al., 2011). Entre las diferentes técnicas de pretratamiento, la extracción en fase sólida (SPE) es un método sencillo, rápido, fácil de automatizar, requiere un bajo volumen de solventes orgánicos y puede ser utilizado para extraer compuestos con distinta polaridad (Moldoveanu y David, 2015), permitiendo obtener buenas recuperaciones y trabajar con bajos límites de detección, siendo una de las técnicas más utilizadas para el análisis de contaminantes orgánicos en muestras acuosas (Tankiewicz et al., 2011).

Durante mucho tiempo, la identificación y cuantificación de pesticidas en muestras ambientales se llevó a cabo mediante cromatografía líquida (LC) o cromatografía de gases (GC), acoplada a un detector selectivo para cada familia de pesticidas, por ejemplo, un detector ultravioleta (UV), detector de ionización de llama (FID), detector de captura de electrones (ECD) y detector de fosforo-nitrógeno (NPD) (Rodríguez-Mozaz et al., 2007). Sin embargo, la necesidad de contar con un método sensible, selectivo y que permita determinar de forma simultánea pesticidas de distintos grupos químicos, ha llevado a que la cromatografía de gases acoplada a un detector de espectrometría de masas (GC-MS) sea una de las técnicas más utilizadas para evaluar la presencia de estos contaminantes en el ambiente (Alder et al., 2006).

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un método multirresiduo para determinar pesticidas en muestras de aguas naturales a los niveles establecidos por la legislación europea para aguas destinadas a consumo humano, mediante SPE y posterior separación y cuantificación por GC-MS. El método propuesto se utilizó para evaluar la presencia de 16 pesticidas: 4 fungicidas (pirimetanil, metalaxil, ciprodinil, kresoxim-metil), 5 herbicidas (simazina, fluometuron, atrazina, terbutilazina, acetocloro), 2 insecticidas (clorpirifos, diazinon) y 5 de sus principales productos de degradación (deisopropylatrazine (DIA), deethylatrazine (DEA), desethylterbuthylazine (DET), Diazoxon, CGA 92370) en muestras de agua superficial y subterránea de la cuenca del río Cachapoal en Chile.

2. Materiales y Métodos

2.1. Químicos y reactivos

Los patrones fueron suministrados por Sigma–Aldrich (Gillingham, UK) y Dr. Ehrenstorfer (Augsburg, Alemania), con una pureza > 98% en todos los casos. Inicialmente se preparó una disolución, de 500 ó 1000 µg mL^{-1}, en metanol para cada patrón; a partir de las cuales se preparó una solución intermedia de 10 µg mL^{-1} con todos los analitos, que se utilizó para preparar las curvas de calibración y dopar las muestras de agua. Todas las soluciones se almacenaron a 4°C en la oscuridad. Los disolventes orgánicos acetona, acetonitrilo, metanol, acetato de etilo y hexano, fueron suministrados

por Fisher Scientific (Loughborough, UK) y fueron de grado HPLC. El agua ultrapura (UHQ) se obtuvo con un sistema Milli-Q (Millipore, Milford, MA, USA).

2.2. Condiciones cromatográficas de GC-MS

El análisis se llevó a cabo en un cromatógrafo de gases Agilent 7890 acoplado a un espectrómetro de masas Agilent 5975C Triple Axis MSD. La separación se realizó con una columna capilar ZB-5MS (Phenomenex) de 30 m de largo, 0.25 mm i.d, y 0.25 µm de espesor. Las condiciones cromatográficas que permitieron una buena separación y cuantificación de los analitos fueron las siguientes: modo de ionización por impacto de electrones, energía de ionización de 70 eV, voltaje de multiplicador de electrones de 1700 V, temperatura de la fuente 230°C, temperatura de línea de transferencia 150°C, gas portador helio, flujo de 1.0 mL min^{-1}, volumen de inyección de 5 µl a 220°C en modo splitless. El gradiente de temperaturas empleado fue el siguiente: de 80 a 180°C a 20°C min^{-1} (2 minutos), de 180 a 190°C a 1°C min^{-1} y de 190 hasta 310°C a 80°C min^{-1} (11.5 minutos). El tiempo de análisis total fue de 30 minutos. Para identificar cada pesticida y producto de degradación se seleccionaron los tres iones más abundantes inyectando cada compuesto por separado, y para cuantificar se seleccionó el ion que se encontró en mayor proporción. En la Tabla 1 se indican los parámetros GS/MS para cada compuesto.

Tabla 1. Parámetros GC/MS para pesticidas y productos de degradación.

Compuesto	RT (min)	Ventana (SIM)	Abundancia de iones	
			Ión de cuantificación (m/z)	Ión de identificación (m/z)
Fluometuron	4.8	1	174	219 (794)/187 (536)
CGA 92370	7.5	1	148	120 (572)/91 (322)
DIA	8.0	1	173	158 (870)/145 (751)
DEA	8.2	1	172	187 (349)/174 (309)
DET	8.6	1	186	188 (319)/83 (287)
Simazina	9.9	2	201	44 (798)/186 (565)
Atrazina	10.2	2	200	215 (615)/58 (378)
Diazoxon	10.6	2	273	137 (740)/288 (319)
Terbutilazina	10.8	2	214	43 (574)/173 (512)
Diazinon	11.2	2	137	152 (659)/179 (569)
Pirimetanil	11.4	2	198	199
Acetocloro	13.9	3	59	146 (839)/162 (696)
Metalaxil	15.1	3	45	206 (326)/132 (299)
Clorpirifos	17.7	3	197	199 (974)/314 (865)
Ciprodinil	20.8	3	224	225 (616)/210 (100)
Kresoxim-metil	26.7	3	116	131 (533)/206 (516)

2.3. Optimización de la etapa de preconcentración mediante SPE

Para optimizar el proceso de preconcentración, se evaluó el efecto del tipo de sorbente, el disolvente empleado en la elución y volumen de muestra preconcentrado. Se compararon cinco sorbentes SPE para extraer los compuestos de interés: Oasis HLB (60mg, Waters), LiChrolut EN (200 mg, Merck), Strata X (60 mg, Phenomenex), sílica C_{18} (Sep-Pak Plus 900 mg, Waters) y carbón (SampliQ 500 mg, Agilent). El acondicionamiento se realizó con 10 mL de metanol y 10 mL de agua UHQ. Utilizando una bomba peristáltica con un flujo constante de 7 mL min^{-1}, se preconcentraron 100 mL de agua UHQ dopada con todos los analitos a una concentración de 1 µg min^{-1}, posteriormente los cartuchos se secaron a –20 mm Hg durante 5 minutos. La elución se realizó con 8 mL de metanol, que

posteriormente se evaporaron hasta sequedad bajo corriente de nitrógeno en un evaporador EVA-EC2-L (VLM GmbH, Bielefeld, Germany), manteniendo la temperatura a 37°C. El residuo se redisolvió en 1.0 mL de metanol y el extracto se filtró con filtros GHP Acrodisc de 0,45 µm para su posterior análisis por GC-MS.

Para evaluar el efecto del disolvente de elución, se ensayaron cinco disolventes orgánicos: acetona, acetonitrilo, metanol, hexano, acetato de etilo y una combinación acetona/acetonitrilo. El acondicionamiento se realizó con 10 mL de cada solvente y 10 mL de agua UHQ, eluyendo con 8 mL de solvente. El efecto del volumen de muestra se evaluó preconcentrando 50, 100, 250, 500 y 1000 mL de agua UHQ dopada con 0.2 µg de cada compuesto. El acondicionamiento y elución se realizó con 4 mL de acetona y 4 mL de acetonitrilo. En ambos casos el extracto obtenido se trató de la misma forma que para la selección del sorbente.

2.4. Validación de método de análisis

El método desarrollado consistió en acondicionar los cartuchos Oasis HLB con 5 mL de acetona, 5 mL de acetonitrilo y finalmente 10 mL de agua UHQ. Posteriormente se pasaron a través de los cartuchos 500 mL de muestra y se secaron los cartuchos. Los analitos retenidos se eluyeron con 4 mL de acetona y 4 mL de acetonitrilo; el extracto obtenido se evaporó y se redisolvió en 500 µL de metanol. Los diferentes parámetros analíticos se evaluaron utilizando muestras de agua UHQ o muestras de aguas naturales no contaminadas, dopadas con concentraciones conocidas de los diferentes compuestos. El efecto matriz se evaluó por duplicado, comparando la señal de los analitos obtenida cuando se preconcentraron 500 mL de agua UHQ o de río dopados con una concentración de 0.1 µg L^{-1}. La linealidad de la curva de calibración se evaluó entre 0.1 y 1.5 µg L^{-1}, trabajando con patrones marcados en la matriz para asegurar una buena cuantificación. La precisión del método (repetibilidad y reproducibilidad) se evaluó determinando la concentración, el mismo día, de cinco muestras de agua de río (500 mL) dopadas con 0.1 µg L^{-1} de cada compuesto, así como también la variación en la concentración de cada analito, para una misma muestra, durante cinco días. La exactitud se determinó evaluando el porcentaje de recuperación. Los límites de detección (LOD) y cuantificación (LOQ) se estimaron como 3 y 10 veces la relación señal/ruido para cada analito, respectivamente.

2.5. Toma y preparación de muestras acuosas

Las muestras de agua superficial y subterránea fueron tomadas en la cuenca del río Cachapoal, Chile central, correspondiente a la región con mayor venta de pesticidas a nivel nacional. En septiembre y octubre de 2015, las muestras se tomaron por duplicado en siete puntos a lo largo del río Cachapoal, considerando dos tributarios (Estero Cadena y Río Claro) y un blanco en río Las Leñas. En abril de 2016, se tomaron muestras en período pre y post lluvioso (14 y 15 de abril), en cinco puntos de la cuenca, incluyendo tres tributarios (Estero Cadena, Río Claro y Estero Zamorano), un canal de riego en el sector de Las Cabras y la bocatoma que da origen a este canal. En julio del mismo año, se tomaron muestras de agua superficial solo de los tributarios, incluyendo cuatro pozos con una profundidad >40 m. Las muestras fueron tomadas en botellas de vidrio ámbar de 2 L y transportadas al laboratorio en cajas con hielo. En menos de 48 horas fueron pasadas a través de filtros de nitrocelulosa con tamaño de poro de 0,45 µm y almacenadas a -20°C hasta su preconcentración por SPE.

3. Resultados y Discusión

3.1. Optimización del método de separación mediante GC-MS

Para optimizar las condiciones cromatográficas del GC-MS, se inyectaron los estándares individuales a una concentración de 1 µg mL^{-1} en metanol. Cada compuesto fue analizado en modo scan para

identificar los iones más abundantes y los tiempos de retención. Inicialmente se utilizaron las condiciones descritas por Herrero-Hernández et al. (2012), manteniendo el flujo de gas portador a 1.5 mL min^{-1} y modo de inyección splitless. Sin embargo, fue necesario modificar la rampa de temperatura para obtener una buena resolución y separación de los picos, obteniendo buenos resultados con las condiciones descritas en el punto 2.2, permitiendo cuantificar los 16 compuestos estudiados en un tiempo de 30 minutos.

Se seleccionaron los tres iones más abundantes de cada compuesto (uno para cuantificar y dos para confirmar), comparándose los espectros de la librería de masas (NIST 08) con los espectros obtenidos al pinchar los patrones en modo scan. Finalmente, se crearon 3 ventanas diferentes en función de los tiempos de retención donde se determinaron los iones seleccionados para los compuestos incluidos en esa ventana.

3.2. Optimización de la etapa de preconcentración.

Para optimizar el método SPE, se evaluó el porcentaje de recuperación de todos los compuestos modificando el tipo de sorbente, el disolvente empleado para la elución y el volumen de muestra.

Se ensayaron 5 tipos de sorbentes diferentes. La Figura 1 muestra el porcentaje de recuperación obtenido para todos los compuestos con cada sorbente. En general, los porcentajes de recuperación obtenidos con cartuchos C_{18} y LiChrolut fueron similares para la mayoría de los compuestos, con valores que fluctúan entre 51 y 91%. Las menores recuperaciones se obtuvieron al utilizar el sorbente en base a carbón, siendo los fungicidas ciprodinilo, pirimetanil y el insecticida clorpirifos, los que presentaron el menor porcentaje de recuperación. Los mejores resultados se obtuvieron al utilizar cartuchos Oasis HLB y Strata X, donde el 88 y 69% de los compuestos estudiados presentaron un porcentaje de recuperación superior al 60%. Finalmente, se seleccionó el sorbente Oasis HLB para evaluar el resto de los parámetros.

Se probaron diferentes disolventes orgánicos para ver con cual se obtenían los mejores resultados. La Figura 2 muestra el porcentaje de recuperación obtenido para todos los compuestos con cada disolvente de elución. Los peores porcentajes de recuperación se obtuvieron al utilizar hexano, siendo < 50% para todos los compuestos. Cuando se empleó acetato de etilo, sólo 11 compuestos presentaron un porcentaje de recuperación superior a 60%. Mientras que al utilizar metanol, acetona o acetonitrilo, más del 70% de los compuestos presentaron buenas recuperaciones, variando el tipo de compuestos en función de la polaridad. Por lo que se decidió utilizar una elución secuencial con acetona y acetonitrilo obteniéndose valores de recuperación > 60% para la mayoría de los compuestos estudiados.

Otro de los parámetros estudiados fue el volumen de muestra preconcentrada, para lo cual se pasaron 50, 100, 250, 500 y 1000 mL de agua UHQ dopada con 0.2 µg de cada compuesto a través de los cartuchos Oasis HLB. Los resultados mostraron que el porcentaje de recuperación se mantiene al preconcentrar entre 50 y 500 mL de agua, disminuyendo hasta un 30% al preconcentrar un volumen mayor. Considerando esta variación y el tiempo requerido para preconcentrar los distintos volúmenes de agua, se decidió trabajar con un volumen de 500 mL de agua.

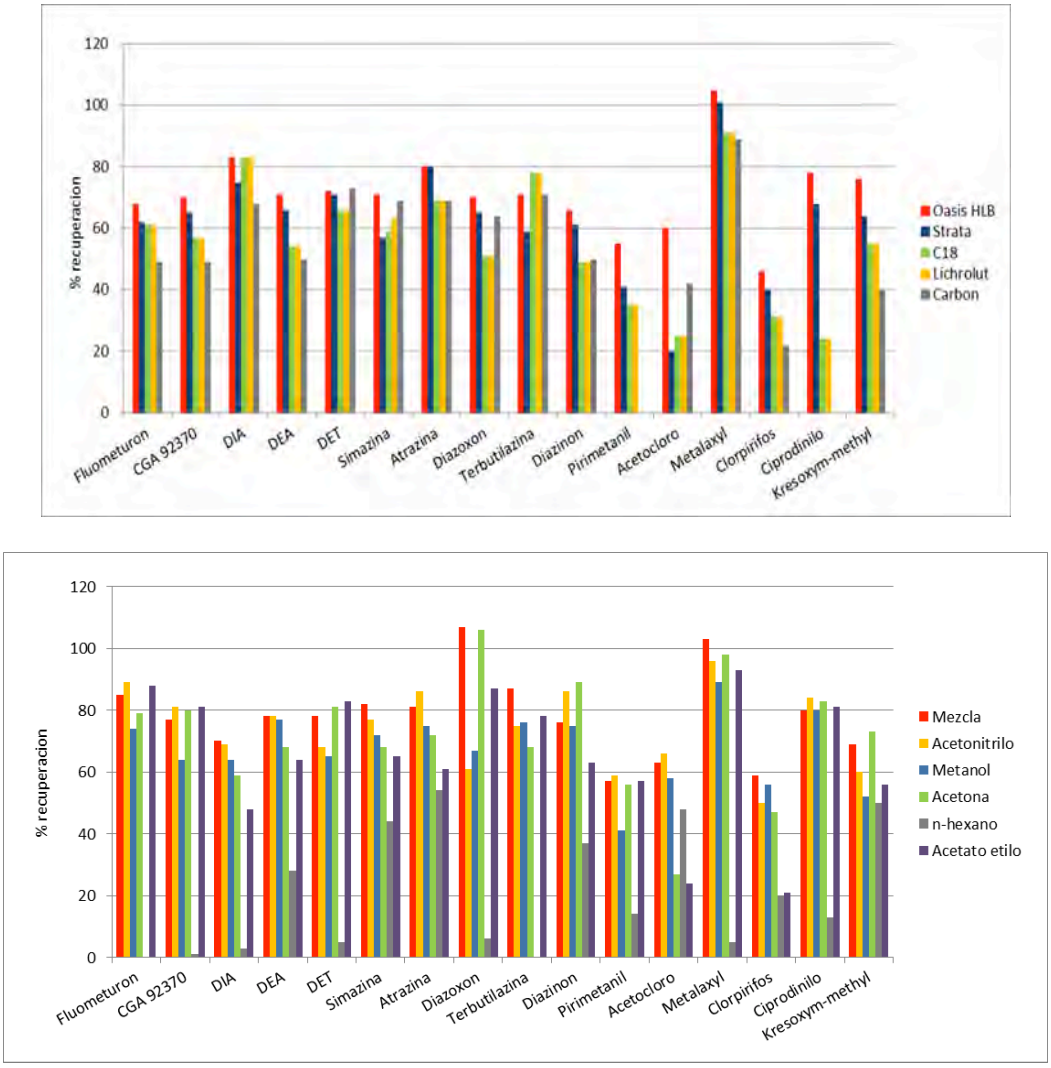


Figura 2. Porcentaje de recuperación según tipo de disolvente empleado en la elución.

3.3. Validación de método de análisis

Para evaluar el efecto matriz, se comparó por triplicado la señal de los analitos a una concentración de 0.1 µg L^{-1} preconcentrando 500 mL de agua UHQ y de agua de río. La mayoría de los compuestos presentaron una supresión o aumento de señal entre 5 y 19%, a excepción de los productos de degradación CGA 92370, DEA, DET y Diazoxon, que presentaron una variación > 25%. Por lo tanto, para minimizar el efecto matriz y evitar una disminución o sobreestimación en la concentración de pesticidas, se trabajó con estándares marcados en la matriz.

Los parámetros de linealidad, LODs y LOQs, se determinaron preparando una curva de calibración entre 0.1 – 1.5 µg L^{-1} para cada compuesto, en 500 mL de agua de río tratada de igual forma que las muestras. Para todos los compuestos se obtuvo una buena linealidad, con coeficientes de correlación > 0.99 y límites de cuantificación inferiores al máximo establecido por la UE. Los LODs fluctuaron entre 0.011 y 0.030 µg L^{-1} para diazoxon y acetochlor respectivamente, y los LOQs entre 0.036 y 0.99 µg L^{-1}, para los mismos compuestos. Ambos parámetros se estimaron como 3 y 10 veces la relación señal/ruido para cada analito, respectivamente (Tabla 2).

La precisión del método (repetibilidad y reproducibilidad) se evaluó determinando la desviación estándar relativa del área de los picos en cinco muestras de agua de río fortificadas con 0.1 µg L^{-1} de

cada compuesto. En todos los casos, la señal de los pesticidas y productos de degradación, presentaron un coeficiente de variación < 18%. La exactitud del método se determinó evaluando el porcentaje de recuperación en las etapas de selección del sorbente, solvente de elución y efecto del volumen de muestra. Los porcentajes de recuperación variaron entre 61 y 107 % con un coeficiente de variación entre 3 y 18%.

Tabla 2. Parámetros de control de calidad de método SPE-GC-MS, aplicado para análisis de pesticidas y productos de degradación en agua superficial y subterránea.

Compuesto	Recuperación (%)	CV (%) entre-días	CV (%) inter-día	r^2 (0.10-1.50 µg L^{-1})	LOD (µg L^{-1})	LOQ (µg L^{-1})
Fluometuron	90	10	10	0.9991	0.029	0.096
CGA 92370	78	7	7	0.9992	0.025	0.084
DIA	76	8	18	0.9928	0.025	0.085
DEA	82	4	8	0.9985	0.024	0.080
DET	89	8	10	0.9985	0.016	0.054
Simazine	79	16	9	0.9989	0.021	0.069
Atrazine	81	5	11	0.9991	0.028	0.092
Diazoxon	107	16	8	0.9994	0.011	0.036
Terbuthylazine	84	12	18	0.9964	0.027	0.091
Diazinon	79	14	12	0.9967	0.025	0.082
Pyrimethanil	61	7	9	0.9997	0.026	0.088
Acetochlor	73	15	11	0.9997	0.030	0.099
Metalaxyl	105	3	8	0.9994	0.029	0.097
Chlorpyrifos	59	13	19	0.9992	0.025	0.084
Cyprodinil	87	6	9	0.9989	0.019	0.063
Kresoxim-methyl	80	12	14	0.9999	0.027	0.090

3.4. Aplicación del método en muestras de agua

El método desarrollado se aplicó al análisis de muestras de aguas superficiales y subterráneas, tomadas el año 2015 y 2016 en la cuenca del río Cachapoal (Chile Central). En la Tabla 3 se presenta un resumen del porcentaje de pesticidas detectados y su rango de concentración en todos los puntos muestreados, que en total corresponden a 67 muestras de agua superficial. No se incluyen las muestras de pozo ya que en ninguna de ellas se detectaron pesticidas.

En las muestras tomadas en septiembre y octubre de 2015, se detectaron más de dos pesticida en todos los puntos muestreados, a excepción de las muestras recogidas en Las Leñas donde no se detectaron pesticidas, ya que corresponden a un sector libre de actividad agrícola. Los compuestos fluometuron, kresoxim-metil y CGA 92370 no fueron detectados en ninguno de los puntos de muestreo, mientras que simazina y su producto de degradación DET fue detectado en el 86% de las muestras analizadas. En general, el porcentaje de pesticidas detectados en ambos muestreos tiende a aumentar desde la parte alta a la parte baja de la cuenca, lo que posiblemente se debe a que la superficie destinada a la actividad agrícola se concentra en la zona central, lo que se incrementa el aporte de pesticidas al cuerpo de agua. Sólo DET supera la concentración máxima individual establecida por la UE, con rangos que fluctúan entre 0.105-0.506 µg L^{-1} y 0.317–0.871 µg L^{-1} para las muestras tomadas en septiembre y octubre, respectivamente. En general, la concentración total de pesticidas en octubre fue superior a la concentración detectada en septiembre para todos los puntos muestreados, y solo tres de los cinco puntos superan el límite máximo total establecido por la UE para consumo humano (0.5 µg/L).

Respecto a las muestras de agua superficial recogidas en el año 2016, los compuestos pirimetanil y diazinon fueron detectados en todos los puntos, mientras que fluometuron, acetocloro, metalaxil, y su producto de degradación (CGA 92370), no fueron detectados en ningún punto. En período pre lluvia, sólo pirimetanil presentó una concentración superior al máximo establecido por la UE, con rangos que fluctuaron entre 0.118 y 0.441 µg L^{-1}, mientras que en período post lluvia, los compuestos terbutilazina, simazina, pirimetanil y DIA presentaron una concentración superior a 0.1 µg L^{-1}.

Tabla 3. Porcentaje de pesticidas detectados y rango de concentraciones (LOD-1.0 µg/L).

Compuesto	Porcentaje de muestras			Rango de concentraciones (µg/L)
	LOD < 0.1 µg/L	0.1 - 1 µg/L	> 1.0 µg/L	
Herbicidas				
Fluometuron	0	0	0	No detectado
Acetocloro	12	0	0	0.043-0.046
Terbutilazina	60	7	0	0.027-0.204
Simazina	84	0	1	0.020-1.227
Atrazina	82	3	0	0.048-0.062
Productos de degradación				
DIA	33	3	4	0.043-3.383
DEA	55	0	0	0.029-0.057
DET	40	34	9	0.061-0.871
CGA 92370	0	0	0	No detectado
Diazoxon	9	0	0	0.011-0.014
Fungicidas				
Pirimetanil	55	28	4	0.039-2.344
Ciprodinilo	67	7	0	0.020-0.133
Kresoxym-methyl	1	3	0	0.027-0.084
Metalaxyl	36	0	0	No detectado
Insecticidas				
Diazinon	51	19	0	0.177-0.327
Clorpirifos	25	3	0	0.021-0.133

En todos los puntos muestreados, el porcentaje de pesticidas detectados en período post lluvia fue inferior al porcentaje detectado previo al episodio de precipitación, siendo el canal de riego ubicado en la zona baja de la cuenca, el punto que presentó mayor número de pesticidas pre y post lluvia. A pesar de que el número de compuestos detectados post lluvia disminuye, la concentración total de pesticidas aumenta en todos los puntos muestreados, superando el límite máximo establecido por la UE para consumo humano (0. 1 µg L^{-1}). Cabe destacar que en las muestras de agua subterránea no se detectaron pesticidas ni productos de degradación, lo que posiblemente se debe a que las muestras fueron recogidas a una profundidad mayor a 40 m.

4. Conclusiones

El método multiresiduo basado en SPE acoplado a detección GC-MS, se utilizó para determinar 11 pesticidas y 5 productos de degradación en muestras de agua superficial y subterránea de la cuenca del río Cachapoal, Chile Central. Los mayores porcentajes de recuperación se obtuvieron al preconcentrar 500 mL de agua a través de los cartuchos Oasis HLB, y eluirlos con 4 mL de acetona y 4 mL de acetonitrilo. Se obtuvo una buena linealidad (r^2 >0.99) en el rango de concentraciones estudiada (0.10-1.5 µg L^{-1}), permitiendo detectar compuestos a una concentración inferior al límite máximo establecido por la UE (0.1 µg/L). Se analizaron 67 muestras de agua superficial y 12 muestras de agua subterráneas. Los compuestos detectados con mayor frecuencia en las muestras de agua superficial, corresponden a los herbicidas terbutilazina, simazina y atrazina. La concentración total de pesticidas detectada en octubre de 2015 fue superior a la concentración detectada en septiembre

del mismo año, para todos los puntos muestreados. En general, la concentración total de pesticidas en período post lluvia fue superior a la concentración previa al episodio de precipitación, pero con una menor frecuencia de detección.

Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Gobierno de España (MINECO/FEDER UE) como parte del Proyecto AGL2015-69485-R. María José Climent agradece a la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica CONICYT PAI/IAC 21150573 por la financiación recibida para realizar este trabajo en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca. El Dr. Urrutia agradece al Proyecto Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y Minería CRHIAM/CONICYT/FONDAP/15130015.

Bibliografía

Alder, L., Greulich, K., Kempe, G. and Vieth, B. 2006. Residue analysis of 500 high priority pesticides: Better by GC–MS or LC–MS/MS?. *Mass Spectrometry Reviews* 25:838–865.

Armstrong, Jenna L., Richard A. Fenske, Michael G. Yost, Kit Galvin, Maria Tchong-French and Jianbo Yu, 2013. Presence of organophosphorus pesticide oxygen analogs in air samples. *Atmospheric Environment* 66:145-150.

De Gerónimo, E., Aparicio, V.C., Bárbaro, S., Portocarrero, R., Jaime, S., Costa, J.L. 2014. Presence of pesticides in surface waters from four sub-basins in Argentina. *Chemosphere* 107:423-431.

Herrero-Hernández E., Pose-Juan E., Álvarez-Martín A., Andrades M.S., Rodríguez-Cruz M.S. and Sánchez-Martín M. J. 2012. Pesticides and degradation products in groundwaters from a vineyard region: Optimization of a multiresidue method based on SPE and GC-MS. *Journal of Separation Science* 35 (24): 3492–3500.

Herrero-Hernández E., Andrades M.S., Álvarez-Martín A., Pose-Juan E., Rodríguez-Cruz M.S., Sánchez-Martín M. J. 2013. Occurrence of pesticides and some of their degradation products in waters in a Spanish wine region. *Journal of Hydrology* 486:234-245.

Knauer, K. 2016. Pesticides in surface waters: a comparison with regulatory aceptable concentrations (RACs) determined in the authorization process and consideration for regulation. *Environmental Sciences Europe* 28:13.

Moldoveanu S. and David V. 2015. Chapter 7- Solid-Phase Extraction. In *Modern Sample Preparation for Chromatography*, 191-286. Elsevier, Amsterdam.

Rodriguez-Mozaz S., Lopez de Alda M.J. and Barceló D. 2007. Advantages and limitations of on-line solid phase extraction coupled to liquid chromatography–mass spectrometry technologies versus biosensors for monitoring of emerging contaminants in water. *Journal of Chromatography* A 1152:97-115.

Schäfer, R.B., von der Ohe, P.C., Rasmussen, J., Kefford, B.J., Beketov, M.A., Schulz, R. and Liess, M. M. 2012. Thresholds for the Effects of Pesticides on Invertebrate Communities and Leaf Breakdown in Stream Ecosystems. *Environmental Science & Technology* 46 (9):5134-5142

Tankiewicz M., Fenik J. and Biziuk M. 2011. Solventless and solvent-minimized sample preparation techniques for determining currently used pesticides in water samples: A review. *Talanta* 86 (30): 8-22.

Willis, B., 2002. Pesticides in agriculture and the environment. In: *Environmental Fate of Pesticides* Chapter 5,. James N. Seiber. Pág., 139-173.

Zheng, S., Chen, B., Qiu, X., Chen, M., Ma, Z., Yu, X. 2016. Distribution and risk assessment of 82 pesticides in Jiulong River and estuary in South China. *Chemosphere* 144:1177-1192.

Área Temática:

Tecnologias de Informação e Controlo de Processos

Tecnologías de la Información y Control de Procesos

Efeito das árvores sobre a produtividade da pastagem: monitorização da temperatura e da humidade ao longo do ciclo vegetativo

João Serrano[1], José Marques da Silva[2], Shakib Shahidian[3], Mário de Carvalho[4]

[1,2,3] ICAAM- Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Pólo da Mitra, Ap. 94, 7006-554 Évora, Portugal. jmrs@uevora.pt; shakib@uevora.pt; jmsilva@uevora.pt

[4] ICAAM- Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Departamento de Fitotecnia, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Pólo da Mitra, Ap. 94, 7006-554 Évora, Portugal. mjc@uevora.pt

Resumo

Este estudo foi realizado numa parcela de pastagem de 2,3 ha, sob montado de azinho, situada na Herdade da Mitra, da Universidade de Évora. Foram seleccionadas seis árvores tendo-se georreferenciado quatro pontos de amostragem em cada árvore (dois pontos fora da copa e dois debaixo da copa). Em cada ponto de amostragem procedeu-se em Outubro de 2015 ao levantamento das características da camada superficial do solo (0-0,25 m) em termos de textura, pH, matéria orgânica (MO), azoto (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e manganês (Mn). Nos mesmos pontos de amostragem realizou-se a monitorização da temperatura, da humidade do solo e da produtividade da pastagem em cinco momentos ao longo do ciclo vegetativo da pastagem: em Dezembro de 2015, em Março, Abril, Maio e Junho de 2016.

Os resultados obtidos ao nível do solo mostraram diferenças significativas no que se refere à MO, N, P, K e Mg, com valores substancialmente mais elevados debaixo da copa das árvores. No que se refere à humidade do solo esta foi mais elevada debaixo da copa das árvores a partir do início da Primavera, enquanto a temperatura superficial da pastagem foi significativamente mais elevada fora da copa das árvores entre Dezembro de 2015 e Maio de 2016. Por outro lado, a produtividade da pastagem foi significativamente mais elevada fora da copa das árvores ao longo de todo o ciclo vegetativo.

O conhecimento sobre o efeito das árvores no solo e na pastagem pode constituir um contributo importante no apoio à tomada de decisão do gestor agrícola.

Palavras-chave: ecossistema de montado, copa, solo, infravermelhos

Effect of trees on pasture productivity: monitoring temperature and humidity along the plant growth cycle

Abstract

This study was carried out on a 2.3 ha pasture field with oak trees (Quercus ilex ssp. rotundifolia Lam.), located at the Herdade of Mitra, University of Évora. Six trees were selected, and four sampling points were georeferenced for each tree (two points outside the canopy and two under the canopy). In October 2015 the characteristics of the soil surface layer (0-0,25 m) were determined at each sampling point, in terms of texture, pH, organic matter (OM), nitrogen (N), phosphorous (P), potassium (K), magnesium (Mg) and manganese (Mn). At the same sampling points, temperature, soil humidity and pasture productivity were measured on five occasions along the pasture growth cycle: in December 2105, March, April, May and June 2016.

The soil results show significant differences in terms of OM, N, P, K and Mg, with substantially higher values under the tree canopies. In relation to the soil humidity, this was highest below the tree canopy as of the beginning of the spring, while the pasture surface temperature was significantly higher outside the tree canopy between December 2015 and May 2016. On the other hand, the pasture productivity was significantly higher outside the tree canopy along the whole growth cycle.

The knowledge of the effect of the trees on the soil and pasture can make an important contribution to the decision making process of the farm manager.

Keywords: montado ecosystem, tree canopy, soil, infrared sensor

1. Introdução

Durante a segunda metade do século XX milhões de árvores foram eliminadas nas áreas Mediterrânicas, principalmente nos terrenos mais produtivos, com a introdução de cereais e a intensificação da mecanização (Marcos et al., 2007). Nos últimos vinte anos, no entanto, um considerável esforço tem sido levado a cabo para promoção dos sistemas agro-silvo-pastoris assentes no montado como estratégia que permita reverter gradualmente as tendências de degradação da qualidade dos solos nestas regiões (Efe Serrano, 2006; Marcos et al., 2007). Estes sistemas mistos de árvores e pastagens sujeitos a pastoreio animal contribuem para o equilíbrio ecológico do meio rural (Somarriba, 1988), ocupam entre 3,5 e 4 milhões de hectares em Espanha, Portugal, Marrocos, Argélia, Itália e Grécia (Seddaiu et al., 2013) e representam 33% da área total de floresta em Portugal (David et al., 2013).

O clima Mediterrânico é caracterizado por forte sazonalidade, com verões secos e invernos irregulares em termos de precipitação, por isso, a resiliência ao stress hídrico é um factor essencial da vegetação nestes ecossistemas, compostos por duas camadas vegetais, pastagens e árvores, com diferentes comportamentos em termos de utilização da água em resultado da grande profundidade das raízes das árvores e das raízes superficiais das pastagens (Paço et al., 2009). Vários estudos têm sido conduzidos para quantificar a contribuição destes dois componentes no balanço hídrico do ecossistema (Paço et al., 2009), podendo-se concluir que têm padrões de transpiração diferentes. As pastagens, principalmente constituídas por plantas anuais, são altamente dependentes da humidade superficial e bastante sensíveis ao período de verão: a transpiração pára no início desta estação. Por outro lado, as árvores são mais dependentes da humidade a maiores profundidades, mostrando uma alta resiliência à seca de verão: a transpiração continua durante esta estação, apesar de uma redução da condutância da copa (Paço et al., 2009).

O efeito das árvores no desenvolvimento da pastagem tem sido estudado por várias equipas de investigação (Jackson e Ash, 1998; Marcos et al., 2007; Benavides et al., 2009; Howlett et al., 2011). Este efeito é altamente condicionado pelo solo, especialmente pela disponibilidade de humidade, pela exposição solar e pela temperatura. De acordo com Seddaiu et al. (2013), o conhecimento existente na distribuição e características dos nutrientes no solo e da produtividade da pastagem no montado é insuficiente para o desenvolvimento de estratégias de conservação. Esta dificuldade resulta da variabilidade característica deste ecossistema, acentuada pela presença de árvores (David et al., 2013) e pela dinâmica de pastoreio animal (Schellberg et al., 2008). O efeito das árvores na pastagem é directamente consequência da extensão com que estas modificam o microclima e as propriedades do solo (Benavides et al., 2009). O efeito positivo das árvores na fertilidade do solo foi reportado em vários sistemas agro-sivo-pastoris (Benavides et al., 2009). O potencial para sequestro de carbono (C) em sistemas que combinam pastagens com árvores é alto visto que as raízes secundárias das árvores lentamente acumulam C, o que ajuda a aumentar os teores de matéria orgânica no solo (Seddaiu et al., 2013). A competição entre as árvores e a pastagem pela luz, humidade e nutrientes influência a produtividade da pastagem. Segundo Benavides et al. (2009), o nível de sombra e a sua duração são dos factores mais importantes na variação do crescimento da pastagem debaixo das árvores. O efeito positivo da sombra na redução da evapotranspiração conduz a teores mais elevados de humidade no solo debaixo das árvores (Benavides et al., 2009) e maior resistência à seca de verão. No entanto, a redução da quantidade e qualidade da luz afecta directamente os processos fisiológicos das plantas, diminuindo a fotossíntese e, consequentemente, a produção de hidratos de carbono e a produção de matéria seca da pastagem (Jackson e Ash, 1998; Benavides et al., 2009). De acordo com Benavides et al. (2009) a temperatura é um factor importante que afecta a produção de pastagem uma vez que esta afecta os processos fisiológicos das plantas, como a fotossíntese, a respiração ou a germinação. As imagens obtidas por termografia de infravermelhos permitem estimar a temperatura na superfície da pastagem, parâmetro que pode ajudar a explicar o efeito das árvores no desenvolvimento da pastagem.

No sentido de implementar estratégias que preservem os recursos naturais através de sistemas agro-silvo-pastoris é necessário conhecer e corrigir factores limitantes potenciais, especialmente o factor solo, o que requer conhecimento agronómico associado à implementação de novas tecnologias. Este trabalho teve como objectivo principal avaliar o efeito das árvores sobre parâmetros do solo e sobre a produtividade da pastagem.

2. Material e Métodos

2.1. Parcela de estudo

A parcela de estudo, com uma área de 2,3ha, localiza-se na Herdade da Mitra (coordenadas 38°32,2'N; 8º01,1'W), da Universidade de Évora, na região Sul de Portugal. Trata-se de uma parcela de montado de azinho (*Quercus ilex ssp. rotundifolia* Lam.), com reduzida densidade (8 árvores por hectare), e pastagem permanente pastoreada por 15 ovinos *Merino Preto* em sistema rotacional. O solo é classificado como Cambisolo derivado de granito (FAO, 2006). Estes solos são pouco férteis, normalmente ácidos e principalmente usados em sistemas mistos agro-silvo-pastoris.

Na parcela foram identificadas seis árvores que foram seleccionadas para estudo. Em cada uma destas foram instaladas 4 caixas de exclusão de pastoreio, duas fora da copa (FCA) e duas debaixo da copa (DCA), num total de vinte e quatro pontos de amostragem.

2.2. Amostragem do solo

Em Outubro de 2015, em cada ponto de amostragem, foi recolhida uma amostra compósita de solo na camada de 0-0,30m. Estas amostras foram submetidas a análise no Laboratório de Solos da Universidade de Évora para as seguintes determinações: textura (areia, limo e argila), pH, matéria orgânica (MO), azoto total (N_t), fósforo (P_2O_5), potássio (K_2O), magnésio (Mg) e manganês (Mn). A humidade gravimétrica do solo foi determinada nos pontos de amostragem a duas profundidades (0-0,20m e 0,20-0,40m), em cinco momentos: no final do Outono (Dezembro de 2015), no final do Inverno (Março de 2016), e mensalmente durante a Primavera (Abril, Maio e Junho).

2.3. Amostragem da pastagem

Nos mesmos cinco momentos procedeu-se à determinação da temperatura da pastagem por termografia de infravermelhos com uma câmara "ThermaCAM™". As imagens térmicas foram analisadas com o programa "ResearchIR® 3.0" e exportadas para uma folha de cálculo onde a informação foi processada.

A produtividade da pastagem, em termos de matéria verde (MV) e de matéria seca (MS) por unidade de área (kg/ha) foi determinada por corte directo no interior das caixas de exclusão de pastoreio nos mesmos cinco momentos e tratamento standard no Laboratório de Pastagens e Tecnologia das Forragens da Universidade de Évora.

2.4. Análise estatística dos resultados

A análise estatística dos resultados incluiu a análise descritiva com o cálculo da média e do desvio padrão de cada conjunto de dados do solo e da pastagem. Os procedimentos estatísticos foram realizados com o programa "MSTAT-C", com um nível de significância de 95% ($p<0,05$). Procedeu-se a análise de variância (ANOVA) e foi utilizado o teste de Fischer ("LSD- least square differences") para determinar diferenças significativas entre médias nas duas condições de ensaio (fora da copa e debaixo da copa).

3. Resultados e Discussão

3.1. Efeito das árvores sobre as características do solo

O solo apresenta textura franco-arenosa, pH ácido, é rico em K e com níveis médios de MO, Mg e P, sendo pobre em N. De acordo com Guevara-Escobar et al. (2007), os solos de pastagens pastoreadas tendem a acidificar em consequência da lixiviação de nitratos e acumulação de MO. O Quadro 1 apresenta a média e o desvio padrão das propriedades da camada de superficial do solo (0-0,30m) e a probabilidade de diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as duas situações em estudo: debaixo da copa das árvores (DCA) e fora da copa das árvores (FCA). McCormick et al. (2009) concluíram que a deposição heterogénea de dejectos pelos animais em pastoreio constitui a principal causa de variabilidade dos nutrientes no solo. A Tabela 1 mostra que o solo debaixo da copa das árvores apresentou níveis mais altos de matéria orgânica (MO), N, P, K e Mg. Não se verificaram diferenças significativas na textura, no pH e no Mn.

Quadro 1. Parâmetros do solo nas duas situações em estudo, debaixo da copa das árvores (DCA) e fora da copa das árvores (FCA)

Parâmetros do solo	DCA	FCA	Probabilidade
Areia grossa, %	49,0±2,4	47,8±2,6	ns
Areia fina, %	31,8±1,5	32,6±2,4	ns
Limo, %	9,8±1,5	9,5±3,3	ns
Argila, %	9,4±1,0	10,1±3,7	ns
MO, %	3,1±0,5	1,7±0,4	0,0000
pH	5,4±0,4	5,3±0,2	ns
Nt, %	0,16±0,03	0,09±0,03	0,0001
P_2O_5, mg kg^{-1}	117,7±77,0	68,2±29,5	0,0571
K_2O, mg kg^{-1}	359,3±112,8	180,5±91,9	0,0012
Mg, mg kg^{-1}	115,0±38,8	76,3±40,9	0,0503
Mn, mg kg^{-1}	16,2±7,0	11,8±4,9	ns

DCA- Debaixo da copa das árvores; FCA- Fora da copa das árvores; ns- Diferenças não significativas.

Vários autores reportaram o efeito positivo das árvores sobre a fertilidade do solo, sobre a capacidade de retenção de água e sobre a produtividade da pastagem (Jackson e Ash, 1998; Marcos et al., 2007; Benavides et al., 2009; Howlett et al., 2011). Para Marcos et al. (2007) o balanço da interacção entre árvores e pastagem é positivo em termos de fertilidade do solo e microclima, mas negativo em termos de luz, água e nutrientes. Benavides et al. (2009) justificaram a maior concentração de nutrientes debaixo da copa das árvores como resultado da absorção de nutrientes pelas raízes das árvores em camadas profundas do solo e a sua incorporação nas camadas superficiais pela queda das folhas.

A Figura 1 mostra o comportamento da humidade do solo entre Dezembro de 2015 e Junho de 2016 a duas profundidades (0-0,20m e 0,20-0,40m).

A humidade do solo foi mais elevada fora da copa das árvores durante o Inverno, invertendo-se este comportamento a partir da Primavera, quando a temperatura atmosférica aumenta e a precipitação diminui, acontecendo esta inversão mais cedo à superfície do que a maior profundidade (a partir de Abril na camada de solo de 0-0,20m e a partir de Maio na camada de solo de 0,20-0,40m). Este comportamento reflecte o efeito da copa: quando chove, a copa funciona como uma barreira à penetração da precipitação; quando a temperatura começa a aumentar, a copa actua como uma estrutura de protecção e de sombra para a pastagem, diminuindo a evapotranspiração das plantas e ajudando a manter elevados teores de humidade na zona debaixo da copa das árvores (Guevara-Escobar et al., 2007; Benavides et al., 2009).

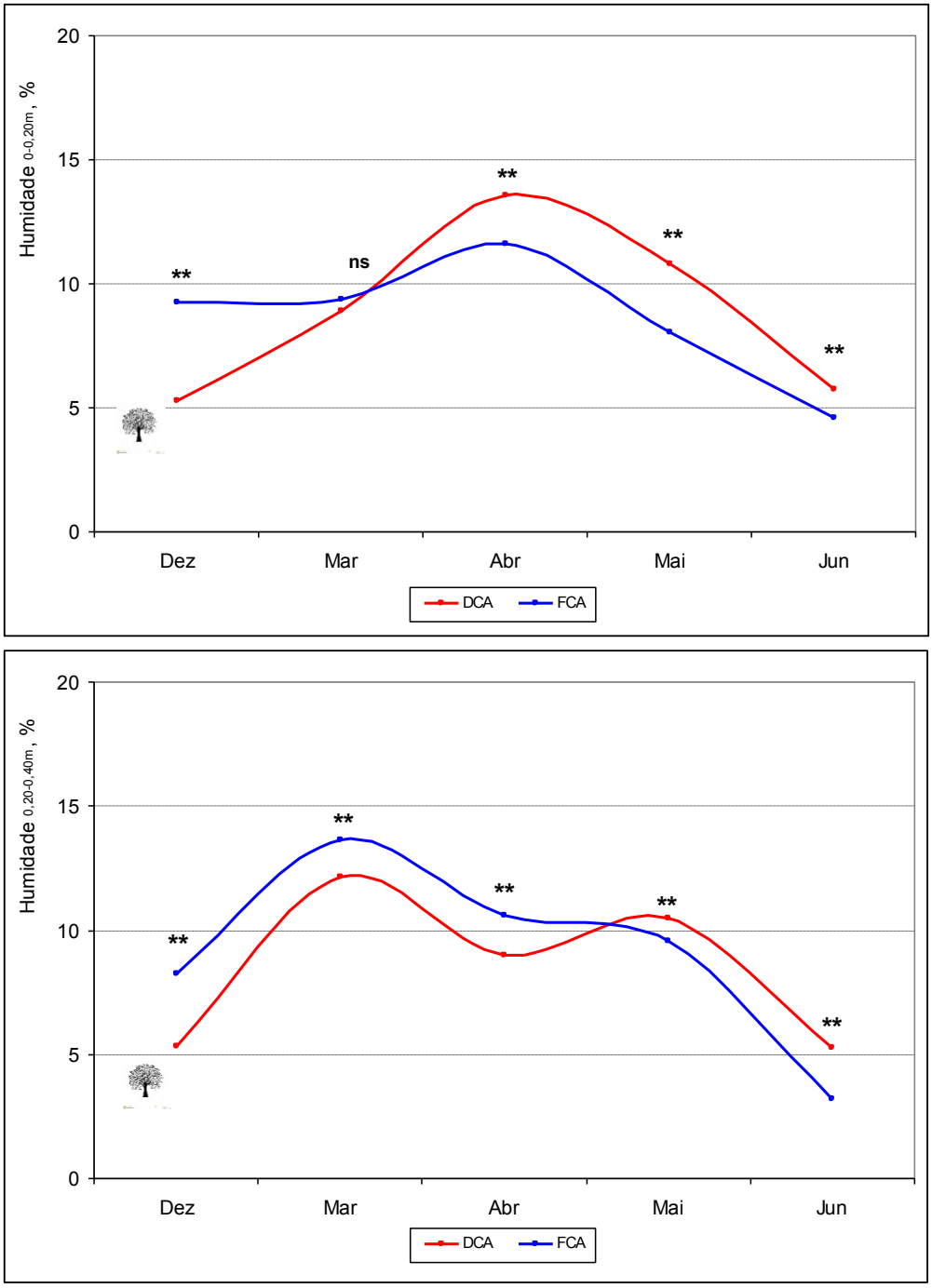


*Figura 1. Humidade do solo debaixo e fora da copa das árvores (DCA e FCA, respectivamente) entre Dezembro de 2015 e Junho de 2016 a duas profundidades (0-0,20m em cima e 0,20-0,40m em baixo) (**- Diferenças significativas, p<0,01)*

A Figura 2 mostra o comportamento da temperatura da superfície da pastagem entre Dezembro de 2015 e Junho de 2016, medida pela câmara de infravermelhos. A temperatura foi mais elevada fora da copa das árvores no Inverno e na Primavera.

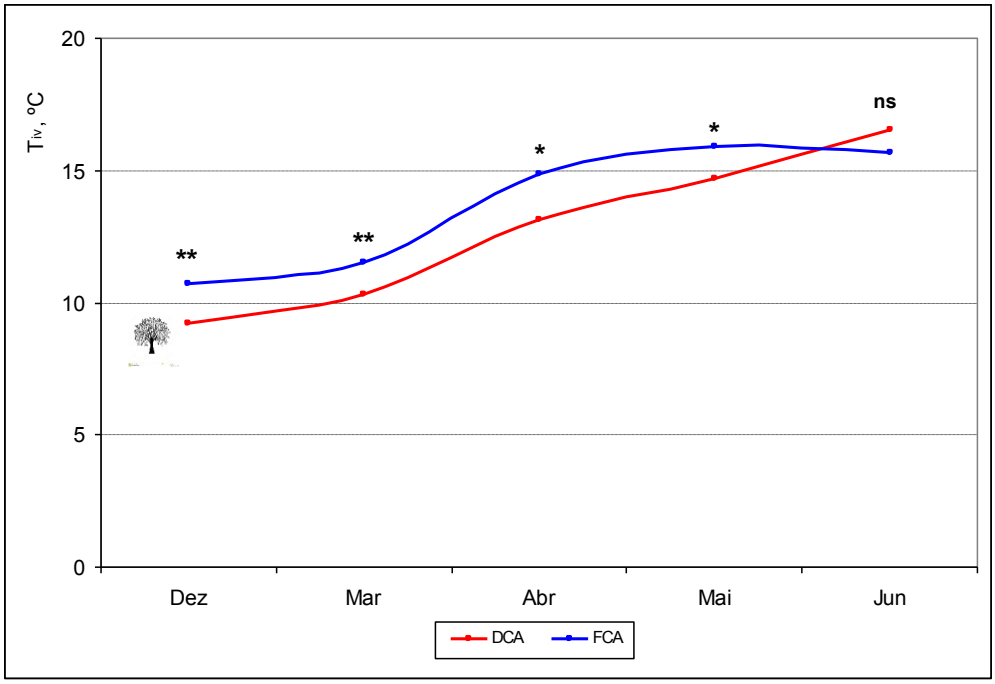


Figura 2. Temperatura da superfície da pastagem debaixo e fora da copa das árvores (DCA e FCA, respectivamente) entre Dezembro de 2015 e Junho de 2016
*(**- Diferenças significativas, p<0,01; *- Diferenças significativas, p< 0,05; ns- Diferenças não significativas)*

Em resumo, os efeitos negativos das árvores (competição) em termos de transpiração e intercepção da precipitação podem ser compensados pelos efeitos positivos em termos de microclima, uma vez que aumentam a fertilidade do solo e a capacidade de retenção e infiltração de água (Marcos et al., 2007). A vantagem da mistura de espécies, neste caso do *Montado*, de árvores e pastagens, está na complementaridade dos sistemas radiculares na ocupação do solo e na utilização da humidade (Pollock et al., 2009).

3.2. Efeito das árvores sobre a produtividade da pastagem

Os efeitos das árvores na pastagem são consequência da extensão com que aquelas modificam o microclima e as propriedades do solo (Guevara-Escobar et al., 2007; Benavides et al., 2009). A produtividade das pastagens debaixo da copa das árvores em sistemas silvo-pastoris normalmente depende do grau de competição entre as árvores e a pastagem pela luz, a humidade e os nutrientes (Hussain et al., 2009) e normalmente não reflecte o gradiente de fertilidade do solo (Jackson e Ash, 1998).

A Figura 3 mostra a evolução, ao longo do ciclo vegetativo, da produtividade da pastagem em termos de matéria verde (MV) e de matéria seca (MS), debaixo e fora da copa das árvores (DCA e FCA, respectivamente). O padrão típico em pastagens de sequeiro na região Mediterrânica é de um acréscimo significativo da produtividade do Inverno para a Primavera, com quebra a partir do final da Primavera e início do Verão, quando a humidade do solo diminui significativamente, acompanhada de uma subida importante da temperatura. A Figura mostra diferenças significativas entre Março e Junho favorecendo a produtividade (MV e MS) fora da copa das árvores. Durante o Inverno, que coincide com o período de menor crescimento, não se verificaram diferenças significativas na produção de biomassa nas duas situações (DCA e FCA), o que está em linha com o estudo de Benavides et al. (2009).

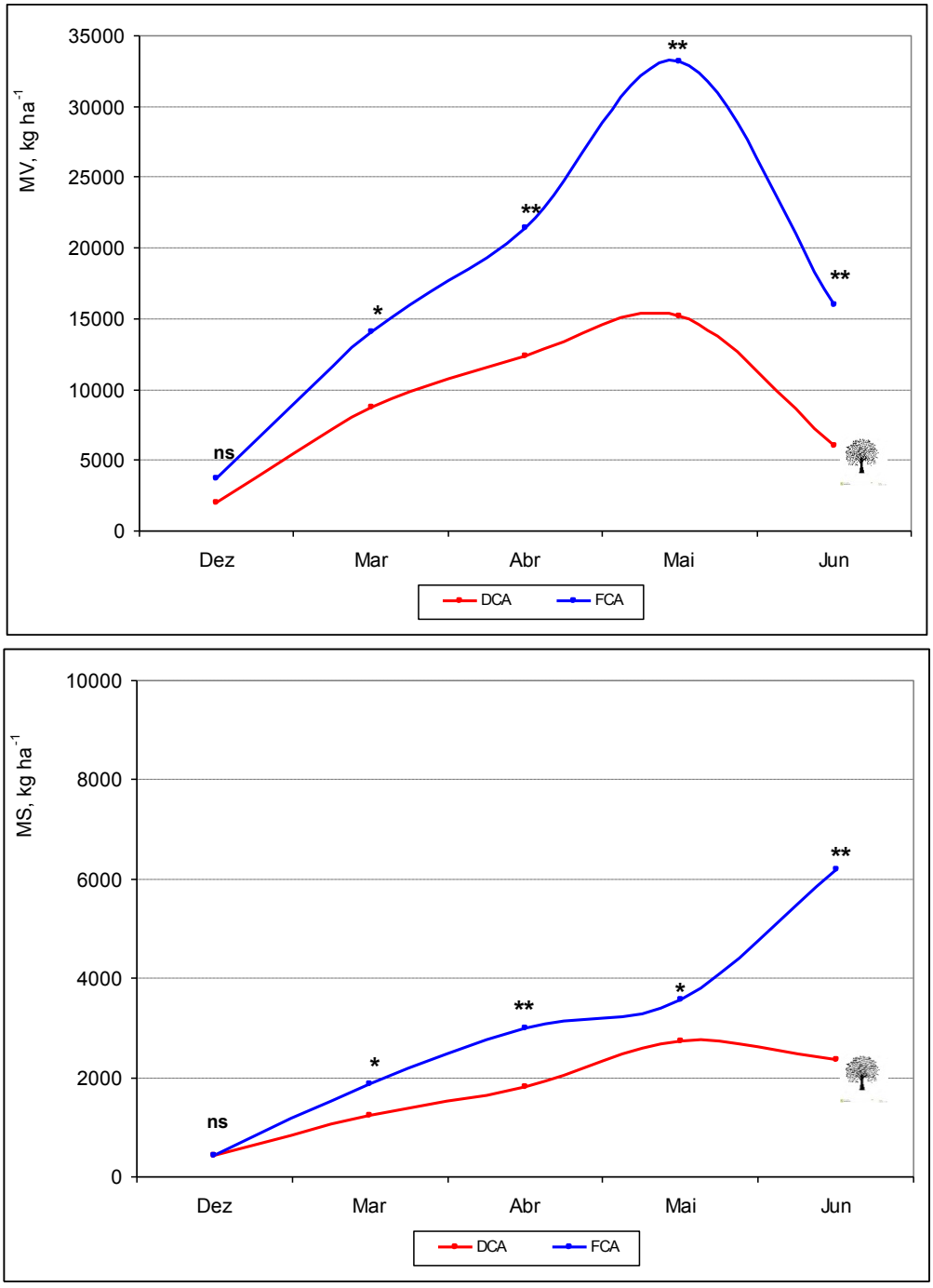


Figura 3. Produtividade da pastagem em termos de matéria verde (MV, em cima) e matéria seca (MS, em baixo) debaixo e fora da copa das árvores (DCA e FCA, respectivamente) entre Dezembro de 2015 e Junho de 2016

*(**- Diferenças significativas, p<0,01; *- Diferenças significativas, p< 0,05; ns- Diferenças não significativas)*

A sombra das árvores proporciona um microclima debaixo da copa das árvores, com menor variabilidade da temperatura do ar e do solo, o que tem consequência directa na produtividade (Marcos et al., 2007). O nível de sombra e a sua duração (e a consequente intercepção de luz) são factores determinantes no efeito negativo sobre a produtividade das pastagens debaixo da copa das árvores (Somarriba, 1988; Guevara-Escobar et al., 2007; Benavides et al., 2009; Hussain et al., 2009). Hussain et al. (2009) mostraram, inclusivamente, que a sombra influência mais o crescimento da pastagem do que a humidade do solo. Esta relação negativa entre a produtividade da pastagem e o impedimento da transmissão de luz para a vegetação que se desenvolve debaixo das árvores é

consequência da redução da radiação solar e da fotossíntese (Bird, 1998; Guevara-Escobar et al., 2007; Benavides et al., 2009). Hussain et al. (2009) consideram que outros factores, como a frequência e intensidade de pastoreio e diferenças na composição florística, são também responsáveis pela menor produtividade da pastagem debaixo da copa das árvores. A acumulação de folhas sobre a pastagem pode também reduzir o crescimento da pastagem debaixo das árvores (Guevara-Escobar et al., 2007). As folhas e as raízes podem ainda produzir substâncias ou agentes inibidores que retardam o crescimento das plantas na proximidade das árvores (Bird, 1998). Gómez-Rey et al. (2007) reportaram que o solo debaixo da copa das árvores apresenta maior densidade e menor porosidade em resultado da compactação causada pelos animais, o que dificulta o desenvolvimento radicular das plantas e, associado à menor incidência de luz, compromete o seu crescimento.

4. Conclusões

O *Montado* é um ecossistema constituído pelo solo, as árvores, pastagens e animais em pastoreio. A sua sustentabilidade exige o conhecimento das interacções entre os diferentes elementos que o constituem. A optimização dos sistemas agro-florestais pela escolha da densidade e distribuição espacial das árvores é, no entanto, um processo complexo e demorado, requerendo estudos práticos. Este trabalho demonstra a influência das azinheiras (*Quercus ilex ssp. rotundifolia* Lam.) no solo e na pastagem do ecossistema Mediterrânico de *Montado*. O solo debaixo da copa das árvores apresentou níveis significativamente mais elevados de matéria orgânica, N, P, K e Mg. Contribuem para esta maior fertilidade do solo a queda de folhas e de bolotas, a maior densidade de raízes e a acumulação de dejectos dos animais que encontram nas sombras das árvores zonas privilegiadas de descanso. No entanto, a produtividade da pastagem apresentou valores significativamente mais elevados fora da copa das árvores, o que mostra que a produtividade da pastagem no ecossistema silvo-pastoril não reflecte o gradiente de fertilidade do solo, dependendo do grau de competição entre árvores e pastagens pelos recursos luz, água e nutrientes. A pastagem debaixo das árvores recebeu menos radiação, com implicações na temperatura e nos processos fisiológicos das plantas, nomeadamente, a germinação e a fotossíntese, factores decisivos na produtividade.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do Projecto UID/AGR/00115/2013.

Bibliografia

Benavides, R., G. B. Douglas and K. Osoro. 2009. Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agroforestry Systems,* 76: 327–350.

Bird, P. R. 1998. Tree windbreaks and shelter benefits to pasture in temperate grazing systems. *Agroforestry Systems,* 41: 35–54.

David, T. S., C. A. Pinto, N. Nadezhdina, C. Kurz-Besson, M. O. Henriques, T. Quilhó, J. Cermak, M. M., Chaves, J. S. Pereira and David J. S. 2013. Root functioning, tree water use and hydraulic redistribution in *Quercus suber* trees: A modeling approach based on root sap flow. *Forest Ecology and Management,* 307: 136–146.

Efe Serrano, J. 2006. Pastagens no Alentejo: Bases técnicas para a sua caracterização, pastoreio e melhoramento. Universidade de Évora, ICAAM, Évora, Portugal.

FAO. 2006. World reference base for soil resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Soil Resources Reports N º 103, Rome, Italy.

Gómez -Rey, M. X., A. Garcês and M. Madeira. 2012. Soil organic-C accumulation and N availability under improved pastures established in Mediterranean oak woodlands. *Soil Use and Management,* 28: 497–507.

Guevara-Escobar, A., P. D. Kemp, A. D. Mackay and J. Hodgson. 2007. Pasture production and composition under poplar in a hill environment in New Zealand. *Agroforestry Systems,* 69 (3): 199–213.

Howlett, D. S., G. Moreno, M. R. Losada, P. K. R. Nair and V. D. Nair. 2011. Soil carbon storage as influenced by tree cover in the dehesa cork oak silvopasture of central-western Spain. *Journal Environmental Monitoring,* 13: 1897–1904.

Hussain, Z., P. D. Kemp, D. J. Horne and I. K. D. Jaya. 2009. Pasture production under densely planted young willow and poplar in a silvopastoral system. *Agroforestry Systems,* 76: 351–362.

Jackson, J. and A. J. Ash. 1998. Tree-grass relationships in open eucalypt woodlands of northeastern Australia: influence of trees on pasture productivity, forage quality and species distribution. *Agroforestry Systems,* 40 (2): 159–176.

Marcos, G. M., J. J. Obrador, E. Garcia, E. Cubera, M. J. Montero, F. Pulido and C. Dupraz. 2007. Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas through management practices. *Agroforestry Systems,* 70: 25–40.

McCormick, S., C. Jordan and J. Bailey. 2009. Within and between field spatial variation in soil phosphorus in permanent grassland. *Precision Agriculture,* 10: 262–276.

Paço, T. A., T. S. David, M. O. Henriques, J. S. Pereira, F. Valente, J. Banza, F. L. Pereira, C. Pinto and J. S. David. 2009. Evapotranspiration from a Mediterranean evergreen oak savannah: The role of trees and pasture. *Journal of Hydrology,* 369: 98–106.

Pollock, K. M., D. J. Mead and B. A. McKenzie. 2009. Soil moisture and water use by pastures and silvopastures in a sub-humid temperate climate in New Zealand. *Agroforestry Systems,* 75 (3): 223–238.

Schellberg, J., M. J. Hill, G. Roland, M. Rothmund and M. Braun. 2008. Precision agriculture on grassland: applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy,* 29(2–3): 59–71.

Seddaiu, G., G. Porcua, L. Luigi,P. P. Roggero, A. Agnelli and G. Cortic. 2013. Soil organic matter content and composition as influenced by soil management in a semi-arid Mediterranean agro-silvo-pastoral system. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 167: 1–11.

Somarriba, E. 1988. Pasture growth and floristic composition under the shade of guava (*Psidium guajava* L.) trees in Costa Rica. *Agroforestry Systems,* 6: 153–162.

Avaliação de tecnologias na monitorização do efeito das árvores sobre a produtividade e sobre a qualidade da pastagem

João Serrano[1], Shakib Shahidian[2], José Marques da Silva[3], Eliana Machado[4], Mário de Carvalho[5]

[1,2,3] ICAAM- Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Pólo da Mitra, Ap. 94, 7006-554 Évora, Portugal. jmrs@uevora.pt; shakib@uevora.pt; jmsilva@uevora.pt

[4] ICAAM- Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Departamento de Biologia, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Pólo da Mitra, Ap. 94, 7006-554 Évora, Portugal. mjc@uevora.pt

[5] ICAAM- Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Departamento de Fitotecnia, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Pólo da Mitra, Ap. 94, 7006-554 Évora, Portugal. mjc@uevora.pt

Resumo

Este estudo foi realizado numa parcela de pastagem de 2,3 ha, sob montado de azinho (*Quercus ilex ssp. rotundifolia* Lam.), situada na Herdade da Mitra. Foram seleccionadas seis árvores tendo-se georreferenciado quatro pontos de amostragem em cada árvore (dois fora da copa e dois debaixo da copa). Em cada ponto de amostragem e em cinco momentos ao longo do ciclo vegetativo da pastagem (Dezembro de 2015, Março, Abril, Maio e Junho de 2016) realizou-se a monitorização dos índices de vegetação (NDVI), da capacitância, da produtividade (matéria verde e matéria seca por hectare), da qualidade da pastagem (cinzas totais, proteína bruta e fibra) e da composição florística.

Os resultados obtidos mostraram que a produtividade da pastagem foi mais elevada fora da copa das árvores enquanto os teores de proteína bruta foram mais elevados debaixo da copa das árvores. A sombra originou diferenças significativas ao nível da composição florística o que, associado ao retardar da evolução do ciclo vegetativo contribuiu para maior qualidade da pastagem em cada momento de amostragem. As medições do NDVI e da capacitância revelaram correlações significativas com a produtividade da pastagem e com alguns parâmetros de qualidade. Estes resultados mostram que a incorporação de tecnologias de monitorização expedita da pastagem apresenta potencial para apoio à tomada de decisão do gestor agrícola, nomeadamente, em termos de fertilização/correcção do solo, do levantamento/preservação da biodiversidade de espécies botânicas, adensamento dos povoamentos arbóreos ou cálculos de encabeçamentos animais.

Palavras-chave: ecossistema de montado, composição florística, sensor óptico activo, sonda de capacitância

Evaluation of technologies for monitoring the effect of trees on the productivity and quality of pasture

Abstract

This study was carried out on a 2.3 ha pasture field with oak trees (*Quercus ilex ssp. rotundifolia* Lam.), located at the Herdade of Mitra. Six trees were selected, and four sampling points were georeferenced for each tree (two points outside the canopy and two under the canopy). On five occasions during the growth season of the pasture (December 2015, March, April, May and June 2016) the vegetative indexes (NDVI), capacitance, productivity (green matter and dry matter production per hectare), pasture quality (total ashes, crude protein and fibre) and plant composition were monitored at each sampling point.

The results show that the productivity of the pasture was highest outside the tree canopy while the crude protein content was higher under the tree canopy. Shadow originated significant differences at the level of plant composition, which, associated with a slowing of the evolution of the vegetative cycle, contributed to higher pasture quality at every sampling point. The measurements of NDVI and capacitance showed significant correlations with the pasture productivity and with some quality parameters. These results show that the

incorporation of quick pasture monitoring technologies has potential to help the farmer as a decision making support tool, namely, in terms of fertilization, soil amendment, survey and preservation of pasture plant biodiversity, improved tree density or calculation of animal density.

Keywords: montado ecosystem, plant composition, active optical sensor, capacitance sensor

1. Introdução

A aplicação de sensores e técnicas expeditas nos sistemas de produção animal é difícil devido à complexidade associada, relacionada com a elevada variabilidade espacial e temporal da composição florística, em resposta a factores como o pastoreio animal, a precipitação, a fertilidade ou a humidade do solo (Pullanagari et al., 2013). O sucesso de tecnologias de agricultura de precisão em pastagens encontra-se associado à integração da informação fornecida por múltiplos sensores para monitorização das plantas, do solo e da dinâmica de pastoreio dos animais. Estas medições permitem ao gestor agrícola ter um melhor conhecimento do ecossistema e formular a estratégia de gestão mais apropriada em termos de rotação de parcelas em pastoreio ou da fertilização do solo.

A amostragem tradicional do solo e da pastagem e as necessárias análises laboratoriais são um processo demorado e caro, inviável numa perspectiva prática, conduzindo ao crescente interesse em métodos expeditos de monitorização (Handcock et al., 2016). No entanto, o baixo valor económico das pastagens e a variabilidade característica do ecossistema de montado, acentuada pela presença de árvores e pela dinâmica de pastoreio animal (Schellberg et al., 2008), colocam dificuldades adicionais. Esta área, todavia, pode beneficiar dos desenvolvimentos tecnológicos que têm sido introduzidos especialmente nas culturas de cereais nas últimas décadas (Schellberg et al., 2008).

A detecção remota, particularmente as imagens hiper-espectrais, têm sido consideradas ferramentas não destrutivas promissoras para estimar a concentração de nutrientes nas plantas. Para além da informação espacial, oferece um meio eficiente e barato para cartografar a concentração de nutrientes na pastagem em grandes áreas. Pullanagari et al. (2013) concluíram que a detecção remota multi-espectral tem potencial para estimar a qualidade da pastagem de forma expedita no campo, sem necessidade de amostragem destrutiva. A detecção remota através de satélite constitui, por isso, uma interessante perspectiva devido à escala da resposta, à velocidade de processamento e ao baixo custo. As imagens de satélite com diferentes características geométricas e espectrais (por exemplo, “Landsat 8” ou “Sentinel-2”) são exemplos com aplicações no sistema de montado. No entanto, no ecossistema de montado, as imagens de satélite apresentam a desvantagem de não permitirem o acesso à pastagem que se encontra debaixo da copa das árvores.

A solução para cartografar a variabilidade em pastagens nestas condições, em particular para avaliar o efeito das árvores no desenvolvimento da pastagem, pode passar pela utilização de sensores próximos e técnicas não destrutivas, fundamentais na monitorização de extensas áreas (Handcock et al., 2016). Apesar dos sensores próximos não apresentarem a escala de cobertura que é proporcionada pelas imagens de satélite, quando montados em plataformas móveis (moto 4, por exemplo), estes sensores apresentam o potencial para apresentar dados em contínuo, captando mudanças bruscas na proporção da vegetação fotossinteticamente activa e fornecendo dados para uma gestão mais responsável (Handcock et al., 2016). Sensores ópticos activos (Active Optical Sensors, AOS) e sondas de capacitância são alguns exemplos de desenvolvimentos tecnológicos, normalmente combinados com sistemas globais de navegação por satélite (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) e sistemas de informação geográfica (Geographical Information Systems, GIS). Foram desenvolvidos vários índices de vegetação, obtidos por detecção remota ou próxima, testados para estimar e comparar diversas propriedades da vegetação. O NDVI, medido por sensores ópticos próximos, apresenta correlações com o vigor vegetativo das plantas, podendo representar um meio rápido para obter a cartografia detalhada das culturas (Gitelson, 2004). No caso específico das pastagens, a relação entre a produtividade e a capacitância (Corrected Meter Reading, CMR) medida pela sonda “Grassmaster II” é influenciada por vários factores como a composição florística,

o estado fenológico ou o teor de humidade da pastagem, dinâmica natural da vegetação que justifica o interesse em estudos de calibração.

Este trabalho teve como objectivos principais (i) avaliar o efeito das árvores sobre a produtividade e a qualidade da pastagem; (ii) avaliar sensores próximos com potencial para monitorizar de forma expedita aspectos relacionados com a variabilidade espacial e temporal da produtividade e da qualidade da pastagem.

2. Material e Métodos

2.1. Parcela de estudo

A parcela de estudo, com uma área de 2,3ha, localiza-se na Herdade da Mitra (coordenadas 38°32,2'N; 8°01,1'W), da Universidade de Évora, na região Sul de Portugal. Trata-se de uma parcela de montado de azinho (*Quercus ilex ssp. rotundifolia* Lam.), com reduzida densidade (8 árvores por hectare), e pastagem permanente pastoreada por 15 ovinos *Merino Preto* em sistema rotacional.

Na parcela foram identificadas seis árvores que foram seleccionadas para estudo. Em cada uma destas foram instaladas 4 caixas de exclusão de pastoreio, duas fora da copa (FCA) e duas debaixo da copa (DCA), num total de vinte e quatro pontos de amostragem.

2.2. Amostragem da pastagem

A amostragem da pastagem consistiu na medição dos índices de vegetação, da capacitância, da produtividade, da qualidade e da composição florística. Este processo decorreu em cinco momentos: no final do Outono (Dezembro de 2015), no final do Inverno (Março de 2016), e mensalmente durante a Primavera (Abril, Maio e Junho).

2.2.1. Medição dos índices de vegetação

Foi utilizado um sensor óptico activo (OAS) OptRx®, fabricado pela Ag Leader (2202 South River Side Drive Ames, IOWA 50010, USA), associado a um receptor GNSS Trimble (GeoExplorer 6000) e uma bateria portátil. O sensor, colocado a 0,75m acima do solo mediu três bandas de infravermelhos: i) RED; ii) RED EDGE; e iii) NIR. Com duas destas bandas foi possível calcular o NDVI, Equação (1):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Mais detalhe pode ser consultado em Serrano et al. (2016a).

2.2.2. Medição da capacitância

As medições foram realizadas com a sonda Grassmaster II, precedidas por uma correcção à humidade do ar. Dez leituras da capacitância (corrected meter readings, CMR) foram realizadas em cada ponto de amostragem. Maior detalhe pode ser consultado em Serrano et al. (2016b).

2.2.3.Medição da produtividade, da qualidade e da composição florística da pastagem

Após a recolha de informação com os sensores, o operador colocou sobre a pastagem, em cada ponto de amostragem, um aro metálico com 0,1 m^2 de área (dimensões 0,40 m x 0,25 m). A pastagem dentro desta área foi cortada com uma tesoura eléctrica e guardada em sacos de plástico. Em laboratório, a pastagem foi pesada, desidratada (72 h at 65°C) e pesada novamente para estabelecer a produtividade da pastagem (kg MV ha^{-1} e kg MS ha^{-1}), de acordo com metodologia standard (Serrano et al., 2016b). As amostras desidratadas foram submetidas a análise dos teores em cinzas totais (CT), proteína bruta (PB) e fibra (NDF).

No período de floração (entre Abril e Maio de 2016), foi realizado, por uma especialista em Biologia da Conservação, o levantamento das espécies botânicas em cada ponto de amostragem. Esta informação foi depois convertida em percentagem de cobertura da área de amostragem.

2.3. Análise estatística dos resultados

A análise estatística dos resultados incluiu a análise descritiva com o cálculo da média, do desvio padrão, do coeficiente de variação e do intervalo de variação de cada conjunto de dados da pastagem. Os procedimentos estatísticos foram realizados com o programa "MSTAT-C", com um nível de significância de 95% ($p < 0,05$). Procedeu-se a análise de variância (ANOVA) e foi utilizado o teste de Fischer ("LSD- least square differences") para determinar as diferenças significativas entre médias nas duas condições de ensaio (fora da copa e debaixo da copa). Foi utilizada análise de regressão para avaliar a correlação entre as variáveis da pastagem e os parâmetros medidos pelos sensores.

3. Resultados e Discussão

3.1. Efeito das árvores sobre a produtividade da pastagem

O Quadro 1 mostra a evolução da produtividade da pastagem (matéria verde, MV, e da matéria seca, MS, em kg ha^{-1}) ao longo do seu ciclo vegetativo, nas duas situações em estudo (debaixo da copa das árvores e fora da copa das árvores). O padrão corresponde ao comportamento típico em pastagens de sequeiro em condições de clima Mediterrânico, com um pico de produção no final da Primavera (Maio/Junho). Durante o Inverno, que coincide com o período de menor crescimento, não se verificaram diferenças significativas na produção de biomassa nas duas situações (DCA e FCA), o que está em linha com o estudo de Benavides et al. (2009). É possível verificar, no entanto, diferenças significativas entre Março e Junho favorecendo a produtividade (MV e MS) fora da copa das árvores. A sombra das árvores exerce um efeito directo sobre os aspectos fenológicos, mas também sobre a produtividade da pastagem (Marcos et al., 2007). O nível de sombra e a sua duração (e a consequente intercepção de luz) são factores determinantes no efeito negativo sobre a produtividade das pastagens debaixo da copa das árvores (Somarriba, 1988; Guevara-Escobar et al., 2007; Benavides et al., 2009; Hussain et al., 2009).

Quadro 1. Parâmetros da produtividade da pastagem ao longo do ciclo vegetativo, nas duas situações em estudo, debaixo da copa das árvores (DCA) e fora da copa das árvores (FCA)

Parâmetros da pastagem	DCA	FCA	Probabilidade
MV, kg ha^{-1}			
21/12/2015	2005±2352	3675±3565	ns
15/03/2016	8747±4210	14106±7095	0,0307
28/04/2016	12403±3910	21403±9128	0,0002
25/05/2016	15148±5856	33149±13221	0,0000
16/06/2016	6017±3122	15990±4888	0,0000
MS, kg ha^{-1}			
21/12/2015	437±483	425±425	ns
15/03/2016	1232±554	1868±661	0,0162
28/04/2016	1804±546	2987±1195	0,0001
25/05/2016	2751±910	3582±961	0,0734
16/06/2016	2363±1017	6191±1791	0,0000

MV- Matéria verde; MS- Matéria seca; ns- Diferenças não significativas.

3.2. Efeito das árvores sobre a qualidade da pastagem

As árvores afectam não só a produtividade mas também a qualidade das pastagens. A Figura 1 mostra a evolução dos parâmetros de qualidade da pastagem (CT, PB e NDF) nas duas situações em estudo, ao longo do ciclo vegetativo. O padrão típico nestas condições reflecte uma redução do valor nutritivo da pastagem ao longo da Primavera (redução da PB e das CT e aumento da fibra). Por outro lado, registaram-se diferenças significativas nos parâmetros de qualidade da pastagem entre Março e Abril (CT e NDF) ou entre Março e Maio (PB), com influência positiva da copa das árvores. De acordo com vários autores (Jackson e Ash 1998; Marcos et al. 2007), a reciclagem de nutrientes e o aumento da fertilidade do solo são consideradas as causas da melhor qualidade da pastagem debaixo das árvores. Benavides et al. (2009) consideram que a falta de luz, as mais baixas temperaturas e a menor humidade do solo atrasam o desenvolvimento da pastagem debaixo das árvores, permanecendo fisiologicamente mais jovens e mantendo altos níveis metabólicos por um período de tempo mais longo, originando diferenças nos parâmetros de qualidade. Guevara-Escobar et al. (2007) referem que as árvores originam também diferenças importantes ao nível da composição florística da pastagem, o que se reflecte a qualidade da mesma. Pullanagari et al. (2013) registaram valores mais altos de PB na pastagem debaixo das árvores, tendo justificado este aumento pela menor exposição à luz solar. Esta redução da exposição solar provoca uma diminuição da fotossíntese, com o consequente aumento da concentração de azoto e da mineralização da matéria orgânica (Gómez-Rey et al., 2012; Pullanagari et al., 2013). Em relação à fibra (NDF), que está inversamente relacionada com a capacidade de ingestão dos animais, geralmente atinge níveis semelhantes debaixo e fora da copa das árvores (Benavides et al., 2009; Pullanagari et al. 2013), o que está de acordo com os resultados obtidos neste estudo.

3.3. Efeito das árvores sobre a composição florística da pastagem

A Figura 2 mostra as espécies botânicas predominantes (percentagem média de cobertura) na Primavera de 2016 nas duas situações em estudo (DCA e FCA). Pode verificar-se que as dez espécies botânicas mais frequentes presentes no conjunto dos vinte e quatro pontos de amostragem foram: *Erodium moschatum* da família *Geraniaceae* – outras (DCA= 40,2%; FCA= 15,6%); *Chamaemelum mixtum* família *Asteraceae* – compósitas (DCA = 6,9%; FCA= 17,0%); *Leontodon taraxacoides* família *Asteraceae* – compósitas (DCA = 6,2%; FCA= 12,3%); *Gramínea* sp. família *Poaceae* – gramíneas (DCA = 12,9%; FCA= 1,6%); *Vulpia* sp. família *Poaceae* - gramíneas (DCA = 11,1%; FCA = 3,3%); *Plantago coronopus* família *Plantaginaceae* – outras (DCA = 1,8%; FCA = 8,5%); *Trifolium resupinatum* família *Fabaceae* - leguminosas (DCA = 0,5%; FCA = 9,6%); *Diplotaxis cahotica* família *Brassicaceae* - outras (DCA= 0,6%; FCA = 6,3%); *Rumex bucephalophorus* família *Polygonaceae* - outras (DCA = 0,2%; FCA = 5,9%); e *Trifolium repens* família *Fabaceae* - leguminosas (DCA = 1,4%; FCA = 4,2%). Estas dez espécies representam 81,8% da cobertura total sob a copa das árvores e 84,3% fora da copa das árvores. Esta distribuição apresentou diferenças significativas ($p < 0,05\%$) entre as duas situações em estudo, com maior predominância de plantas da família das compósitas e das leguminosas fora da copa das árvores e maior predominância das gramíneas debaixo da copa das árvores. De acordo com Benavides et al. (2009) a composição botânica da pastagem debaixo da copa das árvores geralmente deteriora-se ao longo do tempo por declínio de leguminosas e aumento da proporção de material vegetal seco. Para os mesmos autores, a percentagem global de cobertura com gramíneas tende a aumentar debaixo da copa das árvores devido à sua maior tolerância à sombra e ao maior desenvolvimento fenológico no Inverno e na Primavera.

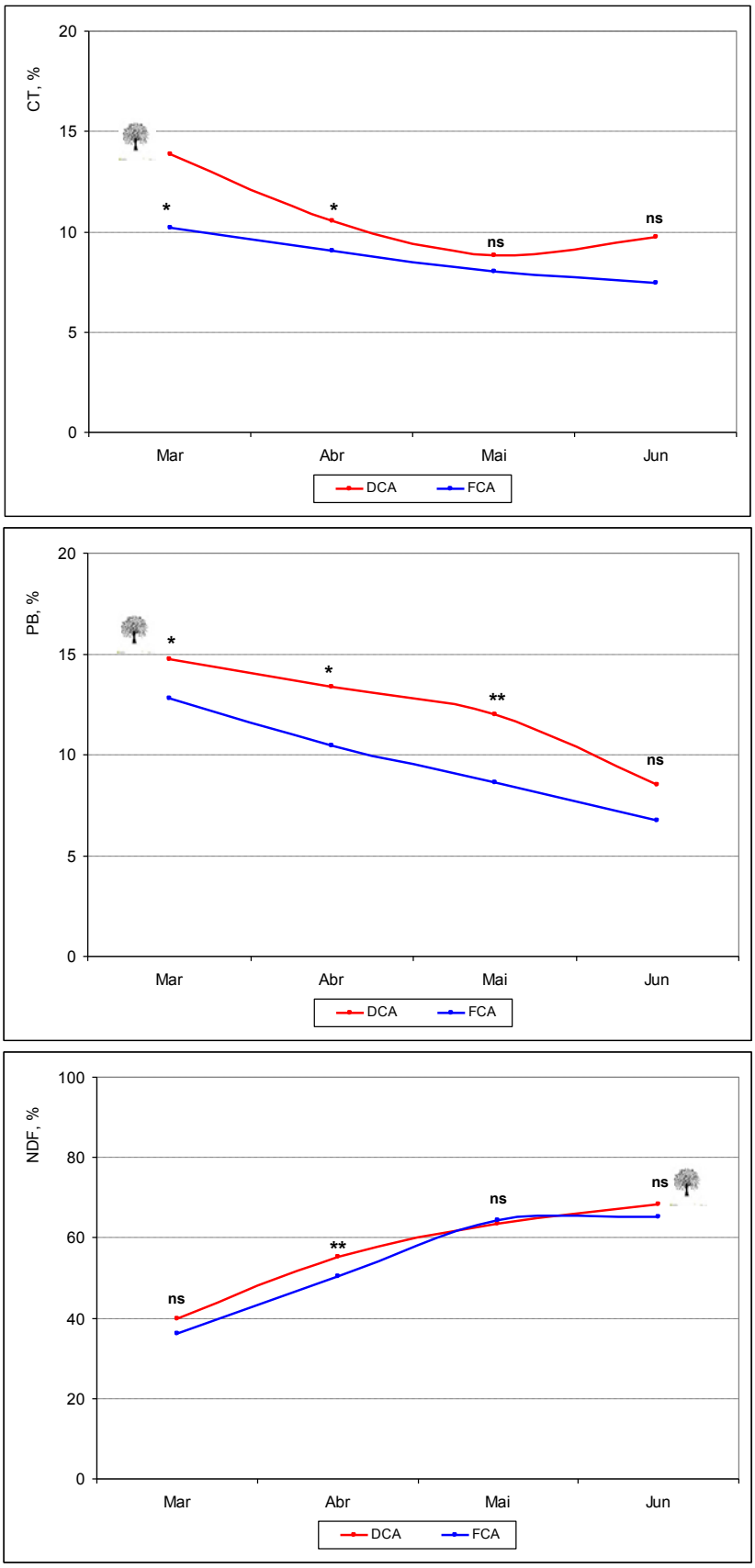


Figura 1. Qualidade da pastagem: cinzas totais (CT), proteína bruta (PB) e fibra (NDF), debaixo e fora da copa das árvores (DCA e FCA, respectivamente), entre Março e Junho de 2016
*(**- Diferenças significativas, p<0,01; *- Diferenças significativas, p< 0,05; ns- Diferenças não significativas)*

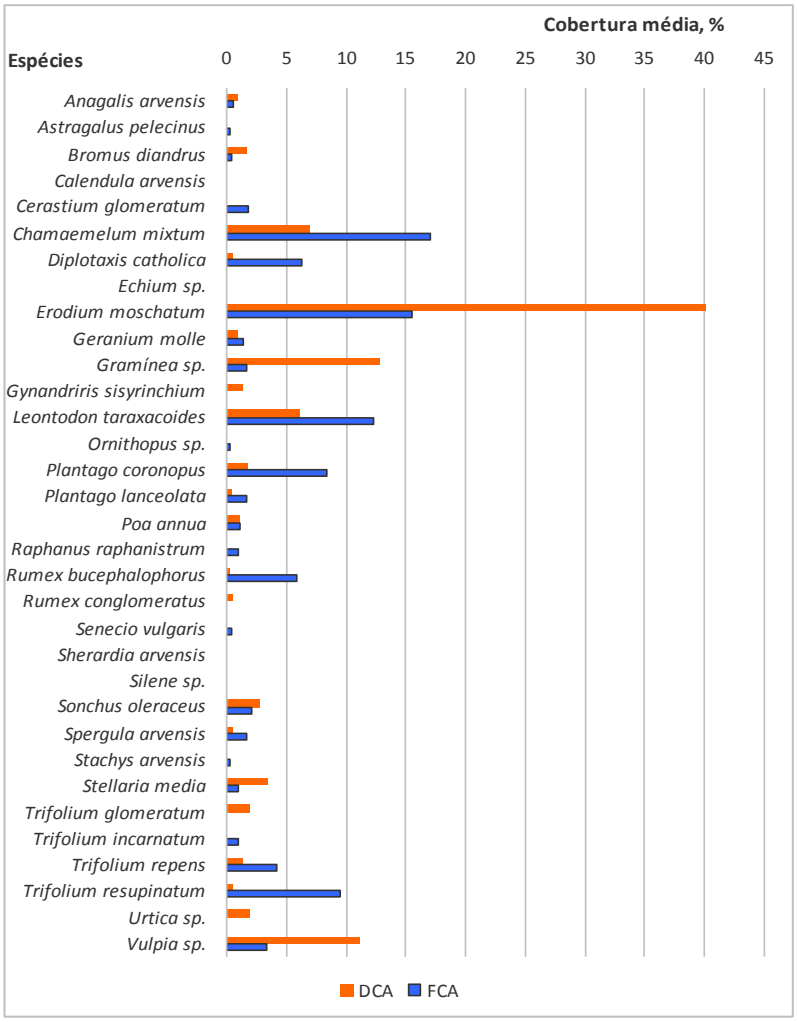


Figura 2. Espécies botânicas predominantes na Primavera de 2016 nas duas situações em estudo (debaixo da copa das árvores, DCA e fora da copa das árvores, FCA)

3.4. Correlação entre as medições realizadas pelos sensores, a produtividade e a qualidade da pastagem

A Figura 3 mostra a evolução do NDVI e da capacitância (CMR) nas duas situações em estudo, ao longo do ciclo vegetativo. Em média, verifica-se uma tendência de diminuição do NDVI ao longo do ciclo vegetativo, entre Dezembro e Junho, o que reflecte o correspondente decréscimo no vigor vegetativo da pastagem (Gitelson, 2004; Serrano et al., 2016a). Neste estudo os padrões de evolução do NDVI são semelhantes debaixo e fora da copa das árvores. Por outro lado, a capacitância aumenta entre Dezembro e Maio, diminuindo em Junho, com valores significativamente mais elevados fora da copa das árvores, padrão semelhante ao da produtividade da pastagem (MV).

Os métodos convencionais utilizados para determinar a produtividade e a qualidade da pastagem exigem recolhas de campo, seguidas de processamento laboratorial, processos demorados e caros (Pullanagari et al., 2013), daí o interesse em avaliar ferramentas expeditas. O Quadro 2 apresenta os coeficientes de correlação entre os parâmetros obtidos por múltiplos sensores e parâmetros de produtividade e de qualidade da pastagem no conjunto de todos os pontos de amostragem utilizados neste estudo.

As melhores e mais consistentes correlações foram obtidas entre a capacitância e a produtividade da pastagem (MV e MS). Estas foram significativas em todos os momentos de avaliação (entre Dezembro de 2015 e Junho de 2016, com coeficientes de correlação entre 0,606 e 0,818, $p < 0,01$).

Estes resultados confirmam o interesse prático da sonda de capacitância "Grassmaster II" como método expedito de estimativa da produtividade em pastagens Mediterrânicas do Sul de Portugal e estão em linha com anteriores estudos de Serrano et al. (2016a, 2016b).

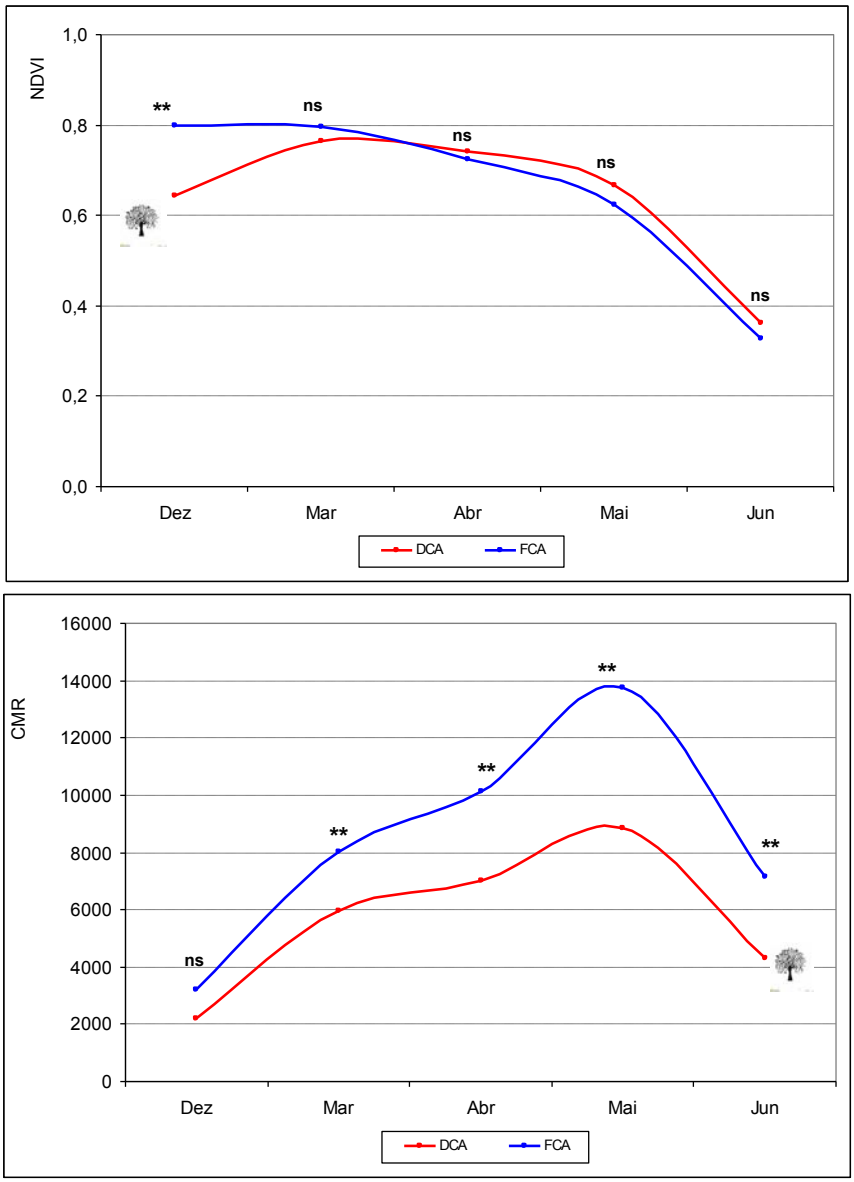


*Figura 3. Evolução das medições do NDVI e da capacitância (CMR), debaixo e fora da copa das árvores (DCA e FCA, respectivamente), entre Dezembro de 2015 e Junho de 2016 (**- Diferenças significativas, p<0,01; ns- Diferenças não significativas)*

No que se refere ao NDVI, as correlações com a produtividade da pastagem foram apenas altamente significativas (p <0,01) em Dezembro de 2015. A grande heterogeneidade das duas situações em estudo (DCA e FCA) pode ajudar a explicar estes resultados. Por outro lado, as correlações foram mais fracas quando a produtividade da pastagem aumentou, no início da Primavera. De acordo com Schaefer e Lamb (2016) as situações de produtividades elevadas podem provocar saturação na medição do NDVI.

As correlações do NDVI e da CMR com os parâmetros de qualidade da pastagem foram fracas praticamente ao longo de todo o ciclo vegetativo da pastagem. No entanto, entre Março e Maio, o NDVI mostrou correlações relativamente fortes e significativas ("r" entre 0,507 e 0,587, p < 0,01) com a PB, o que pode ser justificado pelo princípio de funcionamento do sensor óptico. O sensor

"optRx" detecta vegetação com níveis mais elevados de clorofila (vegetação fotossinteticamente activa), abundante na vegetação verde, o que está correlacionado com a PB (Pullanagari et al., 2013).

Quadro 2. Coeficientes de correlação entre os parâmetros obtidos por múltiplos sensores e parâmetros de produtividade e de qualidade da pastagem no conjunto de todos os pontos de amostragem

Parâmetros	MV, Kg ha^{-1}	MS Kg ha^{-1}	CT, %MS	PB, %MS	NDF, %MS
NDVI					
21/12/2015	0.609**	0.522**	-	-	-
15/03/2016	0.399*	0.217*	0.208*	0.507**	ns
28/04/2016	ns	-0.230*	0.548**	0.527**	ns
25/05/2016	ns	-0.416*	0.294*	0.587**	ns
16/06/2016	ns	ns	0.187*	ns	ns
CMR					
21/12/2015	0.786**	0.737**	-	-	-
15/03/2016	0.729**	0.738**	ns	0.285*	ns
28/04/2016	0.818**	0.794**	-0.282*	-0.291*	ns
25/05/2016	0.606**	0.689**	-0.307*	-0.472*	ns
16/06/2016	0.658**	0.626**	-0.346*	-0.321*	ns

MV- Matéria verde; MS- Matéria seca; CT- Cinzas totais; PB- Proteína bruta; NDF- Fibra;

***- Diferenças significativas, p<0,01; *- Diferenças significativas, p< 0,05; ns- Diferenças não significativas*

4. Conclusões

Actualmente a agricultura enfrenta desafios de competitividade que exigem do gestor agrícola o conhecimento actualizado das opções existentes para optimizar o processo produtivo. A sustentabilidade do ecossistema de *Montado* requer o equilíbrio entre o pastoreio animal e a regeneração de pastagens. A produção pecuária nestas condições é sustentada por pastagens nativas e biodiversas, que se caracterizam por marcada variação sazonal e espacial da biomassa, das espécies de plantas e do seu estado de desenvolvimento. É, por isso, importante a contínua monitorização desta variabilidade. Este estudo utilizou uma abordagem assente em tecnologias de detecção próxima, sensores comerciais, para avaliar o efeito das azinheiras (*Quercus ilex ssp. rotundifolia* Lam.) sobre a produtividade e sobre a qualidade da pastagem. A produtividade apresentou valores significativamente mais elevados fora da copa das árvores, no entanto, a qualidade da pastagem (expressa em termos de proteína bruta) foi mais elevada debaixo da copa das árvores. A sombra terá atrasado o ciclo vegetativo da pastagem debaixo da copa das árvores, mantendo as plantas fisiologicamente mais jovens. Simultaneamente verificaram-se também diferenças significativas na composição florística, o que pode reflectir o efeito do microclima, das propriedades do solo e do pastoreio animal. No que se refere aos sensores próximos, os resultados deste estudo mostraram que a capacitância, medida pela sonda Grassmaster II, se correlacionou melhor com a produtividade da pastagem, enquanto o NDVI, medido pelo sensor óptico activo "OptTx", se correlacionou melhor com a proteína bruta da pastagem. Perspectiva-se, assim, a possibilidade de desenvolver plataformas de monitorização da pastagem que integrem simultaneamente imagens de satélite (detecção remota) com sensores próximos, permitindo um melhor conhecimento das variáveis que caracterizam os sistemas pecuários extensivos.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do Projecto UID/AGR/00115/2013.

Bibliografia

Benavides, R., G. B. Douglas and K. Osoro. 2009. Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agroforestry Systems,* 76: 327–350.

Gitelson, A. A. 2004. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *Journal of Plant Physiology,* 161 (2): 165–173.

Gómez -Rey, M. X., A. Garcês and M. Madeira. 2012. Soil organic-C accumulation and N availability under improved pastures established in Mediterranean oak woodlands. *Soil Use and Management,* 28: 497–507.

Guevara-Escobar, A., P. D. Kemp, A. D. Mackay and J. Hodgson. 2007. Pasture production and composition under poplar in a hill environment in New Zealand. *Agroforestry Systems,* 69 (3): 199–213.

Handcock, R. N.,D. L. Gobbett, L. A. González, G. J. Bishop-Hurley and McGavin S. L. 2016. A pilot project combining multispectral proximal sensors and digital cameras for monitoring tropical pastures. *Biogeosciences*, 13: 4673–4695.

Hussain, Z., P. D. Kemp, D. J. Horne and I. K. D. Jaya. 2009. Pasture production under densely planted young willow and poplar in a silvopastoral system. *Agroforestry Systems,* 76: 351–362.

Jackson, J. and A. J. Ash. 1998. Tree-grass relationships in open eucalypt woodlands of northeastern Australia: influence of trees on pasture productivity, forage quality and species distribution. *Agroforestry Systems,* 40 (2): 159–176.

Marcos, G. M., J. J. Obrador, E. Garcia, E. Cubera, M. J. Montero, F. Pulido and C. Dupraz. 2007. Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas through management practices. *Agroforestry Systems,* 70: 25–40.

Pullanagari, R. R., I. J. Yule, M. P. Tuohy, M. J. Hedley, R. A. Dynes and W. M. King. 2013. Proximal sensing of the seasonal variability of pasture nutritive value using multispectral radiometry. *Grass Forage Science,* 68: 110–119.

Schaefer, M. T. and D. W. Lamb. 2016. A combination of plant NDVI and LiDAR measurements improve the estimation of pasture biomass in Tall Fescue (*Festuca arundinacea* var. Fletcher). *Remote Sensing,* 8(2): 1–10.

Schellberg, J., M. J. Hill, G. Roland, M. Rothmund and M. Braun. 2008. Precision agriculture on grassland: applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy,* 29(2–3): 59–71.

Seddaiu, G., G. Porcua, L. Luigi,P. P. Roggero, A. Agnelli and G. Cortic. 2013. Soil organic matter content and composition as influenced by soil management in a semi-arid Mediterranean agro-silvo-pastoral system. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 167: 1–11.

Serrano, J., S. Shahidian and J. Marques da Silva. 2016a. Monitoring pasture variability: optical OptRx® crop sensor versus Grassmaster II capacitance probe. *Environmental Monitoring and Assessment,* 188 (2): 1–17.

Serrano, J., S. Shahidian and J. Marques da Silva. 2016b. Calibration of GrassMaster II to estimate green and dry matter yield in Mediterranean pastures: effect of pasture moisture content. *Crop and Pasture Science,* 67 (7): 780–791.

Somarriba, E. 1988. Pasture growth and floristic composition under the shade of guava (*Psidium guajava* L.) trees in Costa Rica. *Agroforestry Systems,* 6: 153–162.

Evaluación del comportamiento dinámico de sensores de temperatura: aplicación a la cadena de frío

Miguel.G. Manchego[1], Miguel Garrido-Izard[1], Eva C. Correa[2], Belén Diezma[1], Pilar Barreiro[1]

[1] Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación, LPF_TAGRALIA, Departamento de Ingeniería Agroforestal, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, miguel.garrido.izard@upm.es, belen.diezma@upm.es, pilar.barreiro@upm.es

[2] Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación, LPF_TAGRALIA, Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, evacristina.correa@upm.es

Resumen

El presente estudio plantea evaluar la respuesta dinámica de 4 tipos de sensores de temperatura integrados en distintos dispositivos de adquisición de datos, en mayor o menor medida encapsulados y con o sin comunicación inalámbrica, dentro de cámaras refrigeradas térmicamente controladas. Los sensores fueron sometidos a 5 rampas de temperatura, fijadas previamente según las condiciones reales de almacenamiento y distribución en refrigeración y en congelación para distintos grupos de alimentos. La respuesta dinámica de estos sensores de temperatura corresponde a un sistema de primer orden y siguen un comportamiento exponencial. El ajuste a las curvas exponenciales creciente y decreciente de las respuestas de los sensores a rampas de temperatura ascendentes y descendentes respectivamente, permitió caracterizar su respuesta dinámica en términos de tiempo de respuesta y tiempo característico, variables que se utilizaron para realizar una comparativa entre los distintos dispositivos ensayados.

Los 2 factores analizados que influyen en el comportamiento dinámico de los sensores, tipo de sensor y salto térmico, demostraron tener un efecto significativo en los tiempos de respuesta de los sensores, siendo el principal factor de significación el tipo de sensor con una $F = 209,8$ ($p<0.05$). Los sensores poco encapsulados mostraron un tiempo característico promedio de 157,4 s, 3 veces menor que los registrados por los sensores altamente protegidos, mostrando así mayor aptitud para ser aplicados en la supervisión de la cadena de frío. En el caso de operaciones de refrigeración que no presenten variaciones térmicas muy altas o de corta duración, incluso los sensores más encapsulados estudiados podrían ser utilizados puesto que cumplen con la normativa en vigor UNE-EN 12830:2000

Palabras clave: Sensores autónomos, Alimentos frescos, Gradientes de temperatura, Rotura de cadena de frío, Seguridad alimentaria

Evaluation of the dynamic behaviour of temperature sensors: application to the cold chain

Abstract

The present study aims evaluated the dynamic response of four temperature sensors embedded in different data acquisition devices, to a greater or lesser extent encapsulated and with or without wireless communication, in thermally controlled refrigerated chambers. The sensors will be submitted to five different temperature ramps, previously established based on the actual conditions of transport and distribution of different types of food. The dynamic response of these temperature sensors corresponds to a first-order system and follows an exponential behavior. The adjustment to the increasing and decreasing exponential curves of the responses of the sensors to ascending and descending temperature ramps respectively allowed to characterize their dynamic response in terms of response time and characteristic time, variables that were used to make a comparison between the different devices tested.

The 2 analyzed factors that influence the dynamic behavior of the sensors: type of sensor and thermal jump, demonstrated to influence directly, although in different degree, on the sensor response time, being the main factor of significance the type of sensor with F=209.8 ($p < 0.05$). The low-encapsulated sensors showed an average characteristic time of 157.4 s, three times lower than those recorded by the highly-encapsulated sensors, thus showing greater aptitude to be applied in monitoring the cold chain. In the case of refrigeration operations that do not show very high thermal variations or of short duration, even the most encapsulated sensors tested could be used since they are agreeing with the rule UNE-EN 12830:2000.

Keywords: Autonomous sensors, Fresh food, Temperature gradients, Cold chain break, Food safety

1. Introducción

El desarrollo de sensórica, loggers miniaturizados y tecnología de comunicación inalámbrica ha crecido mucho en los últimos años, lo que sumado a la reducción en los costes de fabricación, nos ofrece una amplia gama de oportunidades para la investigación y el desarrollo en campos tales como el monitoreo de contenedores de transporte de productos refrigerados y las instalaciones de almacenamiento en frío (Ruiz-Garcia, Barreiro et al. 2010). Entre las principales ventajas de su utilización destacan el poco espacio que ocupan, su poca interferencia con los procesos que se llevan a cabo y su facilidad para la instalación, lo que facilita la supervisión multi-distribuida de la temperatura en un ambiente cerrado (Jimenez-Ariza, Correa et al. 2014).

Precisamente, un problema crítico que se presenta en la industria alimentaria es el relacionado con la calidad de los productos y las pérdidas durante el transporte. Aquí el estudio de la variabilidad de la temperatura consigna en cámaras frigoríficas y contenedores resulta ser importante. Los transportes refrigerados de larga distancia son un buen ejemplo de esta alta inestabilidad, ya que algunas investigaciones reflejan variaciones máximas de temperaturas registradas que llegan hasta los 11,3°C.

Es pertinente señalar que, dependiendo del alimento que se esté transportando la temperatura consigna será diferente, así mismo, las fluctuaciones serán más o menos restrictivas en función del producto trasladado (*Figura 1*). Teniendo en cuenta el amplio rango de temperaturas de trabajo que se puede encontrar en la industria alimentaria, los distintos instrumentos que el mercado ofrece para el control y supervisión de la temperatura de almacenamiento y transporte a lo largo de la cadena de frío deben ser suficientemente fiables para cada caso y cumplir el Reglamento CE 37/2005 (AECOC 2014).

PRODUCTOS CON RANGO DE TEMPERATURAS DEFINIDAS POR LEY	
Producto	Temperatura máxima admitida
Leche cruda	+ 6 °C
Piezas enteras de carne roja y caza mayor	+ 7 °C
Cárnicos y platos preparados derivados	+ 4 °C
Carne picada	+ 2 °C
Aves	+ 4 °C
Despojos	+ 3 °C
Pescado fresco	Punto de fusión del hielo
Ovoproductos	+ 4 °C

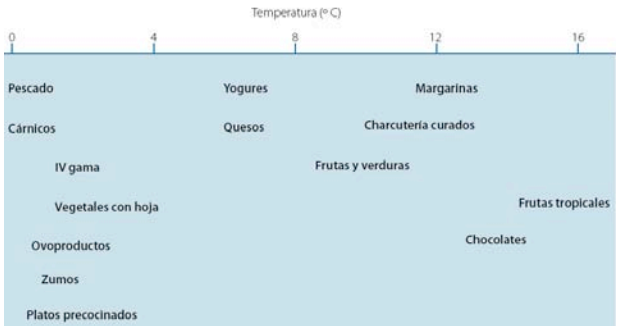


Figura 1. Temperaturas recomendadas para distintos tipos de productos refrigerados (AECOC 2014)

Teniendo en cuenta las situaciones particulares de cada entorno, resulta importante caracterizar el comportamiento dinámico de los sensores de temperatura en distintos rangos, poniendo especial atención en el tiempo de respuesta, entendido como el tiempo que transcurre desde que se produce un cambio a la entrada del sistema hasta que se percibe en la salida del mismo. Por otro lado, cabe resaltar que, no solo los distintos rangos de temperatura de trabajo pueden influir en el tiempo de

respuesta, en sensórica integrada, todo lo que suponga un elevado nivel de protección contra ambientes agresivos va generalmente acompañado de un incremento de este parámetro, que puede resultar muy perjudicial a la hora de detectar con exactitud las roturas breves de la cadena de frío (Correa Hernando and Barreiro Elorza 2015).

Por tanto, tener información sobre el desempeño de estas tecnologías en ambientes térmicamente controlados, además de las documentadas por el fabricante en las fichas técnicas, pretende ser una herramienta de apoyo para el usuario a la hora de elegir e implementar un dispositivo sensor u otro. Así, el objetivo de este trabajo es evaluar la respuesta dinámica de cuatro tipos de sensores de temperatura integrados en distintos dispositivos de adquisición de datos, en mayor o menor medida encapsulados y con o sin comunicación inalámbrica, dentro de cámaras refrigeradas térmicamente controladas y su aptitud, en términos de tiempo de respuesta del sensor, para la supervisión de la cadena de frío.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales: sensores y cámaras de refrigeración

En este trabajo se han utilizado sensores de temperatura del tipo circuito integrado. Estos sensores se incorporan en dispositivos comerciales que además disponen de sistema de registro de datos y batería lo que les confiere suficiente autonomía en la supervisión de la cadena de frío (Tabla 1): Temptale TT4 Modelo Tradicional (Sensitech, Massachusetts, EE. UU.) (Figura 2a); CAEN RFID con sonda externa A927ZET (CAEN RFID, Viareggio, Italia) (Figura 2b); TurboTag T-700B (Sealed Air, Carolina del Norte, EE. UU.) (Figura 2c); e Ibutton DS1923 (Dallas Semiconductor, Texas, EE. UU.) (Figura 2d).

Se ha contado con la colaboración del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN) que dispone de una amplia batería de cámaras de refrigeración-congelación térmicamente controladas, de las cuales se utilizaron 5 para la realización del presente trabajo (Tabla 2). Durante la realización de los ensayos las cámaras se mantuvieron vacías y el acceso restringido. Las cámaras cuentan con sondas PT100 que registran los valores de la temperatura interior cada 5 min (Figura 3).

Figura 2. (a) Sensor Temptale y Lector para Temptale. (b) Sensor CAEN RFID con sonda y Lector CAEN RFID (c)Tarjeta TurboTag y Lector de Escritorio DR-1 para Turbo Tag. (d) Ibutton y Lector de Escritorio para Ibutton.

Tabla 1. Principales Características de los sensores según fichas técnicas del fabricante.

Características	TEMPTALE	CAENRFID	TURBOTAG T-702	IBUTTON-HYGROCRON
Rango de trabajo	-30 a +70 ºC	- 40 a + 70 ºC	-55 a +70 ºC	-20 a +85 ºC 0 a 100 % HR
Precisión (ºC)	± 1.1 (-30 a -18) ± 0.55 (-18 a +50) ± 1.1 (+50 a +70)	± 0.1	± 0.5	± 0.5
Resolución (°C)	0.1	0.1	No especificado	Seleccionable: 0.5 o 0.0625
Memoria (nºdatos)	1920	8000	702	8192
Intervalo de Muestreo	10 s a 2 h	8 s a 18 h	3 s a 175 días	1 s a 273 h
Comunicación inalámbrica	NO	SI RFID	SI RFID	NO
Tiempo de Respuesta	No especificado	20 min (Para alcanzar 90% de un cambio de +25°C a +70°C)	No especificado	5 min (Para alcanzar 90% de un cambio de -1°C a +19.5°C)

Figura 3. (a) Ubicación de la sonda (PT100) en el interior de una cámara. (b) Sensores colocados en la estantería de una de las cámaras

Tabla 2. Características de las cámaras de refrigeración empleadas en los ensayos en el ICTAN

Nº de cámara	Superficie (m^2)	Volumen (m^3)	Evaporador	Líquido refrigerante
15	5.21	11.46	Glicol de 50 Hz	Temper –40
21	12	26.40	Glicol de 50 Hz	Temper –40
26	3.9	10.53	Glicol de 50 Hz	Glicol de Propileno 30%
30	5.21	11.46	Glicol de 50 Hz	Temper –40
33	4.45	12.02	Glicol de 50 Hz	Glicol de Propileno 30%

2.2. Métodos

Se realizaron dos series de ensayos por cada rampa de temperatura propuesta, el protocolo general consistió en colocar los sensores en una cámara a baja temperatura durante 60 minutos, luego cambiarlos a otra con temperatura más alta durante 30 minutos y finalmente devolver los sensores a la cámara inicial durante 30 minutos más, registrando un total de 120 minutos por ensayo. Para la segunda serie de cada ensayo la metodología fue la misma pero esta vez iniciando en la cámara con temperatura más alta. Para el ensayo con el salto térmico más grande (46°C), los tiempos fueron de

60 minutos en cada cámara, para de esta forma asegurar que los sensores llegaran a estabilidad antes de hacer el cambio de cámara.

Las temperaturas de los ensayos (Tabla 3) fueron propuestas en base a las recomendaciones AECOC para la logística (RAL) que resume la normativa de aplicación para la conservación y transporte de alimentos refrigerados y congelados destinados al consumo humano (*Figura 1*).

Tabla 3. Descripción de los ensayos realizados.

Nº Ensayo	Nº repeticiones	Rampas de Temperatura (°C)			
		0-60 min	60-90 min	90-120 min	Salto térmico (ΔT)
1	2	-20	-10	-20	10
2	2	-2	+18	-2	20
3	2	+6	+24	+6	18
4	2	+10	+26	+10	16
5	2	-20	+26*	-20*	46

**en ensayo 5 los tiempos de permanencia a las temperaturas de +26 y -20 °C fueron de 60-120 min y de 120-180 min respectivamente.*

Se usaron 3 sensores de cada modelo en cada uno de los ensayos, a excepción del sensor Temptale, del cual se utilizó uno en cada ensayo debido a la no disponibilidad de más dispositivos de este tipo (n=228 rampas). Es importante mencionar que los sensores Ibutton no fueron empleados en las rampas que incluían la temperatura de cámara de -20°C debido a que la ficha técnica sitúa su rango de seguridad a esta temperatura. El intervalo o periodo de adquisición de los datos fue para cada sensor igual en todos los ensayos, a excepción del ensayo 5, donde se incrementó el intervalo ya que la duración total del ensayo fue mayor (Tabla 4).

Tabla 4. Frecuencia de Adquisición de datos en segundos

	TEMPTALE	CAENRFID	TURBOTAG	IBUTTON
Ensayos 1, 2, 3 y 4	10	8	12	3
Ensayo 5	10	16	18	3

2.1. Modelo matemático

Los transductores de temperatura suelen responder a sistemas de primer orden (Fraile Mora, García Gutiérrez et al. 2014), según la ecuación diferencial 1 donde q representa la salida del transductor, m la señal física de entrada y A y B son constantes,

$$A\frac{dq}{dt} + Bq = m. \tag{1}$$

En estos sistemas el estudio del tiempo de respuesta de un sensor se puede realizar aplicando a la entrada cambios bruscos de temperatura a manera de escalones o rampas, de forma que al aplicar un escalón positivo o rampa ascendente a la entrada de un sistema con ordenada en el origen distinta de 0 la ecuación de aplicación sería (Badia-Melis, Garcia-Hierro et al. 2014):

$$y = a\left(1 - e^{-\frac{x}{\tau}}\right) + c \tag{2}$$

mientras que para un escalón negativo o rampa descencente de temperaturas

$$y = a\left(e^{-\frac{x}{\tau}}\right) + c \tag{3}$$

donde y es la temperatura T(ºC) registrada por el sensor a un tiempo t(s) x, a (ºC) es el salto de temperatura aplicado, τ(s) es la constante de tiempo del sistema o tiempo característico, siendo el tiempo que tarda la variable de salida en alcanzar el 63.2% del valor de régimen final, y c(ºC) es la temperatura antes de iniciarse el salto térmico en el caso de la rampa ascendente, o la temperatura final a estabilidad en el caso de la rampa descendente.

Todo el proceso de ajuste de las curvas exponenciales se llevó a cabo con el programa MatLab® R 2015a (MathWorks, Natick, MA, USA) usando la función ***fitmodel*** para la estimación de los parámetros de ajuste del modelo a, c y τ . La bondad del ajuste del modelo se estimó a partir de los valores del coeficiente de determinación (r^2) y del error cuadrático medio (rmse (ºC)).

Una vez ajustadas las rampas (subida y bajada) con su respectiva curva exponencial (creciente o decreciente), se calculó a partir de la curva de ajuste y utilizando la función ***solve*** de MatLab el parámetro tiempo de respuesta t_{90}, que se define como el tiempo que se necesita para que el valor registrado por cada sensor alcance el 90% de la variación real de la temperatura aplicada (norma EN 12830:2000) (Figura 4).

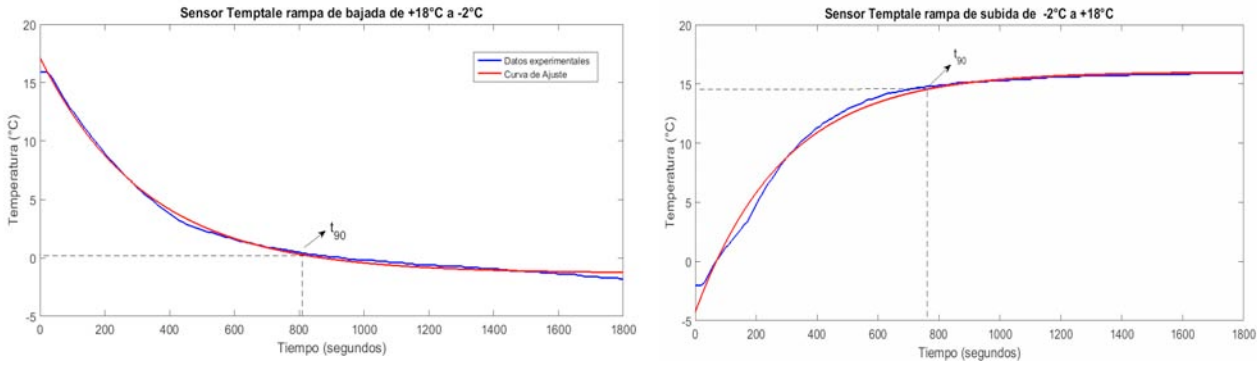


Figura 4. Ejemplo de ajuste del modelo exponencial (línea roja) a los datos esperimentales(línea azul) registrados por el sensor Temptale e indicación del cálculo del parámetro tiempo de respuesta t_{90}

3. Resultados y Discusión

La Figura 5 muestra los valores promedio del coeficiente r^2 de ajuste del modelo exponencial, indicando un efecto significativo ($F=35784.74$, $p<0,05$) del tipo de ensayo realizado sobre la respuesta transitoria de la instrumentación. El ensayo 1 desarrollado íntegramente a temperaturas negativas se ajusta al modelo con un valor promedio de r^2 de 0,82, mucho más bajo que el alcanzado en el resto de ensayos. Los datos experimentales registrados durante este ensayo (*Figura 5*) muestran como el traslado de los sensores de una cámara a -10ºC a otra a -20ºC y viceversa, pasando a través de un pasillo a temperatura ambiente, afecta a la instrumentación que registra una subida de temperatura tanto más acusada cuanto mayor es la sensibilidad del sensor. Esta alteración de la dinámica del sensor hace que su respuesta no se ajuste correctamente al modelo exponencial aplicado al salto de temperaturas de -10ºC a -20ºC, razón por la que los datos correspondientes al ensayo 1 no se tendrán en cuenta a partir de este momento.

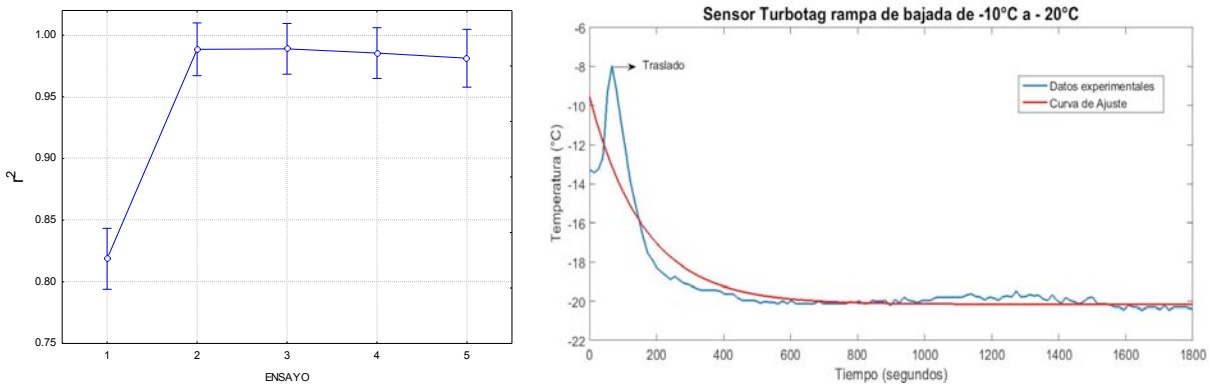


Figura 5. Izquierda: Gráfico de medias por mínimos cuadrados del coeficiente de determinación (r^2) para cada ensayo. Derecha: datos experimentales (azul) y curva de ajuste exponencial (rojo) para rampa descendente de temperaturas registrada por el sensor TurboTag

Así excluyendo el ensayo 1, la dinámica del conjunto de sensores estudiados ante las rampas de temperaturas aplicadas se ajustan muy bien al sistema de primer orden descrito por las ecuaciones 2 y 3 con un valor promedio de r^2 de 0,986 y con un rmse promedio de tan sólo 0,48ºC (Tabla 5).

*Tabla 5. Bondad de ajuste del modelo a los datos experimentales según el tipo de sensor. M: media, DT: desviación típica, N: nº individuos. Sensor*es: 1=TurboT*ag, 2*=TEMPTALE, *3*=CAEN RFID, *4*=CAEN RFID s*onda* externa *y 5 = Ibutton*

		r^2		rmse (ºC)	
	N	**M**	**DT**	**M**	**DT**
Total	192	0.986	0.01	0.48	0.33
Sensor 1	46	0.981	0.01	0.61	0.31
Sensor 2	16	0.996	0.00	0.33	0.29
Sensor 3	48	0.995	0.01	0.36	0.33
Sensor 4	48	0.981	0.01	0.57	0.39
Sensor 5	34	0.985	0.01	0.38	0.16

El tiempo característico promedio del conjunto de sensores ha sido de 297,7s, sin embargo el análisis factorial de varianza realizado muestra que existe un efecto significativo (F=5,64, p<0,05) de la interacción de los factores tipo de sensor y tipo de ensayo realizado. La Figura 6 muestra que los sensores 2 y 3 con un tiempo característico promedio de 455,2 y 471,2 segundos respectivamente casi triplican los valores de la constante de tiempo promedio para los sensores 1, 4 y 5 con valores de τ de 162,5 , 157,4 y 208,4 segundos respectivamente. El efecto sobre la constante de tiempo del factor tipo de sensor es el más significativo (F= 454,4, p<0,05), mostrando que los sensores 2 y 3 correspondientes al TEMPTALE y CAEN RFID que son los que presentan mayor grado de encapsulado o protección frente al medio exterior tienen tiempos característicos más elevados. Resultados similares han sido descritos por (Badia-Melis, Garcia-Hierro et al. 2014), obteniendo tiempos característicos mucho mayores para sensores con elevado grado de encapsulado al aplicarles un salto de temperaturas de 35ºC.

El análisis de varianza también muestra que el tipo de ensayo y rampa de temperaturas aplicadas tiene una efecto significativo sobre el tiempo característico (F=96,3 , p< 0,05), aunque mucho menos importante que el efecto del tipo de sensor empleado. Para poner de manifiesto el efecto del tipo de ensayo, en la Figura 6 se representa también la pendiente promedio máxima o velocidad máxima de

respuesta del sensor, calculada como la relación entre el salto térmico total aplicado y el tiempo característico τ. Se observa cómo a mayor salto térmico, que en este trabajo corresponde con el aplicado en el ensayo 5 (ΔT=46ºC) mayor tasa de respuesta del sensor, de forma que a medida que el salto térmico disminuye, la velocidad de respuesta disminuye tal y como corresponde a un proceso de transferencia de calor entre el medio exterior y el dispositivo sensor en el que la fuerza impulsora de dicho proceso es el salto térmico aplicado. Del mismo modo se vuelve a poner en evidencia como los sensores 2 y 3 tienen las menores tasas de respuesta para todos los ensayos realizados. Tomando como ejemplo el ensayo 2 caracterizado por un salto térmico de 20ºC los sensores 2 y 3 reflejan una velocidad máxima de respuesta promedio de 3,5 ºC/min, frente a una tasa promedio para los sensores 1, 4 , y 5 de 9,1ºC/min.

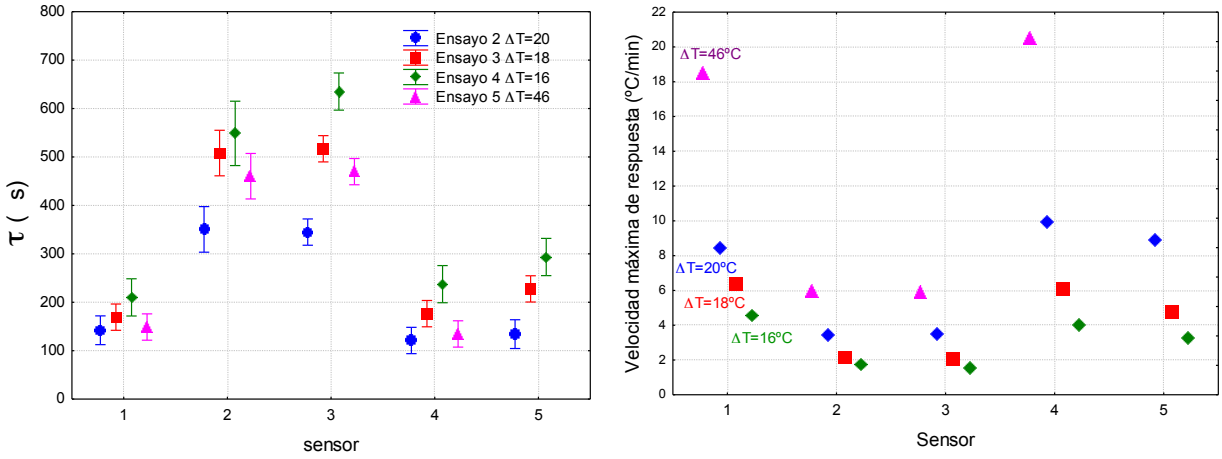


Figura 6.Gráfico de medias por mínimos cuadrados para el tiempo característico (izquierda) y velocidad máxima de respuesta (derecha) según el tipo de sensor y ensayo realizado. ΔT (°C) es el salto térmico. Las líneas verticales sobre las medias indican el intervalo de confianza al 95%. *Sensores: 1=TurboTag, 2=TEMPTALE, 3=CAEN RFID, 4=CAEN RFID sonda externa y 5 = Ibutton*

Con respecto a los tiempos de respuesta y tal como era de esperar el principal efecto significativo (F=209,8 , p<0,05) es el debido a la instrumentación. En el valor del tiempo de respuesta, que corresponde a la zona de la curva exponencial en el que la pendiente tiende a 0 una vez alcanzado prácticamente el equilibrio o estabilidad del sistema al aplicar la rampa de temperaturas, el efecto del tipo de ensayo o rampa aplicada disminuye aunque sigue siendo significativo con un valor de F=11,6 (p<0,05). De nuevo los mayores tiempos de respuesta (Figura 7) corresponden a los sensores 2 (TEMPTALE) y 3 (CAEN RFID) con un t_{90} promedio de 20.3 y 20.7 min respectivamente. Frente a estos, los sensores 1 (TurboTag), 4 (CAEN RFID sonda externa) y 5 (Ibutton) responden casi tres veces más rápido con valores de t_{90} promedios de 12,4 , 7,7 y 7,04 min respectivamente. Al comparar estos tiempos de respuesta con los especificados por el fabricante (Tabla 1) para los sensores 3 (CAEN REFID, 20 min para ΔT=45°C) y 5 (Ibutton, 5min para ΔT=20,5°C), observamos como los resultados obtenidos en este trabajo están en el mismo orden siendo de 22, 5 min para CAEN RFID (ΔT=46°C) y de 8,3 min para Ibutton (ΔT=20°C).

Según la norma UNE-EN 12830 el tiempo de respuesta para registradores con sensor externo debe ser como máximo de 10 minutos en transporte y de 20 minutos para almacenamiento, para el caso de registradores con sensor interno el tiempo de respuesta debe ser como máximo de 60 min (la norma UNE-EN 12830 no define de forma precisa a qué se refiere con sensor externo y sensor interno).

Si atendemos al grado de encapsulado de los sensores estudiados, se podría considerar que los sensores 1 (TurboTag) y 5 (Ibutton) con un nivel de protección o recubrimiento bajo tienen un

comportamiento dinámico similar al correspondiente a un registrador con sensor externo, el sensor 4 corresponde al sensor externo del registrador CAEN RFID, mientras que los sensores 2 y 3 con un elevado grado de encapsulado y protección del medio externo se encontrarían claramente dentro del grupo de registradores con sensor interno. Según esta propuesta de clasificación de nuestros dispositivos y aplicando la norma UNE-EN 12830, los sensores 2 y 3 con un t_{90}<60 min cumplen con la normativa, los sensores 1 y 4 con t_{90}<10min cumplen con la norma para su uso en transporte y almacenamiento para todos los casos estudiados y el sensor 5 con t_{90}<20 min es apto para su uso en almacenamiento y el cumplimiento de la normativa para transporte para registradores con sensor externo dependerá de los saltos térmicos esperados ya que para $\Delta T<20^{o}C$ el t_{90} registrado es mayor a 10 min (Figura 7).

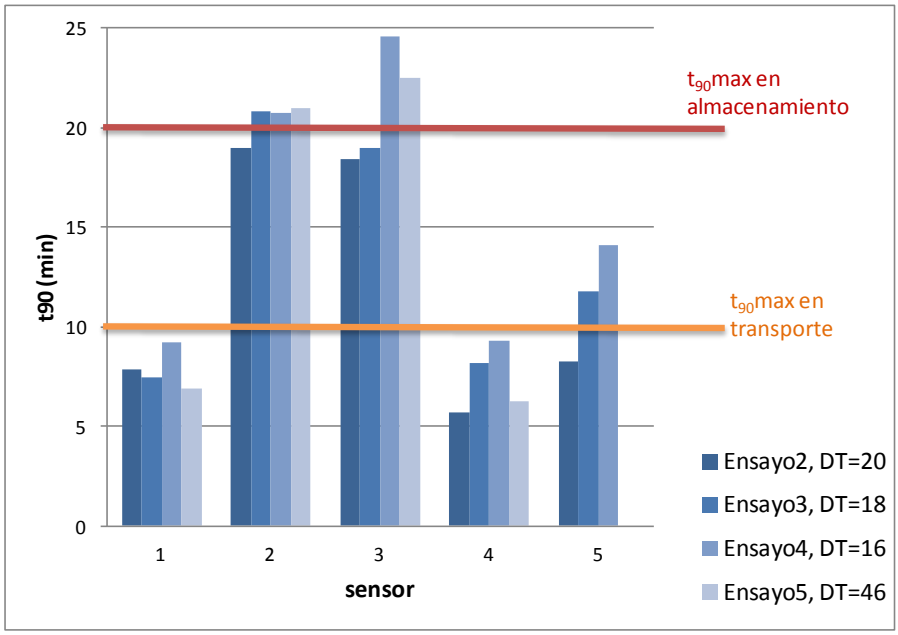


Figura 7. Gráfico de columnas que representan el tiempo de respuesta promedio para cada sensor y ensayo realizado. Las lineas horizontales representan el tiempo de respuesta máximo para registradores con sensor externo según la norma UNE-EN 12830:2000.El salto térmico se indica con DT=ΔT(°C). Sensores: 1=TurboTag, 2=TEMPTALE, 3=CAEN RFID, 4=CAEN RFID sonda externa y 5 = Ibutton

4. Conclusiones

Este trabajo muestra como los cuatro sensores comerciales estudiados cumplen con la normativa en vigor para el uso de registradores de temperatura en el control de la cadena de frío en lo que se refiere a la variable tiempo de respuesta, mostrando todos un tiempo de respuesta por debajo de los 25 minutos y tres de ellos por debajo de los 15 minutos.

Sin embargo, se han constatado diferencias significativas entre los distintos dispositivos tanto para la variable tiempo de respuesta, como para el tiempo característico, como para la velocidad máxima de respuesta de cada sensor, que están relacionadas directamente con el grado de protección y encapsulado de los distintos dispositivos. De forma que los dispositivos comerciales menos encapsulados, TurboTag e Ibutton, junto con el sensor localizado en la sonda externa de temperatura del CAEN RFID, responden prácticamente tres veces más rápido que los sensores más encapsulados TempTale o CAEN RFID (sensor interno), mostrando además velocidades promedio máximas de respuesta de hasta 19ºC/min en situaciones de grandes cambios de temperatura ($\Delta T=46^{o}C$).

En sistemas en los que se prevean cambios rápidos de temperatura como por ejemplo en un transporte a corta distancia para la distribución local de producto refrigerado o en los que se puedan dar eventos de corta duración como una apertura de puertas para la inspección de un transporte, o

los ciclos de desescarchado de los evaporadores, la elección de aquellos dispositivos con tiempos de respuesta cortos y velocidades de respuesta elevadas será indispensable en la supervisión de la cadena de frío.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Comunidad de Madrid y la Unión Europea a través del proyecto S2013/ABI-2747 (TAVS-CM) y realizado en el marco de la red CYTED HORTYFRESCO (113RT0480). Agradecemos la colaboración de la investigadora Begoña de Ancos (ICTAN-CSIC) para el uso de las instalaciones de refrigeración.

Bibliografía

AECOC. 2014. Distribución de productos refrigerados *Recomendaciones AECOC para la logística (RAL). pp.* 19. AECOC.

Badia-Melis, R., J. Garcia-Hierro, L. Ruiz-Garcia, T. Jimenez-Ariza, J. I. R. Villalba and P. Barreiro. 2014. Assessing the dynamic behavior of WSN motes and RFID semi-passive tags for temperature monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture* **103**, 11-16.

Correa Hernando, E. C. and P. Barreiro Elorza. 2015. Poscosecha de precisión en los albores del siglo XXI (PARTE I). *horticultura*, 62-67.

Fraile Mora, J., P. García Gutiérrez and J. Fraile Ardanuy. 2014. Instrumentación aplicada a la ingeniería.

Jimenez-Ariza, T., E. C. Correa, B. Diezma, A. C. Silveira, P. Zocalo, F. J. Arranz, A. Moya-Gonzalez, M. Garrido-Izard, P. Barreiro and M. Ruiz-Altisent. 2014. The Phase Space as a New Representation of the Dynamical Behaviour of Temperature and Enthalpy in a Reefer monitored with a Multidistributed Sensors Network. *Food and Bioprocess Technology* **7**, 1793-1806.

Ruiz-Garcia, L., P. Barreiro, J. Ignacio Robla and L. Lunadei. 2010. Testing ZigBee Motes for Monitoring Refrigerated Vegetable Transportation under Real Conditions. *Sensors* **10**, 4968-4982.

UNE-EN 12830:2000. Registradores de temperatura para el transporte, almacenamiento y distribución de alimentos refrigerados, congelados y ultracongelados y helados. AENOR.

Medida de aceites comestibles usando espectroscopía de infrarrojo medio de bajo coste

María Maldonado Gil[1], Pilar Barreiro Elorza[1], Germán Vergara Ogando[2]

[1] LPF-TAGRALIA, Edifio de motores, E.T.S.I. Agronomos, Universidad Politecnica de Madrid. Avd Complutense s/n, Ciudad Universitaria, CP 28040. e-mail:maria.maldonado.gil@alumnos.upm.es

[2] New Infrared Technologies. Parque empresarial Prado del Espino, Calle Vidrieros, 30-Nave 2 28660 Boadilla del Monte (Madrid), Spain .

Resumen

En el presente trabajo de investigación, se ha empleado un dispositivo de infrarrojo medio (entre 2.95 y 4.3 micras) compacto, de bajo coste y no refrigerado, fabricado mediante una tecnología patentada que emplea el depósito de PbSe en condiciones de vacío, con el fin de evaluar su capacidad de identificar y diferenciar aceites comestibles de distintos orígenes vegetales (oliva virgen extra, girasol, maíz, palma, soja y coco).

En este estudio se ha evaluado además la influencia de dos fuentes de variación: la velocidad de adquisición (360 y 2000 imágenes por segundo respectivamente), y la presencia o ausencia de óptica en el sensor.

El procedimiento experimental consta de la adquisición de espectros (durante 6 segundos), realizando 3 réplicas y 3 repeticiones por cada muestra (tipo de aceite). Los espectros se han sometido a un pre-tratamiento, para extraer el máximo de información y eliminar el ruido. Posteriormente se llevó a cabo un análisis de componentes principales (Principal Component Analysis) y un análisis múltiple de varianza (MANOVA), empleando 2000 imágenes por segundo (ips) sin óptica como conjunto de calibración, y como conjunto de validación los espectros adquiridos con este mismo dispositivo en presencia de óptica. Los resultados se compararon con los adquiridos a 360 ips sin óptica.

Los resultados tanto con óptica como sin ella muestran una clara segregación entre aceites de oliva virgen extra (AOVE) y el resto de aceites vegetales usando el dispositivo que adquiere a 2000 ips; además el aceite de coco queda notoriamente segregado de todos los demás. La dispersión entre las medidas es elevada, lo que puede deberse al dispositivo experimental y el método de medida (cantidad de muestra, espesor del camino óptico), aún en vías de optimización.

La representación cartesiana del MANOVA: la variable canónica 1 frente a la variable canónica 2, muestran claramente un desplazamiento de los aceites (AOVE y no AOVE), usando el dispositivo que adquiere espectros a 2000 ips. Lo mismo ocurre al representar la canónica 1 frente a la 3. Sin embargo esta segregación no se obtiene utilizando el dispositivo que trabaja a 360 ips. Todo ello apunta a la necesidad de desarrollar procedimientos de transferencia de calibración, o bien a acotar de manera sistemática las condiciones de adquisición de espectros

Por otra parte, en este estudio se ha evaluado de manera análoga a la anterior la influencia de la presencia (calibración) o ausencia de óptica (validación), proyectando los datos de validación en el espacio de calibración. Los resultados muestran un desplazamiento en paralelo de los clúster o agrupaciones según tipo de aceite, en los ejes de las variables canónicas 1 y 2.

Palabras clave: Aceites comestibles, espectroscopía MWIR, análisis discriminante

Edible oils measuring using low cost MWIR spectroscopy

Abstract

In the present research paper, a low cost, rugged, uncooled and affordable Middle Wave Infrared device (between 2.95 y 4.3 microns) has been used, which has been manufactured using a new patented technology based on the PbSe deposition in vacuum conditions, with the aim of evaluating its ability to identify and differentiate edible oils from diverse vegetal origins (extra virgin olive oil, sunflower, corn, palm, soybean and coconut).

The influence of two variation sources has been also evaluated in this study: The acquisition rate (360 and 2000 frames per second respectively), and the presence or absence of optics in the sensor.

The experimental procedure consists on the spectra acquisition during 6 seconds, making 3 replicates and 3 repetitions per simple (type of oil). The spectra have been subjected to a pre-treatment in order to extract the maximum information and also removing the noise. Afterwards a Principal Component Analysis was carried out and also a multiple analysis of variance (MANOVA), using 2000 frames per second (fps) without optics as the calibration dataset, and the spectra acquired with the same device with optics as the validation dataset. The results were compared to the ones obtained using 360 fps without optics.

The results, with or without optics, using the device which works at 2000 fps; show a neat segregation between extra virgin olive oils (EVOO) and the rest of vegetable edible oils; as well as a clear and notorious segregation of the coconut oil. Nevertheless, the dispersion among the measurements is pretty high, which might be due to the experimental set up and the measuring method (regarding to the sample amount and the thickness of the optical path length), still in optimization progress.

The Cartesian graphical representation of MANOVA canonical variables 1 versus 2, shows a clear displacement of EVOO from those who are not, using the 2000 fps device. The same occurs when plotting canonical 1 versus 3. But this segregation is not reached when using the device that works at 360 fps acquisition rate. All this facts point to the need of developing procedures of calibration transfer, or delimiting in a systematic way the spectra acquisition conditions.

On the other hand, in this study has been evaluated in an analogous way the influence of the optics presence (calibration) or absence (validation), by means of projecting the validation data on the calibration space. The results show a parallel displacement of the clusters or groups of oils along the CV1 and CV2 axis, according to the presence or absence of the optics.

Keywords: edible oils, MWIR spectroscopy, discriminant analysis.

1. Introducción

En los procedimientos de control de calidad, la autenticidad es un criterio muy importante para aplicar en aceites comestibles y grasas, ya que existe una gran diferencia entre los precios y la calidad de diferentes aceites y productos derivados de la grasa. Sin embargo, la determinación de la autenticidad en aceites comestibles y grasas es un proceso que tradicionalmente siempre ha requerido tiempo, consumo de reactivos y por tanto ha resultado laborioso y caro. Típicamente se han usado métodos cromatográficos para este fin.

Los métodos de espectroscopía vibracional, como las técnicas espectroscópicas de infrarrojo (IR), resonancia magnética nuclear (RMN) y RAMAN, son técnicas analíticas cada vez más empleadas para verificar la autenticidad de aceites y grasas comestibles, debido a su simplicidad, rapidez y facilidad de preparación de la muestra. Todas ellas han sido usadas para medidas cualitativas y cuantitativas de estos productos (Yang, H. et al, 2005).

Químicamente, el perfil de ácidos grasos completo es una herramienta muy utilizada para clasificar la calidad de los aceites y como un indicador para la detección de adulteración. En los últimos años diferentes autores han aplicado la espectroscopía 1H-NMR para el estudio de los aceites de oliva virgen extra (EVOO), más concretamente centrándose en diferenciar EVOO según el perfil de aldehídos presentes y la combinación de 1H-NMR con análisis estadístico multivariante. Además, en la Unión Europea desde diciembre de 2014 (Regulación 1169/2011) es obligatorio imprimir la composición en la etiqueta de los aceites destinados a la alimentación (Castejón, D. et al, 2016), lo que hace más importante la implementación de métodos económicos y rápidos para el control de calidad de aceites comestibles. Entre estas nuevas técnicas, el presente trabajo trata de aplicar unos detectores de infrarrojo (IR) que son útiles para muchas aplicaciones tanto en áreas civiles como militares, al control de calidad en aceites para alimentación. La banda MWIR (aproximadamente 3.0-5.0 µm), tiene varias ventajas con respecto a la banda del infrarrojo lejano (LWIR, que va de 8.0-12.0 µm) como son un mayor contraste del objetivo a detectar, detección a altas temperaturas y detección de gases. Asimismo estos detectores se caracterizan por una gran rapidez de respuesta. El

principal propósito perseguido en este trabajo de investigación es desarrollar un sensor de bajo coste para su aplicación en la industria alimentaria.

La tecnología para la banda del IR medio ha evolucionado desde sistemas caros militares a otros más económicos para aplicaciones que requieren grandes cantidades de dispositivos de bajo coste. Esto ha sido posible gracias al uso de detectores capaces de operar a temperatura ambiente como el seleniuro de plomo policristalino (PbSe) fabricado mediante depósito en fase vapor en condiciones de vacío del seleniuro sobre una oblea de silicio con circuito integrado (ROIC). Estos detectores presentan un gran número de ventajas frente a otros tipos de sensores (Vergara, G. et al., 2004, 2007 y 2011). Un detector de este tipo y características se ha empleado en este estudio. No obstante, los detectores MWIR también presentan desventajas, la principal de ellas es su baja ratio señal/ ruido y baja resolución y sensibilidad (60 nm de resolución). Lo cual se traduce en la necesidad de emplear métodos quimiométricos o de análisis multivariante para que el sensor sea capaz de diferenciar sustancias entre sí. Por otro lado, la modificación de ciertos parámetros como la velocidad de adquisición del dispositivo (imágenes adquiridas por segundo) y la presencia o ausencia de óptica, afectan considerablemente a los resultados. En este artículo se propone la comparación de los resultados obtenidos con ausencia y presencia de óptica en el sensor de infrarrojo medio en un rango de 2.95 a 4.30 µm.

2. Material y Métodos

Muestras

Se emplearon 8 tipos de aceites vegetales de distintas procedencias y marcas comerciales. Estos aceites se muestran en la tabla 1 a continuación:

Tabla 1. Muestras empleadas para el análisis, numeración asignada y procedencia de las mismas

Número de muestra	Origen
1	Aceite de oliva virgen extra (1) (baja calidad)
2	Soja
3	Preparado graso para fritura (girasol + palma)
4	Maíz
5	Girasol
6	Grasa de coco
7	Aceite de oliva virgen extra (2) (alta calidad)
8	Aceite de oliva virgen extra (3) (alta calidad)

Dispositivo experimental y adquisición de los espectros

El tipo de sensor empleado consiste en un array lineal de 128 detectores de PbSe undo a un filtro lineal variable (Linear Variable Filter, LVF) en las longitudes de onda entre 2.95 y 4.3 micras, fabricado por la compañía New Infrared Technologies (Boadilla del Monte, Madrid) y alojado en dos tipos de cámaras diferentes con distintas velocidades de adquisición (360 y 2000 imágenes por segundo respectivamente). La fuente de radiación utilizada fue una lámpara de filamento de SiC y reflector parabólico (Hawkeye Technologies, Milford , USA).

La preparación de la muestra se llevó a cabo poniendo una cantidad aproximada de 100 µl entre dos ventanas en forma de obleas de zafiro siguiendo la disposición experimental que se muestra en la figura 1 a continuación. Los espectros de cada muestra se grabaron durante un total de 11 segundos, con los 5 primeros segundos en vacío para restar el fondo y los 6 siguientes segundos en presencia de la muestra. Se grabaron 3 réplicas y 3 repeticiones de cada muestra. En total, se obtuvieron 207 espectros sin óptica a 2000 fps (una vez eliminados los *outliers*), correspondientes a 3 días de medida, y 45 espectros sin óptica a 360 fps, correspondientes a 1 día de medida. En la nomenclatura de los análisis, se denomina cada dispositivo y la presencia o ausencia de óptica de la siguiente manera:

-so: sin óptica; co: con óptica.

-d1: dispositivo 1 (360 ips); d2: dispositivo 2 (2000 ips).

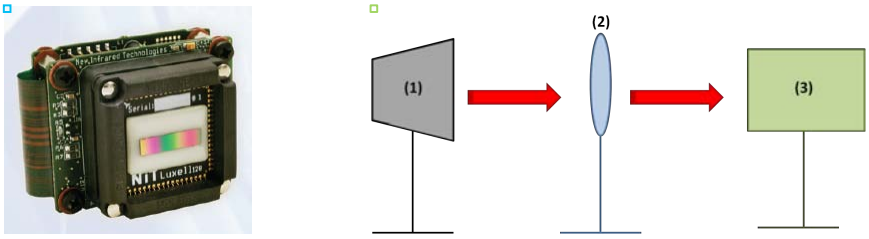


Figura 1. (izquierda) Sensor de infrarrojo medio empleado. (Derecha) Disposición experimental de la fuente de infrarrojo: fuente (1), portamuestras (2) y detector (3).

Pre tratamiento de los espectros

Los espectros fueron pre tratados siguiendo un algoritmo *Standard Normal Variate* (SNV), posteriormente se les hizo una corrección de la línea base (BLC) y por último se normalizaron. No se les practicó el algoritmo de suavizado del ruido, con el propósito de no perder posible información contenida en la forma de la curva espectral.

Análisis no supervisado (PCA)

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) sobre la matriz de datos espectrales correspondiente a los tres días de medida sin óptica en el dispositivo que trabaja a 2000 ips, utilizando 10 componentes principales, cada uno de los cuales retenía el porcentaje de la varianza total que se muestra en la tabla 3 en el apartado de los resultados. Se han tabulado los 5 primeros componentes principales ya que son los más significativos en el análisis, al retener la máxima cantidad de información.

Análisis supervisado (MANOVA)

Sobre los componentes principales obtenidos en el análisis no supervisado, se llevó a cabo un análisis múltiple de la varianza retenida en dichos componentes (MANOVA), aplicando como variable categórica los ocho tipos de aceites que se emplearon como muestras. Los espectros adquiridos con este mismo dispositivo en presencia de óptica se proyectaron sobre las variables canónicas obtenidas, (es decir, los vectores que contienen el máximo poder de segregación entre individuos) en el conjunto utilizado para la calibración y se compararon los resultados obtenidos mediante representación cartesiana de dichas variables canónicas, concretamente la 2 y la 3 frente a la 1.

3. Resultados y discusión

3.1. Adquisición de los espectros

La figura 2 a continuación, muestra a la derecha los espectros promedio de cada variedad de aceite obtenidos durante tres días de medida, a 2000 ips y sin emplear óptica. A la izquierda se muestran los espectros promedio de cinco de las categorías de aceite obtenidos con el dispositivo que trabaja a 360 ips, asimismo sin emplear óptica. Se aprecia en los espectros del dispositivo 1 un pico de absorción menos puntiagudo, menos definido y con una notoria depresión o valle en la parte derecha del espectro.

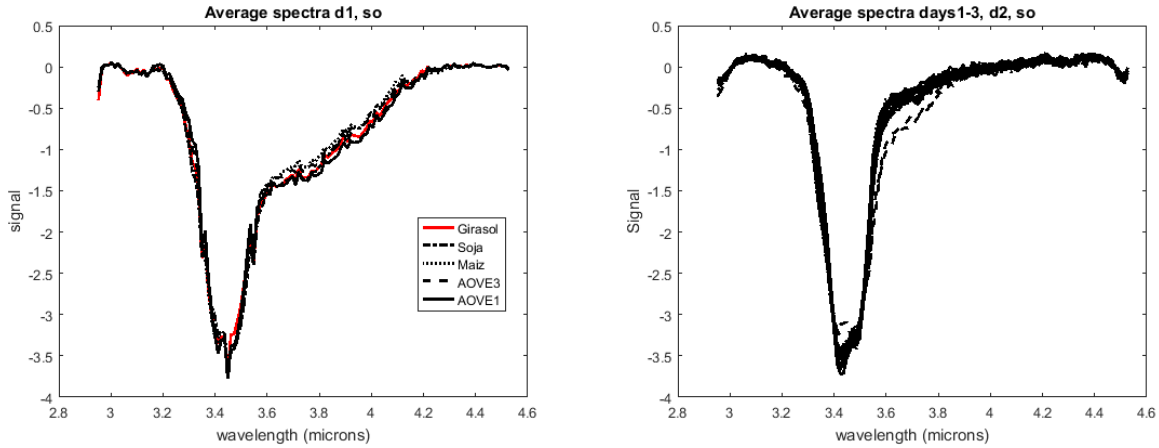


Figura 2. (Izquierda) Espectros promedio por categorías de las 45 medidas adquiridas sin óptica con el dispositivo a 360 ips. (Derecha) Espectros promedio por categorías, calculada la media para los tres días de medida de cada categoría sin óptica en el dispositivo a 2000 ips.

La tabla 2 recoge las principales longitudes de onda de absorción de cada aceite en el rango de infrarrojo medio utilizado. En ellas se muestran las longitudes de onda de absorción correspondientes a las vibraciones de los enlaces metilo (-CH3) y metileno (=CH2), presentes no sólo en cadenas hidrocarbonadas de ácidos grasos sino también en aldehídos, lo cual deja abierta la hipótesis de que el equipo esté diferenciando aceites no solamente acorde a la cantidad de ácidos grasos saturados e insaturados sino también a la presencia de polifenoles (ya que también aparecen longitudes de onda de absorción correspondientes al grupo hidroxilo, (-OH)) o ciertos aldehidos en su composición (Stuart, Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications, 2004).

3.2. Análisis no supervisado (PCA)

En la tabla 3 a continuación se exponen los porcentajes de la varianza total retenidos por cada componente principal. Pese a haber utilizado 10 componentes principales para el análisis, se observa que el máximo de varianza queda retenida por los 5 primeros componentes principales, que en total retienen un 99.96% de la misma.

Tabla 2. Principales longitudes de onda de absorción en el rango del infrarrojo medio utilizado para el análisis

Longitud de onda de absorción (micras)	**Grupo funcional**	**Fórmula molecular**
3.411	Metileno	$=CH_2$
3.424	Metilos presentes en aldehídos	$-CH_3$
3.436	Grupo hidroxilo en alcoholes	-OH
3.461	Metileno presente en alcohol	$=CH_2$
3.486	Metilos presentes en cadenas hidrocarbonadas	$-CH_3$

Tabla 3. Porcentaje de varianza retenido en los 5 primeros componentes principales.

Componente principal	**% varianza total retenida**	**% Varianza total acumulada**
1	99,23	99,23
2	0,388	99,62
3	0,071	99,69
4	0,037	99,73
5	0,015	99,75

3.3. Análisis supervisado (MANOVA)

El análisis MANOVA de los espectros promedio utilizados como conjunto calibración (24 espectros correspondientes a tres días de medida en el dispositivo a 2000 ips sin óptica), dio como resultado la siguiente segregación entre aceites (figura 3).

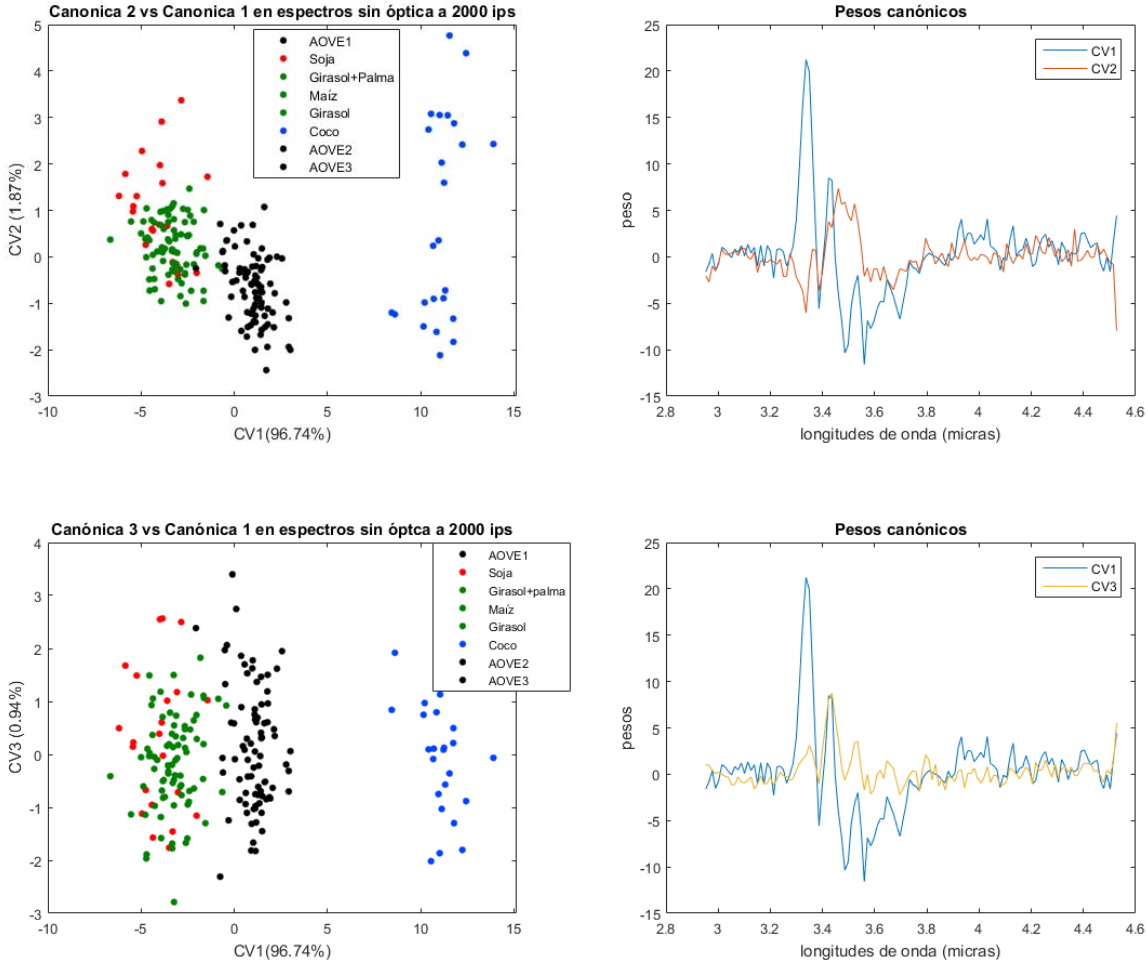


Figura 3. (Arriba, izquierda) Representación cartesiana de las variables canónicas 1 y 2 resultantes del análisis supervisado (MANOVA), en la cual se aprecian claramente la separación entre los aceites AOVE (en negro) y no AOVE (en rojo el de soja, y verde el resto), y el aceite de coco en azul. Se observa una notoria dispersión en las medidas del aceite de coco, debido principalmente a que dada su textura mantecosa, era más imprecisa la cantidad puesta en el portamuestras durante la adquisición. Esta dispersión se reduce considerablemente en la representación de la canónica 3 frente a la 1 (Abajo, izquierda), sin embargo, la variable canónica 3 causa mayor dispersión vertical en las medidas del resto de aceites. (Arriba, derecha) Representación de los pesos canónicos con que contribuyen a la segregación las variables 1 y 2. Las longitudes de onda clave para la variable 1 son 3.337, -3.486 y -3.56 micras, para la variable 2 son 3.461 y -3.327 micras. (Abajo, derecha) Pesos canónicos para las variables canónicas 1 y 3. La variable canónica 3 no contribuye con ninguna longitud de onda clave, conteniendo mayoritariamente ruido.

La proyección de la matriz de datos del set de medidas con óptica en el set de medidas sin óptica en el dispositivo 2 se muestra a continuación en la figura 4. La proyección utilizando la matriz de espectros completa muestra un claro desplazamiento en paralelo y en diagonal de cada cluster (tipo de aceites), desde valores próximos a 0 de la CV2 hasta valores negativos de esta misma variable, aproximados a -60. Asimismo se produce un desplazamiento en horizontal de valores de la CV1 hacia valores cada vez más positivos de los espectros con óptica, mientras que en los espectros sin óptica permanecen en valores más negativos.

Utilizando los espectros promedio de ambos set de medidas, pero en este caso los promedios al haberse realizado utilizando los espectros sin línea base pero sin normalizar, se produce una inversión en el desplazamiento de los clúster de los espectros con óptica en el eje de la CV2. En la proyección de la matriz completa de espectros, éstos tendían hacia valores más negativos que el

cero, y en este diagrama se observa que tienden a valores más positivos. El desplazamiento en el eje de la CV1 se produce de igual forma, los espectros con óptica tienden a valores más positivos de la CV1 mientras que los espectros sin óptica permanecen en valores más negativos. El promedio del aceite de coco no se ve afectado por la presencia o ausencia de óptica.

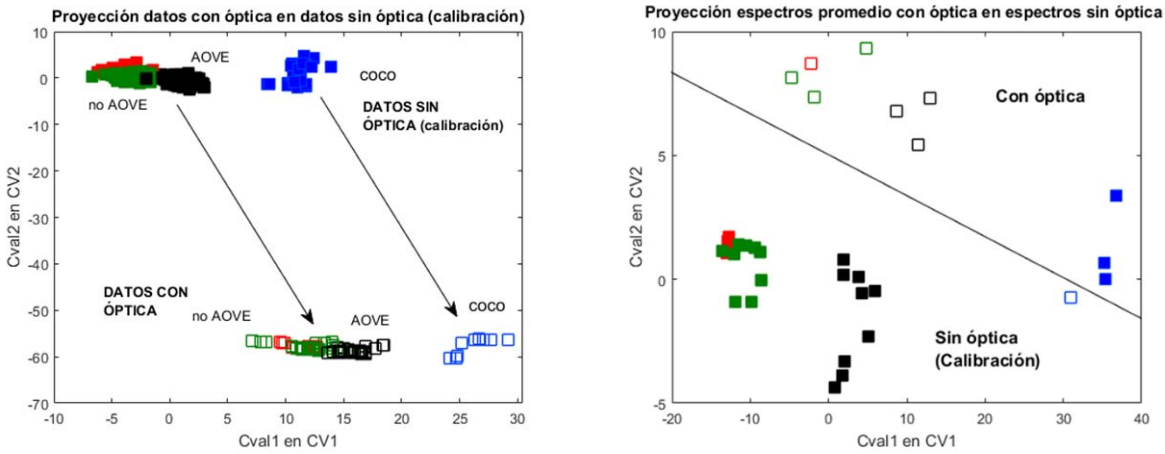


Figura 4. (Derecha) Representación cartesiana de Cval2 vs Cval1 proyectadas sobre CV1 vs CV2 del set de calibración (datos sin óptica a 2000 ips), utilizando las matrices de espectros con réplicas y repeticiones de cada tipo de aceite. Se observa un desplazamiento en diagonal hacia la derecha de los datos con óptica respecto de los datos sin óptica (hacia valores más negativos de CV2 y más positivos de CV1). (Izquierda) Representación cartesiana de la proyección de Cval2 vs Cval1 en el set de calibración, utilizando los valores promedio, que han sido obtenidos a partir de los espectros sin línea base pero sin normalizar. El desplazamiento en el eje de CV2 es a la inversa, pero es el mismo en el eje de CV1. Los promedios del aceite de coco no se muestran afectados por la presencia o ausencia de óptica.

3.4. Capacidad segregante de cada dispositivo

En la tabla 4 a continuación, se compara la capacidad segregante de cada dispositivo de medida (dispositivo 1, velocidad de adquisición de 360 ips, dispositivo 2, velocidad de adquisición de 2000 ips) en base a sus variables canónicas 1 y 2 y el porcentaje de capacidad segregante de estas. Se observa que en el dispositivo 2, el poder segregante de las variables 1 y 2 es mucho mayor que en el dispositivo 1, lo que explica la incapacidad del dispositivo 1 de segregar entre tipos de aceite.

Tabla 4. Porcentaje de capacidad segregante dispositivo 1 (360 imágenes por segundo) (%)

Dispositivo 1 (360 imágenes por segundo)	Dispositivo 2 (2000 imágenes por segundo)
49	96,75
30,42	1,875
12,25	0,942

4. Conclusiones

El desarrollo de un dispositivo que permita una técnica de análisis no destructiva e in situ para el control de calidad de aceites, supondría un avance positivo y ahorraría costes en la industria alimentaria. Los métodos de análisis quimiométrico son herramientas fundamentales a la hora de desarrollar este tipo de aplicaciones. Asimismo, es necesario establecer un método acotado de

medida y una transferencia de calibración apropiada que haga posible este procedimiento en dispositivos de características análogas.

Considerando que la espectroscopía MWIR permite trabajar tanato sobre líquidos como sobre fase gaseosa el análisis del espacio de cabeza sobre procesos de fritura puede resultar asimismo interesante en la detección de adulteraciones y mezclas indeseadas.

Agradecimentos

Trabajo cofinanciado por las ayudas de Doctorados Industriales del Ministerio de Economía y competitividad.

Bibliografia

Castejón, D.; Fricke, P.; Cambero, M. I.; Herrera, A. 2016. Automatic 1H-NMR screening of fatty acid composition in edible oils. *Nutrients* 8 (2).

Piñeiro-Ave, J.; Blanco-Velasco, M.; Cruz-Roldán, F.; Artés-Rodríguez, A. 2014. Target Detection for Low Cost Uncooled MWIR Cameras Based on Empirical Mode Decomposition. *Infrared Physics & Technology*. 63: 222-231.

Stuart, B. 2004 *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Wiley.

Vergara, G. et al., Progress on uncooled PbSe detectors for low cost applications, in: *Proc. SPIE*, vol. 5406, 2004, p. 279.

Vergara, G. et al., 2007. Polycrystalyne lead selenide: the resurgence of an old infrared detector, *Opto-Electron. Rev.* 15 (2): 110–117.

Vergara G., Linares R., Gutierrez R., Montojo M.T.,Fernandez C., Baldasano A., Fernandez G., VPD PbSe technology fills the existing gap in uncooled, low cost and fast IR imagers, in: *Infrared Technology and Applications XXXVI, Proc. SPIE*, 2011.

Yang, H.; Irudayaraj, J.; Paradkar, M. 2005. Discriminant analysis of edible oils and fats by FTIR, FT-NIR and FT-Raman spectroscopy. *Food Chemistry*. 93(1): 25-32.

Desarrollo de un sistema de trazabilidad y toma de datos para la recolección mecanizada en olivar de mesa

Sergio Bayano-Tejero[1], Gregorio L. Blanco-Roldán[1], Francisco J. Castillo-Ruiz[1], José T. Colmenero-Martinez[1], Sergio Castro-García[1], David Ceular-Ortiz[1], Rafael R. Sola-Guirado[1], Jesús A. Gil-Ribes[1].

[1]G.I. AGR 126 "Mecanización y Tecnología Rural". E.T.S.I. Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Edificio Leonardo Da Vinci, Ctra. Nacional IV, km. 396, 14014 Córdoba. E-mails: SBT p52bates@uco.es; GLBR ir3blrog@uco.es; FJCR g62caruf@uco.es; JTCM g32comaj@uco.es; SCG ir1casgs@uco.es; DCO p62ceord@uco.es; RRSG ir2sogur@uco.es; JAGR gilribes@uco.es.

Resumen

La aceituna de mesa es el segundo producto más importante del olivar, concentrándose su producción en España. Sin embargo, en los últimos años, terceros países han aumentado su producción a un ritmo muy superior al nuestro debido, fundamentalmente, a los costes de mano de obra. Ante esta situación existen dos alternativas: reducción de costes a través de la mecanización (principalmente de la recolección) o diferenciación del producto; todo ello salvaguardando y garantizando la seguridad alimentaria. Aunque la trazabilidad en los productos agroalimentarios está fuertemente implantada a nivel agroindustrial, aún no ha calado en la misma medida entre los agricultores. En la Universidad de Córdoba, se ha apostado por el desarrollo e implementación de un sistema integral de trazabilidad, financiado por la Interprofesional de la Aceituna de Mesa (Interaceituna), que empiece desde la recolección de la aceituna en campo y llegue hasta el consumidor final. Este sistema se ha ensayado en una finca de olivar de la variedad Manzanilla (*Olea europaea* L. *Pomiformis*), en la que trabajaban de forma simultánea tres vibradores de troncos acoplados al tractor, tres cargadores de fruto, una limpiadora en campo y dos cisternas para el transporte de fruto en líquido (9 máquinas y 36 operarios). Se han monitorizado distintas variables en tiempo real, como tiempos, peso del fruto, temperatura del líquido de las cisternas y localización de un vibrador, un cargador y una cisterna. El registro de los datos permite la separación de lotes de fruto iguales a la capacidad de carga de un cargador. Sin embargo, el transporte de fruto es la operación que limita el tamaño del lote que puede asignarse a la zona en la que se ha recogido. Con el sistema de trazabilidad se han recogido 14 ha y 208 t con una capacidad de trabajo media de los tres equipos de recolección de 0,41 ha/h y un ciclo de llenado y transporte de la cisterna de 215 minutos, no observándose un aumento significativo de la temperatura en la cisterna durante el proceso de llenado, aunque si se ha determinado un gradiente de 4°C entre el fondo y la superficie del líquido. Un sistema de trazabilidad como el desarrollado permite aportar la información necesaria para que el agricultor garantice el origen de su producto y lo pueda vincular con el historial de labores de su explotación como la aplicación de productos fitosanitarios, fertilizantes o la huella de carbono.

Palabras clave: aceituna de mesa, gestión de maquinaria, seguridad alimentaria.

Development of traceability system and data capture for mechanized harvesting in table olives

Abstract

Table olive is the second largest product from olive groves, concentrating its production in Spain. However, in recent years, other countries have increased their production faster than ours, mainly due to Competitiveness gap between countries. In order to improve sector competitiveness, there are two ways: Cost saving through mechanization or product differentiation keeping product quality and safety. Although traceability in agri-food products is strongly implanted at industrial stage, it has not widely used between farmers. An integrated traceability system from in-in field to consumer stage was developed, financed by the Table Olive Interprofessional Organization. The traceability system has been tested in an intensive olive orchard, cultivar Manzanilla (Olea europaea L. Pomiformis). Three tractor hitched trunk shakers, three fruit loaders, an olive cleaner and two tanker trucks were working simultaneously (9 machines and 36 operators). Different variables

such as time elements, fruit weight, tank liquid temperature and trunk shaker movement within the field were recorded to analyze the harvesting process. Recorded data allow fruit set identification from the field, assigning the field area were the fruit set was harvested. Fruit set size was limited by tanker trucks size considering that it will determine the minimum amount of fruit mixed. 14 ha and 208 metric tonnes were harvested during in-field tests. Effective field capacity for the whole harvesting staff (three trunk shakers) was 0,41 ha/h and a tanker truck filling and transport cycle was 215 minutes. Temperature did not increase significantly neither during the filling nor during transport, although a gradient of 4°C has been determined between bottom and upper tank locations. The developed traceability system will allow farmers to provide information to the supply chain in order to improve food safety, linking the final product with the farm providing further information such as the application of phytosanitary products, fertilizers or the carbon footprint.

Keywords: table olive, machinery management, food safety.

1. Introducción

El olivar mundial está formado por una superficie mayor de 10 millones de hectáreas de las cuales más del 10% se dedica a la producción de la aceituna de mesa (COI, 2016). España tiene una superficie de olivar de 2,62 millones de hectáreas, de las que el 5,81% se dedican a la aceituna de mesa, concentrándose el 97,35% en Andalucía y Extremadura, con el 83,86% y el 13,49%, respectivamente (ESYRCE, 2016). En cuanto a producción, en las últimas cinco campañas, España se encuentra a la cabeza de los países productores, logrando el 21% del total seguido de Egipto (17%) y Turquía (16%) (COI, 2016).

Por tanto, el sector de la aceituna de mesa tiene gran relevancia en la industria agroalimentaria, debido al importante volumen de producción y exportación y al número de empleos que se generan en las zonas rurales vinculadas al cultivo. En los últimos años, se están destacando los problemas de la competencia de terceros países y la evolución de éstos en el sector, consecuencia de costes de producción inferiores, como los de la mano de obra (MAPAMA, 2016).

Estos factores han impulsado el desarrollo de la recolección mecanizada en un cultivo que hasta hace poco sólo se recogía de forma manual mediante la técnica de "ordeño". En este trabajo se presenta un sistema recolección mecanizada basado en el derribo mediante vibradores de troncos y el transporte en líquido, de la aceituna derribada, hasta la industria de procesado. El objetivo es desarrollar un equipo de medida y adquisición de datos que permita realizar la trazabilidad del producto desde el campo hasta la industria. Este sistema de trazabilidad fue implementado en la campaña de 2015, donde la coyuntura económica del sector de la aceituna de mesa mejoró considerablemente en relación a años anteriores (ASAJA, 2015).

El derribo y manejo de fruto en campo es la primera fase del proceso e incide de manera importante en los daños, denominados "molestado", producidos en las aceitunas que se consumen en verde (transformación industrial por aderezo). Un alto porcentaje de estos daños aparecen tras las 2-3 primeras horas después de la recolección (Jimenez-Jimenez et al., 2015), devaluando significativamente su valor. Para reducirlos, es imprescindible mejorar y adaptar los métodos de trabajo de los sistemas de derribo, recogida y gestión del fruto. En una segunda fase, se abordará el transporte del fruto hasta la industria de procesado. La implementación de un sistema de trazabilidad confiable supone una garantía para el conocimiento de la procedencia del producto por parte del consumidor a la vez que permite al agricultor realizar una mejor gestión de sus recursos y aportar un valor añadido a la actividad que desempeña.

2. Materiales y Métodos

2.1 Protocolo de recolección

Los ensayos del sistema de trazabilidad han sido llevados a cabo en la finca La Reunión (Morón de la Frontera, Sevilla) durante una semana. Esta finca presenta una plantación de olivar intensivo en regadío con los árboles formados en vaso con una altura de tronco entre 0,9 y 1 m. El marco es

rectangular de 5 x 7 m y la variedad es Manzanilla (Olea europaea pomiformis). El protocolo de recolección seguido (Figura 1) prevé la puesta del fruto en medio líquido en el menor tiempo posible, por lo que se requiere medir el tiempo de las operaciones de manejo, carga y limpieza del fruto en campo, desde que se produce el derribo hasta que se introduce en la cisterna (tiempo en seco). También se ha estudiado la evolución de la temperatura del líquido en la cisterna desde que llega al punto de acopio en campo hasta que se va a la industria a descargar el fruto.

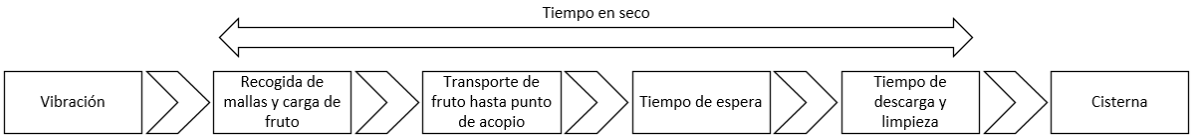


Figura 1. Protocolo de recolección de la aceituna de mesa.

2.2 Maquinaria y medios empleados

Se ha realizado el seguimiento de las distintas máquinas que intervienen en las tareas de recolección monitorizando todo el proceso para controlar los tiempos de trabajo (Tabla 1). El equipo de recolección sobre el que se ha implementado el sistema de trazabilidad se compone de las siguientes máquinas (Figura 2): para el derribo del fruto, 3 vibradores de troncos acoplados a tractores de doble tracción (dos Topavi, modelo BV, y uno Arcusin, modelo Autopick GT); para la recogida del fruto derribado sobre las mallas y transporte hasta la zona de acopio, 3 cargadores de fruto desde mallas (Estepa, Muñoz y Gómez) acoplados a la pala frontal de tractores de doble tracción; para la limpieza del fruto en el punto de acopio, una limpiadora de campo (Decoil, modelo DM25) que limpia e introduce el fruto en el medio de transporte; para el transporte del fruto hasta la industria, un camión articulado con una cisterna sin aislamiento, de 20 a 25 m3 de capacidad, que lleva el líquido de recepción del fruto, previamente refrigerado en industria. El punto de acopio en campo se sitúa a 8,2 km de la industria (20-30 minutos de viaje) por eso se pueden usar cisternas sin ningún tipo de aislamiento. Para la realización de todas las actividades (manuales y de conducción de maquinaria) fueron necesarios 36 operarios y 9 máquinas

Tabla 1. Necesidades de maquinaria y personal para las labores de recolección en la finca de ensayo.

Operación	**Maquinaria**	**Personal**
Derribo de frutos	3 vibradores de troncos + 3 tractores	3 tractoristas
Vareo complementario	-	15 operarios
Manejo de fardos	-	12 operarios
Carga y descarga de fruto	3 cargadores de fruto + 3 tractores	3 tractoristas
Limpieza de fruto y carga de la cisterna	1 limpiadora	1 operario
Transporte del fruto hacia la industria	2 cisternas	2 operarios
Total	**9**	**36**

Figura 2. Equipo de recolección: vibrador de troncos (izquierda), cargador de fruto (centro) y limpiadora y camión cisterna para transporte a industria (derecha).

2.3 Equipamiento electrónico

El sistema de trazabilidad desarrollado permite una adquisición de datos en tiempo real mediante la creación de un servidor web al que se envían los datos recogidos en campo mediante GSM, así como la monitorización de los distintos procesos registrados durante la recolección y transporte a la industria del fruto recogido. En el tractor con el vibrador de troncos se ha montado un módem (marca Matrix, modelo MTX65 G+B v7) con un receptor GPS (Figura 3). También se ha instalado un sensor de presión con salida digital (marca Fox, modelo K59P), configurada a 40 bar, para determinar si el circuito hidráulico de vibración está o no activo, en cada momento, permitiendo determinar así el número de vibraciones realizadas.

Figura 3. Módem GPS acoplado al tractor con vibrador.

En el tractor con el cargador de frutos se ha incluido un PLC (marca IFM, modelo CR0033) para la lectura de sensores y registro de datos. El sistema incluye una pantalla de visualización de todas las variables (marca IFM, modelo CR1082) para que el conductor tenga monitorizados en todo momento los valores medidos a bordo de la máquina y al mismo tiempo se puedan introducir datos de forma manual mediante un teclado táctil. Para el pesaje de fruto se empleó un escáner LED 2D (marca Pepperl-fuchs, modelo R2100) sobre el contenedor (Figura 4) y, paralelamente, se registró también la medida de presión en los cilindros que elevan la carga mediante la instalación de un sensor de presión (marca Parker, modelo SCP 600). Estas medidas se contrastaron con medidas reales realizadas en el punto de acopio de fruto.

Figura 4. Sistema de pesaje basado en escáner LED: ubicación en el contenedor del cargador de frutos (izquierda) y esquema de la medida de volumen que realiza (derecha).

En el camión cisterna se ha instalado un equipo GPS para registrar los tiempos de llenado y los tiempos de viaje y una pantalla que permite al conductor monitorizar constantemente la temperatura de la cisterna, medida mediante dos sondas de temperatura, colocadas a distintas alturas, con el fin de evaluar la temperatura en la superficie e interior del líquido y su evolución a lo largo del proceso de llenado (Figura 5). El desfase entre los tiempos registrados por los 3 GPS durante el derribo, carga y transporte hasta la cisterna nos permitirá determinar los tiempos en seco del fruto recolectado. El resumen del equipamiento electrónico empleado para el desarrollo del sistema de trazabilidad se puede ver en la Tabla 2.

Figura 5. Equipo de medida con pantalla de visualización instalado en la cisterna.

Tabla 2. Sistema de trazabilidad. Equipamiento electrónico y variables registradas.

Dato	Sensores e instrumentos de medida	Gestión de los datos	Máquinas objeto de medida
Datos recogidos de forma automática			
Latitud y longitud	Módem Matrix, MTX 65 G+B v7	Integrado en el módem con envío de datos en tiempo real	Tractor con vibrador
Fecha y hora			
Estado del sistema de vibración	Sensor de presión digital Fox K59P		
Presión en los cilindros de elevación de la pala	Sensor de presión analógico Parker, SCP 600	Automático Integrado en PLC CR0033. Visualización en pantalla IFM, CR1082	Tractor con cargador
Volumen del cargador ocupado por el fruto	Escáner LED Pepperl Fuchs, R2100		
Latitud y longitud	GPS IFM, CR3114		
Fecha y hora			
Temperatura del medio líquido	Sonda de temperatura IFM, TS0159 + conversor 0-10 V IFM, TP9237	Automático Integrado en PLC CR0451 a través del módulo I/O IFM, CR2033	Cisterna
Latitud y longitud	GPS IFM, CR3114		
Fecha y hora			
Datos recogidos de forma manual			
Hora de llegada al punto de acopio	Registro y procesado manual		Tractor con cargador
Hora de descarga			
Peso de fruto real			
Hora de inicio de llenado de la cisterna			Cisterna
Hora de fin de llenado de la cisterna			

3. Resultados y Discusión

El sistema desarrollado permite integrar la trazabilidad en el proceso de recolección y logística del fruto en campo en las tres fases (derribo - transporte al punto de acopio - cisterna) y, posteriormente, descargar o visualizar los datos recogidos en el servidor web. Se ha georreferenciado el trabajo de los equipos de recolección: vibrador de troncos (Figura 6), cargador de fruto y cisterna. Al mismo tiempo, se ha monitorizado el estado de la vibración, el valor de la carga transportada y la temperatura de líquido donde se transporta el fruto. Así es posible calcular las capacidades de trabajo de las máquinas analizando los tiempos de trabajo, parada, transporte, estacionamiento e incertidumbre.

La parcela recolectada ha sido de 14,08 ha, lo que a un marco de 7 x 5 m supone 4021 árboles recolectados por tres vibradores de troncos. En total se han recogido 208.980 kg de fruto, con una producción media de 51,97 kg/árbol. El rendimiento medio de la operación ha sido de 0,66 ± 0,14 (Tabla 3). El vibrador monitorizado ha trabajado el 28 % de la superficie recogida, con una capacidad de recolección de 9.912 kg/día. Si se toma todo el equipo de trabajo como referencia, la capacidad de trabajo media fue de 0,41 ha/h.

Figura 6. Detalle del seguimiento del tractor con vibrador de troncos para un día de trabajo (izquierda) y para varios días de trabajo (derecha).

Tabla 3. Parámetros de trabajo obtenidos del vibrador de troncos durante el período ensayado.

	Tiempo de trabajo/día (h)	Total (árboles/ día)	árboles/h	Superficie (ha/dia)	Capacidad de trabajo real (ha/h)	Capacidad de trabajo teórica (ha/h)
Media	5,66	191	34	0,66	0,12	0,18
Desv. tipica	1,13	38	4	0,14	0,02	0,01

En la Figura 7 se muestra un ejemplo de señal temporal del peso del fruto del cargador acoplado al tractor durante un ciclo de carga, estimado por volumen o por presión, según las medidas realizadas mediante el escáner LED 2D instalado en el contenedor o los sensores de presión instalados en los cilindros de elevación, respectivamente. En ambos casos, pueden diferenciarse los periodos de carga del fruto, transporte desde la zona de carga al punto de acopio, tiempo de espera en el punto de acopio y descarga del fruto.

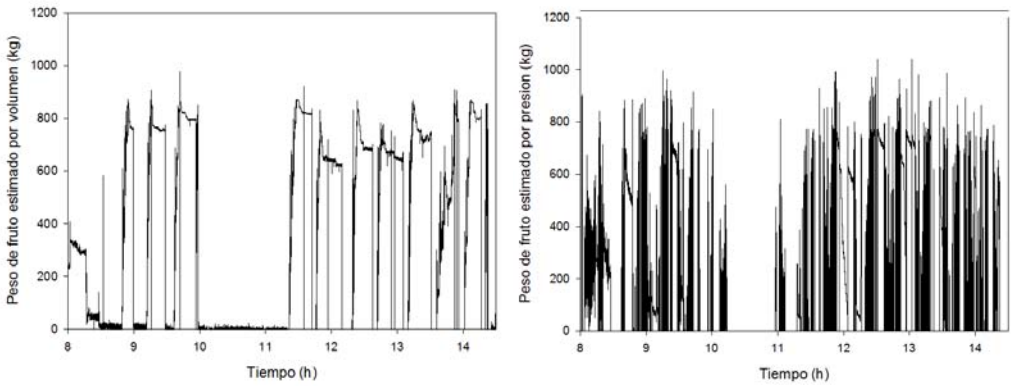


Figura 7. Ejemplo de señal temporal de peso del fruto en el cargador medido con el escáner 2D (izquierda) y con sensores de presión (derecha)

La medida del peso de fruto, junto con la georreferenciación de la máquina en cada momento, permite identificar de donde procede cada una de las cargas realizadas por el cargador (Figura 8). Estas cargas se transportan hasta el punto de acopio y se introducen en la cisterna, por lo que la partida más pequeña de fruto que podemos identificar es igual al contenedor con mayor capacidad de fruto, en este caso, la cisterna. Según esto, podemos identificar desde campo partidas de entre 10.000 y 18.000 kg, según la capacidad de la cisterna. Este es un avance muy importante en la

seguridad alimentaria, ya que, permite reforzar la información en el eslabón más débil de la cadena, la fase de campo, y coordinarlo con la industria, que ya dispone de un sistema robusto en materia de trazabilidad.

Figura 8. Detalle del seguimiento del cargador de frutos durante un día de trabajo, incluyendo los desplazamientos desde la nave de alojamiento.

El principal problema observado en la operación de carga y descarga reside en los tiempos de espera de los cargadores para vaciar el fruto que casi alcanzan los 8 minutos de media. En cuanto a la capacidad de manejo de fruto de la parcela por parte de los cargadores, ha estado infrautilizada (34 % de su capacidad de carga total), ya que, se han empleado 3 cargadores, cuando la capacidad de carga utilizada del sistema de limpieza ha sido aproximadamente igual a la de un solo cargador. En cuanto al uso de un cargador con respecto al tiempo, de media, el 45 % del tiempo se pierde en tiempos de espera.

El seguimiento de la operación de transporte nos indica que el ciclo medio para llenar una cisterna se sitúa en 215 minutos (Tabla 4). Sin embargo, el tiempo de llenado de la cisterna en campo es de 147 ± 32 minutos, por lo que con una adecuada gestión de la logística del fruto se podría reducir en 1 hora los tiempos que tiene que esperar una cisterna con el líquido refrigerado para llenarse de fruto. La distancia entre el punto de acopio y la industria donde se procesa el fruto es 10,2 km y el tiempo de viaje medio es de 22 minutos (Figura 9). Por otra parte, la oscilación de temperaturas en la cisterna durante el transporte del producto no es muy importante, incrementándose en 1 °C durante el proceso de carga. Además, se observa un gradiente de temperatura de unos 4 °C de media entre la zona superior y la zona inferior del tanque. La temperatura registrada se sitúa por encima de la temperatura a la que se ha enfriado el líquido en la industria. Por este motivo, se debe minimizar al máximo el tiempo requerido para completar un ciclo de carga y reducir así la oscilación térmica del líquido.

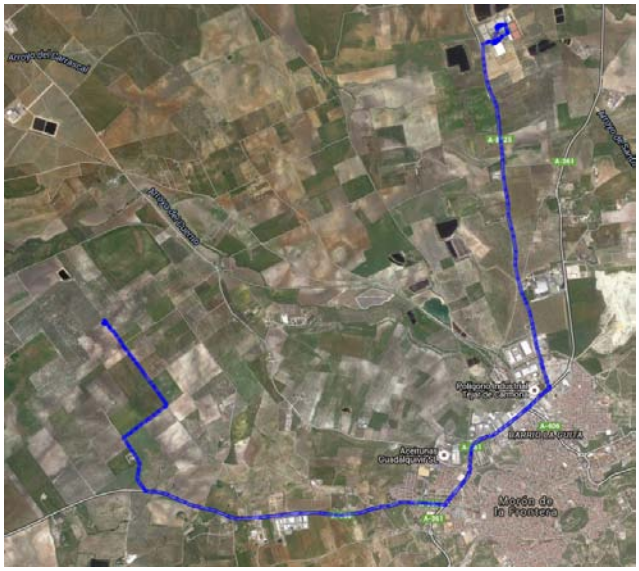


Figura 9. Desplazamiento de la cisterna desde el punto de acopio en campo a la industria.

Tabla 4. Datos relativos a la cisterna monitorizada.

	Tiempo campo-industria (min)	Ciclo completo Industria-Industria (min)	Tiempo de llenado de la cisterna (min)	Fruto recolectado (kg/día)	Tª minima (sup./inf.) (°C)	Tª máxima (sup./inf.) (°C)
Media	22,6	215	147	34830	15/11	16/12
Desv. típica	1,6	26,8	32	-	1/1	1/1

La capacidad de recolección diaria del equipo estudiado ha variado desde 30.000 a 42.000 kg/día, requiriendo entre dos y tres cisternas por día para transportar el fruto desde campo a industria (**Error! Reference source not found.**). Para llenar una cisterna se ha requerido 1 hora y media aproximadamente, que sumado a los tiempos de transporte entre campo e industria indican que el ciclo de carga y descarga de la cisterna puede durar algo más de 2 horas. Otro dato importante es que la eficiencia de transporte en líquido del fruto es del 62 % en valor peso de fruto transportado/peso total transportado.

4. Conclusiones

El uso de las TIC se está generalizando en todos los ámbitos para aportar información en los procesos de forma instantánea y permitir la toma de decisiones en tiempo real o realizar análisis exhaustivos. En el caso de sectores como el de la aceituna de mesa se abren un sinfín de aplicaciones donde pueden emplearse. Una de las más importantes es la posibilidad de conectar la industria con las plantaciones para coordinar los tiempos de recepción de producto y la cantidad y calidad del mismo.

Los resultados obtenidos en campo con el sistema de trazabilidad desarrollado indican que es fundamental que el equipo de maquinaria y personal, dedicado a la carga y transporte de fruto hasta el punto de acopio, funcione correctamente y en coordinación con el equipo de derribo, para asegurar que en ningún momento haya tiempos muertos por falta de mallas sin fruto, cargadores parados esperando en el punto de acopio o limpiadoras sin fruto. La organización del trabajo en

campo influye de forma importante en el coste de recolección, pudiendo elevarlo de forma significativa.

El sistema desarrollado permite analizar los problemas de coordinación entre las distintas máquinas que se encuentran en campo y calcular sus capacidades de trabajo, determinar el peso del fruto y los tiempos de la puesta del fruto en líquido o el control de la temperatura del mismo. Todo ello está orientado a registrar, desde el origen, los parámetros productivos del fruto (identificación de parcelas en campo), además de los implicados en las operaciones mecanizadas de recolección y transporte. A estos datos se les puede incorporar las acciones tomadas en la industria, para completar el proceso, obteniendo la trazabilidad total del producto. También se pueden realizar mapas de cosecha (kg/ha) y emplearlos para la toma de decisiones en cuanto a abonado, tratamientos fitosanitarios, riego u otras labores a realizar en la parcela.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida a la Interprofesional de la Aceituna de Mesa (Interaceituna) y a la empresa Aceitunas Guadalquivir S.L. por su prestar su colaboración durante los ensayos.

Bibliografía

ASAJA (Asociación Agraria Jóvenes Agricultores), 2015. Último acceso 21-04-2017. Disponible en: http://www.asaja.com

COI (Consejo Oleícola Internacional), 2016. Último acceso 25-04-2017. Disponible en: http://www.internationaloliveoil.org

ESYRCE, 2016. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Análisis de las plantaciones de olivar en España. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Último acceso 19-04-2017. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/espana2015web_tcm7-401244.pdf

Jimenez-Jimenez, F., Castro-García, S., Blanco-Roldan, G. L., Gil-Ribes, J. A. *Evaluación del molestado de las aceitunas de mesa tras la recolección mediante análisis de imágenes y espectroscopia visible y de infrarrojo cercano*.

MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente), 2016. Diagnóstico sobre el sector de la aceituna de mesa en España. Último acceso: 19-04-2017. Disponible: http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/160427diagnosticoaceitunademesadefinitivo_tcm7-419526.pdf

Estimación de producción de fruta en cítricos a través de tecnologías basadas en drones y visión artificial

Manuel Pérez-Ruiz[1], Pablo Agüera-Requena[2], Jorge Martínez[1], Miguel A. Polo[2], O. Enrique Apolo Apolo[1]

[1] Dpto. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluido, Universidad de Sevilla, Ctra. Sevilla-Utrera km1 Sevilla 41013, E-mail: manuelperez@us.es.

[2] Dronsap división especializada en servicios de drones para la agricultura de la empresa Agrosap. C/Diseño, Local 2 41927 Mairena del Aljarafe (Sevilla)

Resumen

La predicción precisa de la producción de un cultivo representa una información muy importante tanto para el agricultor como para las cooperativas encargadas de gestionar y vender el producto. De este pronóstico depende en gran parte la organización y la logística necesarias para la recolección, así como la planificación del almacenaje, stock y abastecimiento de los mercados. En muchos casos, la predicción, actualmente se realiza en campo con personal experimentado realizando una inspección visual, proceso que tiene riesgo de presentar errores humanos. El objetivo del presente trabajo es desarrollar un sistema de detección de frutas (ej. naranjas) basado en visión por computador mediante la librería OpenCV, que de forma precisa, rápida y con antelación, permita conocer la producción en cítricos. El algoritmo que permite la detección fue desarrollo y evaluado con fotografías de 19 árboles y los datos obtenidos comparados con valores de producción real. Las medidas reales de producción por árbol frente a los valores estimados mostraron valores muy prometedores, y por lo tanto, se vislumbra un gran potencial del algoritmo para la predicción del rendimiento de árboles de cítricos y probablemente de otras frutas.

Palabras clave: drones, sensores remotos, análisis OBIA, cosecha.

Yield estimation in citrus orchard using an UAV and computer vision

Abstract

Estimating crop yield potential is important information for both farmers and agricultural cooperatives to be able to sell their products. This yield prediction is the key to predict the volume of stock necessary at the supermarkets and to organize harvesting operations. In many cases, visual estimates of yield are done but this is not accurate. The aim is to build an accurate, fast and reliable fruit detection system based on computer vision using the OpenCV library, for fruit yield estimation. The algorithm that allows the detection was developed and tested on 19 orange trees. Orange yield estimation and actual mass of the fruit per tree was compared. The errors showed very promising values, and therefore, a great potential of the algorithm is foreseen for the citrus yield estimation and probably of other fruits.

Keywords: drones, remote sensing, image analysis (OBIA), harvest

1. Introducción

La producción de cítricos en España se ha mostrado tradicionalmente como uno de los cultivos en regadío de mayor importancia en cuanto a superficie (Castel et al., 1987). En la actualidad, la superficie cultivada es de aproximadamente unas 297.000 ha a nivel nacional, con una producción anual que ronda los $7x10^9$ Kg. La mayor parte de esta producción se sitúa en las regiones de Andalucía y Valencia, con una superficie de 82.000 y 161.000 ha, respectivamente (MAPAMA, 2016). De esta manera, España se convierte en el mayor productor de Europa para la producción de este cultivo, a pesar de la continua competencia de países extracomunitarios donde la mano de obra es más barata (García-Tejero, 2010).

La recolección suele ser el momento de mayor importancia en cualquier cultivo, ya que supone una enorme complejidad en cuanto a contratación de mano de obra y venta del producto. En el caso de los cítricos, la recogida de la fruta suele suponer el 25% del coste total de producción y requiere de casi el 50% de la mano de obra del cultivo, ya que la recolección mecanizada aún no está muy extendida en este cultivo (Agustí Fonfría, 2012; Palacios, 2005). Elegir el momento óptimo, para dicha recolección, depende del índice de madurez, la coloración del fruto, contenido mínimo de zumo, calibre mínimo entre otros (Reig-Martínez y Picazo-Tadeo, 2004). Sin embargo, a pesar de que esto último es importante, resulta crucial, tanto para los agricultores como para las cooperativas, hacer un buen pronóstico de la producción del cultivo, pues de ello depende la organización y logística necesarias para la recolección, así como la planificación del almacenaje, stock y abastecimiento de los mercados.

Existe una gran cantidad de literatura científica para la predicción del rendimiento, ya sea basándose en los condicionantes agronómicos del cultivo, en históricos de producción de la explotación en concreto o con técnicas visuales estimativas (Srivastava et al., 2007). Sin embargo, estos métodos son poco precisos con el consiguiente perjuicio para los agricultores y las cooperativas encargadas de negociar el volumen de fruta que se va a vender.

La introducción de las técnicas de visión por computador en este tipo de tareas representa un nuevo paradigma, permitiendo mejorar la precisión y velocidad en el aforamiento de frutos, y proporcionando a los técnicos y productores mayor información acerca de la variabilidad en el rendimiento en sus parcelas (Ehsani et al., 2016). Para la tarea de la toma de imágenes, el uso de plataformas aéreas como los drones aplicados a la agricultura de precisión, se ha erigido en una tecnología útil y versátil, utilizándose con notable éxito debido entre otras cosas a la posibilidad de montar sensores de alta resolución capaces de obtener buenos resultados a precios relativamente bajos (Costa et al., 2012; Martínez et al., 2016)

Tradicionalmente los análisis de imágenes se realizaban exclusivamente a partir de la respuesta espectral de los pixeles (Burnett y Blaschke, 2003). En la actualidad se han desarrollado nuevos programas, lenguajes de programación y algoritmos que permiten el análisis de imágenes basado en objetos (Object-Based Image Analysis o OBIA). Este tipo de técnicas analíticas permiten segmentar, clasificar y analizar data-sets en base a grupos de pixeles, bordes, formas e incluso texturas (Hamuda et al, 2016). Uno de los entornos más comunes para el desarrollo de algoritmos de visión por computador es Python, cuyo lenguaje orientado a objetos complementado con librerías como OpenCV, permite desarrollar algoritmos capaces de detectar el color una imagen con gran precisión (Prateek, 2015). Sin embargo, el empleo de estas modernas técnicas de visión artificial en entornos desestructurados como los que presentan las parcelas agrícolas, puede presentar retos como los cambios en la iluminación natural, las oclusiones de frutos debidas al follaje o que la coloración del fruto por su bajo grado de maduración no permita su detección. Por estos factores, aún deben realizarse correcciones y ajustes de estas estimaciones basándose en recuentos manuales de frutas en tierra.

El objetivo de este estudio ha sido desarrollar y evaluar un sistema de detección de frutas usando técnicas de visión por computador y imágenes RGB tomadas desde tierra, con una cámara réflex, y desde el aire, con cámara de serie del vehículo aéreo.

2. Materiales y Métodos

2.1. Parcela experimental

Las imágenes y mediciones del rendimiento por árbol se llevaron a cabo durante la campaña 2016/2017 en una parcela comercial de cítricos *Citrus sinensis* (L.) cv. Navelina de 4 ha y 1785 árboles localizada en el municipio de Alcalá del Río en la provincia de Sevilla (37° 30’ 44.44’’ N; 05° 58’ 11.64’’ W). Se seleccionaron 19 árboles al azar y sobre ellos se realizó un vuelo con un dron a una altura de

unos 5-6 m para obtener imágenes en una posición cenital e inclinada (Figura 1a y 1c). Finalmente, se utilizó una cámara para obtener una fotografía frontal de cada árbol (Figura 1b). En total se obtuvieron 38 fotos desde el dron y 18 con la cámara réflex.

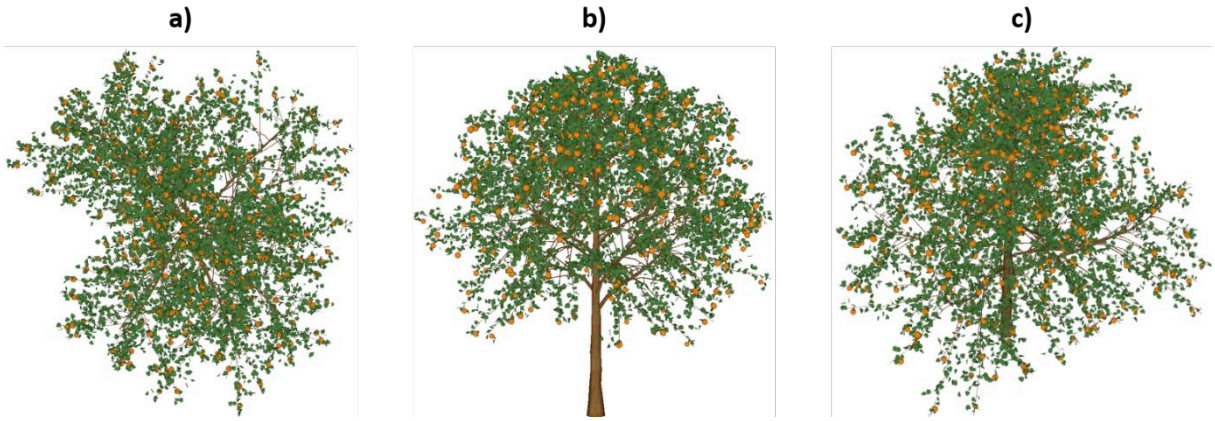


Figura 1. Metodología de toma de imágenes: (a) cenital, (b) frontal y (c) inclinada.

La plataforma de vuelo utilizada fue el modelo Phantom 3 (SZ DJI Technology Co. Ltd.), que posee una autonomía de vuelo de 23 minutos, estando equipado con una cámara RGB de muy alta resolución (4D). Las imágenes desde tierra fueron realizadas sin emplear flash con una cámara réflex modelo Canon EOs 700D provista de un objetivo Canon EFS18-55 mm con distancia focal f/3.5. Las imágenes frontales fueron tomadas a una distancia de 3 m, situándose en la misma calle de los árboles.

2.2. Software utilizado y estrategia de análisis de las imágenes

Para el análisis de las imágenes obtenidas, en este estudio, se ha utilizado el lenguaje de programación Python en su versión 2, las librerías de visión por computador de OpenCV en su versión 2.0.0 y la librería de análisis matemático Numpy. El algoritmo desarrollado, en primer lugar, transforma la imagen RGB (figura 2a) a escala grises (figura 2b) y posteriormente extrae aquellos pixeles con el rango de color que se le ha definido previamente, que en este caso es el color naranja (figura 2c). A continuación, la rutina desarrollada transforma la imagen con los pixeles seleccionados a imagen binaria (figura 2d) obteniendo una imagen en la que los píxeles solo puedan presentar un valor de los dos posibles (blanco o negro). Finalmente, el algoritmo hace un recuento de aquellos pixeles que están agrupados según un umbral de pixeles que previamente se le ha definido en su programación, validando si se trata o no de uno de los frutos a contar.

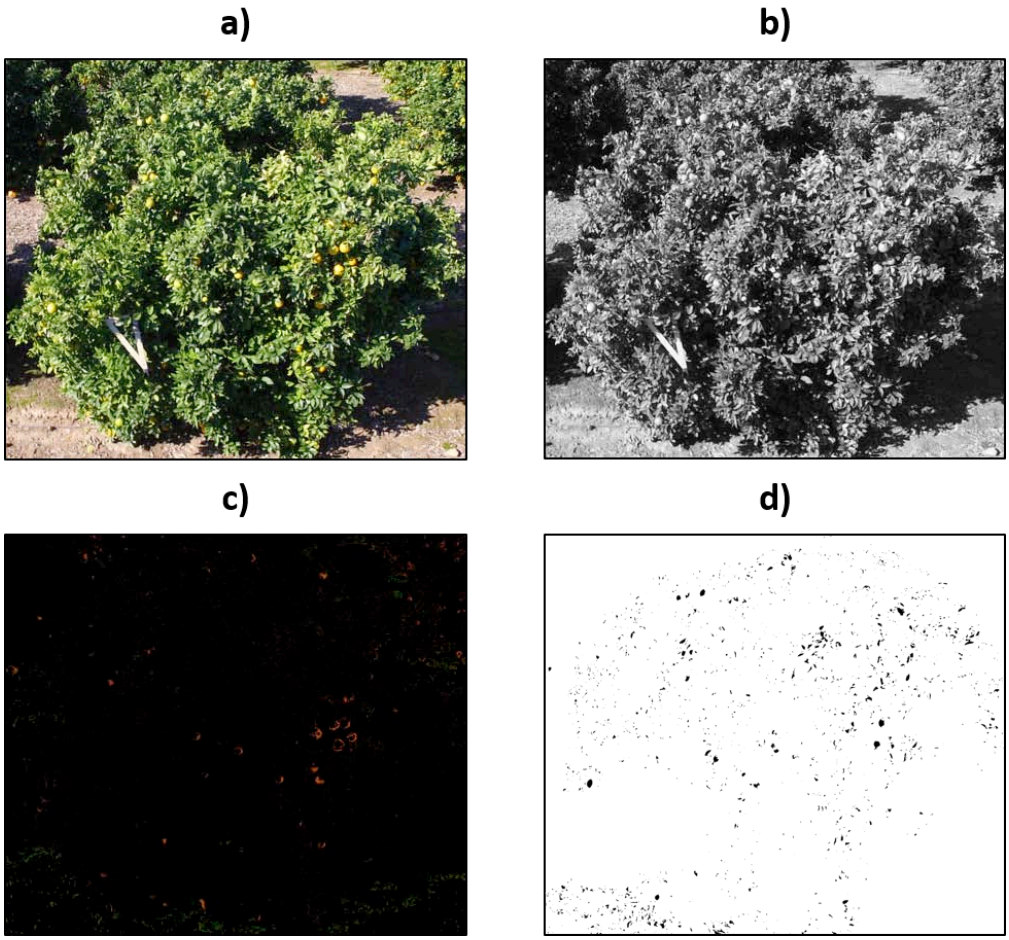


Figura 2. Transformaciones de imágenes necesarias para el funcionamiento del algoritmo.

2.3. Medición real de la producción

La recolección de los 19 árboles se llevó a cabo por 2 operarios de campo con experiencia en recolección a tijeras (Figura 3a). Estos operarios cargaban sus bolsas de recolección de 15 kg y una vez lleno volcaban sobre cajas de plásticos de fruta. Estas cajas fueron pesadas en una báscula industrial portátil de estructura de acero y salida de RS232 para display LCD con iluminación interna muy brillante (modelo Gram K3, Gram Precisión S.L.). De esta forma se conoció la masa de fruta por árbol (Figura 3b).

(a) (b)

Figura 3. (a) Recolección manual a cargo de operarios experimentados y (b) obtención de masa real por árbol.

3. Resultados y Discusión

Considerando como valor medio de la masa de una fruta 150 g y habiendo tomado imágenes de naranjas sobre 19 árboles, se ha estimado en la Tabla 1 la masa de fruta por árbol detectada por el UAV usando la detección con réflex como referencia. La masa media real de fruta obtenida por árbol en este trabajo ha sido de 126.50 kg, siendo la producción real de la parcela, con 1785 árboles en total, de 225802.50 kg (si cosechamos todas las naranjas existentes en los árboles). En la Tabla 1 se muestran las masas estimada por árbol, resultando 128.71 Kg con la cámara réflex y de 126.80 Kg con el UAV. Si con estos datos se calcula la producción total estimada para los 1785 árboles se obtiene una producción de 229747.35 Kg con la cámara réflex y de 226338.00 Kg con UAV, produciéndose un error con respecto a la producción real de 2% y del 0.2% respectivamente.

Tabla 1. Masa estimada con el algoritmo de visión artificial frente a la masa media real por árbol

Árbol	Frutos detectados con réflex	Frutos detectados desde UAV	Masa real por árbol (Kg)	Masa estimada por árbol con reflex (Kg)	Masa estimada por árbol con UAV (Kg)
1	64	55	158.22	129.67	126.97
2	58	54	118.80	127.87	126.70
3	24	31	118.50	*	*
4	54	56	81.10	126.67	127.27
5	56	58	152.40	127.27	127.87
6	55	61	118.70	127.00	128.80
7	66	63	123.40	130.27	129.40
8	53	56	134.40	126.38	127.28
9	59	56	106.40	128.16	127.28
10	60	59	107.40	128.46	128.20
11	68	49	141.10	130.88	125.17
12	67	45	152.30	130.56	123.98
13	62	44	97.00	129.08	123.68
14	62	49	153.10	129.08	125.17
15	24	8	129.30	*	*
16	19	6	82.70	*	*
17	63	61	145.40	129.38	128.77
18	6	8	141.70	*	*
19	65	50	141.00	129.97	125.47

***** árboles donde la detección ha estado por debajo de lo normal, ya sea porque los frutos tenían un color muy cercano al del follaje o porque la zona fotografiada tenía pocos frutos.

Los errores de estimación de producción de fruta, en este trabajo, se encuentran por debajo del 5 %. Estos valores, aunque sólo son para una variedad y condiciones particulares, nos permiten vislumbrar que el algoritmo o modelo de predicción desarrollado puede tener potencial para la estimación del rendimiento de fruta a partir de imágenes RGB tomadas desde drones. Una altura menor de vuelo así como realizar tomas por ambas caras del árbol probablemente aumente la precisión del algorítmo. Actualmente se están produciendo errores de estimación que oscilan entre el 25 y 30 % de la producción final (datos de cooperativas), con el problema que eso supone para el manejo y comercialización de grandes volúmenes de fruta.

La interpretación de los datos obtenidos deja dos conclusiones claras. En primer lugar, la precisión del algoritmo de Python+OpenCV se vio reducida en los frutos oscurecidos por las hojas, aquellos adyacentes y los que su color era muy similar (Figura 4). En segundo lugar, un algoritmo mejorado podría implementarse en un sistema automatizado montado sobre un tractor o dron para predecir el rendimiento del cultivo como en Gong et al. (2013).

Figura 3. Imagen donde el algoritmo tiene dificultades para detectar frutos: (izquierda) imagen real y (derecha) frutos no detectados.

4. Conclusiones

Según los resultados se puede concluir que la visión artificial por computador basada en los algoritmos de Python y OpenCV, desarrollados y evaluados muestran validez para predecir la producción antes de recolección de una plantación de cítricos. Así mismo, se observa que la altura a la que se realice el vuelo con el UAV, las condiciones de iluminación, la resolución de las imágenes, el índice de madurez y la carga de frutos del árbol serán determinantes para realizar una buena predicción.

Por otra parte, aunque este estudio se ha realizado con imágenes estáticas, en el futuro, dado que OpenCV permite agregar parámetros de textura, forma, área entre otros, será posible detectar con mayor facilidad los objetos diana (frutos), lo que sumado a las técnicas de *machine learning* permitirán una predicción más precisa del rendimiento e incluso en tiempo real.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado dentro de las actuaciones del grupo de investigación AGR-278 “Smart Biosystem Laboratory”, gracias a todos los compañeros.

Bibliografía

Agustí Fonfría, M. 2012. *Citricultura*. Madrid: Mundi-Prensa.

Burnett, C., Blaschke, T. 2003. A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis. *Ecological Modelling*. 168 (3): 233–249.

Castel, J.R., Bautista, I., Ramos, C., Cruz, G. 1987. Evapotranspiration and irrigation effeciency of mature orange orchards in Valencia (Spain). *Irrigation and Drainage Systems*. 1: 205–217.

Choi, D., Lee, W.S., Ehsani, R., Schueller, J.K., Roka, F.2015. Machine vision system for early yield estimation of citrus in a site-specific manner. ASABE Annual International Meeting 1: 1-6.

Costa, F.G., Ueyama, J., Braun, T., Pessin, G., Osório, F.S., Vargas, P.A. 2012. The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor network in agricultural applications. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 5045–5048. 22-07 July , Munich.

Ehsani R., Wulfsohn D., Das J., Zamora Lagos I. 2016. Yield Estimation A low-hanging fruit for application of small UAS. *ASABE Resource Magazine*. 23(4): 16-18.

Hamuda, E.; Glavin, M.; Jones, E. 2016. A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field. *Computers and Electronics in Agriculture* 125:184-199

García-Tejero, I.F. 2010. Deficit Irrigation for Sustainable Citrus Cultivation in Guadalquivir River Basin.Ph.D. Thesis. Universidad de Sevilla, Sevilla..

Gong, A., Yu, J., He, Y., Qiu, Z. 2013. Citrus yield estimation based on images processed by an Android mobile phone. *Biosystems Engineering*. 115(2):162–170.

MAPAMA. 2016. Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE). Encuesta de Marco de Áreas de España. (Acceso el 31 de Mayo de 2017). https://goo.gl/HvUST3

Martínez, J., Egea, G., Agüera, J., Pérez-Ruiz, M.2017. A cost-effective canopy temperature measurement system for precision agriculture: a case study on sugar beet. *Precision Agriculture* 18: 95-110.

Palacios, J. 2005. *Citricultura.*Tucumán (Argentina): Gráfica.

Prateek, J. 2015. *OpenCV with Python By Example*. Birmingham: Packt Publishing

Reig-Martínez, E., Picazo-Tadeo, A.J. 2004. Analysing farming systems with Data Envelopment Analysis: Citrus farming in Spain. *Agricultural. Systems*. 82(1):17–30.

Srivastava, A.K., Huchche, A.D., Ram, L., Singh, S.2007. Yield prediction in intercropped versus monocropped citrus orchards. *Scientia Horticulturae*. 114 (1):67–70.

Modelo simplificado para estimação do consumo de água e produção de chorume em explorações comerciais de suínos

Jorge M.R. Tavares [1] , Diogo Silva [1] , Paulo Belli Filho[1] , Arlei Coldebella[2] , Paulo Armando V. de Oliveira[2]

[1] Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS-UFSC), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico - Campus Universitário, Bairro Trindade, Caixa Postal 476, CEP 88040-970, Florianópolis, SC, Brasil. jorge.tavares@posgrad.ufsc.br, paulo.belli@ufsc.br

[2] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional Suínos e Aves (EMBRAPA), Caixa Postal 21, CEP 89700-000, Concórdia, SC, Brasil. arlei.coldebella@embrapa.br, paulo.armando@embrapa.br

Resumo

A pesquisa teve como objetivo ajustar as curvas do consumo de água e da produção de chorumes em explorações comerciais de suínos, na fase fisiológica de crescimento-terminação, comparando as que melhor descrevem a evolução dos parâmetros avaliados, em função de três variáveis: idade, massa corporal e período de alojamento dos animais dos animais. Para tal, foram monitorados e avaliados 33 ciclos de produção considerando um período de alojamento de até 105 dias (13.276 suínos), durante 13 meses em 15 explorações comerciais de suínos (idade inicial: nove semanas; massa corporal: 24,5 kg), no sul do Brasil. As variáveis analisadas (idade, massa corporal e período de alojamento dos animais dos animais) foram empregadas para ajustar as curvas do consumo de água e da produção de chorume e estimar, consequentemente, os valores dos seus parâmetros biológicos pelo procedimento NLMIXED do Statistical Analysis System. Os modelos não lineares assintóticos utilizados foram: Brody, Gompertz, Logístico, Richards e Von Bertalanffy. O modelo Logístico foi aquele que melhor descreveu tanto o consumo de água quanto a produção de chorume exibindo um ajustamento assintótico e valores estimados próximos dos medidos nas explorações [*e.g.*, idade dos suínos (consumo de água: R^2=0,989; erro absoluto=1,11 L.suíno^{-1}; erro de predição=1,32%; produção de chorume: R^2=0,995; erro absoluto=0,04 L.suíno^{-1}; erro de predição=0,96%)]. Convém realçar que os modelos determinados na pesquisa estão na base do desenvolvimento de um dispositivo de medição instantâneo que permite ao produtor visualizar tanto o consumo de água quanto a produção de chorume nas explorações, comparando-as com as curvas estimadas.

Palavras-chave: suinicultura, crescimento-terminação, modelos não lineares, consumo de água, produção de chorume.

Simplified model to estimate the water disappearance and manure production in commercial pig farms

Abstract

The aim of this study was to adjust at commercial pig farms the water disappearance and manure production curves at commercial growing-finishing pig farms, comparing the curve that best describes the evolution of parameters evaluated, according to three variables: age, body weight and housing period of the animals. For this, 33 production cycles were evaluated considering a housing period of 105 days (13,276 pigs) during 13 months in 15 commercial growing-finishing pig farms (nine weeks old and 24.5 kg average body weight) in southern Brazil. The variables analyzed (age, body weight and housing period of the animals) were used to adjust the water disappearance and manure production curves and to estimate, consequently, its biological parameters by NLMIXED SAS procedures. The nonlinear asymptotic models used were: Brody, Gompertz, Logistic, Richards, and Von Bertalanffy. The Logistic model was the one that best described both the water disappearance and the manure production, displaying an asymptotic adjustment and estimated values measured in farms [*e.g.*, pigs age (water disappearance: R^2=0.989, absolute error: 1.11 L.pig^{-1}, and prediction error =1.32%; manure: R^2=0.995, absolute error=0.04 L.pig^{-1}, and prediction error =0.96%)]. It should be emphasized that the models determined in the research are the basis of the development of an instantaneous

measuring device that allows the producer to visualize both the water disappearance (plotting the daily measures) as well as the production of manure in the farm and compare the values with the estimated curves.

Keywords: pig production, growing-finishing, nonlinear models, water disappearance, manure production.

1. Introdução

O planeamento da produção suinícola é, atualmente, um dos principais pilares para o sucesso da atividade. Através deste instrumento, é possível compreender sistematicamente os aspetos e processos associados à produção e, deste modo, definir de modo sustentável quais os procedimentos fundamentais para a realização das tarefas ditas comuns, nas explorações. Neste contexto, os modelos matemáticos enquadram-se como uma ferramenta essencial e eficiente para organizar, processar e sistematizar os dados levantados, resultando em informações pertinentes para a tomada de decisão diária dos produtores ou outros atores associados com a produção (Tavares, 2016). A modelagem matemática sendo considerada uma parte importante do processo evolutivo na ciência animal pode ser definida como "uso de equações para descrever ou simular processos inseridos em um sistema" (Dumas et al., 2008). Na produção de suínos, a modelagem apresenta-se como um importante instrumento de auxílio à tomada de decisão, podendo ser utilizada para estimativa de medidas referentes a características de interesse, entre elas as questões de gestão ambiental, levando em consideração diversos fatores em função das fases fisiológicas de produção, tais como: maneio, genética, nutrição e ambiente (Van Milgen et al., 2008).

Muitos processos científicos são descritos por modelos lineares, no entanto, os processos biológicos associados à ciência animal são inerentemente explicados por modelos não lineares (Whittemore et al., 1988; Mischan e Pinho, 2014). No grupo dos não lineares são incluídos os assintóticos cuja representação gráfica apresenta uma assíntota horizontal, ou seja, quando a variável independente tende para o infinito, o limite da função é uma constante (Mischan e Pinho, 2014). Um exemplo que descreve o uso destes modelos é o crescimento de tecidos em animais ou plantas que são, geralmente, mais rápidos na fase inicial da vida, diminuindo posteriormente de velocidade e tendendo de seguida para a sua estabilização na vida adulta (Fitzhugh Jr., 1976; Paro de Paz et al., 2004; Mischan e Pinho, 2014). O ajuste de modelos não lineares assintóticos permite também sintetizar informações dos animais em determinados períodos de tempo (*e.g.,* massa corporal em função da idade). Assim, nesse período de tempo, um conjunto de parâmetros pode ser interpretado biologicamente, facilitando o entendimento do fenômeno de crescimento e desenvolvimento animal (Fitzhugh Jr., 1976; Whittemore et al., 1988; Oliveira et al., 2000; Paro de Paz et al., 2004; Afonso et al., 2009; Tavares et al., 2014).

Neste contexto, os modelos não lineares assintóticos mais utilizados para descrever os estudos de crescimento e desenvolvimento animal são: Brody (Brody, 1945), Gompertz (Laird, 1965), Logístico (Nelder, 1961), Richards (Richards, 1959) e Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1957). Convém realçar que embora existam na literatura pesquisas em ciência animal utilizando os modelos não lineares assintóticos para estudar o crescimento, desenvolvimento e outros parâmetros associados de diferentes espécies de animais domésticos (Oliveira et al., 2000; Dutra Jr. et al., 2001; McManus et al., 2003; Paro de Paz et al., 2004; Afonso et al., 2009; Tholon e Freitas, 2009; Drumond et al., 2013), não existe, contudo, referência à possibilidade de aplicação deste tipo de modelo na estimativa do consumo de água e produção de chorumes, em função do crescimento dos animais (Tavares et al., 2014).

Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo ajustar as curvas do consumo de água e da produção de chorumes em explorações comerciais de suínos, na fase fisiológica de crescimento-terminação, comparando as que melhor descrevem a evolução dos parâmetros avaliados, em função de três variáveis: idade, massa corporal e período de alojamento dos animais.

2. Material e Métodos

O desenvolvimento do modelo para estimativa do consumo de água e produção de chorumes, na fase fisiológica de crescimento-terminação, baseou-se no pressuposto que o perfil de ambos os parâmetros um comportamento similar ao crescimento dos tecidos animais. Neste contexto, foi assumido que o consumo de água e a produção de chorume aumentou na fase inicial da vida dos animais, diminuindo posteriormente de velocidade e tendendo de seguida para a sua estabilização na vida adulta. Assim, o desenvolvimento do modelo para estimativa dos parâmetros foi delineado em função de duas etapas, considerando:

Etapa 1: o modelo não linear de Gompertz foi ajustado às médias semanais do consumo de água e produção de chorumes, na fase fisiológica de crescimento-terminação, em função do período de alojamento dos suínos (até 105 dias) (Tavares et al., 2014);

Etapa 2: os modelos não lineares (Brody, Gompertz, Logístico, Richards e Von Bertalanffy) após ajuste às médias semanais do consumo de água na fase fisiológica de crescimento-terminação foram comparados entre si, em função da idade (entre 63 e 168 dias), massa corporal (inicial: 24,5 kg) e período de alojamento (até 105 dias) dos suínos.

O ajuste das curvas em função da massa corporal foi realizado após regressão linear simples entre o valor medido de massa e a idade dos animais no momento das pesagens nas explorações.

2.1. Delineamento Experimental

A pesquisa foi realizada de Abril de 2011 a Maio de 2012, em 15 explorações comerciais de suínos, localizadas no sul do Brasil, segundo a metodologia apresentada por Tavares et al. (2014). De modo a reduzir possíveis fatores de variação na coleta de dados, as 15 explorações na fase fisiológica de crescimento-terminação (massa corporal: 24,5 a 120 kg) foram identificadas e selecionadas de acordo com os seguintes pressupostos: a) localizadas na mesma região geográfica (Oeste de Santa Catarina, Brasil); b) pertencerem à mesma agroindústria; c) serem representativas da fase fisiológica em pesquisa; d) edifícios de alojamento com condições de exequibilidade para as atividades a desenvolver. No total, foram monitorados 13.276 suínos durante 33 ciclos de produção, repartidos pelas explorações selecionadas e considerando dois períodos do ano, o frio e o quente.

Os animais monitorados possuíam genética *Large White* × *Landrace* (linhagem materna) e *Landrace* × *Large White* ou *Pietrain* (linhagem paterna), tendo sido sujeitos a quatro pesagens (tempo de alojamento de até 105 dias). A ingestão de água foi *ad libitum*" e a de ração restrita, de acordo com as recomendações específicas da agroindústria. A dieta fornecida (granulada) foi balanceada e multifásica tendo como ingredientes base o milho e a soja (Rostagno et al., 2014), variando o seu consumo no tipo e quantidade ao longo do ciclo produtivo (nove tipos de ração com teor de proteína a variar entre 21 e 14%). Os animais alojados foram distribuídos aleatoriamente nos edifícios de produção em cada ciclo, em função do seu gênero (média: 10 suínos.baia^{-1}). A superfície livre nas baias foi de aproximadamente 1,0 m^2.suíno^{-1} (piso compacto).

2.2. Consumo de água e produção de chorume

O consumo total de água pelos suínos (água ingerida + desperdício animal no bebedouro) foi determinado em função do período de alojamento, através da instalação de 55 hidrômetros nas explorações selecionadas (Unimag Cyble PN 10, ITRÓN Inc., Liberty Lake, Washington). Cada equipamento foi instalado em uma das linhas de água que abastecia os edifícios, tendo sido sujeito a uma avaliação prévia (controle de precisão das leituras) e, em caso de necessidade, substituído antes do início das medições de campo. As leituras do primeiro e último dia de alojamento foram corrigidas, em cada ciclo de produção, em função da hora de entrada e saída dos animais nos edifícios de produção. As leituras foram feitas diariamente pelos produtores (24 horas) e após observação cuidada, os erros nos valores de consumo derivados de problemas na rede hidráulica e

bebedouros (vazamentos) foram analisados, corrigidos e, se necessário, excluídos do cálculo do consumo total de água (<1%) (Tavares et al., 2014). O manejo diário dos bebedouros pelo produtor não foi avaliado nas explorações (*e.g.*, pressão da coluna de água, limpeza, regulagem da altura e inclinação), apesar da influência descrita na literatura sobre o consumo total de água dos suínos (Gonyou, 1996; Brumm et al., 2000; LI et al., 2005).

A determinação do volume de chorume produzido foi realizada através da instalação de caixas de fibra de vidro de 5 m^3 (Fibratec e Fortlev, Araquari, SC, Brasil). Diariamente (24 horas), o produtor efetuou a descarga dos chorumes armazenados nas canaletas externas para o interior das caixas de fibra de vidro; posteriormente, com o auxílio de uma régua graduada (em cm) mensurou a altura da lâmina de água do chorume, registando-se os valores em planilha específica. A equipe de campo coletou os dados semanalmente, para correção e eliminação de erros. No momento da descarga do chorume foi observado que uma determinada quantidade de sólidos ficava sedimentada/retida no fundo da caixa. Para evitar um erro por superestimação do volume de chorumes produzidos foi realizada a medição da altura dos sólidos retidos e estimado um valor de referência por exploração.

2.3. Modelo matemático simplificado

Nas etapas de desenvolvimento do modelo, as leituras diárias do consumo de água e produção de chorumes obtidas na fase fisiológica de crescimento-terminação (n=33 ciclos) foram organizadas em dados médios semanais, sem considerar o efeito do produtor, para estimativa dos parâmetros com significado biológico (a, b e c) dos modelos não lineares assintóticos selecionados em função de três variáveis: a idade (entre 63 e 168 dias), o tempo de alojamento (105 dias) e a massa corporal dos suínos (inicial: 24,5kg). O ajuste das curvas em função da massa corporal foi realizado após processo de regressão linear simples entre o peso e a idade dos animais em cada ciclo avaliado. Para determinação dos pesos médios semanais, foram consideradas quatro pesagens, a primeira no momento da saída da creche, que antecede o alojamento dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação (63 dias de idade), duas no decorrer ciclo de produção (103-108 dias e 143-148 dias) e a última no momento do abate dos animais (168 dias de idade).

As expressões matemáticas dos modelos não lineares assintóticos utilizados, entre eles, Brody [Equação (1)], Gompertz [Equação (2)], Logístico [Equação (3)], Richards [Equação (4)] e Von Bertalanffy [Equação (5)], para a estimativa dos dois parâmetros foram:

$$E[x] = a\,[1\text{-}b\exp(-cx)] \quad (1)$$

$$E[x] = a\exp[-b\exp(-cx)] \quad (2)$$

$$E[x] = a\,/\,[1+b\exp(-cx)] \quad (3)$$

$$E[x] = a\,[1\text{-}b\exp(-cx)]^{v} \quad (4)^{\dagger}$$

$$E[x] = a\,[1\text{-}b\exp(-cx)]^{3} \quad (5)$$

† modelo não linear com estimativa de 4 parâmetros.

Em que: **E[x]** - consumo de água ou produção de chorume dos suínos em função do tempo ou da massa corporal (L·suíno^{-1} d^{-1} ou L·suíno^{-1} kg^{-1}); **a**: consumo de água ou produção de chorume na maturidade; **b**: constante que relaciona o consumo de água e a produção de chorumes em função do tempo ou da massa corporal; **c**: parâmetro de decaimento no ponto de inflexão da curva; **x**: tempo ou massa corporal (dia ou kg); **v**: parâmetro fixo que determina a forma da curva e, consequentemente, o ponto de inflexão no modelo de Richards.

2.4. Análises estatísticas

As análises dos dados médios semanais foram realizadas por meio do procedimento NLMIXED do *Statistical Analysis System*© [SAS Inst. Inc., Cary, NC, (2012)]. A escolha do melhor modelo para

predizer o consumo de água foi baseada no Critério de Informação de Akaike (AIC - quanto menor o valor, melhor). Para cada modelo foram também determinados os coeficientes de determinação (R^2) e os erros de predição [absoluto ($L.suíno^{-1}.d^{-1}$) e relativo (%)].

3. Resultados e Discussão

Nas Figuras 1 e 2 são apresentados os resultados da Etapa I do desenvolvimento dos modelos simplificados, onde se podem observar os ajustes do modelo não linear de Gompertz às médias semanais dos dois parâmetros, consumo de água e produção de chorumes, respectivamente, considerando a fase fisiológica de crescimento-terminação em função do período de alojamento dos suínos (até 105 dias) (Tavares et al., 2014).

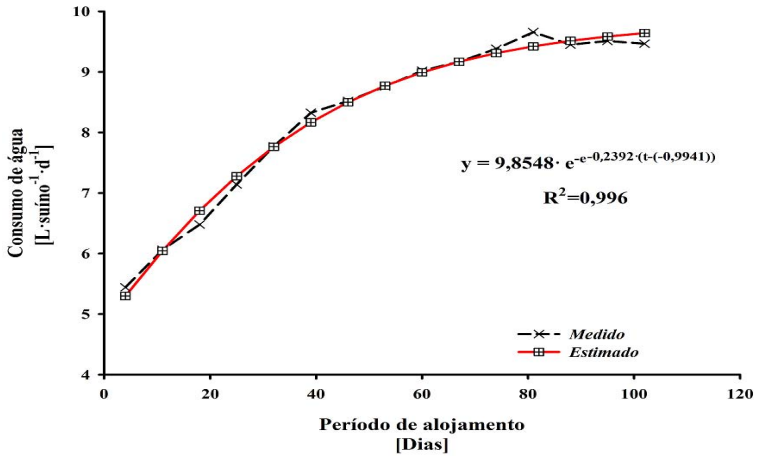


Figura 1. Ajuste do modelo de Gompertz ao consumo de água dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, em função do período de alojamento (até 105 dias). Fonte: Tavares et al. (2014).

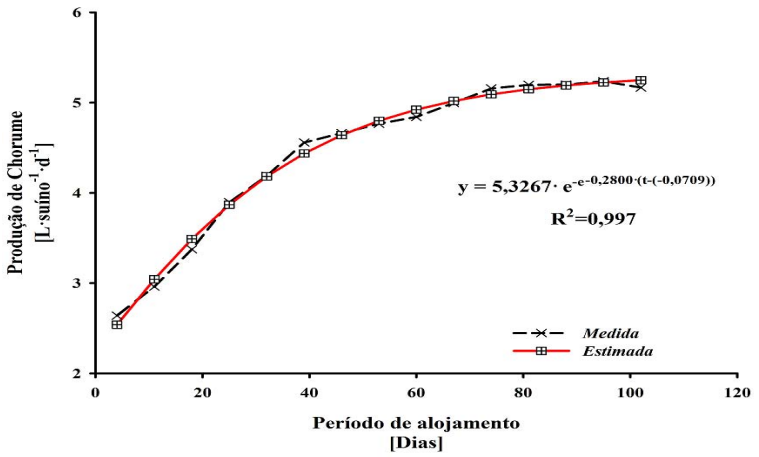


Figura 2. Ajuste do modelo de Gompertz à produção de chorume dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, em função do período de alojamento (até 105 dias). Tavares et al. (2014).

Os resultados apresentados nas Figuras 1 e 2 permitiram observar que o modelo não linear de Gompertz adequou-se ao perfil das médias semanais tanto do consumo de água quanto (n=32 ciclos de produção) da produção de chorume (n=33 ciclos de produção), em função do período de alojamento dos suínos. Os coeficientes de determinação registrados (água: R^2=0,996; chorume: R^2=0,997) permitiram obter, com elevado grau de confiança, a explicação do perfil dos dois parâmetros durante a fase fisiológica de crescimento-terminação. Neste contexto, nos primeiros dias de alojamento, tanto o consumo dos animais como a sua produção de chorume foi exponencial sendo que, após o ponto de inflexão, permaneceu assintótico.

As informações obtidas nesta fase mostraram-se promissoras face ao objetivo proposto na pesquisa. Tal fato permitiu o avanço para a Etapa 2, onde se ajustou e comparou os resultados de diversos modelos não lineares às médias dos dois parâmetros em avaliação, em função das três variáveis [idade (i), massa corporal (m) e período de alojamento dos animais (t)]. Face à similaridade (comportamento) dos resultados obtidos para as três variáveis, nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as estimativas dos parâmetros biológicos dos modelos, os valores do critério de informação de Akaike (AIC), do coeficiente de determinação (R^2) e do erro absoluto de estimação de cada modelo ajustado, em função da idade dos suínos (i) para o consumo de água e produção de chorume, respectivamente.

Tabela 1. Estimativa dos parâmetros biológicos, valor do critério de informação de Akaike (AIC), do coeficiente de determinação e do erro absoluto dos modelos ajustados para estimativa do consumo de água na fase fisiológica de crescimento-terminação, em função da idade dos suínos (i).

Modelo Matemático[†]	Parâmetros			AIC	R^2	Erro[‡]
	a	b	c			
1	9,871	3,487	0,031	-4,33	0,984	0,13
2	9,756	0,038	52,599	-7,41	0,987	0,12
3	9,682	15,434	0,045	-10,00	0,989	0,11
4	9,759	0,007	0,038	-7,40	0,987	0,12
5	9,792	1,888	0,035	-6,42	0,986	0,13

[†] 1: Brody; 2: Gompertz; 3: Logístico; 4: Richards (v = 1000); 5: Von Bertalanffy;
[‡] Erro de estimação absoluto (L.suíno^{-1}.d^{-1}).

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros biológicos, valor do critério de informação de Akaike (AIC), do coeficiente de determinação e do erro absoluto dos modelos ajustados para estimativa da produção de chorume na fase fisiológica de crescimento-terminação, em função da idade dos suínos (i).

Modelo Matemático[†]	Parâmetros			AIC	R^2	Erro[‡]
	a	b	c			
1	5,339	6,115	0,037	-30,54	0,993	0,05
2	5,276	0,047	59,611	-35,26	0,995	0,05
3	5,234	44,033	0,057	**-36,35**	0,995	0,04
4	5,276	0,016	0,047	-35,26	0,995	0,05
5	5,294	3,860	0,043	-34,03	0,994	0,05

[†] 1: Brody; 2: Gompertz; 3: Logístico; 4: Richards (v = 1000); 5: Von Bertalanffy;
[‡] Erro de estimação absoluto (L.suíno^{-1}.d^{-1}).

Os valores exibidos mostraram que o modelo não linear Logístico (n.° 3) foi aquele que melhor se ajustou às médias do consumo de água e produção de chorume na fase fisiológica de crescimento-terminação, em função da idade dos animais (i) (Tabelas 1 e 2). Quando comparado com os demais modelos ajustados, embora o Logístico tenha apresentado um coeficiente de determinação muito similar aos demais, este apresentou o menor valor para o critério de informação de Akaike (AIC), bem como os menores erros de estimação [água: absoluto (0,11 L.suíno^{-1}.d^{-1}) e relativo (1,32%); chorume: absoluto (0,04 L.suíno^{-1}.d^{-1}) e relativo (0,96%)]. Quando comparados com os valores obtidos na Etapa I (TAVARES et al., 2014), os resultados obtidos na Etapa II mostraram maior robustez e confiança no ajuste para a estimativa dos dois parâmetros avaliados (incremento da acurácia do modelo ajustado com consequente redução do erro de estimação). Para uma melhor compreensão dos resultados, são apresentados nas Figuras 3 e 4, os ajustes do modelo Logístico às

médias do consumo de água e produção de chorume, respectivamente, na fase fisiológica de crescimento-terminação em função da idade dos animais (i).

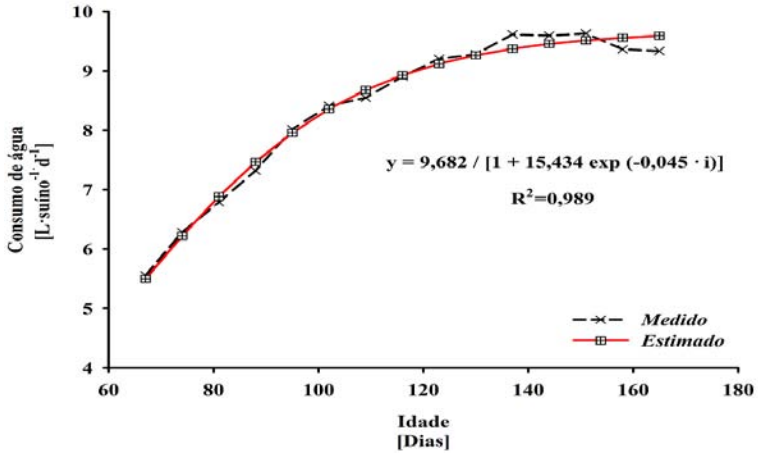


Figura 3. Ajuste do modelo não linear Logístico ao consumo de água dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, em função da sua idade.

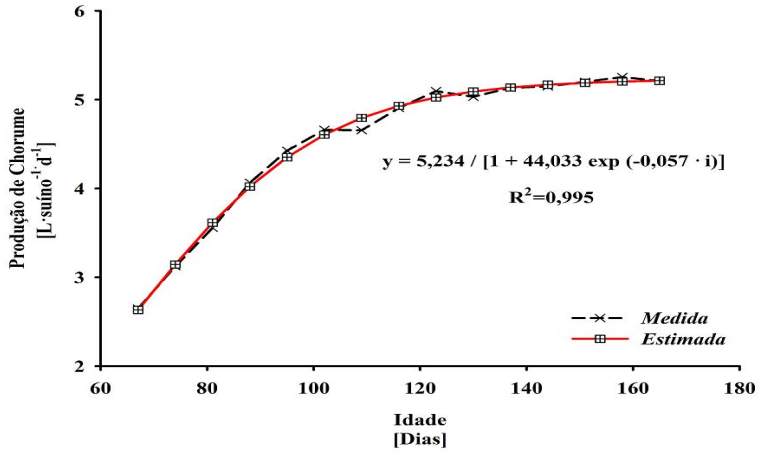


Figura 4. Ajuste do modelo não linear Logístico à produção de chorume dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, em função da sua idade.

O conhecimento do consumo diário e respectiva produção de chorume pelos suínos nos seus ciclos e/ou sistemas produtivos torna-se fundamental, pois ambos os parâmetros avaliados podem exercer um forte impacto ambiental, quer pela água enquanto recurso natural finito quer pelo papel impactante que os chorumes têm no meio receptor natual, quando descarregados incorretamente. As funções matemáticas dos modelos a serem disponibilizadas no dispositivo de medição instantâneo permitirão, tanto a produtores como a outros atores associados à produção de suínos, controlar de forma efetiva e em tempo real o que acontece nas suas explorações comerciais. Se detectada alguma anormalidade quer no volume de água consumido como no volume de chorume produzido, o dispositivo liberará avisos com indicação de possíveis causas para o desvio dos valores registrados.

4. Conclusões

O modelo não linear Logístico foi o que melhor ajustou os dados médios do consumo de água e da produção de chorume de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação. As equações obtidas para estimação dos parâmetros em avaliação, disponibilizadas em dispositivo de medição instantânea permitirão ao produtor visualizar tanto o consumo de água como a produção de

chorume dos suínos pela plotagem de pontos diários e compará-los com as melhores curvas estimadas.

Agradecimentos

Os autores deste estudo agradecem o apoio das seguintes entidades brasileiras: FAPESC, CNPq, CAPES, BRF, AINCADESC/SINDICARNE_SC, EMBRAPA, PPGEA/UFSC e PROJETO TSGA.

Bibliografia

Afonso, V. A. C., C. R. Quirino, R. L. D. da Costa and R. M. C. da Silva. 2009. Aplicação de modelos não lineares no ajuste de curvas de crescimento em fêmeas ovinas (ovis áries) da raça Santa Inês criadas na Região norte fluminense/RJ. *Boletim de Indústria Animal*, 66: 115-120.

Brody, S. 1945. *Bioenergetics and growth*. New York: Reinhold Publishing Corporation.

Brumm, M., J. Dahlquist and J. Heemstra. 2000. Impact of feeders and drinker devices on pig performance, water use and manure volume. *Swine Health and Production*, 8: 51-57.

Drumond, E. S. C., F. M. Gonçalves, R. C. Veloso, J. M. Amaral, L. V. Balotin, A. V. Pires and J. Moreira. 2013. Curvas de crescimento para codornas de corte. *Ciência Rural*, 43: 1872-1877.

Dumas, A., J. Dijkstra and J. France. 2008. Mathematical modelling in animal nutrition: a centenary review. *The Journal of Agricultural Science*, 146: 123-142.

Dutra Jr., W. M., A. S. Ferreira, J.-L. Donzele, R. F. Euclydes, J. U. Tarouco and L. L. Cardoso. 2001. Predição de curvas de crescimento de tecidos de fêmeas suínas por intermédio da função alométrica estendida. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30: 1007-1014.

Fitzhugh Junior, H. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science*, 42: 1036-1051.

Gonyou, H. 1996. Water use and drinker management: a review. In: *1996 Annual Research Report*. 74-80. Saskatoon, Saskatchewan, Canada: Prairie Swine Centre.

Laird, A. K. 1965. Dynamics of relative growth. *Growth*, 29: 249-263.

LI, Y., L. Chénard, S. Lemay and H. Gonyou. Water intake and wastage at nipple drinkers by growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 83: 1413-1422.

McManus, C., E. Cibele, l. A. C. Fernades, R. M. Miranda, F. E. Moreno-Bernal and N. R. Santos. 2003. Curvas de crescimento de ovinos Bergamácia criados no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32: 1207-1212.

Mischan, M. M. and S. Z. de Pinho. 2014. *Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento*. São Paulo: Cultura Acadêmica.

Nelder, J. A. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17: 89-110.

Oliveira, H. N. de, R. B. Lôbo and C. S. Pereira. 2000. Comparação de modelos não lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35: 1843-1851.

Paro de Paz, C. C., I. U. Packer, A. R. de Freitas, D. Tambasco-Talhari, L. C. A. Reginato, M. M. de Alencar and G. M. da Cruz. 2004. Ajuste de modelos não lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovinos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33: 1416-1425.

Richards, F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*, 10: 290-300.

Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, J. L. Donzele, P. C. Gomes, R. F. de Oliveira, D. C. Lopes, A. S. Ferreira, S. L. T. Barreto and R. F. Euclides. 2011. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. Viçosa, Brasil: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa.

SAS INSTITUTE INC. 2012. System for Microsoft Windows, Release 9.4, Cary, NC, USA, 2002-2012.

Tavares, J. M. R. 2016. Modelagem do consumo de água, produção de chorumes e emissão de gases de efeito estufa e amônia na suinocultura. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Tavares, J. M. R., P. Belli Filho, A. Coldebella and P. A, V. de Oliveira. 2014. The water disappearance and manure production at commercial growing-finishing pig farms. *Livestock Science*, 169: 146–154.

Tholon, p. and S. A. de Queiroz. Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves aplicados ao melhoramento genético animal. *Ciência Rural*, 39: 2261-2269.

Van Milgen, J., A. Valancogne, S. Dubois, J.-Y. Dourmad, B. Sève and J. Noblet. 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 143: 387-405.

Von Bertalanffy, L. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. *The Quarterly Review of Biology*, 32: 217-230.

Whittemore, C., B. J. Tullis and G. Emmans. 1998. Protein growth in pigs. *Animal Production*, 46: 437–445.

Sostenibilidad "De la granja a la mesa": desarrollo de un sistema IOT para el intercambio de datos en agricultura intensiva

Manuel Berenguel Soria[1], Cynthia Lynn Giagnocavo[2], Francisco Rodríguez[1], Jorge Antonio Sánchez-Molina[1], Jan Van der Blom[3]

[1] Automatic Control, Robotics and mechatronics research group, University of Almería, CeiA3, Ciesol

[2] New approaches in finances and business information systems research group, University of Almeria, Ctedra Coexphal-UAL.

[3] Department of Production Techniques, COEXPHAL

Resumen

La tecnología y el intercambio de datos pueden ser herramientas esenciales en la búsqueda de soluciones a través de la introducción de tecnología en cada una de las fases de la cadena de valor, creando relaciones entre las diferentes etapas basadas en la transparencia y la información de productos y procesos. Además, a través de la mediación y el uso de datos disponibles públicamente, puede aprovechar el valor de dichos datos con alto valor para la sociedad. En este trabajo, esbozaremos un sistema de intercambio de datos basado en la tecnología "Internet de Cosas (IoT)" para cultivos de invernaderos. Se describirá un sistema de trazabilidad y sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS) basado en web-IOT aplicable a la producción de tomate de invernadero. Este sistema se enfoca en el uso eficiente del agua, los fertilizantes y la energía, en la planificación de producción, la seguridad, transparencia y estándares de calidad. La plataforma IoT integra fuentes de datos heterogéneas en diferentes escalas de tiempo procedentes de: sensores, modelos, información sobre enfermedades, clientes, previsiones, decisiones de los productores y de las autoridades públicas agrícolas y medioambientales, etc. El intercambio de datos incluye agricultores, ingenieros técnicos, planificadores de producción, la industria de manipulación, el transporte, los supermercados y clientes que permiten conocer la calidad, el origen, la sostenibilidad y la trazabilidad. Los beneficios y mejoras a los diferentes actores y actividades a lo largo de la cadena de suministro son mostrados en términos de: uso mejorado de los recursos, mejor acceso a los datos y el intercambio, sincronización, reducción de almacenamiento y coste. Además, el sistema IoT contribuirá a: a) la normalización e interoperabilidad de la información; b) el valor añadido tecnológico y científico a través de técnicas innovadoras; c) eficiencia en la cadena de suministro, la gestión de la calidad y la seguridad; d) el valor añadido económico a través de productos y procesos mejorados; e) el valor añadido social y medioambiental, a través de la mejora de la calidad del aire, del suelo y del agua y de la sostenibilidad socioeconómico-ambiental global.

Palabras clave: Jerárquico, control, DSS, compartir datos, integración

Sustainable Paths 'From Farm to fork': IoT development for data sharing in greenhouse-based agriculture

Abstract

Technology and data sharing can be essential tools in seeking solutions through the introduction of technology in each of the phases of the value chain, creating relationships among the different steps based on transparency and product and process information. As well, through the mediation and use of publically available data it can leverage such data´s value and improve societal use. We will outline an Internet of Things (IoT) based data sharing system for greenhouses crops. An IoT web-based traceability and Decision Support System (DSS) applicable to the greenhouse tomato production will be described. We focus on water, fertilizer, and energy use efficiency, planification of production, safety, transparency and quality standards. The IoT platform integrates heterogeneous data sources in different time scales coming from: sensors; models; information about diseases; customer feedback; forecasts; grower decisions; agricultural and environmental public authorities; sector market observatories, etc. Data sharing will include farmers, technical engineers, production planners, the handling and transport industry, supermarkets and customers allowing awareness of

quality, origin, sustainability and traceability issues. Benefits and improvements to the different actors and activities along the supply chain will be delivered in terms of: improved resource use, better data access and sharing, synchronization, reduced storage and cost. Moreover, the IoT system will contribute to: a) standardization and interoperability of information b) technological and scientific added value through innovative techniques, c) supply chain, quality and safety management, d) economic added value through improved products and processes, and d) social and environmental added value, through the improvement of air, soil and water quality and overall social-economic-environmental sustainability.

Keywords: Hierarchical, control, DSS, Data sharing, integration

1. Introducción

Una de las principales fuentes económicas de la provincia de Almería es el cultivo de productos hortícolas bajo invernadero, con más de 30000 hectáreas de superficie. Atendiendo a factores meramente económicos, la necesidad de ser competitivos a nivel europeo y mundial, obliga a la introducción de nuevas tecnologías en el campo de la mecanización agraria. Haciendo un poco de historia, España pudo competir en el mercado europeo por sus menores costos o por la oferta de productos fuera de estación, siendo en esta época la competencia con países en vías de desarrollo poco importante. Hoy en cambio tiene que competir con sectores muy tecnificados de países desarrollados, que ofertan buena calidad y servicio a costo medio, y con nuevos sectores en países menos desarrollados con costes de producción muy bajos. Únicamente, la mejora de la productividad y la calidad pueden permitir el mantenimiento de la rentabilidad, siendo la tecnología parte esencial de este proceso. El invernadero es un recinto cerrado en el que se busca producir la máxima cantidad de un producto, con la mayor calidad, al coste mínimo posible y, reduciendo al máximo el impacto medioambiental (Rodríguez et al., 2015). Las variables climáticas, de nutrición, bióticas y de manejo cultural influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo y, la gestión adecuada de éstas permite maximizar la diferencia entre los ingresos por venta de la producción y los costes asociados, evaluando a la vez los posibles riesgos a lo largo del ciclo de cultivo, gestionando adecuadamente los recursos y fuentes de energía con el fin de alcanzar la máxima sostenibilidad posible (Rodríguez et al., 2015). Por tanto, definir las consignas de manejo del invernadero constituye un típico problema de control óptimo (Bakker, 1995). En la actualidad existe un gran interés en la introducción de tecnología no sólo en las fases del proceso productivo, sino también en la cadena de comercialización agrícola (desde la germinación de las semillas hasta la venta al consumidor). Evidentemente, la fase de producción es fundamental ya que en ella se definen las características del producto, por lo que es necesario realizar los mayores esfuerzos a fin de mejorar tanto la cantidad como la calidad. Debido a que el crecimiento de un cultivo se encuentra fundamentalmente determinado por las variables climáticas del entorno en el que se encuentra, por el adecuado suministro de agua y nutrientes y por el control oportuno de plagas y enfermedades, controlando estas variables se podrá controlar en gran medida su crecimiento. Por esta razón, un invernadero es ideal para cultivar, pues se pueden manejar estas variables para alcanzar un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas (Rodríguez et al., 2015). La introducción de computadores en este ámbito ha significado la posibilidad de controlar las variables y de adaptar los parámetros de control de forma automatizada (Bakker, 1995). No obstante, en la mayoría de los casos el computador se emplea como un operador que trata con los actuadores, mientras que las estrategias de control son fundamentalmente empíricas y reflejan los métodos clásicos utilizados por los agricultores para manejar los actuadores (Hashimoto, 1993).

En este trabajo se pretende plantear una estrategia para el control del crecimiento de cultivos bajo invernadero optimizando criterios de sostenibilidad, económicos, de eficiencia energética y de calidad gracias a la aplicación de técnica de Big Data e Internet de las Cosas (IoT) aplicado al control de clima y riego en invernaderos. En concreto, se basa en el desarrollo de un sistema de control jerárquico que integre criterios económicos (de forma que se maximice la diferencia entre el beneficio bruto obtenido por la venta del cultivo y los costes de producción), de ahorro de energía, de mejora de la eficiencia en el uso del agua y de aumento de la calidad de los productos hortícolas.

De esta forma, el productor o el técnico responsable podrá reconfigurar el funcionamiento de la explotación en base a lo que se desea obtener en cada escenario que imponga el variable mercado agrícola, para ello se requieren datos de manejo, de precios de mercado... todo integrado en la misma plataforma para la ayuda a la toma de decisiones. La consecución del objetivo principal de este proyecto requiere abordar tres problemas fundamentales: 1) el desarrollo de un marco de referencia de control dentro de una estructura de control óptimo jerárquico, abordando el problema en su conjunto, analizando las interacciones entre estimación y los niveles de control jerárquico para obtener referencias; 2) el desarrollo de estrategias de control de nuevas variables climáticas como la concentración de CO_2, combinado con la regulación de la temperatura usando fuentes renovables de energía, como un grado de libertad más para el control del crecimiento del cultivo; y 3) el desarrollo de estrategias de control de riego y nutrientes de forma que se realice un uso eficiente del agua y se disminuyan la deposición de sales contaminantes y 4) desarrollo de una plataforma de datos para el intercambio de información.

2. Materiales y Métodos

2.1. Descripción del sistema

Los ensayos de campo necesarios para la consecución de los objetivos planteados en el presente proyecto, se realizarán en los invernaderos pertenecientes a la Estación Experimental "Las Palmerillas" de la Fundación Cajamar localizada en el término municipal de El Ejido (36º48'N, 2º43'O, a 63 m sobre el nivel del mar). La estructura del invernadero cuyas condiciones climáticas se desean controlar es simétrica con orientación de cumbrera Este-Oeste con una superficie de 877 m^2 y una altura variable entre 2.8 y 4.4 metros. El cultivo que se va a utilizar en los ensayos es el de tomate (Licopersicum esculentum). Durante los experimentos, en el interior se tomarán medidas de temperatura ambiente (mediante 2 sensores), humedad relativa (1 sensor), temperatura de suelo a 40 y 5 cm de profundidad (1 sensor en cada capa de suelo), temperatura de la malla que cubre el suelo (2), temperatura de la cubierta del invernadero en su cara interior (4), temperatura de hoja de las plantas (4), radiación PAR (1), radiación global (1) y concentración de dióxido de carbono (2). Los sensores de temperatura, humedad relativa del ambiente y dióxido de carbono, se encuentran a 2.5m del suelo, mientras que los de radiación PAR y radiación global se instalaron a 3.5m del suelo. Además, durante los experimentos se medirán en el exterior la temperatura ambiente, la humedad relativa, la radiación global, la radiación fotosintética activa (PAR), la presencia de lluvia, así como la velocidad y dirección del viento. El sistema de adquisición de datos utilizado está compuesto por una red Ethernet con módulos Compact Field Point de la empresa National Instruments. La frecuencia de toma de datos es de 30 segundos en todas las variables. Como actuadores dispone de un sistema de ventilación natural que consta de ventanas laterales y cenitales. Las ventanas laterales y cenitales se accionan mediante un sistema de eje activado por un motor de corriente alterna, El sistema de calefacción está constituido por un calefactor por aire caliente alimentado con gasoil, un ventilador de distribución de aire y un depósito de combustible. El calefactor tiene una capacidad de aporte de 95000 kcal y el ventilador es de 70 cm de diámetro con potencia de 0.39 kW. Por otra, se ha instalado una caldera por una de biomasa, se pueda producir con bajo coste y sin contaminantes un enriquecedor de CO_2, por lo que se plantea en esta propuesta de proyecto el control de la concentración de CO_2 en el interior del invernadero en periodos diurnos. Además, se ha instalado un sistema de humidificación para disponer de más grados de libertad para la refrigeración en periodos cálidos de primavera y verano y un sistema de deshumificación por condensación que permite eliminar hasta 980 litros al día.

Con respecto a la instalación de riego, con la finalidad de evaluar el balance hídrico en el sistema de cultivo sin suelo, se pueden realizar mediciones de transpiración mediante una balanza-lisímetro. Este sistema está formado por una estructura metálica que soporta un bloque de lana de roca, sobre el cual se desarrollan las plantas de las que se mide la transpiración; la estructura se monta sobre la

plataforma de la balanza, de manera que cualquier cambio en peso de las plantas o del contenido de agua del bloque de lana de roca es registrado por el software de la balanza. En el sistema de nutrición y riego de las plantas también se realizarán mediciones de potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E.), tanto en la disolución nutritiva de aporte como en los drenajes y de volumen de la solución nutritiva aportada y volumen de drenaje. El volumen de aporte y de drenaje se medido en dos escalas de tiempo: medidas automatizadas cada minuto y mediante recogida de aporte y drenaje diario; en estas muestras se realizarán además mediciones de pH y C.E., utilizadas para el manejo de consignas del sistema de fertirriego.

2.2. Sistema de control a partir de la tecnología IoT

El objetivo es el desarrollo de una trazabilidad y soporte a la toma de decisiones basada en tecnología IoT para la producción de tomate de invernadero que involucra gran cantidad de datos, modelos y algoritmos enfocados en aspectos importantes como la eficiencia en el uso del agua y la energía para el cultivo de tomates en invernaderos. Para ello, en los sistemas agropecuarios se presta ahora mucha atención a la introducción de tecnología en cada una de las fases del crecimiento de los cultivos, conectando sistemas para permitir una visión integrada y multidimensional de las actividades agrícolas, el intercambio de datos y una comprensión más profunda de cómo todo el ecosistema. En esta estructura de algoritmos de control (Figura 1), la primera capa tiene en cuenta los objetivos a largo plazo y los datos obtenidos (precios de mercado, fechas de recolección y calidad) y predicciones a largo plazo utilizando modelos de crecimiento (estimación de la producción) y consumo de energía.

La optimización se realiza para calcular las trayectorias de punto de referencia de las variables a lo largo del horizonte de control considerado. El supervisor de IoT recibe los datos necesarios para la toma de decisiones de las unidades locales y otros agentes como la previsión meteorológica (Agencia Nacional de Meteorología), las fluctuaciones de los precios de mercado, los precios de la energía, etc. La capa siguiente, la intermedia, sirve para optimizar el crecimiento de los cultivos modificando las decisiones de control de cada invernadero para mejorar diferentes objetivos: eficiencia de agua / energía / fertilizante / mercado. Utilizando técnicas de optimización, las trayectorias óptimas de cada unidad de invernadero son determinadas por el supervisor de IoT para establecer los puntos de ajuste durante el ciclo del cultivo, disminuyendo los costos de producción y aumentando la eficiencia del sistema. Por último, la capa de efecto invernadero incluye los controladores que intentan cancelar los errores de seguimiento del punto de ajuste. Este sistema jerárquico basado en IoT, que combina información pública y datos de agricultores, se utiliza como una solución de optimización multiobjetivo para satisfacer los muchos objetivos contradictorios inherentes al diseño del sistema de control y el intercambio de datos / interoperabilidad disponible para los diferentes usuarios: los agricultores, ingenieros técnicos, planificadores de la producción y administraciones públicas.

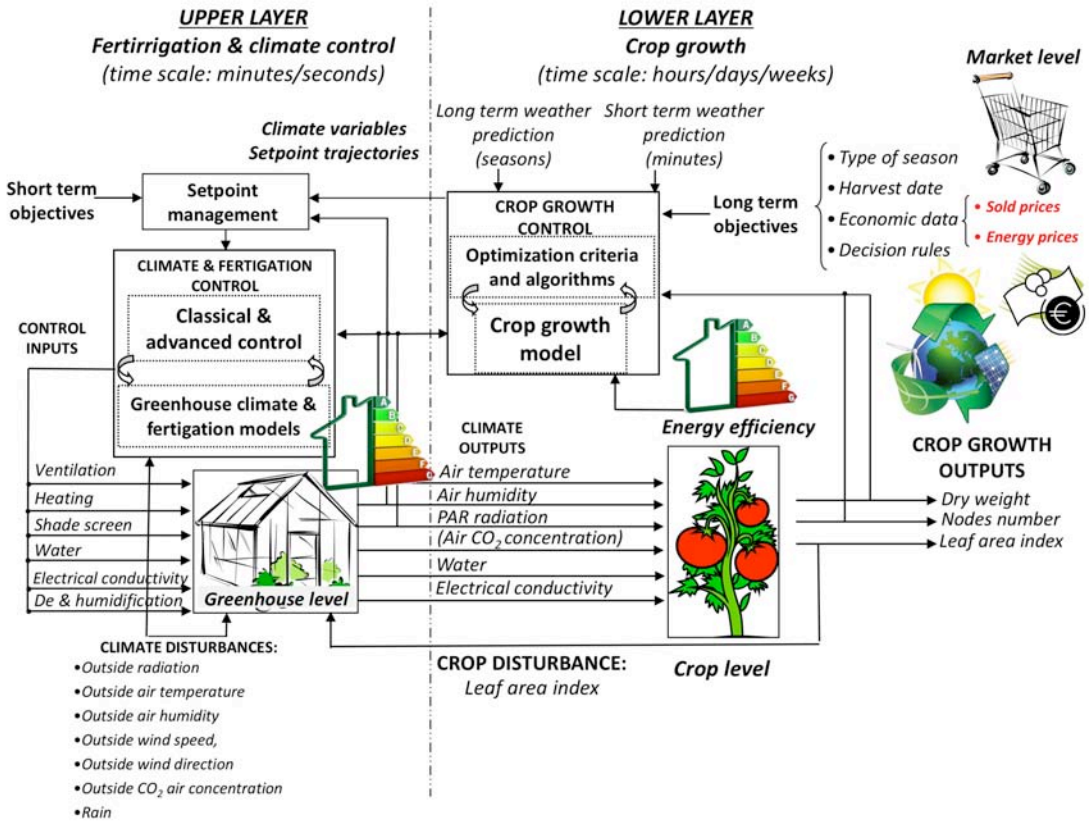


Figura 1. Estructura jerárquica del sistema

3. Resultados y Discusión

El análisis del sistema de debe realizar con diferentes desafíos de IoT (Figura 2), algunos de los cuales se tratan en este trabajo: (i) integración de plataformas ERP y logísticas con sistemas automatizados de clasificación de alimentos para el control rastreable de los invernaderos, (ii) desarrollo de modelos de producción para optimizar el manejo de productos hortícolas, (iii) planificación de la producción de productos optimizando los beneficios, la eficiencia del uso del agua y la energía y las demandas de calidad, incluidos los sistemas basados en la Web apoyados por los enfoques IOT, (iv) combinar el uso de IoT para establecer un esquema de certificación.

Este enfoque se utilizará para mejorar la eficacia de los sistemas de certificación en el análisis y verificación de la cadena de productos. El enfoque tiene en cuenta las predicciones de la FAO sobre las barreras presentes: 1) la ralentización del crecimiento de la productividad, 2) la limitada disponibilidad de tierras de cultivo, 3) el cambio climático, 3) la creciente necesidad de agua dulce, (4) el precio y la disponibilidad de energía. Para ello se desarrollarán diferentes líneas de trabajo:

3.1. Análisis del entorno de las fuentes de datos existentes y las posibilidades de intercambio de datos.

Las fuentes de datos son heterogéneas (desde sistemas de cultivo, planificación de producción, manejo, logística,…) en diferentes escalas de tiempo procedentes de: sensores; modelos; información sobre plagas / malas hierbas / enfermedades; previsiones; decisiones de los productores; las autoridades públicas agrícolas y medioambientales; observatorios del mercado, etc. El intercambio de datos incluye agricultores, ingenieros técnicos y planificadores de producción. Los beneficios y mejoras para los diferentes actores serán grandes en términos de: uso mejorado de los recursos, mejor acceso y uso compartido de datos, sincronización, reducción del coste de

almacenamiento, el valor añadido tecnológico y científico a través de técnicas innovadoras, el valor añadido económico a través de productos y procesos mejorados; y el valor añadido social y ambiental, mediante la mejora de la calidad del aire, del suelo y del agua y la sostenibilidad socioeconómico-ambiental global.

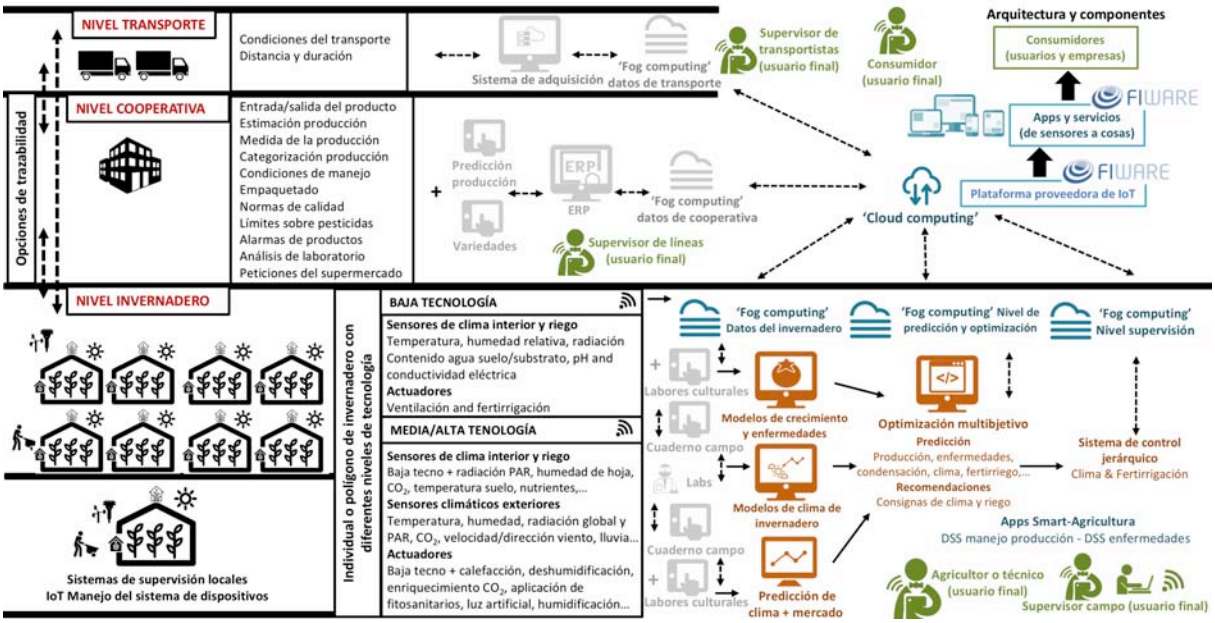


Figura 2. Diagrama del sistema IoT planteado

3.2. Desarrollo de un sistema IoT basado en web para el cultivo de tomate de invernadero

La tecnología y el intercambio de datos pueden ser herramientas esenciales en la búsqueda de soluciones a través de la introducción de tecnología en cada una de las fases de la cadena de suministro, creando relaciones entre las diferentes etapas basadas en la transparencia y la información de productos y procesos. Además, a través del uso de datos disponibles públicamente, se puede aprovechar el valor de dichos datos. Se diseñó un sistema de intercambio de datos basado en Internet de Cosas (IoT) para cultivos de invernaderos, utilizando tanto la información de los agricultores como la información públicamente disponible. Se describió un sistema de trazabilidad y sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS) basado en web IoT aplicable a la cadena de producción y suministro de tomate de invernadero, el cual se centra en la eficiencia en el uso de agua, fertilizantes y de la energía, planificación de producción, seguridad, transparencia y estándares de calidad. La plataforma IoT (desarrollada en FIWARE) se integra para obtener información sobre el manejo, parámetros de calidad de los vegetales, seguridad y aplicación de las normas de calidad. La tecnología Big Data se utilizará para guardar todos los datos generados en este proceso. La información de la producción y manejo en el invernadero está a disposición de los consumidores para hacerlos conscientes de la calidad, el origen, la sostenibilidad y la trazabilidad.

4. Conclusiones

Se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre la mejora de la eficiencia del sistema invernadero con objetivos diferentes: reducción de plaguicidas y fertilizantes, mejora sistemas de trazabilidad y estándares de calidad, los sistemas de control, aumentar las buenas prácticas agrícolas, mejoras medioambientales, de eficiencia energética y de logística. Sin embargo, existe una gran necesidad de combinar todos estos componentes en un sistema coherente ante los nuevos retos, como el cambio climático, la necesidad de reducir los fertilizantes y los plaguicidas, aumentar la eficiencia del agua y proporcionar alimentos seguros y sanos de calidad a los consumidores. Estos

sistemas van desde un enfoque cerrado del medio ambiente a través del uso intensivo de sistemas de iluminación artificial hasta la agricultura al aire libre, e incluyen la agricultura orgánica a la convencional. La plataforma IoT ofrece la oportunidad ideal para establecer una red con el fin de promover la integración entre los diferentes sistemas. Además, la coordinación de las actividades en curso mejora su eficacia y su aplicación inmediata, ayudando a desarrollar nuevos conocimientos, técnicas, alertas para la prevención de enfermedades, etc., siempre teniendo en cuenta a los responsables políticos, autoridades agrícolas y ambientales, consumidores y otras partes interesadas, Para planificar sus estrategias futuras hacia la gestión sostenible de la calidad del aire y del agua en la agricultura se propone una plataforma IOT (basada en tecnología FIWARE) que reúne a investigadores y expertos para explotar sus estudios ya realizados, logrando su diseminación espacial y ayudando a los tomadores de decisiones. La implementación del IOT elimina las barreras que impiden la difusión fluida y la aplicación de conocimientos y tecnologías y conocimientos disponibles en el campo. Todo el sistema desarrollado ayuda a ampliar experiencia en las áreas de buenas prácticas agrícolas, calidad y estándares ambientales; sistemas de trazabilidad, logística, redes de sensores y detección temprana de enfermedades que se consideran en todo el mundo como temas de gran importancia para ayudar a tomar decisiones en varias etapas del cultivo.

Agradecimientos

El desarrollo se enmarca en el Proyecto R+D+i del Plan Nacional DPI2014-56364-C2-1-R del Ministerio de Economía y Competitividad y Fondos FEDER y en el marco de proyecto IoF2020-Internet of Food and Farms 2020 dentro del Programa Horizonte 2020 de la Unión Europea, Grant Agreement no. 731884”

Bibliografía

Bakker, J.C. 1995. *Greenhouse climate control: an integrated approach*. Wageningen Academic Pub.

Hashimoto, Y. 1993. Computer integrated system for the cultivation process in agriculture and horticulture. Approach to Intelligent Plant Factory. The computerized greenhouse. Eds. Hashimoto Y., Bot G., Tantau H.J., Day W., Nonami H. Academic Press, pp 175–196

Rodríguez, F., Berenguel, M., Guzmán, J.L., and Ramírez-Arias, A. 2015. *Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth*. Springer International Publishing Switzerland

Modelado del contenido de agua en el aire interior de un invernadero con sistemas de actuación de humidificación y deshumidficación

Jorge A. Sánchez-Molina[1], Francisco Rodríguez[1], José Luis Guzmán[1], José María Cámara Zapata[2], Gladys Sánchez-Garrido[3]

[1] Grupo de Automática, Robótica y Mecatrónica, Área de Ingeniería de Sistemas y Automática, Departamento de Informática, Universidad de Almería, CeiA3, CIESOL.

[2] Departamento de Física, Universidad Miguel Hernández, Elche (Alicante)

[2] Departamento de Facilidades, Enza Zaden, El Ejido, Almería

Resumen

En términos de crecimiento del cultivo, la influencia de la humedad relativa es muy importante, debe ser estudiada e introducida en los sistemas de control para mantener el contenido de agua del aire dentro de un cierto rango y para evitar condiciones extremas. El objetivo de este trabajo es modelar la humedad relativa para el cultivo de tomate en invernadero, para ello se ha utilizado un modelo dinámico basado en primeros principios que pueda ser utilizado en futuros trabajos como parte elemental de una arquitectura de control jerárquico de clima en invernadero. Además, para el estudio y obtención de los modelos se presentan numerosos resultados reales sobre calibración y validación para diferentes campañas de cultivo. Los buenos resultados en la calibración y validación del modelo, con un error medio absoluto del 5% de humedad relativa, muestran como la elección de este modelo fue acertada, pero también presenta algunos problemas, como la sobrestimación que se produce en periodos nocturnos, la falta de homogeneidad en los valores de los parámetros, ya que requiere unos distintos para cada tipo de invernadero y/o zona climática, además de requerir como entrada el crecimiento del cultivo lo que implica la calibración y validación de otro tipo de modelos.

Palabras clave: Humedad absoluta, humedad relativa, control, clima

Modeling of the water content in the indoor air of a greenhouse with humidification and dehumidification actuation systems

Abstract

In terms of crop growth, the influence of relative humidity is very important, it must be studied and introduced in the control systems to maintain the water content of the air within a certain range and to avoid extreme conditions. The objective of this work is to model the relative humidity for tomato growing in greenhouses, using a dynamic model based on first principles that can be used in future works as an elementary part of a hierarchical climate control architecture in greenhouse. In addition, for the study and obtaining of the models many actual results on calibration and validation are presented for different cultivation campaigns. The good results in the calibration and validation of the model, with an average absolute error of 5% of relative humidity, show how the choice of this model was correct, but also presents some problems, such as the overestimation that occurs in diurnal periods, the Lack of homogeneity in the values of the parameters, since it requires different ones for each type of greenhouse and / or climatic zone, besides requiring, as input, the crop growth which implies the calibration and validation of growth models.

Keywords: Absolute humidity, relative humidity, control, climate

1. Introducción

Los sistemas de cultivo intensivos de Almería, también conocido como sistemas de cultivos en invernadero, o bajo-plástico, son probablemente la especialización de más reciente desarrollo en la agricultura. Estos invernaderos han mejorado mucho como resultado de los avances tecnológicos y el aumento de la demanda de productos exóticos y fuera de la temporada (Ramírez-Arias et al., 2012).

Este agrosistema es un complejo de propiedades físicas, químicas y procesos biológicos, que tienen lugar al mismo tiempo, en respuesta a factores ambientales con diferentes tiempos de respuesta y patrones, y que se caracteriza por interacciones múltiples, que tienen que ser controlados para obtener los mejores resultados para el agricultor (Rodríguez et al., 2015). Estos sistemas agrícolas modernos también se caracterizan por el uso intensivo y óptimo de la tierra y el agua, convirtiendo la explotación agrícola en un concepto semi-industrial (Hashimoto, 1993). Por otra parte, este uso óptimo de los recursos ha permitido el cultivo en zonas geográficas hostiles; es decir, en tiempo frío con baja radiación solar anual media o, por el contrario, las regiones áridas, soleadas, donde los cultivos pueden crecer independientemente de la temperatura ambiente, y regiones con un clima menos restrictiva con el objetivo de aumentar la productividad de los cultivos y mejorar la calidad de la fruta (Sánchez-Molina et al., 2012). Además, el clima semi-árido de Almería, que es común a varios lugares alrededor del mundo, se caracteriza por una baja precipitación anual y, en consecuencia, alta radiación solar disponibilidad (García et al., 2016). La falta de lluvias se traduce en que el agua es un recurso limitado, de tal manera que las necesidades de agua de los cultivos son aportadas mediante los recursos subterráneos locales y el uso de sistemas de riego optimizadas. Por otra parte, la disponibilidad de radiación solar para la fotosíntesis, junto con veranos cálidos y temperaturas suaves en invierno, permiten invernaderos en estas regiones tengan un buen desempeño (Rodríguez et al., 2015). Por otra parte, gracias a las suaves temperaturas y el "efecto de confinamiento" o "efecto invernadero", como resultado de la disminución en el intercambio de aire con el ambiente exterior junto con la baja transparencia a la radiación infrarroja lejana (emitidos por el cultivo, el suelo y el invernadero interior elementos) y alta transparencia a la luz del sol (Montero et al., 2014), es decir, bajas cargas térmicas en comparación con otras regiones de clima son necesarios durante el invierno para llegar a la temperatura óptima dentro del invernadero. Sin embargo, este "efecto de confinamiento" es el resultado de una interacción dinámica entre las estructuras de invernadero y los diferentes valores diarios de temperatura exterior, la radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento (Bot, 1983). Por lo tanto, el comportamiento dinámico del microclima es una combinación de procesos físicos, que implican la transferencia de energía y el balance de masa. Estos procesos dependen de las condiciones ambientales externas, el sistema de cultivo, el tipo y el estado del cultivo, y también sobre el efecto de la mano de obra. En consecuencia, el conocimiento de los balances de energía y de masas permite una para optimizar estas variables físicas a través del proceso de fotosíntesis con el fin de mejorar la producción de biomasa. Esta optimización puede llevarse a cabo haciendo uso de los enfoques actuales de seguimiento y control de cultivos (típicamente ventilación y calefacción, de modificar las condiciones de temperatura y humedad en el interior; sombreado y la iluminación artificial para cambiar la radiación interna; enriquecimiento de CO_2 para influir en la fotosíntesis, nebulización / deshumificación para el control de la humedad, y goteros para fertirrigación). Entender el comportamiento dinámico dentro del invernadero (Figura 1) y los diversos enfoques posibles sirve como una herramienta potente en la comprensión de los procesos de calor y mecanismos de transporte y su relación con los diferentes elementos constitutivos (cubierta, cultivos, aire y suelo/sustrato), las condiciones climáticas (dentro y fuera) y el agua suministrada (Rodríguez et al., 2015), todo lo cual afecta directamente la capacidad de producción de cultivos, que influyen en la absorción de agua, la transpiración del cultivo, cambio de la fotosíntesis y el gas, etc. Además del comportamiento dinámico y los diferentes enfoques, cada cultivo tiene su propia demanda sobre el medio ambiente, el cambio con su estado de crecimiento, que a su vez influye en los balances de masa y energía (Rodríguez et al., 2015). Al mismo tiempo, esta variabilidad en la demanda del cultivo es lo que hace un invernadero ideal para la agricultura. Es un recinto que puede mantener rangos deseados climáticas (temperatura, humedad, radiación, y CO_2) y las variables de fertirrigación características de cada cultivo (Conductividad eléctrica, pH, contenido de agua,..). Estas condiciones se consiguen gracias a la acción sobre los sistemas de actuadores principalmente por la ventilación y la calefacción, mallas de sombreo, fertirriego, humificación y deshumificación, luz artificial y enriquecimiento con CO_2. En esta línea, y en términos de crecimiento del cultivo, variables climáticas tales como la humedad relativa, también tienen que ser introducidos en los sistemas de control para mantener el contenido de agua del aire de efecto invernadero dentro de un cierto rango y para evitar condiciones extremas.

El exceso de humedad relativa aumenta la aparición y desarrollo de enfermedades criptogámicas (Elad et al., 1995), sino que también reduce la transpiración (Sánchez et al., 2012), lo que reduce la absorción de agua y nutrientes, posiblemente generando un déficit en elementos como el calcio (Sánchez et al., 2012). Por otro lado, con una humedad relativa baja, aumenta la tasa de transpiración, lo que aumenta la demanda de agua, lo que puede conducir a estrés hídrico, el cierre de los estomas, y limita la fotosíntesis. Los mejores resultados en el control de la humedad relativa se han obtenido mediante el aumento de la ventilación natural o forzada (cuando las condiciones al aire libre son más favorables), con sistemas de calefacción (aumento de la temperatura reduce el riesgo de condensación), y el uso de sistemas de deshumidificación y de humidificación (reduciendo y aumentando la contenido de aire y agua, respectivamente). Estas acciones disminuyen el riesgo de condensación presentes en el techo o en las plantas (Elad et al., 1995). En este sentido, para comprender todas las cuestiones que forman parte del complejo comportamiento del invernadero, los modelos matemáticos se han convertido en una estrategia potente en la comprensión de los procesos y en el diseño de algoritmos de control adecuadas para las diferentes variables del sistema que son el objeto de estudio. Estos modelos nos permiten simular el comportamiento dinámico para el clima y riego, esencial para el manejo de la relación entre las condiciones climáticas (interior y exterior), el agua suministrada, y el cultivo. Las variables climáticas y de riego son las variables de estado que describen el ambiente del invernadero y afectan directamente a la capacidad de producción de cultivos, que influyen, por ejemplo, la transpiración del cultivo (Baille et al., 1994), la fotosíntesis (Rodríguez et al., 2015), o el aire intercambio con el exterior (Kittas et al., 1997). Del mismo modo, los modelos pueden ayudarnos a comprender los diversos mecanismos de transporte de calor (conducción, convección y radiación) que describen los diferentes procesos que tienen lugar dentro del invernadero que afectan a las variables climáticas (Bakker, 1995) y que se aplican a todos sus elementos constitutivos: cubierta, de cultivos, aire y suelo / sustrato (Rodríguez et al., 2015). Además de estas diversas interacciones elemento constitutivo y su influencia sobre el contenido del clima y el agua, cada cultivo coloca su propia demanda sobre el medio ambiente, que varía con su estado de crecimiento - y este estado de crecimiento influye en los balances de masa y energía, lo que aumenta la complejidad del sistema. Por otra parte, estos invernaderos están expuestos a un gran dinamismo, donde la toma de decisiones está basada en varios factores agrícolas, tecnológicos, ambientales, legales y económicos vinculados entre sí. Por lo tanto, mediante el conocimiento y la comprensión de estos procesos, es posible mejorar la producción agrícola y la calidad del fruto, lo que lleva a un desarrollo sostenible.

2. Materiales y Métodos

2.1. Modelado físico de la humedad relativa

El modelo de concentración de vapor de agua en el aire del invernadero se basa en una ecuación de balance de masas. Como se indica la Figura 1, las principales fuentes de vapor de agua (ya que no se dispone de ningún sistema de humidificación artificial y el sistema de deshumificación no se ha incluido en este trabajo) son la transpiración del cultivo, $M_{tra,cu}$, la evaporación en la superficie de suelo, $M_{lt.ss}$ (no considerada ya que el cultivo hidropónico en sacos de fibra de coco) y la evaporación en las balsas del sistema de riego recirculante, Mlt,balsa (tampoco considerada para este trabajo). Por otra parte, el aire pierde vapor de agua por condensación en la superficie interior de la cubierta, $M_{lt,cb\text{-}a}$ y por el intercambio de aire con el exterior debido a la ventilación, $M_{ven,a\text{-}e}$, e infiltración por pérdidas, $M_{perd,a\text{-}e}$. Por tanto, la ecuación de balance de masas utilizada para modelar la humedad absoluta del aire, $X_{ha,a}$, medida en kg_{agua}/kg_{aire}, viene dada por la siguiente ecuación:

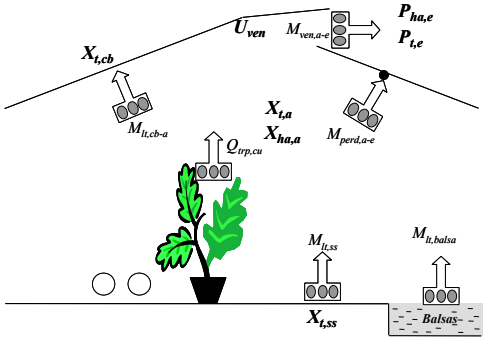


Figura 1. Flujos de vapor de agua en el aire del invernadero

$$\frac{C_{vol,g}}{C_{area,s}} C_{den,a} \frac{dH_{a,a}}{dt} = M_{trp,cu} + M_{hum,a} - M_{lt,cb-a} - M_{ven,a-e} - M_{per,a-e} \quad (1)$$

donde $M_{trp,cr}$ es el flujo de transpiración del cultivo, $M_{cd,cv}$ es el flujo de condensación en la cubierta and $M_{ven,a-e}$ es el efecto de la ventilación natural.

$$M_{\mathrm{ven,a-e}} = \frac{c_{\mathrm{den,a}}}{c_{\mathrm{area,ss}}} V_{\mathrm{ven,flux}} \left(X_{\mathrm{H_{a,a}}} - D_{\mathrm{H_a,e}} \right) + M_{\mathrm{loss,a-e}} \quad (2)$$

donde $V_{ven,flux}$ es el flujo volumétrico de aire entre el exterior y el interior, $X_{Ha,a}$ es la humedad absoluta interior y and $D_{Ha,e}$ es la humedad absoluta exterior.

$$V_{\mathrm{ven,flux}} = c_{\mathrm{ven,d}} \left[\left(\frac{V_{\mathrm{ven,area-lat}} V_{\mathrm{ven,area-roof}}}{\sqrt{V^2_{\mathrm{ven,area-lat}} + V^2_{\mathrm{ven,area-roof}}}} \right)^2 \left(2 c_g c_{\mathrm{ven,h}} \frac{X_{\mathrm{T,a}} - D_{\mathrm{T,e}}}{D_{\mathrm{T,e}}} \right) + \left(\frac{V_{\mathrm{ven,area-lat}} V_{\mathrm{ven,area-roof}}}{2} \right)^2 c_{\mathrm{ven,wd}} D^2_{\mathrm{ws,e}} \right]^{0.5} + V_{\mathrm{loss}} \quad (3)$$

$$V_{\mathrm{ven,area-lat}} = c_{\mathrm{ven,l-lat}} c_{\mathrm{ven,w-lat}} (U_{\mathrm{ven}}/100)$$

$$V_{\mathrm{ven,area-roof}} = 2 c_{\mathrm{ven,l-roof}} c_{\mathrm{ven,w-lat}} \sin \left(\frac{U_{\mathrm{ven}}}{100} \frac{U_{\mathrm{ven,max}}}{2} \right) \quad (4)$$

donde $c_{ven,n}$ es el número de ventanas, $c_{ven,l}$ es la longitud de las ventanas, $c_{ven,d}$ es el coeficiente de descarga, c_{gv} la gravedad universal, $c_{ven,wd}$ el coeficiente de viento, and $V_{ven,hef}$ es la cuerda que une los dos extremos de la ventana basado en la posición de la ventilación [rad, ◦], $c_{ven,h}$ es la distancia vertical entre los puntos medios de las ventanas laterales y cenitales, $V_{ven,area-lat}$ y $V_{ven,area-roof}$ son las áreas de la ventilación del cenital y laterales, and $M_{loss,a-e}$ es la pérdida cuando la ventilación está cerrado, basado en la velocidad del viento:

$$M_{loss} = \begin{cases} C_{loss,ha,lw} & D_{ws,e} < C_{ws,lim} \\ C_{loss,ha,lw} & D_{ws,e} \geq C_{ws,lim} \end{cases} \quad (5)$$

donde, $M_{cd,cv}$ es el flujo de masa de condensación de la cubierta calculada sobre la base de un término convectivo:

$$M_{\mathrm{cd,cv}} = \begin{cases} 0 & X_{\mathrm{H_{a,a}}} < V_{\mathrm{hsat,cv}} \\ c_{\mathrm{den,a}} \frac{V_{\mathrm{cnv,cv-a}}}{c_{\mathrm{sph,a}}} \frac{c_{\mathrm{area,cv}}}{c_{\mathrm{area,ss}}} \left(V_{\mathrm{hsat,cv}} - X_{\mathrm{H_{a,a}}}\right) & X_{\mathrm{H_{a,a}}} \geq V_{\mathrm{hsat,cv}} \end{cases} \quad (6)$$

donde, $c_{sph,a}$ es el calor específico del aire, $c_{den,a}$ es la densidad del aire, $V_{hsat,cv}$ es la humedad de saturación and $V_{cnv,cv\text{-}a}$ la transferencia de calor por convección de aire desde el interior a la cubierta se calcula basándose en la diferencia entre la humedad del aire y la de la cubierta.

Además se le añadieron dos modificaciones debido a los sistemas de actuación, el agua aportada por el sistema de humificación:

$$WCS = Q_h n_d V_{lt,vap}/V_g \quad (7)$$

siendo WCS el agua aportada por el sistema de humificación, Q_h es el caudal del cada boquilla, n_d es el número de boquilla, $V_{lt,vap}$ es el calor latente de vaporización y V_g el volumen del invernadero. El segundo actuador es el sistema de deshumificación se puede expresar así:

$$SMER = ((h_{w,n} + h_{vf} - 2h_{w,d})/(h_{af} - h_{ai} + w_i(h_{vf} - h_{vi}))/AM \quad (8)$$

donde SMER la cantidad de humedad retirada por la deshumificación, $h_{w,n}$ es la entalpía del agua en el aire del invernadero, $h_{w,d}$ es la entalpia del agua condensada en el deshumificador, (h_{vf}-h_{vi}) es la entalpia del vapor de agua, (h_{af}-h_{ai}) es la entalpía del aire seco, w_i es la humedad específica del aire y AM es la masa de agua tratada en el deshumificador. El cultivo afecta la temperatura del aire del invernadero, una forma de modelar el efecto de la cosecha en la temperatura del aire se basa en el calor latente causado por la transpiración de la planta, se describe por la ecuación siguiente:

$$Q_{trp,cr} = V_{lt,vap} M_{trp,cr} \quad (9)$$

donde, $M_{trp,cr}$ es la transpiración del cultivo. La mayoría de los estimadores de transpiración se basan en la ecuación de Penman-Monteith. Esta ecuación esencialmente combina la ecuación de transferencia de calor entre el cultivo y la masa de aire circundante. Un modelo pseudofísico y simplificado de transpiración basado en sólo dos variables principales: la radiación solar (V_{GR}) llegando a una profundidad determinada en el follaje de la planta y el déficit de presión de vapor, fue utilizado:

$$M_{trp,cr} = C_A\, e^{-Ck\, X_{IAF}}\, V_{GR} + C_B\, X_{IAF}\, V_{VPD} \quad (10)$$

donde, $V_{lt,vap}$ es el calor latente de evaporación, c_k es el coeficiente de extinción de la luz para el cultivo (esto está relacionado con el ángulo de inclinación de la hoja y la disposición de la hoja con respecto a el índice de área de la hoja, y proporciona una indicación de la eficiencia de la planta a interceptar la radiación solar), X_{IAF} es el índice de área foliar, V_{VPD} es el deficit de presión de vapor, y V_{GR} es la radiación global que llega a la cosecha. Los coeficientes C_A y C_B son constantes que dependen de la cosecha. Para obtener resultados más fiables, el parámetro C_B es obtenido para periodos diurnos (C_{BD}) y periodos nocturnos (C_{BN}) a través de calibración.

Por último, el crecimiento de un cultivo se encuentra fundamentalmente determinado por el índice de área foliar (IAF). Esta variable es estimada a través del modelo simplificado Tomgro (Jones et al., 1995) que surge como una opción para eliminar la complejidad del modelo completo Tomgro propuesto (Jones et al., 1991) y posibilitar su uso en sistemas de control en línea conservando sus características fisiológicas (Jones et al., 1995). Tomgro estima otras variables, pero para este trabajo sólo vamos a tomar el IAF. El índice de área foliar es estimado por:

$$\frac{dX_{IAF}}{dt} = \rho\delta \frac{\exp[\beta(X_N - N_b)]}{1+\exp[\beta(X_N - N_b]} \frac{dX_N}{dt} \qquad \text{Si } X_{IAF} < C_{IAF,max}$$

$$\frac{d(X_{IAF})}{dt} = 0.0 \qquad \text{Si } X_{IAF} \geq C_{IAF,max} \tag{11}$$

donde ρ es la densidad de plantas, β es un coeficiente empírico, δ es la máxima expansión de área foliar por nodo, N_b puede ser un parámetro constante o bien una función lineal a tramos dependiente de la temperatura promedio diaria (T_d), y tiene los siguientes valores, donde el parámetro N_b ha sido utilizado en diferentes adaptaciones del modelo reducido como un parámetro constante. Cuando el conjunto de hojas en la planta alcanza su máximo, éstas serán podadas o bien entrarán en estado de senescencia, y es en ese momento cuando se define $C_{IAF,max}$. La ventaja de utilizar modelos de tipo modular, cada proceso está definido por un submodelo diferente y aditivo al modelo general, es que en cualquier momento se pueden añadir nuevos submodelos o subsistemas y sólo tienen que ser introducidos en el general con una posterior calibración y validación.

2.2. Sistema invernadero

Los ensayos necesarios para la consecución de este trabajo se realizaron en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar Las Palmerillas, en el término municipal de El Ejido, Almería. El invernadero (Fig. 2) donde se realizaron los experimentos es tipo parral raspa y amagado, orientado en la dirección norte-sur, con una altura máxima en cumbrera es de 4,4 m mientras que en el amagado es de 3,6 m. Se escogieron dos ciclos, 2014/2015 y 2015/16, para el desarrollo del trabajo. El cultivo seleccionado fue tomate (*Lycopersicum esculentum*) por ser el más representativo de la zona. El invernadero dispone de ventilación pasiva, formada por ventanas laterales y cenitales. Las ventanas laterales están situadas en las caras norte y sur de la estructura, y se accionan mediante un sistema de rodillo. Las ventanas cenitales, situadas en las cumbreras, se abaten hacia el lado oeste en un ángulo máximo de 45^{o}. Todas las ventanas están cubiertas con malla antitrips de 20x10 hilos cm^{-2}. En el invernadero se ha instalado un sistema sensorial para la medición de las variables climáticas más importantes: temperatura y humedad del aire (HMP45a, Vaisala, Finland), radiación global (MRG-1P, ITC, Almería, España) y concentración de CO_2 (CO_2 Monitor UA-06, PRIVA B.V., De Lier, Holanda). Además de una estación meteorológica exterior: temperatura y humedad ventilado (HMP45a, Vaisala, Finland), radiación PAR (PAR Lite), radiación global (MRG-1P, ITC, Almería, España), velocidad del viento (Model 12102, R), velocidad de viento (M. Young Company, Traverse City, Michigan, EEUU) y dirección del viento (D-034B-CA, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, Reino Unido), concentración de CO_2 (ZFPDZ, Siemens, Múnich, Alemania) y lluvia (WS10R, JUNG Electro Ibérica S.A. Barcelona, España). La frecuencia de muestreo de las variables fue de 30 segundos.

La evolución del índice de área foliar a lo largo de un ciclo de cultivo, utilizado para calibrar y validar el modelo de humedad, se determinó mediante las diferentes medidas tomadas en plantas, o partes de ellas, eliminadas en procesos de biomasa, destallado y deshojado. Para poder medir la transpiración se ha instalado un micro-lisímetro, desarrollado por el grupo de investigación de Automática, Robótica y Mecatrónica de la Universidad de Almería. Además, se instaló una máquina deshumidificadora por condensación es un equipo utilizado para dar solución a problemas originados por el exceso de humedad. Este tipo de sistemas son capaces de eliminar humedad suficiente para evitar condensación en la cubierta que pueda afectar al cultivo. El modelo de máquina de deshumidificación elegido es el FD980 por dos características, la primera de ellas es la capacidad de funcionamiento a temperaturas mínimas en torno a los 6 ºC y la capacidad de deshumidificación, 980 l día^{-1}.

Figura 2. En la imagen, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: Invernadero, goteros de riego, sensores de radiación PAR y global exterior, sistema de riego, sensores de radiación interiores y cultivo

3. Resultados y Discusión

El modelo de humedad está compuesto por submodelos, algunos de los cuales se puede calibrar y validar aparte del modelo general, como la transpiración, y otros se calibrarán junto al resto del modelo de forma conjunta a los ya obtenidos (la calibración de los diferentes submodelos no se muestra en este trabajo). Para validar dicho modelo, se utilizarán los datos de humedad relativa obtenidos en el invernadero real en el ciclo de validación. Los parámetros obtenidos en este proceso de calibración son mostrados en la Tabla 1, junto a su descripción y unidades. En las Figura 3 se observa la evolución de la humedad relativa a lo largo de 4 días elegidos como ejemplo. En estos días, la dinámica de la humedad estimada muestra una evolución similar a la que se obtiene en el sistema real. La dinámica flujo de humedad que se produce debido al efecto del cultivo y de la ventilación es recogida por el modelo físico y es reproducida en la estimación final.

El modelo propuesto incorpora la dinámica de la humedad dentro del invernadero obteniendo buenos resultados tanto en períodos diurnos como en períodos nocturnos. Los diferentes elementos que modifican esa dinámica fueron introducidos en una forma ad hoc, basándose en un conocimiento a priori del sistema, que exhibe un buen comportamiento en todos los modos de operación del sistema.

La Tabla 2 muestra el error producido en la validación de los diferentes conjuntos de datos de los que se utilizaron para la calibración. En ella se puede observar como la validación llevada a cabo presenta resultados satisfactorios en términos generales, ya que se muestra un comportamiento aceptable en los peiodos en que los que la humedad varía poco cada día o de la noche; e incluso presenta una buena dinámica cuando los cambios son mayores (por el efecto del viento o la ventilación).

Tabla 1. Parámetros del modelo físico de humedad

Variable	Descripción	Valor guía	Unidades
Careas	Superficie de invernadero	820	m^2
Cvolinv	Volumen del invernadero	2678	m^3
Canchovent_cen	Ancho ventilación cenital	1.2	m
Canchovent_lat	Ancho ventana lateral	2	m
Clonvent_cen	Longitud ventana cenital	22	m
Clonvent_lat	Longitud ventana lateral	30	m
Cnven_cen	Número de ventanas cenitales	5	Ud
Cnven_lat	Número de ventanas laterales	2	Ud
Chvent	Diferencia altura ventilación cenital y lateral	2.45	m
Cmalla	Coeficiente de malla	0.5	%
Ctranscb	Transmisividad de la cubierta	0.85	%
Fecha_blan	Fecha de blanqueo	150	día
Ctranblan	Transmisividad por blanqueo	0.45	%
Ccespaire	Calor específico	1005	J/ K kg
Cdenaire	Densidad del aire	1.197	kg m^3
Cgrav	Gravedad universal	9.8	m s^{-2}
Cpatm	Presión atmosférica	1013.2	Pa
Cpsico	Constante psicométrica	66.5	kPa ºC^{-1}
Den_aire	Densidad del aire	1.2218	Kg m^{-3}
CA**	Parámetro Transpiración		-
CBD**	Parámetro Transpiración		-
CBN**	Parámetro Transpiración		-
Ccdesc*	Coeficiente de descarga	0.404	-
Ccvi*	Coeficiente de viento	0.0272	-
Cevap1*	Coeficiente de evaporación	1.03E-10	-
Cevap2*	Coeficiente de evaporación 2	7.86E-09	-
CK**	Constante de extinción de la radiación		-
CTcrit	Temperatura crítica	26	ºC
CTemp_ref	Temperatura de referencia	20	ºC
Cvent_perd_H_va*	Pérdidas ventilación cerrada	0.0013	-
Cvent_perd_H_vb*	Pérdidas ventilación cerrada	0.000475	-
Cvviento	Parámetro de viento	0.2	-
Cvvlimite	Velocidad de viento límite	5.296	m/s
l1*	Parámetro	-0.0023	-
l2*	Parámetro	2.5011	-
Vmax	Máximo incremento en tejido vegetativo por nodo	6	g /nodo

*Parámetros que requieren calibración, ** Depende del intervalo

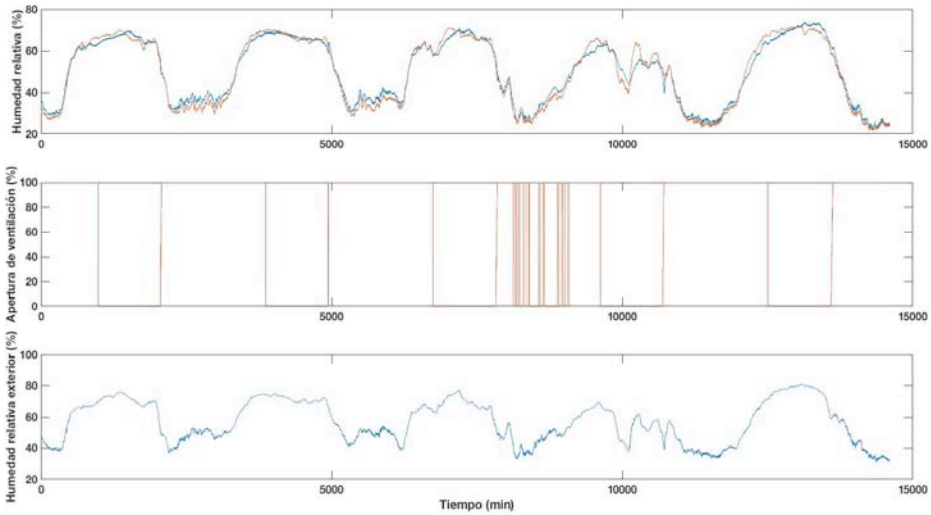


Figura 3. Validación del modelo físico de humedad: humedad relativa estimada y real en la parte superior, debajo se muestran la apertura de ventilación y la humedad relativa exterior

Tabla 2. Cálculo del Error en % de humedad.

Numero de datos	Error mínimo	Error medio	Desviación estándar	Error medio Cuadrático	Mínimo valor medido	Máximo valor medido
464704	0	2,91	0,789	1,190	16	100

4. Conclusiones

Cabe destacar que la investigación se realizó a lo largo de dos años, un total de dos ciclos de cultivo en los que se tomaron las diferentes variables climáticas y fisiológicas de un cultivo de tomate. Todos estos datos se tomaron en intervalos de 30 segundos, lo que hacen un total aproximado de más de 1.000.000 de datos por cada variable, además de la humedad relativa, lo que condujo a una dura labor de procesamiento y eliminación de errores y análisis de datos, obteniéndose gran experiencia en el tratamiento de este tipo de información. El objetivo es el modelado de la transpiración del cultivo de tomate para ser introducida como submodelo dentro de un enfoque modular del modelado de la humedad relativa. Para ello se contó con un sistema de medida de la transpiración basado en la diferencia de pesada que se produce en una balanza liximétrica de un instante a otro y que permite medir la pérdida de agua con una buena aproximación. Además, también se incluye el efecto del cultivo mediante la calibración y validación del modelo de Tomgro, permite estimar el índice de área foliar, utilizado como entrada en alguno de los modelos físico ensayados. Los buenos resultados en la calibración y validación del modelo, con un error medio del 5%, muestran como la elección de este modelo fue acertada, pero también presenta algunos problemas, como la sobrestimación que se produce en periodos nocturnos y tiene una cantidad alta de parámetros a calibrar.

Este trabajo ha tratado la humedad relativa desde un punto de vista industrial, como un proceso en el que existen entradas y salidas, el propio cultivo y algunos aspectos del clima interior y exterior del invernadero son considerados perturbaciones que afectan a la dinámica pero son difíciles de estimar, esto aleja el enfoque de lo estrictamente agronómico, agronomía clásica, que estudia los intercambios que se producen en el invernadero mediante modelos fundamentales basados en principios pero con carácter estático no dinámico.

Agradecimientos

El desarrollo se enmarca en el Proyecto R+D+i del Plan Nacional DPI2014-56364-C2-1-R del Ministerio de Economía y Competitividad y Fondos FEDER y en el marco de proyecto IoF2020-Internet of Food and Farms 2020 dentro del Programa Horizonte 2020 de la Unión Europea, Grant Agreement no. 731884"

Bibliografía

Baille, M., Baille, L., and Laury, J.C. 1994. A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area. *Sci Hort* 59:217–232.

Bakker, J.C. 1995. *Greenhouse climate control: an integrated approach*. Wageningen Academic Pub

Elad, Y., Lodovica-Gullino, M., Shtienberg, D. and Aloi, C. 1995 Managing Botrytis cinerea on tomatoes in greenhouses in the Mediterranean. *Crop Prot* 14:105–109.

García, M.P., Cabrera, F.J., Sánchez-Molina, J.A. and Rodríguez, F. 2016. Energía solar para invernaderos, un nuevo enfoque basado en la innovación en sistemas y redes energéticas. *horticultura* 1:26–33.

Hashimoto, Y. 1993. Computer integrated system for the cultivation process in agriculture and horticulture. Approach to Intelligent Plant Factory. The computerized greenhouse. Eds. Hashimoto Y., Bot G., Tantau H.J., Day W., Nonami H. Academic Press, pp 175–196

Kittas, C., Boulard, T. and Papadakis, G. 1997. Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: Sensitivity to temperature and wind effects. *Trans ASAE* 40:415–425.

Montero, J.L., López, J.C., and Teitel, M. 2014. Developments in covering materials for intensive horticulture: Technical properties and recycling opportunities. *Acta Hortic* 1015:269–280.

Rodríguez, F., Berenguel, M., Guzmán, J.L., and Ramírez-Arias, A. 2015. *Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth*. Springer International Publishing Switzerland

Sánchez, J,A., Rodríguez, F., Guzmán J.L., Arahal, M.R. 2012. Virtual sensors for designing irrigation controllers in greenhouses. *Sensors* (Basel) 12:15244–66. doi: 10.3390/s121115244

Análisis del funcionamiento de la cadena de alimentación de las máquinas deshuesadoras de aceitunas mediante diagnosis por visión artificial y redes neuronales

Antonio Madueño Luna[1], Manuel de Jódar Lázaro[2], Alberto Lucas Pascual[3], Antonio Ruiz Canales[4], José Miguel Molina Martínez[5], M. López[6], J.M. Madueño[7], M. Justicia[1], J.A. Granados[1]

[1]Aerospace Engineering and Fluid Mechanical Department, University of Sevilla, 41013 Sevilla, Spain, amadueno@us.es.

[2]Doctorando Universidad Politécnica de Cartagena.

[3]Universidad Politécnica de Cartagena.

[4]Engineering Department, University Miguel Hernández of Elche, 03312 Orihuela, Spain

[5]Food Engineering and Agricultural Equipment Department, Technical University of Cartagena, 30203 Cartagena, Spain

[6]Design Engineering Department, University of Sevilla, 41013 Sevilla, Spain

[7]Investigador Dpto. Graphical Engineering and Geomatics, University of Córdoba, 14071 Córdoba, Spain

Resumen

Las máquinas deshuesadoras de aceitunas se caracterizan porque su funcionamiento óptimo está vinculado a un buen ajuste: Selección de un plato de alimentación adecuado a la variedad de aceituna y su calibre, de las características geométricas de la cadena de alimentación, etc. El primero de estos elementos fija la entrada óptima de aceitunas en la cadena de alimentación impidiendo que queden cangilones vacíos o se llenen con más de una aceituna. El segundo elemento fija la correcta posición de la aceituna para ser deshuesada, evitando que esta sea deshuesada por un eje que no sea el principal.

El trabajo propuesto analiza la correcta ubicación de las aceitunas en los cangilones de la cadena de alimentación, para ello se utiliza:

1.-Un sistema de visión artificial con disparo externo capaz de extraer una foto de cada cangilón que pase frente a una cámara.

2.-Una red neuronal clasificadora, de manera que adecuadamente entrenada, permita clasificar el cangilón en cuatro posibles estados: vacío, normal, con aceituna mal posicionada en “barco” y caso anómalo (dos aceitunas en un mismo cangilón, aceituna rota o aceituna mal posicionada no en barco).

Un análisis previo que ha permitido comprobar la viabilidad del uso de una red neuronal para este tipo de clasificado, se ha llevado a cabo empleando la tool-box de redes neuronales de Matlab.

El trabajo muestra el uso de dos chips físicos con redes neuronales para la clasificación:

a) Intel Curie

b) NeuroMem CM1K

Se ha conseguido entrenar por primera vez y de manera exitosa una red de neuronales artificiales implementadas en chips neuromórficos para la clasificación de imágenes de las aceitunas que circulan por las líneas de alimentación de las máquinas deshuesadoras de este fruto.

El uso de los chips físicos Intel Curie y sobretodo Neuromem CM1K por su mayor capacidad y escalabilidad, ha sido satisfactorio y por tanto se comprueba un gran potencial para la clasificación.

Palabras clave: Redes Neuronales Artificiales, Máquinas Deshuesadoras, Aceitunas de Mesa, Red Neuronal Física, Visión Artificial, Chip Intel Curie.

Performance analysis of supply chain in olive pitting machines by artificial vision and neural networks

Abstract

The pitting machines of olives are characterized because his optimum working is linked to a good adjust. selection of a right feed disc to the variety of olives and his caliber, the geometric features of supply chain, etc The first of this elements pins up the optimum input of olives in the supply chain keeping off buckets with gap or more than one olive there. The second element pins up the right position of the olives to be pitted, keeping off this olive be pitted for no main axe.

The proposed paper analyses the right position of the olives in the buckets of the supply chain, for it we have used:

1.- An artificial vision system with external triggering be able to take photos for each buckets in front of the camera.

2.- A neuronal network classified, in a right teaching way, it can classify the bucket in four possible cases: empty, normal, incorrect olive position "barco", and anomalous case (two olives in the same bucket, broken olive and incorrect olive position however no barco olive).

The analysis has carried out using tool-box of Matlab neuronal network, this previous analysis verified the viability of a neural network for this kind of classification.

The paper values as a last input the use of physics chips with neuronal network to classify:

a) Intel Curie

b) NeuroMem CM1K

It has been achieved to train a neuronal network implemented in physical chips to classify pictures of olives which are circulating on the feed lines of pitting machines of olives for the first time and in a successful way.

The use of physical chips Intel Curie and mainly Neuromem CM1K due his greater capacity and scalability, it has been achieved so it is possible a great potential for classification.

Keywords: Artificial Neural Networks, Pitting Machines, Table Olives, Arduino, BrainCard, Curie Intel Chip.

1. Introducción

Hasta el año 1970, el deshuesado y relleno de las aceitunas de mesa se hacía manualmente (Santos Siles, F.J. 1999). El progresivo encarecimiento de esta mano de obra creó la necesidad de mecanizar ambos procesos desarrollándose la mayor parte de la tecnología necesaria por empresas de Madrid y Sevilla.

Las primeras máquinas deshuesadoras con una producción de 220 frutos por minuto, supuso en su día un importante avance implantándose rápidamente en España y en otros países por la reducción que supuso de los costes de producción.

La primera máquina deshuesadora-rellenadora, fue desarrollada por la empresa sevillana SADRYM en colaboración con el Instituto de la Grasa, patente registrada (Ser, 1987), implantándose rápidamente en el sector, ya que resolvía la mecanización del relleno de aceitunas con pimiento. Este hecho permitió un gran desarrollo de la exportación de este tipo de producto, que tiene muy buena aceptación en Estados Unidos, Canadá y otros países de Europa, donde la demanda era superior a la propia capacidad productiva.

En 1975 aparecen las primeras máquinas deshuesadoras del tipo continuo (Fernández-Cano, 2012), cuyos modelos mejorados en la actualidad permiten producciones de hasta 2.500 aceitunas/minuto, equivalente a 350 Kg/h de fruto, incorporando variadores electrónicos de frecuencia, que permiten

ajustar la velocidad de la máquina a las propias condiciones del fruto, mejorando la calidad del producto final deshuesado.

En la actualidad existen en el mercado máquinas deshuesadoras/rodajadoras/rellenadoras (DRR), para todo tipo de calibres, es decir, desde el tamaño 400 al 80 (el tamaño se calcula como la cantidad de aceitunas que entran en 1 kilogramo), permitiendo deshuesar la misma máquina distintas variedades de aceitunas, e introducir en su interior no sólo pimiento o anchoa sino también otros "delicatessen" (almendra, atún, limón, ajos, cebollas, salmón, etc.). Además, se han registrado invenciones que consiguen mejoras sustanciales en varios puntos del proceso, como es la posibilidad de la optimización del rendimiento y la detección de fallos en remoto (Madueño, et al.,2013)

Se sabe que otras empresas del sector, actualmente trabajan con procesos más avanzados. Además de las máquinas bases del proceso del deshuesado, disponen de enfriadores para refrigerar la aceituna y así mejorar su resistencia al deshuesado. Este sistema se utiliza para todos los tipos de aceitunas principalmente a la aceituna Manzanilla Sevillana, ya que la aceituna Hojiblanca (especialmente), o Gordal (en menor proporción), ofrecen de por sí una resistencia buena para el deshuesado en condiciones ambientales.

El presente trabajo tiene como objetivo valorar la implementación un clasificador de aceitunas para máquinas DRR empleando chips neuromórficos.

2. Materiales y Métodos

2.1. Red neuronal en Matlab

Se va utilizar la aplicación Neural Network de Matlab (The MathWorks Inc, 1994-2017) para entrenar una red neuronal profunda para la clasificación de imágenes captadas mediante una cámara, una vez entrenada, la red será capaz de distinguir los fallos más comunes en el proceso de deshuesado de la aceituna, como barcos y cangilones vacíos.

La red neuronal con múltiples capas ocultas puede ser útil para resolver problemas de clasificación con datos complejos, como imágenes, existen multitud de aplicaciones desarrolladas como la clasificación de bodegas de vino según patrones (The MathWorks Inc, 1994-2017) . Cada capa puede aprender características en diferentes niveles de abstracción. Sin embargo, entrenar la red neuronal con múltiples capas ocultas puede llegar a ser complejo.

Una manera efectiva de entrenar una red neuronal con múltiples capas es entrenar una capa cada vez (The MathWorks Inc, 1994-2017). Se puede lograr empleando una red especial llamada "Autoencoder" por cada capa oculta elegida, este tipo de función está presente en la versión empleada (Matlab 2016a). Un Autoencoder es una red neuronal que es entrenada para replicar sus entradas en sus salidas (Moller, 1993).

Una vez construida y entrenada, este tipo de red neuronal para aprendizaje profundo (en muestro caso será de dos capas), podremos analizar el efecto de la resolución de las imágenes sobre la capacidad de clasificación de la red. Concretamente, nos centraremos en dos resoluciones 11x11 píxeles y 16x16 píxeles que nos permitirán conocer que opciones tenemos a la hora de usar dos chips físicos disponibles en la actualidad en el mercado Intel Curie (Arduino,2017) y CM1K (General Visions, 2016).

2.2. Hardware empleado para la captura de imágenes

El sistema de visión artificial consta de una cámara industrial modelo UI-1220SE-C USB, (IDS Imaging Development Systems GmbH, 2016) para la captura de imágenes. El disparo de la cámara se sincroniza con el movimiento de la máquina DRR y el disparo de la iluminación (un conjunto de

diodos led de potencia), mediante un sensor magnético (ver figura 1), que detecta el paso de cada cangilón de la cadena de alimentación.

Figura 1 Sensor magnético para la detección del paso del cangilón en la cadena.

Las imágenes obtenidas son grabadas en el disco duro de un PC para su posterior análisis en diferido, estas imágenes serán recortadas para obtener la zona de interés (en inglés ROI: región of interest) y generar imágenes de un tamaño de 11x11 píxeles y 16x16 píxeles. En la figura 2 se muestra un diagrama de bloques de la aplicación.

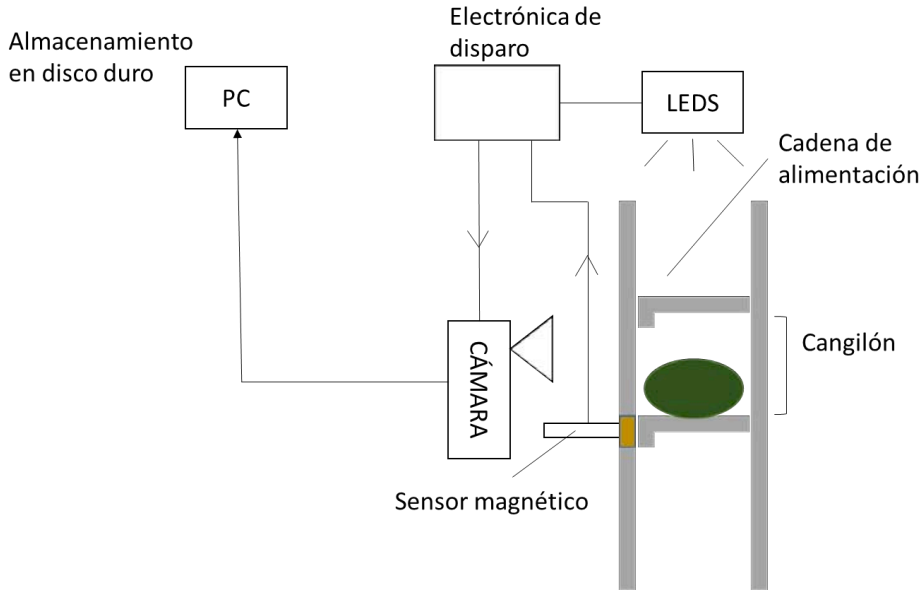


Figura 2 Diagrama de bloques del sistema implementado.

En la figura 3 se muestra el sistema implementado sobre una de estas máquinas DRR (para calibres pequeños de aceitunas, tipo manzanilla y hojiblanca), de una fábrica de aceitunas de mesa sevillana.

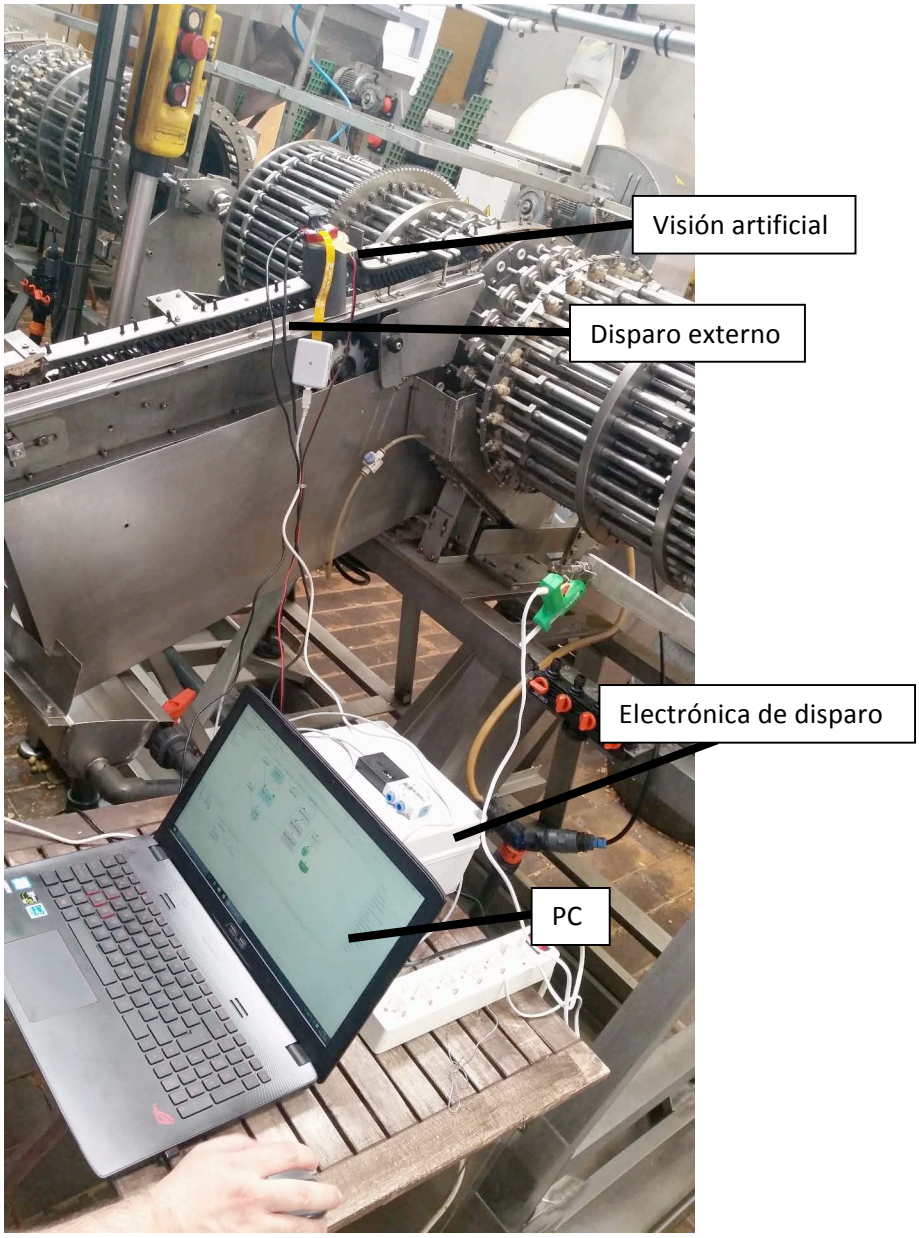


Figura 3 Sistema implementado en una máquina de deshuesado real.

2.3. Chips neuronales empleados

Se han empleado dos chips neuromórficos, el Intel Curie de un Arduino-Genuino 101, que incluye un módulo de redes neuronales artificiales (128 neuronas con vector de entrada de 128 bytes). Este módulo es un caso a escala del chip CogniMem CM1K, este segundo chip está dotado con 1024 neuronas y una longitud de vector de entrada de 256 bytes, para su uso se ha empleado una tarjeta BrainCard que lo incorpora. Ambos emplean para la clasificación funciones de base radial (RBF) o técnicas KNN (vecino más cercano).

Las imágenes de 121 pixeles (11x11) serán procesadas con el Intel Curie del Arduino 101 y las imágenes de 256 pixeles (16x16) con el CM1K.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados obtenidos con la red neuronal programada en Matlab

Mediante Matlab se han probado dos configuraciones, una con imágenes en niveles de gris de 1 byte de profundidad, escaladas con ROI de 11x11 pixeles y otras en niveles de gris de 1 byte escaladas con ROI de 16x16 pixeles. Para el entrenamiento se ha usado un set de 9 imágenes de cangilón vacío, 11 de aceitunas en "barco" y 10 de aceitunas normales, no se ha tenido presente la presencia de casos anómalos, ya que el objeto de la prueba era tener seguridad en que el clasificado de estas imágenes de baja resolución era factible con una red neuronal. En la figura 4 se muestra las imágenes de las aceitunas con ROI y escaladas a 16x16.

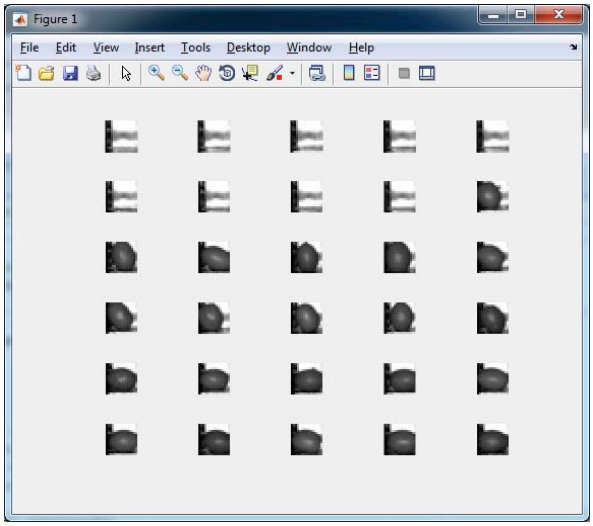


Figura 4 Muestra de imágenes de aceituna con ROI a 16x16.

La estructura de la red neuronal con autoencoder se ha entrenado con 45 iteraciones, los resultados obtenidos, aparecen en la figura 5.

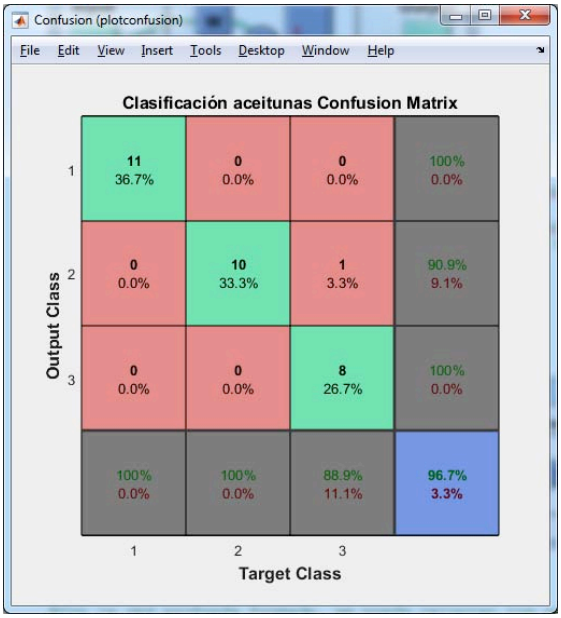


Figura 5 Matriz de resultados obtenidos con Matlab.

Como se aprecia, la red neuronal ha llevado a cabo un clasificado correcto (error<4%), con imágenes de 16x16 pixeles (las que procesa el chip CM1K). Se han repetido los ensayos con imágenes de resolución 11x11 y el resultado también ha sido satisfactorio (error <5%), lo que significa que también es posible clasificar con las imágenes (11x11 pixeles), que procesa el chip Intel Curie.

3.2. Resultados obtenidos con el uso de chips neuromórficos

Para las pruebas con chips neuromórficos se ha usado para el entrenamiento de la red neuronal un set de 20 imágenes de cangilón vacío, 20 con aceitunas en "barco" y 20 aceitunas en posición normal. Para el test de la red neuronal una vez entrenada se ha empelado un set de 10.000 imágenes obtenidas en una prueba con la máquina DRR trabajando con aceitunas hojiblancas durante su funcionamiento normal en la fábrica. De este conjunto se extraen aleatoriamente muestras de 1000 imágenes para realizar el clasificado. El ensayo se ha repetido 100 veces.

En la tabla 1 se muestra el resultado promedio de las 100 repeticiones para el caso del Chip Intel Curie de 128 neuronas.

Tabla 1. Resultados promedio de 100 repeticiones obtenidos con el Chip Intel Curie

Parámetro	Totales	Barcos	Vacíos	Normales
Muestras realizadas	1000	70	88	842
Correctos	888	63	89	737
Fallos	25	0	1	24
Anómalos	88	7	0	81
% Fallos	3	0	1	3

Como se observa la red neuronal detecta un 97% de casos correctamente (3% de fallos), existe un porcentaje de casos de aceitunas anómalas que salen de la clasificación indicada de fallos comunes, estos casos pueden ser aceitunas dobles, partidas, o un grado de inclinación cercano al denominado "barco" sin serlo, este porcentaje de casos anómalos o bizarros es del 8,8%.

El número de neuronas empleadas ha sido 4, se emplea por tanto una neurona para cada caso, aceituna normal, cangilón vacío, aceituna barco, y el comentado aceituna anómala, la propia red al identificar un número significativo de casos sin poder clasificarlo por no haberse entrenado con ese tipo de casos emplea una neurona para identificarlos.

En el caso de chip CM1K el resultado es similar con una tasa de eficacia del 98% (2% de fallos).

4. Conclusiones

Se ha conseguido entrenar por primera vez y de manera exitosa una red de neuronales artificiales implementadas en Chips físicos para la clasificación de imágenes de la aceituna que circulan por las líneas de alimentación de las máquinas deshuesadoras de este fruto.

El uso de los chips físicos Intel Curie y sobretodo Neuromem CM1K por su mayor capacidad y escalabilidad, ha sido satisfactorio y, por tanto, se comprueba un gran potencial para la clasificación.

La clasificación sólo ha necesitado una neurona para cada caso, en total 4 (Normal, Barco, Vacío y Anómalo).

El uso de una cámara estándar con disparo externo como la empleada UI-1220SE-C USB, se postula como la marera adecuada de obtener las imágenes en escala de grises (de 1 byte de profundidad), con ROI y escalado compatible con chips neuronales físicos.

Para una correcta captación de la imagen es necesario sincronizar el disparo de la cámara con el uso de una iluminación pulsante.

Como prueba preliminar, se ha programado una red neuronal en Matlab que permite el entrenamiento de la misma para la clasificación de imágenes con distinta resolución, con el objetivo de establecer la mínima resolución necesaria para la clasificación de aceitunas en la cadena de alimentación de las maquinas deshuesadoras. Se ha adecuado esa resolución a las capacidades de dos chips físicos el Intel Curie y el CM1K.

Se constata que una resolución mínima de 11x11 pixeles ya es apta para el propósito buscado. En estas condiciones un chip como el Intel Curie sería suficiente.

Se ha comprobado que el Chip NeuroMem CM1K es capaz de procesar imágenes y clasificarlas correctamente con una resolución de 11x11 pixeles y de hasta 16x16 píxeles.

Bibliografía

Arduino, 2017. https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoard101

Fernández-Cano, S. 2012. PFC Mejora de las líneas de deshuesado de una envasadora de aceitunas escuela técnica superior de ingeniería (ICAI).

General Visions, 2016. http://www.general-vision.com/hardware/cm1k/

IDS Imaging Development Systems GmbH, 2016. https://es.ids-imaging.com/store/ui-1220se.html

Madueño Luna, A., López Lineros M., Madueño Luna, J. M. 2013. Procedimiento basado en un sensor de sincronismo para la detección de fallos de funcionamiento en máquinas deshuesadoras/rodajadoras de aceituna y de relleno, cuantificación y optimización del rendimiento, señalización, monitorización y control remoto. Patente de invención, Propiedad industrial.

Moller, M. F. 1993. A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning, *Neural Networks*, Vol. 6, pp. 525–533.

The MathWorks, Inc. Redes neuronales.1994-2017. http://es.mathworks.com/discovery/redes-neuronales.html.

The MathWorks, Inc. Ejemplo de red neuronal. 1994-2017. https://es.mathworks.com/videos/wine-classification-with-neural-pattern-recognition-tool-68798.html

The MathWorks, Inc. Entrenar una red neuronal con múltiples capas. 1994-2017. http://es.mathworks.com/help/nnet/ug/create-and-train-custom-neural-network-architectures.html

The MathWorks, Inc .Entrenamiento autoencoder.1994-2017. http://es.mathworks.com/help/nnet/ref/trainautoencoder.html

Santos Siles, F.J. (1999) “Las nuevas tecnologías aplicadas al sector de la aceituna manzanilla fina”. *Grasas y Aceites*, 50-2, 131-140.

Ser González, Clemente del.1987. Método para deshuesar y deshuesar-rellenar aceitunas dispositivo para su puesta en práctica y producto obtenido con el mismo número de publicación: ES2000150 A6

Mejoras en el control de máquinas deshuesadoras rodajadoras y de relleno de aceituna de mesa

A. Madueño Luna[1], A. Lucas Pascual[2], Manuel de Jódar Lázaro[3], A. Ruiz Canales[4], J. M. Molina Martinez[5], J.M. Madueño[6], M. López[7], J.A. Granados[1], M. Justicia[1]

[1]Aerospace Engineering and Fluid Mechanical Department, University of Sevilla, 41013 Sevilla, Spain, amadueno@us.es.

[2]Doctorando Universidad Politécnica de Cartagena, Domicilio: Redes, 40, 41002, Sevilla, Spain info@albertolucas.es

[3]Universidad Politécnica de Cartagena, manueldejodar@gmail.com

[4]Engineering Department, University Miguel Hernández of Elche, 03312 Orihuela, Spain

[5]Food Engineering and Agricultural Equipment Department, Technical University of Cartagena, 30203 Cartagena, Spain

[6]Investigador Dpto. Graphical Engineering and Geomatics, University of Córdoba, 14071 Córdoba, Spain

[7]Design Engineering Department, University of Sevilla, 41013 Sevilla, Spain

Resumen

Las máquinas deshuesadoras/rodajadoras de aceituna y de relleno (DRR), son máquinas rotativas empleadas para aceituna de mesa. Constan de: tolva para depositar las aceitunas, cadena de alimentación de cangilones para transportarlas hasta un tambor giratorio, con, punzones para extraer los huesos mediante varillas desplazadoras. Finalmente las aceitunas deshuesadas van a una salida de la máquina y los huesos a otra.

Normalmente incluyen:

1.- Control manual de velocidad de funcionamiento mediante variador electrónico de frecuencia. Esto permite modificar el rendimiento de la máquina entre límites definidos por la seguridad de la máquina a altas velocidades, calidad de la aceituna, restricciones de la cadena de producción, etc.

2. Sistema de detección de fallos mediante sensor en la tolva de alimentación para detectar si se ha quedado sin aceitunas y sensor de apertura de la carcasa de protección para evitar el funcionamiento si no está cerrada.

Se plantea la mejora en el sistema de control de este tipo de máquinas DRR mediante:

1. Sistema de sensores y hardware electrónico con un sensor de sincronismo, para control de rotura de punzones, rotura de las barras desplazadoras de los huesos de aceitunas, presencia de varias aceitunas en un mismo cangilón y falta de limpieza en la cadena de alimentación.

2. Sistema de cuantificación del número real de aceitunas ene la cadena de alimentación.

3. Sistema de monitorizado remoto de la máquina y de control

4. Sistema de alineamiento y ajuste de sensores para facilitar durante su montaje en fábrica y revisiones/reparaciones posteriores de la máquina, su funcionamiento.

Palabras clave: Arduino; Raspberry Pi; Sensores ópticos y magnéticos sin contacto; Plataforma cliente-servidor.

Improvements in the control table olive pitting, slicing and stuffing machines

Abstract

Table olive pitting, slicing and stuffing machines (DRR) are rotary machines that are the standard in the table olive sector. They consists of: a feeder hopper where the olives are deposited to bone, a bucket feed chain where the olives are transported to a rotating drum, and there, punches extract the bones aided by shifting rods. Finally the pitted olives exit from the machine in one side and the pits from another.

These machines includes:

1. Speed of operation manually controlled through an adjustable frequency drive, which allows modifying the performance of the machine between certain limits defined by the safety and integrity of the machine itself at high speeds, quality of the olive to process, restrictions of the production chain, etc.

2. A rudimentary system for detecting malfunctions consisting of a sensor in the feed hopper to detect if it has run out of olives and a sensor that prevents the machine from operating if it's housing is not closed.

This paper includes improvements in these machines with the addition of:

1. Sensors that allow to control breakage of punches, breakage of the shifting bars of the bones of olives, presence of several olives in the same bucket in the feed chain and lack of cleaning.

2. Actual number of olives quantifying system.

3. Monitoring and control remote system.

4. A system of alignment and adjustment of the sensors that facilitates both during its assembly in factory and in later revisions / repairs of the machine, a perfect operation.

Keywords: Arduino; Raspberry Pi; Magnetic and Optical Contactless Sensors; Server-Client Platform.

1. Introducción

La máquina deshuesadoras, rodajadoras y de relleno (DRR) de aceituna de mesa actuales surgen como tales en 1975 (Fernández Cano, 2012), tras su perfeccionamiento técnico son capaces de procesar en la actualidad hasta 2500 aceitunas /minuto de aceitunas de calibre mediano, aún así presentan serías limitaciones, por ejemplo sólo tienen un sistema de control de la velocidad basado en un variador de frecuencia, un sistema de detección de ausencia de aceitunas en la tolva y un sistema que impide a la máquina DRR funcionar si tiene la carcasa abierta.

En la figura 1, se muestra un modelo estándar de máquina DRR, en la misma se puede apreciar los elementos más significativos así como el detector de aceitunas en la tolva de alimentación.

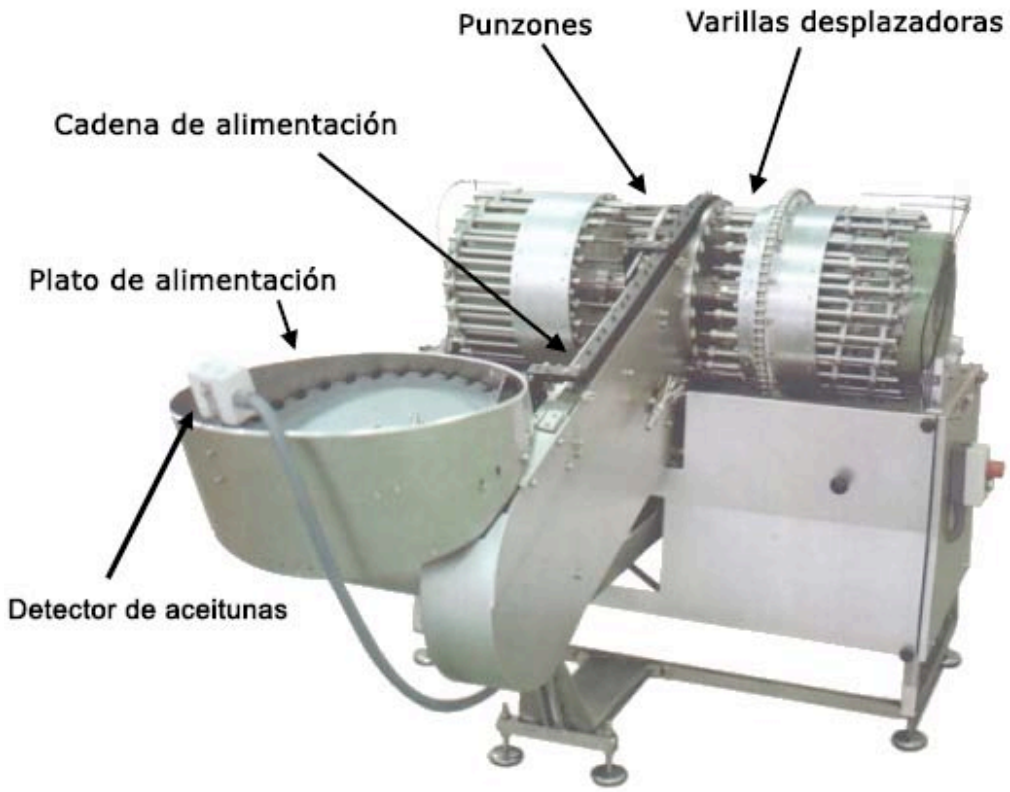


Figura 1. Imagen de una máquina deshuesadora, rodajadora de aceituna de mesa de la marca Sadrym.

1.1. Estado del arte del problema

Se ha efectuado una búsqueda exhaustiva de mejoras en las máquinas DRR desde su creación hasta la actualidad. Revisando las patentes disponibles (Invenes, 2017), todas las invenciones localizadas sólo a excepción de una la P201300242 (Madueño et al., 2013), hacen referencia al desarrollo de estas máquinas rotativas y mejoras de tipo mecánico para incrementar su velocidad de funcionamiento (Clemente S. G. 1986, Gutiérrez J. R. 1986, Gutiérrez J. R. 1987, Clemente S. G. 1988, Garrido A. P. 1999, ES Seditec S.A. 2009, Internacional Olivarera, S.A. 2011). No se han localizado referencias en revistas especializadas que contemplen otras mejoras más allá de las descritas en estas patentes. Revisando productos en el mercado actual, encontramos un sistema anunciado por la empresa sevillana Prototec S.L. (Prototec, 2017), en su página web y que ha sido usado por la también empresa sevillana O.E.M. S.L., en pruebas, para comprobar la fiabilidad de funcionamiento de este tipo de máquinas.

Con este trabajo se propone una notable mejora consistente en la aplicación de la invención a nivel industrial de la patente P201300242, consistente en la adición de un sistema para la detección de fallos de funcionamiento en estas máquinas, cuantificación y optimización del rendimiento, y por ultimo de monitorización y control remoto, adaptable a cualquier modelo, para ello se valdrá del uso de sensores sin contacto adicionales y modernas técnicas de análisis de la información que estos proporcionan, uso de hardware y programas informáticos específicos, microcontroladores y ordenadores monoplaca (SBC).

2. Materiales y métodos

2.1. Hardware empleado

Se van a emplear sensores magnéticos y ópticos sin contacto conectados a un micro-controlador tipo Arduino para crear un sistema síncrono que trabaja a la misma velocidad que la máquina y que será el encargado de generar la información del funcionamiento de la máquina DRR. El sensor magnético (punto 1 de la figura 2), se colocará en un lateral de la zona superior de la cadena o pista de alimentación de aceitunas para detectar la presencia o no del metal correspondiente a cada cangilón que transporta de forma individual cada aceituna hacia la zona donde será punzonada para extraerle el hueso. Este será el procedimiento para sincronizar el sistema de monitorización con la máquina con el objeto de abrir una ventana temporal de análisis.

En cuanto al sensor óptico (punto 29 y 30 de la figura 2), se empleará uno de tipo herradura y haz infrarrojo/láser colocado lo más cerca posible de donde este el sensor magnético para generar las diferentes situaciones de una máquina de estado (embebida en el microcontrolador tipo Arduino), que permitirá detectar la presencia o no de aceitunas en el cangilón. Este sensor detectará tanto metal como aceitunas sobre la cadena.

Adicionalmente, se emplearán otros dos sensores magnéticos en la zona del tambor giratorio para el control del estado de punzones y varillas desplazadoras y saber si están rotas o dobladas.

La información que se extrae del funcionamiento de la máquina se enviará por puerto serie desde el microcontrolador Arduino a un ordenador monoplaca (SBC) del tipo Raspberry Pi que será la encargada de registrar los datos que el Arduino genere. Luego, la placa Raspberry, mediante un sistema cliente – servidor, enviará por conexión Ethernet la información a un equipo que hará las veces de servidor, en este caso, se empleará otra SBC Raspberry Pi, que conformará el sistema de monitorización y control remoto. En la figura 3, aparece un esquema del sistema tal y como se ha conformado. Adicionalmente, se puede realizar un control de la velocidad del variador para obtener el punto de máximo rendimiento productivo de la máquina, asimismo se pude incluir un señalizador óptico de los diferentes estados (rotura de punzones, de varillas, suciedad, etc.).

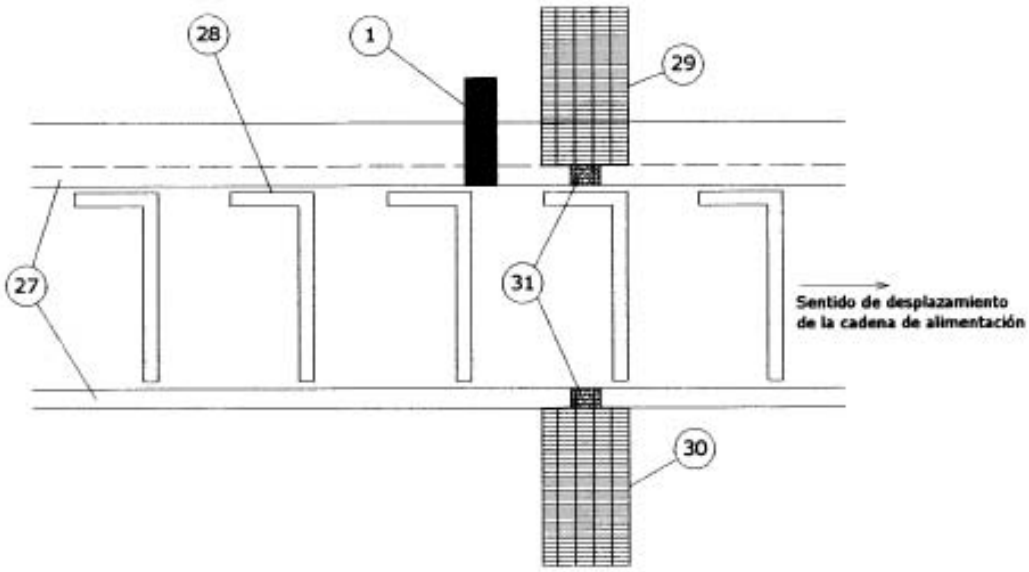


Figura 2. Esquema de colocación de sensores en cadena de alimentación de la máquina extraído de la patente P201300242.

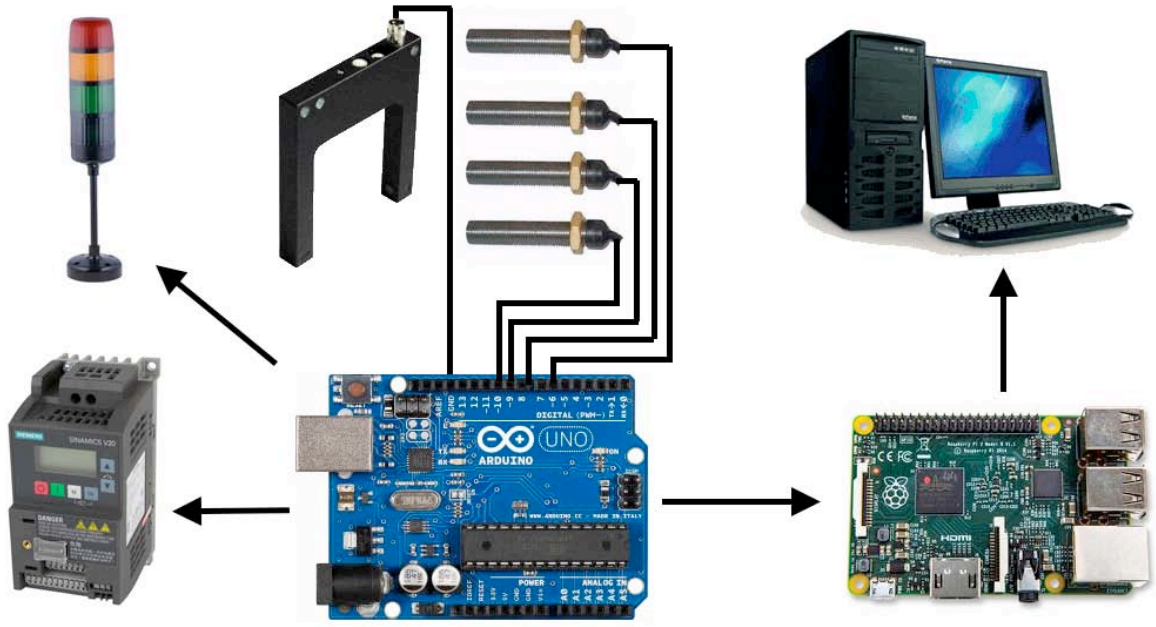


Figura 3. Esquema simple del sistema de sensores y de la plataforma cliente – servidor.

2.2. Software empleado

El servidor (figura 4), usará una plataforma en forma de portal web para mostrar el estado, velocidad y rendimiento en tiempo real así como la configuración de todas las máquinas que tenga conectadas de forma que el operario de planta pueda de una forma sencilla, conocer el estado de la máquina DRR con una simple visualización en un PC/Tablet/Móvil.

Figura 4. Elementos más significativos de la aplicación web con los datos de rendimiento de la máquina.

4. Resultados y discusión

Se presenta el caso del sistema básico con una sólo sensor magnético (de sincronismo) y uno óptico de herradura, ambos en la cadena de alimentación. En la figura 5, aparecen ambos sensores ubicados sobre la cadena de alimentación de una máquina DRR de aceitunas negras hojiblancas.

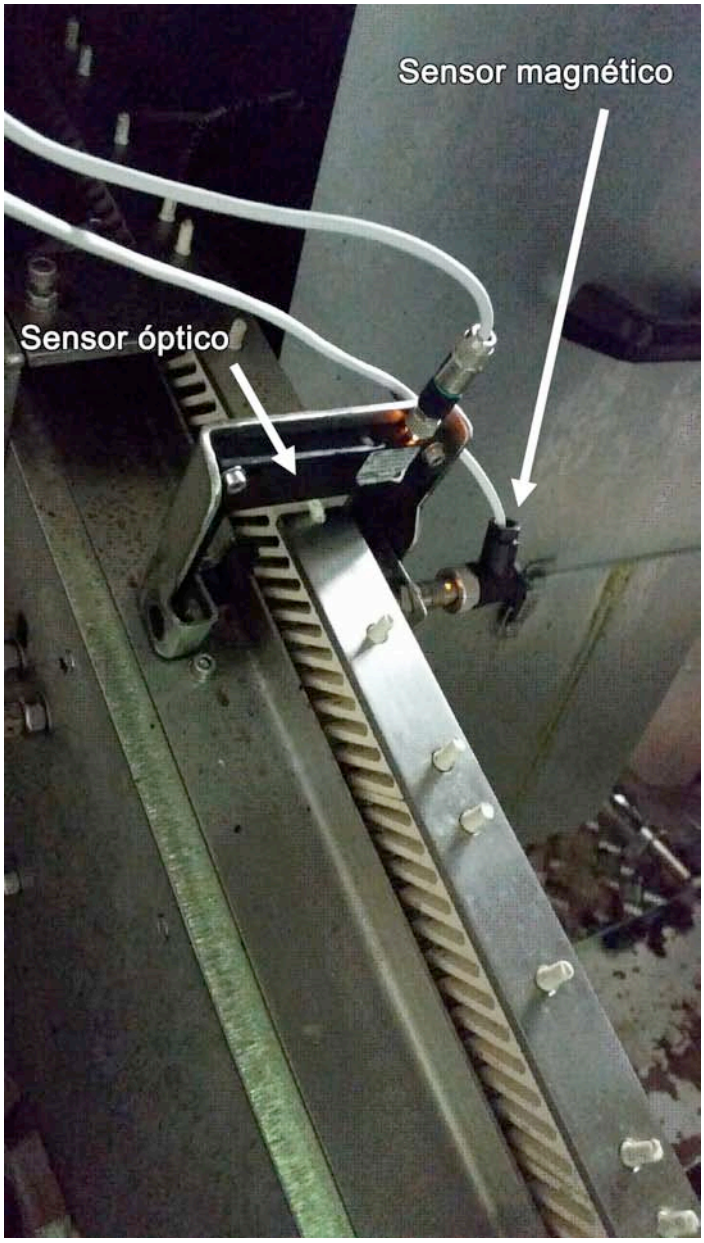


Figura 5. Sensor magnético y óptico en funcionamiento en una máquina DRR.

En la figura 6 se muestra las señales de salida de los sensores (S1: magnético (14), S2: óptico (15)), así como los intervalos temporales (16), (17), (19), (21) y (23), donde se efectúa el análisis de la información proporcionada por ambos sensores. Esta información es procesada por la máquina de estado del microcontrolador Arduino.

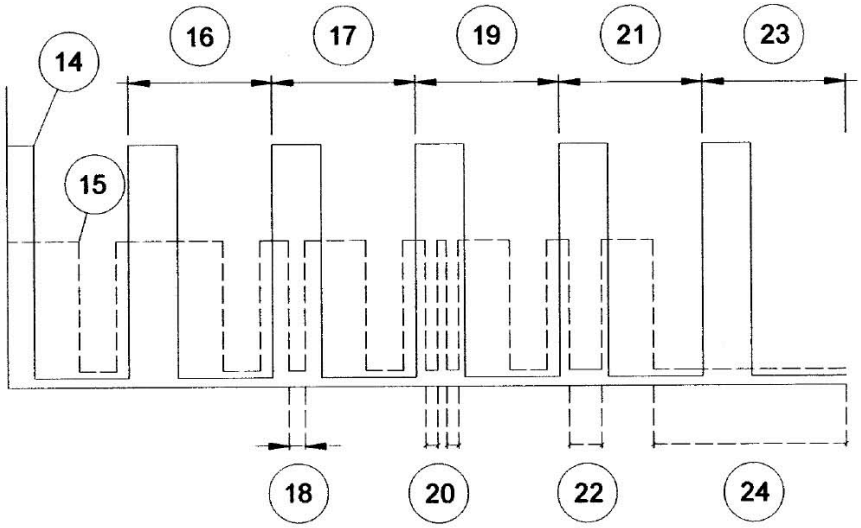


Figura 6. Muestra de las señales de salida esperadas de los sensores magnéticos (14) y óptico (15).

El comienzo de cada ventana de análisis se corresponde con la llegada de un nuevo cangilón en la proximidad de S1. El flanco ascendente y nivel alto de este pulso es producido por el saliente de la cadena de alimentación que pasa por la proximidad del sensor y el flanco descendente y nivel bajo se produce cuando no hay saliente en la proximidad del sensor. El esquema expuesto en esta figura 6 se corresponde con varias situaciones:

(16): En este intervalo, el haz luminoso del sensor S2 no es interceptado por ninguna aceituna, es el caso de un cangilón vacío.

(17): El haz luminoso es interceptado por la presencia de una aceituna en el cangilón.

(19): El haz luminoso del sensor S2 es interceptado dos veces (dos aceitunas que no están en contacto entre si y van en el mismo cangilón).

(21): El haz luminoso del sensor S2 es interceptado una vez (dos aceitunas que están en contacto entre si y van en el mismo cangilón).

(23): El cangilón presenta suciedad en toda su extensión o el orificio por donde pasa el haz luminoso del sensor S2 se ha taponado.

La duración y forma de las interceptaciones del haz luminoso del sensor S2 (18), (20), (22) y (24), permiten identificar la situación concreta del cangilón que se está analizando. Estas duraciones obviamente, son función del calibre de la aceituna y/o de la velocidad de trabajo de la máquina, siendo ambos datos necesarios para los cálculos que se efectúan en el microcontrolador.

En las figuras 7 y 8 se muestra la aplicación web con las gráficas cronológicas generadas en tiempo real tanto de la velocidad de funcionamiento de la máquina como del rendimiento (aceitunas procesadas / minuto) durante 1 día de trabajo:

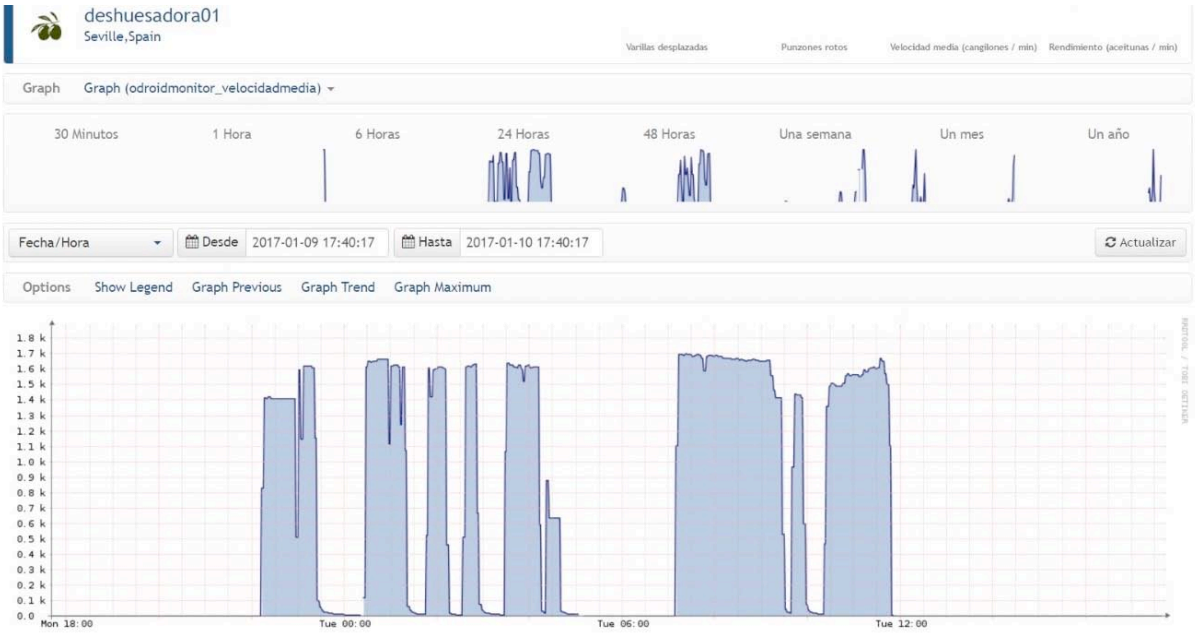


Figura 7. Captura de la aplicación web y gráfica de velocidad

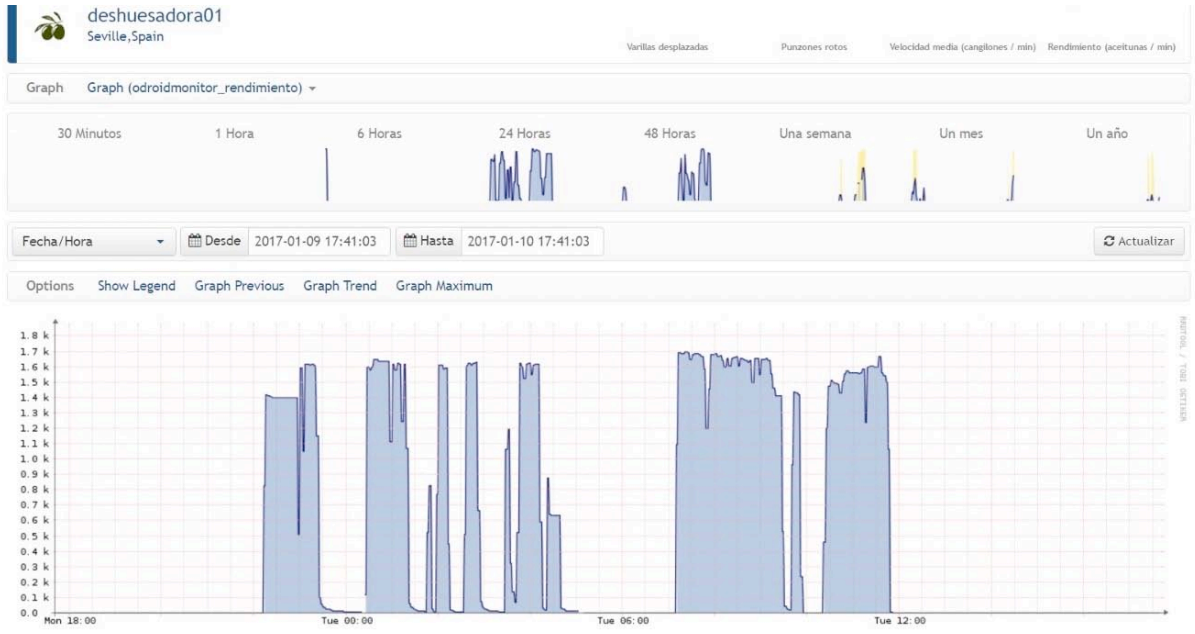


Figura 8. Captura de la aplicación web y gráfica de rendimiento

5. Conclusiones

1. Se ha presentado un caso de estudio para la mejora de las máquinas DRR mediante el uso de dos tipos de sensores, uno magnético que permite sincronizar el sistema desarrollado con la máquina DRR y otro óptico que en conjunción con el primero permite extraer información útil del funcionamiento de la misma.
2. El sistema extrae la información útil a partir de una máquina de estado implementada en un microcontrolador y es enviada a una aplicación web soportada por un sistema cliente/servidor implementada mediante un ordenador monoplaca tipo Raspberry Pi.

Agradecimientos

Se agradece a los autores de la patente P201300242, el permiso para usar los contenidos de la misma en este trabajo.

Bibliografía

Fernández Cano, S. 2012. PFC Mejora de las líneas de deshuesado de una envasadora de aceitunas escuela técnica superior de ingeniería (ICAI).

Gutiérrez J. R. 1987. Patente ES-2003246_A6: Detector de sombreretes para máquinas deshuesadoras de aceitunas y similares.

Garrido A. P. 1999. Patente ES-0262359_A1: Perfeccionamientos introducidos en las máquinas deshuesadoras de aceitunas.

Gutiérrez J. R. 1986. Patente ES-2000150_A6: Método para deshuesar y deshuesar-rellenar aceitunas, dispositivo para su puesta en práctica y producto obtenido con el mismo.

Clemente S. G. 1986. Patente ES-8707089_A1: Máquina deshuesadora de aceitunas

Clemente S. G. 1988. Patente ES 2 007 926: Máquina deshuesadora-rodajadora de aceitunas.

Internacional Olivarera, S.A. 2011. Patente ES 23 52781-A1/B1: Máquina para el deshueso y rellenado de aceitunas.

ES Seditec S.A. 2009. Patente ES-1070433_U: Máquina deshuesadora-rellenadora de aceitunas.

Reconhecimento de Padrões do Bulbilho de Alho Utilizando o Sensor TCS-230 para Posicionamento de Plantio

Ana Sabrina Nino Ruge [1] , Joel da Silva Ribeiro [2] , Luis Eduardo Palomino Bolívar [3]

[1] Programa de Pós-graduação Maestria em Engenharia Mecatrônica, Universidad Militar Nueva Granada, Carrera 11 #101-80, Colômbia. u3900212@unimilitar.edu.co

[2] GPEAR-UnC, Engenharia Elétrica, Universidade do Contestado, Rua Roberto Elhke No.85 Centro, Campus Canoinhas – Unidade de Marcilio Dias, Canoinhas SC, Brasil. joelribe@hotmail.com; palomino@unc.br

Resumen

O presente trabalho descreve um sistema capaz de determinar a posição do bulbilho de alho com um erro de 15% no posicionamento deste na horizontal disposto para ser semeado. As amostras foram obtidas por meio de pesquisa experimental manipulação dos bulbilhos de alho. Apresenta- se os dados a partir do algoritmo num sistema embarcado que controla os servomecanismos. Como resultados desta pesquisa, o sensor ótico TCS-230 diferencia a base e ápice do bulbilho graças a medição da densidade de cor. Como conclusão, constatou-se que o algoritmo diferencia a posição do bulbilho. O algoritmo presenta um desempenho de 85%.

Palavras chave: Plantio. Alho. Algoritmo

Garlic Bulbil Pattern Recognition Using the TCS-230 Sensor for Planting Positioning

Abstract

This paper describes a system that is able to determinate the position of garlic bulbil with a 15% error in the horizontal seeding position. Samples were obtained through experimental research manipulation of the garlic bulbil. The data are presented from the algorithm of an embedded system that controls the servomechanism. As a result of this research, the TCS-230 optical sensor differentiates the base and apex of the bulbil through the measurement of color density. In conclusion, it was found that the algorithm differentiates the garlic bulbil position. The algorithm has a performance of 85%.

Keywords: Plantation; Garlic; Algorithm

1. Introdução

Segundo dados da Associação Nacional dos Produtores de Alho a média anual de consumo de alho per capita no Brasil foi de 1,1 kg por habitante e a área plantada no país de 9200 hectares de alho tipo roxo(Lucini, 2014).

Considera-se que a maioria dos produtores não utiliza máquinas para o plantio, pois as mesmas não possuem tecnologia para o posicionamento do bulbilho. Sendo importante garantir que o bulbilho seja plantado com a base para baixo, a posição que o bulbilho é plantado interfere no índice de desenvolvimento (Trenhago et al., 2011). Para que esse gerenciamento de sementes seja eficiente, é necessário um sistema de medição das extremidades do bulbilho de alho.

Dados da Associação Nacional dos Produtores de Alho, ANAPA (Lucini, 2014), mostram que o Brasil contabiliza um consumo mensal de alho de 2,2 milhões de caixas de 10 quilos, totalizando 26,40 milhões de caixas por ano. A participação nacional nesta oferta é de uma fatia de 33% do mercado. O restante do alho consumido é importado, principalmente da China e Argentina. O país produziu em 2014, 135 mil toneladas em 9,2 mil ha utilizando da mão de obra de aproximadamente 92 mil pessoas.

A mão de obra na cultura do alho equivale a 46% do custo total da produção. A colheita e o plantio são as etapas que mais empregam o recurso humano. Para colheita já se utiliza máquinas eficientes, porém para o plantio as máquinas não atendem os padrões do processo (Morozini et al., 2005).

No plantio mecânico menos da metade das sementes de alho nascem corretamente desenvolvendo dentro do seu ciclo, o restante está entre plantas em atraso, duplas e não germinadas. Isso se deve em grande parte pela posição incorreta proveniente da falta de gerenciamento do bulbilho, o que acarreta em um elevado desperdício de recursos financeiros, levando geralmente à desistência do cultivo pelo agricultor. Existe influência no desenvolvimento na forma que é plantado o bulbilho do alho no solo (Marouelli et al., 2015). Portanto, torna-se motivo de estudo, o desenvolvimento de um algoritmo utilizando o sensor ótico TSC-230 com um sistema que manipule o bulbilho de alho para a posição correta de plantio.

Este trabalho propõe uma solução para o posicionamento do bulbilho de alho no plantio mecânico com a detecção e posição deste com um sistema embarcado que roda um algoritmo que determina a densidade da cor no bulbilho utilizando o TSC-230 com desempenho superior ao 80%, visando aumentar a produtividade de alho.

2. Materiales y Métodos

O estudo é desenvolvido a partir da pesquisa experimental, onde tem-se a manipulação direta do bulbilho de alho. Na primeira etapa desenvolvida de janeiro de 2014 a março de 2015 foi feita a análise no campo, da relação da posição do bulbilho no desenvolvimento da planta. Na segunda etapa o desenvolvimento do sistema de reconhecimento do padrão e gerenciamento da posição do bulbilho do alho.

1.1 Descricção do sistema de reconhecimento de padrão

O sistema de reconhecimento de padrão e do bulbilho de alho é composto por um sensor modelo TCS-230, onde um sistema baseado em *Arduino* decodifica a leitura do sensor que converte cada componente RGB em uma frequência proporcional à intensidade da cor. Já o sistema de gerenciamento dos micros servos concentrado no algoritmo rodando em *LabVIEW*, que toma decisão da posição do bulbilho.

A Figura 1 ilustra o processo do recebimento dos valores RGB pelo sensor e o controle dos micros servos, o *Arduino* enviando as frequências obtidas para o LabVIEW, após o LabVIEW enviando o resultado do processo para o *Arduino*, controlando assim os micros servos

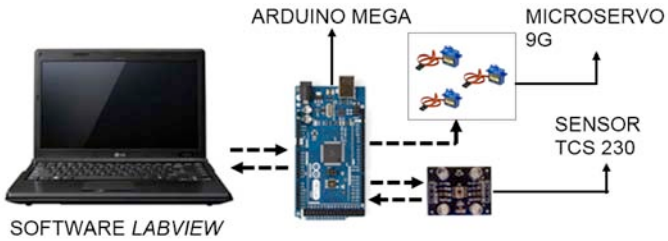


Figura 1 – Intercambio de informação no sistema geral

1.2 Controle da posição dos servomotores

O estado inicial do sistema determina a posição dos servo motores posicionados conforme figura 2, definindo pelo *LabVIEW* a posição da tampa superior em SM1 a 115º, fechamento da tampa inferior SM2 em 38º e posiciona o motor central na vertical SM3 a 9º, cuidando que os servo motores tipo standard controlam a posição de 0° a 180° . Após, posicionamento inicial dos servos, o TSC-230 é calibrado com cores padrão Vermelho, Verde e Azul.

Os Motores são acionados conforme tabela 1 onde a Posição A de SM1 e SM2 são de abertura e posição B de fechamento das comportas inferior e superior. Para SM3 a posição de A e B determinam o giro total na horizontal do alho.

Tabela 1 Posição dos servo-motores em ângulos

Servo Motor	Posição A	Posição B
SM1	28°	123°
SM2	38°	115°
SM3	9°	171°

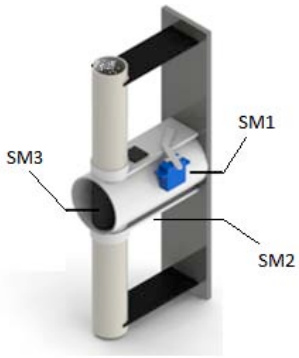


Figura 2 – Posição dos servos na estrutura

1.3 Algoritmo do sistema

Para realizar a medição e manipulação da posição do alho é projetada conforme figura 2, onde os servos, sensor, sitema embarcado são instalados numa bancada de testes como e apresentado na figura 3. Observa-se a entrada do alho no Input, a posição do sensor, a exposição do servo motor S2, o Arduino Mega e o receptáculo de medição MG.

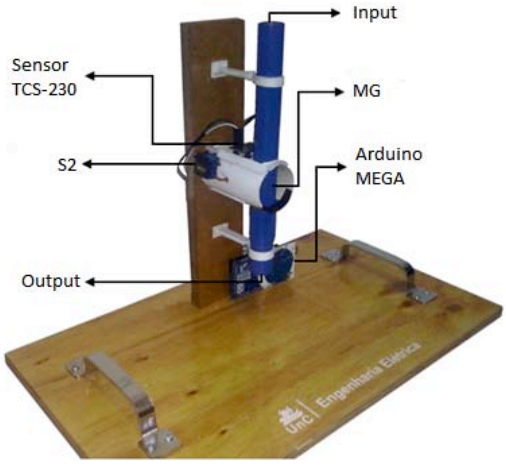


Figura 3 – Bancada de testes

Os passos realizados no algoritmo descrevem o funcionamento de software e hardware nos seguintes 9 passos visando detectar o padrão, a partir da densidade de cor da cabeça de bulbilho utilizando o sensor TCS-230. Na figura 3

1) *Arduino* calibra os micros servos para entrada do bulbilho;
2) Bulbilho entra no sistema;
3) *Arduino* posiciona sensor TCS-230 e faz a primeira análise;
4) *Arduino* comanda o suporte com o bulbilho girando 180º e faz a segunda análise;
5) Os valores de frequência RGB primeira análise e rgb segunda análise estão disponíveis no *Arduino*;
6) Os valores RGB e rgb são armazenados no *buffer* da comunicação serial, enviado para *LabVIEW*;
7) *LabVIEW* após seguir as instruções retorna na serial o estado da posição;
8) *Arduino* lê a serial e conforme a leitura decide se deve retornar o suporte do bulbilho na posição inicial, ou aguardar a próxima instrução;
9) Abre a tampa inferior e o bulbilho deve sair do sistema com ápice para baixo;

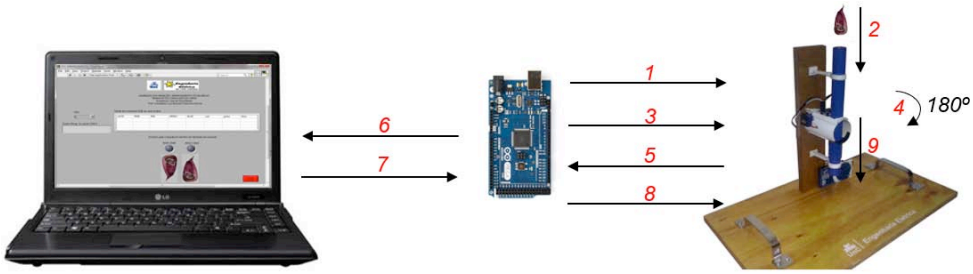


Figura 4 – 9 Passos para o gerenciamento do bulbilho

1.4 Progama de gerenciamento de medição,

Na Figura 5 é apresentado o layout do software onde os dados são gerenciados e se indica a forma do ápice do alho que está sendo medido em tempo real.

Figura 5 – Layout programa gerenciador das medições

1.5 Característica da deteccção do padrão,

A diferença da base e ápice está nos valores de frequência obtidos do sinal do TCS-230 conforme a intensidade das cores RGB. A primeira análise do sensor TCS-230 é comparada com a segunda,

passos 3 e 4 da secção C. Se a primeira tem valores RGB maiores que a segunda, significa dizer que a bulbilho entrou no sistema com a base para cima, caso contrário entrou com o ápice para cima. A densidade da cor considera as três componentes RGB para todos os casos. Na figura 6, o alho é apresentado na parte 6a, assim como densidade de cor observada pelo sensor TCS-230 com tons de branco na parte 6b da figura, devido a sua superfície de base ser da cor do alho próximo ao branco em quanto a ápice sua cor é mais do tom vermelho conforme o tipo do alho figura 6c.

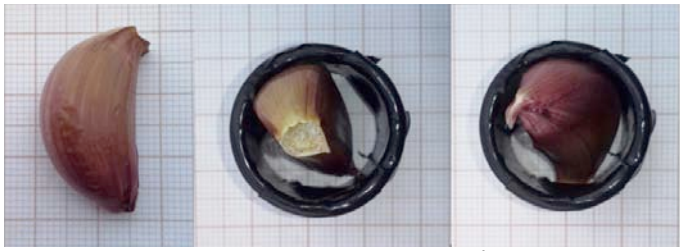


Figura 6 – a. Alho, b. Base do Alho, c. Ápice do alho.

3. Resultados e Discussão

As medições obtidas neste sistema, são analisadas comprando 40 medições das componentes RGB. Na figura 7, a componente Vermelha, indica com RED a detecção da base, em 35.

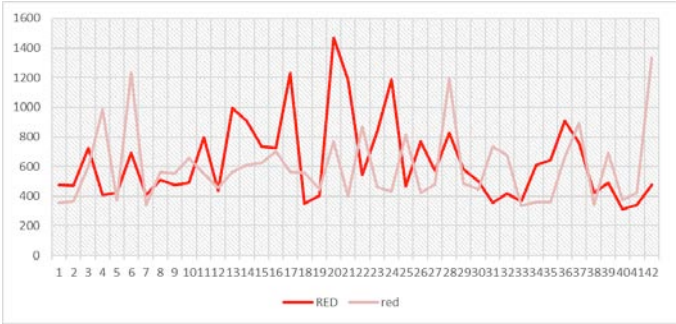


Figura 7 – Frequência Red da ápice e base do bulbilho.

Na Figura 8, os valores de frequência da cor verde, a linha que predomina os valores baixos mostra a análise do ápice do bulbilho e a linha de cor mais forte com 32 valores altos mostra a detecção com componente verde do padrão da base do bulbilho.

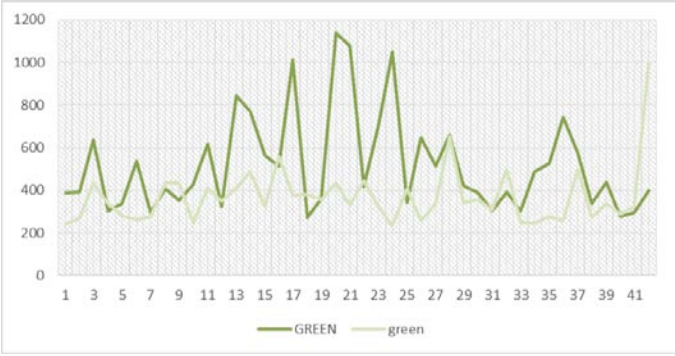


Figura 8 - Frequência green da ápice e base do bulbilho.

Na Figura 9, os valores de frequência da cor azul, com a linha clara indicando a detecção do ápice do bulbilho e a linha mais forte com 29 valores altos mostra a análise da base do bulbilho.

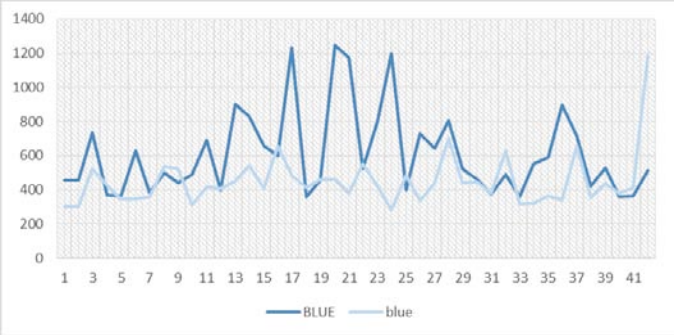


Figura 9 - Frequência blue da ápice e base do bulbilho.

O sensor diferencia a ápice e base do bulbilho pela área esbranquiçada da base, é detectada a partir da densidade da cor do alho, onde o TCS-230 retorna maior incidência de luz branca no alho, a forma do bulbilho também interfere na medição, quando o sensor ótico está visualizando a ápice, o efeito de reflexão da luz para as paredes pretas do reservatório de medição do bulbilho, isso também explica o valor do ápice ser menor que o valor da base.

4. Conclusiones

O resultado dos testes do algoritmo registra que atinge o 80% da base do bulbilho permitindo a saída do bulbilho com a base para baixo e 20% com o bulbilho incorreto base para cima.

Conclui-se que o sistema pode processar os componentes RGB com 87% de acertos na detecção da base com o componente Vermelho, 80% com o componente Verde 80% e 72,5% com a componente Azul. Assim pretendesse num outro momento, analisar só a componente vermelho para aumentar a velocidade de processamento.

Assim mesmo com o sensor TCS-230 se abre uma possiblidade económica de aumentar a eficiência no cultivo de alho considerando os baixos indicadores de produtividade das sementes.

O protótipo composto pelo sensor TCS-230, Micro servo motor, *Arduino ATmega2560* e o *software LabVIEW* compromete a precisão das peças, pois 40% das análises sofreram interferência de luz externa, ou muitos bulbilhos ficaram emperrados na saída do suporte do bulbilho. Apesar disso, o protótipo possibilitou o recolhimento dos dados e teste do algoritmo. O desafio foi garantir que todas as medições tivessem o mesmo comportamento do protótipo, para assim medir o que realmente importava.

O algoritmo desenvolvido para determinar a posição do bulbilho de alho, apesar de aumentar a percentagem de 47% para 85% de sementes corretas, se comportou de forma lenta. Conforme os testes o tempo de processamento de cada bulbilho foi de aproximadamente dez segundos, considerando sessenta sementes por metro quadrado e uma máquina com seis linhas, o plantio de um hectare de alho seria realizado em vinte sete dias.

Agradecimentos

Agradecimento ao grupo de pesquisa GPEAR-UnC, da Universidade do Contestado assim como à PRPPGE pelos cenários cedidos e ao programa de iniciação cientifico voluntario PIVIC. À universidade Militar Nueva Granada com o programa de Maestria em Engenharia Mecatrônica.

Bibliografía

Lucini, M. A. 2014. Cultura de Alho. Entrevista transcrita por Maria de Begonha Neves Leão. ANAPA, 2014.

http://docplayer.com.br/5117816-Marco-antonio-lucini-cultura-do-alho.html

Trenhago, R., Gottems, A., Roggia, C., Alves, Francis., Gimarães, A., Kofender, J. 2011. Avaliação do IVG no alho planta em diferentes formas no solo. *Anais do Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, Unicruz, 2011. p. 1 - 2. (Acesso em 10 de outurbro 2015)

http://www.unicruz.edu.br/seminario/artigos/agrarias/Avaliação do IVG no alho plantado em diferentes formas no solo.pdf

Morozini, J. F., Guth, S. C., Pinto, M. M., Theodoro, A. J., Olinquevitch J. L. 2005. A viabilidade econômica do plantio do alho. Em *Anais do IX Congresso Internacional de Custos*, 2005, Florianópolis**.** Blumenau: FURB, 2005. p. 1 - 13. (Acesso em 30 de novembro de 2016).

https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/1910/1910

Marouelli, W. A., Braga M. B., Lucini, M. A., Resende, F. V. 2015. Irrigação na Cultura do Alho. *Nosso Alho*. 34-57 (Acesso em 05 de maio de 2016)

https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1028465/1/Nossoalho222015.pdf

Automatic chickpea classification using computer vision techniques

Sajad Sabzi[1], Víctor Manuel García-Amicis[2], Yousef Abbaspour-Gilandeh[1], Ginés García-Mateos[2], José Miguel Molina-Martínez[3]

[1] Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, sajadsabzi2@gmail.com, abbaspour@uma.ac.ir

[2] Computer Science and Systems Department, University of Murcia, 30100 Murcia, Spain, victormanuel.garcia1@um.es, ginesgm@um.es

[3] Food Engineering and Agricultural Equipment Department, Technical University of Cartagena, 30203 Cartagena, Spain, josemiguel.molina.martinez@gmail.com

Abstract

In this research two different computer vision systems for chickpea classification are compared: the first method is based on feature extraction, while the second is based on color features. 1019 images corresponding to five different Iranian chickpea species were taken using an industrial camera DFK 23GM021, from a 10 cm fixed height above the samples level. Lighting was performed by white color LED lamps with an intensity of 327 lx. As a first approach, some predefined features were extracted from each object, 126 color-based and 80 texture features based on the gray level co-occurrence matrix (GLCM). After extracting these 206 features from each object, the most effective features were selected for the input of the classifier. Specifically, 6 effective features were selected: information measure of correlation related to neighborhood 135º angle, diagonal moment for 90º angle, sum variance for 0º angle, inverse difference moment normalized for 0º angle, mean and normalized mean of the second component in CMY color space. A hybrid of artificial neural network and particle swarm optimization (ANN-PSO) was used as a classifier. This method achieved a correct classification rate (CCR) of 97.0%. In the second approach, the stage of features extraction and selection was omitted. Thus, image patches (RGB pixel values) were directly used as input for a three layered backpropagation ANN. Prior segmentation was done to select significant chickpeas patches, dividing the images into smaller ones to focus on individual peas. Finally, the modal value of the predictions for the resulting sub-images was used to predict the class of the whole image. In this case, a CCR of 99.3% was achieved. These results prove that visual classification of fruit varieties in agriculture can be done in a very precise way using a suitable method, which is also generic and extendable to other types of crops.

Keywords: *Cicer arietinum*; automatic classification; computer vision in agriculture.

Clasificación automática de garbanzos mediante técnicas de visión artificial

Resumen

En este trabajo se comparan dos sistemas de visión artificial para la clasificación de garbanzos, uno basado en extracción de características y el otro en la utilización del color. Se tomaron 1019 imágenes con una cámara industrial DFK 23GM021, desde una altura fijada a 10 cm. de las muestras. La iluminación se realizó mediante lámparas LED de luz blanca con una intensidad de 327 lx. Para el primer método se extrajeron algunas características prefijadas de cada objeto, 126 de color y 80 de textura correspondientes a la matriz de co-ocurrencia del nivel de gris (GLCM). Tras extraer estas 206 características de cada objeto, las más efectivas fueron

seleccionadas para la entrada del clasificador. Se utilizaron 6 características efectivas: información de correlación para la vecindad de ángulo de 135º, momento diagonal para ángulo de 90º, varianza de la suma para ángulo de 0º, media y media normalizada del segundo componente en el espacio de color CMY. Como clasificador se utilizó un híbrido entre red neuronal artificial y optimización por enjambre de partículas (ANN-PSO). Este método obtuvo una tasa de clasificación correcta (CCR) del 97,0%. Para el segundo método se eliminó la etapa de extracción y selección de características del proceso de clasificación. Se utilizaron directamente los valores RGB de las imágenes como entrada para una red neuronal de tres capas con retropropagación. Se llevó a cabo una segmentación inicial para seleccionar partes significativas de garbanzos, dividiendo las imágenes en cuadrículas para focalizar garbanzos individuales. Finalmente, se utilizó la moda de las predicciones para las sub-imágenes resultantes para predecir la clase de la imagen completa. Este método obtuvo un CCR de 99,3%. Estos resultados demuestran que la clasificación visual de variedades de frutas en agricultura puede ser resuelta de forma muy precisa con un método adecuado, que además resulta genérico y extensible a otros tipos de cultivos.

Palabras clave: *Cicer arietinum*; clasificación automática; visión artificial en agricultura.

1. Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum*) is one of the most extended crops in the world, with 13.98 million hectares under its cultivation (594,489 in Iran, where data collection of this research took place), and 13.74 million tons (261,616 in Iran) as an approximate total amount of production. There are five popular species of chickpeas in Iran: Adel, Arman, Azad, Bevanij and Hashem. Each type has a price and special applications in food industry. A machine vision system for chickpea classification, as an alternative to the traditional manual methods, would be able to increase accuracy and speed in packing and processing systems. These systems use a classifier that is fed with features extracted from labeled data in order to learn the differences between distinct species or classes related to individual objects.

There are several methods for selecting and classifying features, based on statistical and artificial intelligence methods, getting the latter more plausible results than the former due to non-sensitivity to the type of data distribution. Therefore, two different artificial intelligence methods were selected for this study and results were compared afterwards. The first one is based on a hybrid of artificial neural networks (ANN) and particle swarm optimization (PSO). This method first extracts effective features from the data, by obtaining different color and texture information, in order to feed the classifier. The second one consists of a three-layered (input layer, hidden layer and output layer) artificial neural network, based on the feed-forward backpropagation algorithm (Rumelhart et al., 1986). In this case, there is not an explicit feature extraction phase, but image patches are directly introduced into the classifier. As color differences were observed between the chickpeas species analyzed in this study, this last method uses the RGB values of the image pixels for the neural network learning process.

2. Material and methods

2.1 Data collection

In this study, the five most common varieties of Iranian chickpeas, namely Adel, Arman, Azad, Bevanij and Hashem, were studied. The purpose of the research is to design a precise computer vision method to classify images of these five different varieties. The samples were obtained in Kermanshah, Iran (longitude 7.03ºE; latitude 4.22ºN). Figure 1 shows one sample from each variety. To train and test the computer vision algorithms, a total of 1019 images were taken by using an industrial camera DFK

23GM021 (CMOS, 120 fps) from a 10 cm fixed height above the samples. White LED lamps with an intensity of 327 lux were used for lighting. Table 1 shows the number of images for each variety.

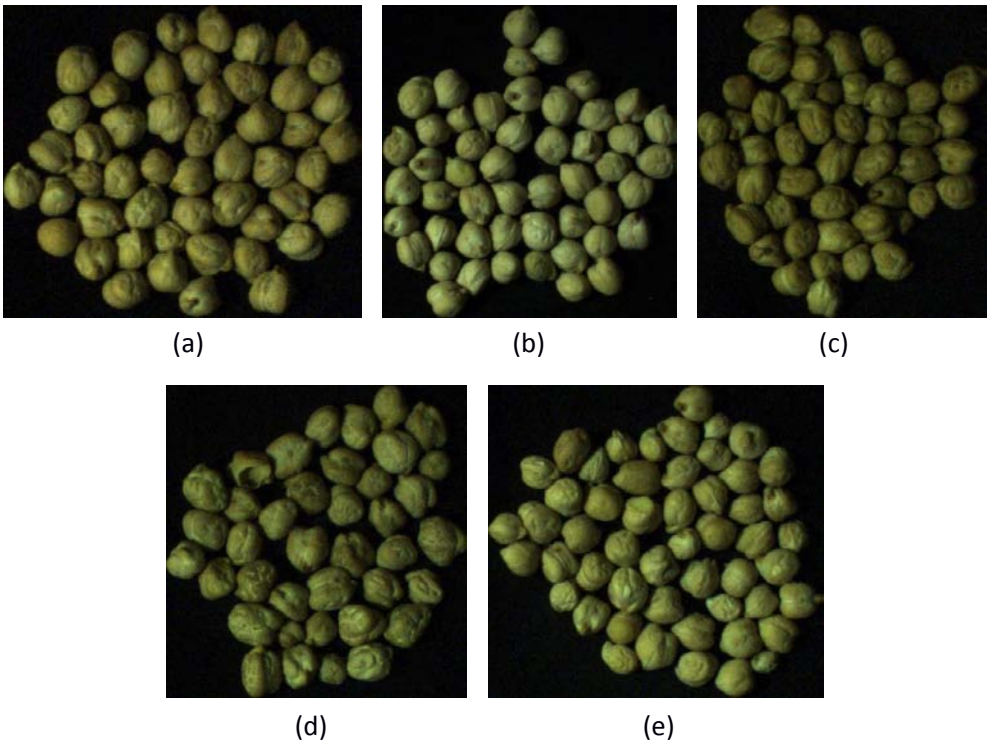


Figure 1. Sample images from each chickpea variety. (a) Adel. (b) Arman. (c) Azad. (d) Bevanij. (e) Hashem.

Table 1. Name of the chickpea varieties and number of samples.

# Class	Variety name	Number of samples
1	Adel	204
2	Arman	203
3	Azad	204
4	Bevanij	204
5	Hashem	204

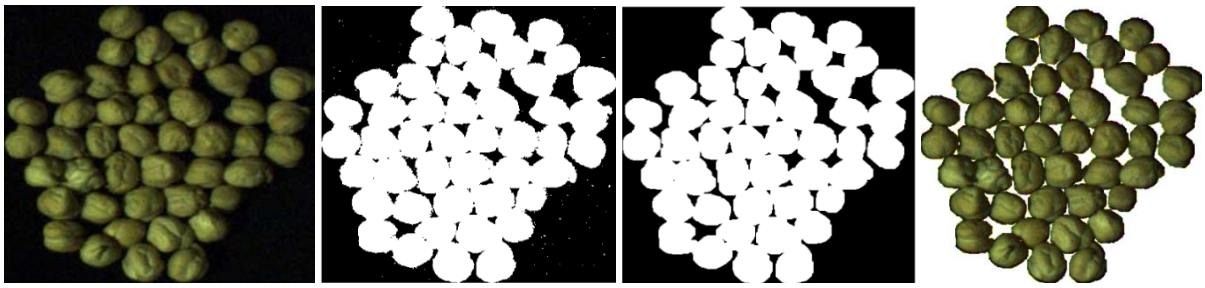
2.2 Feature-based method

2.2.1 Segmentation of the chickpeas

In order to segment the chickpeas with high accuracy, six color spaces were analyzed. These color spaces were CMY, YIQ, HSV, HSI, YCbCr and RGB. The experimental results indicated that YCbCr was the optimal color space for segmentation, as it produced less noise in the samples available. The results also showed that two channels, Y and Cb, were suitable for thresholding. Therefore, the following equation is applied to segment chickpeas:

$$Y \geq 20 \ \text{AND} \ \ Cb \leq 15 \qquad (1)$$

That is, one pixel with Y smaller than 20, or Cb larger than 15 is considered as a part of the background. Otherwise, the pixel is assumed to belong to the objects. In order to remove some noise pixels in the background, morphology operator open was used. Figure 2 shows all the stages of segmentation.



(a) (b) (c) (d)

Figure 2. Different stages of the segmentation process. (a) Input image. (b) Binary image after application of Equation (1). (c) Result of morphology operator open. (d) Resulting segmented image.

2.2.2 Feature extraction

In this study, two types of features were extracted, using color and texture based on the gray level co-occurrence matrix (GLCM).

- **Color features**. All features in this type are divided into two groups: (1) statistical features, and (2) vegetation indices. Statistical features consist of average and standard deviations of the 1st, 2nd and 3rd channels, and mean of the 1st, 2nd and 3rd channels of RGB, YCbCr, YIQ, CMY, HSV and HSI color spaces. Therefore, 2×4×6=48 features were extracted from this group. Table 2 shows the vegetation indices for the RGB color space. These features were also extracted from YCbCr, YIQ, CMY, HSV and HSI color spaces. Extracted features in this group were 14×6=84.
- **Texture features**. Table 3 shows 20 features that were extracted from four different angle neighborhoods, namely 0°, 45°, 90° and 135°, based on the gray level co-occurrence matrix (GLCM). Therefore, 80 features were extracted in this group.

2.2.3 Feature selection

From the 206 extracted features, the six most effective features were selected using the ANN-PSO method. These features correspond to: information measure of correlation for 135º angle, diagonal moment for 90º angle, sum variance for 0º angle, inverse difference moment normalized for 0º angle, mean of the 2nd component in CMY, and mean normalized of the 2nd component in CMY.

2.2.4 Classification of the features

From the 1019 available samples, 70% (713 samples) were used for training and validation, and the remaining 30% (306 samples) were used as the test set for the classifier. It is noticeable that samples were selected randomly. Hybrid ANN-PSO method was used for classifying (Kennedy, 2011).

Table 2. Color features related to vegetation indices.

Extracted features	Formula
Normalized 1st component of RGB	$R_n = R/(R+G+B)$
Normalized 2nd component of RGB	$G_n = G/(R+G+B)$
Normalized 3rd component of RGB	$B_n = B/(R+G+B)$
Gray channel	$gray = 0.289R_n + 0.587G_n + 0.114B_n$
Additional green (Woebbecke et al., 1995)	$EXG = 2G_n - R_n - B_n$
Additional red (Meyer et al., 1998)	$EXR = 1.4\,R_n - G_n$
Extracted vegetation cover (Kataoka et al., 2003)	$CIVE = 0.44R_n - 0.81G_n + 0.39B_n + 18.8$
Subtract of add. green and add. red (Meyer and Neto, 2008)	$EXGR = EXG - EXR$
Normalized difference index (Woebbecke et al., 1992)	$NDI = (G_n - B_n)/(G_n + B_n)$
Green index minus blue (Woebbecke et al., 1995)	$GB = (G_n - B_n)$
Red-blue contrast (Golzarian and Frick, 2011)	$RBI = (G_n - B_n)/(G_n + B_n)$
Green-red index (Golzarian and Frick, 2011)	$ERI = (R_n - G_n)(R_n - B_n)$
Additional green index (Golzarian and Frick, 2011)	$EGI = (G_n - R_n)(G_n - B_n)$
Additional blue index (Golzarian and Frick, 2011)	$EBI = (B_n - G_n)(B_n - R_n)$

Table 3. Texture features extracted from the gray level co-occurrence matrix, (Clausi, 2002).

Number	Features	Number	Features
1	Contrast	11	Inverse difference normalized (INN)
2	Sum of squares	12	Inverse difference moment normalized
3	Second diagonal moment	13	Diagonal moment
4	Mean	14	Sum average
5	Sum entropy	15	Variance
6	Difference variance	16	Sum variance
7	Difference entropy	17	Standard deviation
8	Information measure of correlation 1	18	Coefficient of variation
9	Information measure of correlation 2	19	Maximum probability
10	Inverse difference (INV) is homogeneity	20	Correlation

2.3 Featureless method

2.3.1 Segmentation of the image patches

In this method, images were treated as RGB-values matrices. A parameterized division factor was applied in order to divide the matrix into *n* sub-matrices, each one containing pieces of chickpeas or background.

To avoid the effect of the background which can be found between some chickpeas, and thus should be discarded from the final data set, a toleration percentage for the proportion of black color was applied alongside the division factor. If a given sub-matrix has more black pixels than the allowed percentage, the corresponding patch is discarded from the dataset.

For this purpose, RGB pixels are transformed into grayscale to estimate their grade of darkness. The gray level of a pixel was determined by the luminosity function shown in Table 2. In this case, the black threshold is set as shown in Equation (2) (using normalized values), and the boolean function to determine whether or not a pixel is considered as background is given in Equation (3):

$$blacklimit = 10/255 \quad (2)$$

$$isBlack = gray \leq blacklimit \quad (3)$$

A sample of some sub-images, or patches, used for the dataset after this alternative segmentation process, with a division factor of 10 and a black level tolerance of 60%, is shown in Figure 3. That is, a patch is considered valid if it contains less than 60% of backgorund pixels.

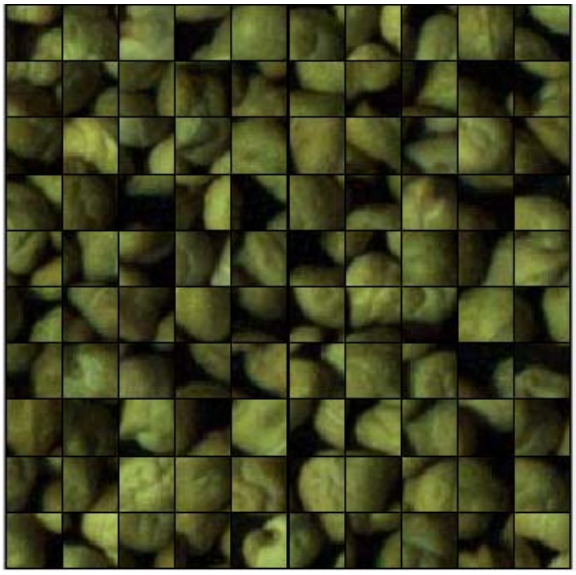


Figure 3. A random selection of 100 image patches with a division factor of 10.

2.3.2 Input of the classifier

For this method, the whole RGB color space was used as features to feed the neural network. This way, there is not an explicit extraction of features from the images. All the images from the dataset were transformed into pixel matrices. Each matrix value contains the corresponding [R, G, B] color vectors for the given pixels. After that, the 300x300 central pixels were taken to obtain a more focused vision of the chickpeas. Once the images were transformed into pixel matrices with the R, G, B values for each pixel, every matrix was divided into sub-matrices, or patches, as explained in the previous section.

The backpropagation ANN is fed with the values of the unrolled sub-matrices. That is, beginning from the $[R_1, G_1, B_1]$ pixel values corresponding to the first position of the sub-matrix, used to feed input units 1 to 3, to the last $[R_n, G_n, B_n]$ pixel values corresponding to the last position of the sub-matrix, used to feed input units (*n*-2) to *n*.

2.3.4 Classification of the patches

As in the first method, 70% of the samples were used for training and validation, and 30% were used for testing the classifier. This featureless approach applied the *fmincg* function[1] developed by C. E. Rasmussen, to minimize the cost function. *fmincg* minimizes a continuous multivariate function by taking the cost function, the starting point and the number of max iterations as parameters. Polak-Ribière-Polyak (PRP) conjugate gradient minimizer is applied by this function to compute search directions, as well as a combination of the Wolf-Powell stopping criteria and a cubic and quadratic polynomial approximated line search to guess the initial step sizes.

For this experiment, a total of 6000 iterations were chosen. The starting point passed to the function consists of a random initialization of the weights (Nguyen et al., 1990), which are defined by the Theta matrix. This random initialization is explained in Equations (4-5). The epsilon initial value, the weights

[1] See, for example, http://sun.stanford.edu/~couvidat/MachineLearning/mlclass-ex3/fmincg.m

matrix and the number of neurons in input and output layers are indicated as ε_{init}, W, L_{in} and L_{out}, respectively.

$$\varepsilon_{init} = \frac{\sqrt{6}}{\sqrt{L_{in} + L_{out}}} \quad (4)$$

$$W = (\text{rand}(L_{out}, 1 + L_{in}) * 2 * \varepsilon_{init}) - \varepsilon_{init} \quad (5)$$

Regarding the regularization parameter, a value of lambda of λ = 1.5 was applied. Thus, the values of the features were just slightly regularized.

Finally, as previously explained, the ANN is fed with the sub-images derived from the segmentation process. In order to classify whole images, each test image is divided in the same way and a prediction is made for every sub-image. If the mode of the predictions, i.e., the more repeated prediction value, is the same than the class associated to the image, the prediction is considered a classification success. Otherwise, it is considered a classification error.

3. Results and discussion

3.1 Classification results

The ANN-PSO classifier achieved a global accuracy, or Correct Classification Rate (CCR), of 98.04%, whereas the alternative featureless method with a backpropagation ANN achieved a CCR of 99.35%. The former produced a percentage of incorrect classification (ICR) of 5%, 1.52%, 0%, 1.87% and 3.22% for classes Adel, Arman, Azad, Bevanij and Hashem respectively, while the latter obtained 3.27%, 0%, 0%, 0% and 0%. These results are shown in Tables 4 and 5, which presents both confusion matrices.

Table 4. Classification results of the test set using the feature-based approach and ANN-PSO classifier.

Real class /obtained	1	2	3	4	5	All data	ICR (%)	CCR (%)
1	**57**	0	0	1	2	60	5.0	
2	1	**65**	0	0	0	66	1.52	
3	0	0	**71**	0	0	71	0.0	98.04
4	1	0	0	**52**	0	53	1.87	
5	0	0	1	0	**55**	56	3.22	

It is remarkable the fact that, in both methods, some samples from class 1 are incorrectly classified as classes 4 or 5. Although just a few samples are misclassified, those particular wrong classifications were observed during the tests to be persistent for both the training set and the test set, even with different values for the parameters.

Table 5. Classification results of the test set using the featureless approach and backpropagation ANN.

Real class /obtained	1	2	3	4	5	All data	ICR (%)	CCR (%)
1	**59**	0	0	1	1	61	3.27	
2	0	**61**	0	0	0	61	0	
3	0	0	**62**	0	0	62	0	99.35
4	0	0	0	**62**	0	62	0	
5	0	0	0	0	**61**	56	0	

In general, the results for both methods are excellent, even though the different chickpea varieties are very similar in color, size, shape and texture, as can be observed in Figure 1. The weights for the hidden layer for the second method can be reconstructed as images to display a representation of what the neural network is actually learning. This is shown in Figure 4. It indicates that the ANN is using color and texture information to classify the image patches. But instead of extracting explicit and predefined color and texture features, the ANN is learning the optimal way to extract that information in an automatic way. This could explain the slight superiority of the featureless approach.

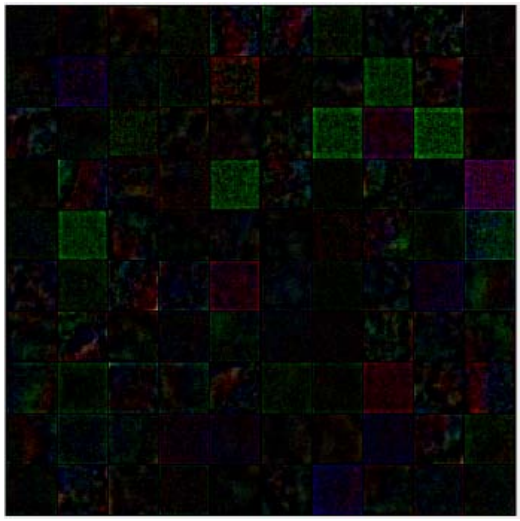


Figure 4. A random selection of 100 sub-images associated to the hidden layer.

3.2 Classifier assessment using sensitivity, specificity and accuracy

To obtain a greater detail of the results, sensitivity, accuracy and specificity of the predictions were measured for this experiment. Sensitivity indicates the precision of the classification for each class, that is, how many images from class *i* have been correctly classified. It is obtained by dividing the number of correctly classified samples by the total number of samples of its row. Specificity indicates the proportion of correctly classified images from all the images classified into class *i*. It is obtained by dividing the number of correctly classified samples by the total number of samples of its column. Finally, accuracy is obtained by counting all the sensitivity (rows) and specificity (columns) error for one class, dividing it by the total number of samples, and then taking the opposite percentage. The measures of sensitivity, accuracy and specificity for both methods are presented in Tables 6 and 7, respectively.

Table 6. Performance criteria related to the confusion matrix using the feature-based approach.

	(%) Sensitivity	(%) Accuracy	(%) Specificity
Adel	95.00	98.36	96.61
Arman	98.49	99.67	100
Azad	100	99.68	98.61
Bevanij	98.11	99.38	98.11
Hashem	98.21	99.01	96.49

The results for the backpropagation ANN were obtained with a hidden layer size of 100 units, a tolerated black percentage of 60%, a division factor of 10 (i.e. 100 30x30 sub-images from each 300x300 whole image) and 6000 iterations for the minimizing function. Other hidden layer sizes, from 50 to 200 units,

were also tested with worse results. Also, the division factor was chosen after higher and lower factors were tested, from 15 (i.e. 225 15x15 sub-images) to 6 (i.e. 36 50x50 sub-images)

Table 7. Performance criteria related to the confusion matrix using the featureless approach.

	(%) Sensitivity	(%) Accuracy	(%) Specificity
Adel	96.72	99.34	100
Arman	100	100	100
Azad	100	100	100
Bevanij	100	99.67	98.41
Hashem	100	99.67	98.38

The value chosen for lambda, $\lambda = 1.5$ (also $\lambda = 2$ with same results), turned to be the more fitted value for this particular problem in almost all the tests done. Other values of lambda, from $\lambda = 0.1$ (low regularization, the values of the features are highly taken into account by the theta weights to adjust the cost function), to $\lambda = 10$ (high regularization, the values of the features are highly minimized by the theta weights to adjust the cost function), were also tested for this problem with less accurate results.

4. Conclusions

In this paper, two different approaches have been compared for the problem of classifying chickpea varieties. The first method performs an explicit extraction of color and texture features, a selection of the optimal set of features, and classification using a hybrid of artificial neural networks and particle swarm optimization (ANN-PSO). The second approach avoids the explicit use of features by using color image patches directly as the input to a three-layered backpropagation artificial neural network. The results clearly prove that both methods are able to achieve a very high accuracy, defined by the Correct Classification Rate (CCR). A CCR of 98.04% and 99.35% were obtained by the ANN-PSO method and backpropagation ANN, respectively.

Comparing sensitivity, accuracy and specificity measures, as well as CCR, the latter method achieved the best results. Besides, it is more generic and could be applied to other fruit species, since it does not rely on predefined features. In any case, neither method got a significant number of misclassifications. The first method had 6/306 (1.9% ICR) misclassified test samples, whereas the second only had 2/307(0.65% ICR). As a few classification mistakes are tolerated in this kind of experiment, the results fulfilled the expectations. Therefore, both classifiers could be effectively used in the agriculture with high accuracy.

The division factor applied for segmentation turned to be of great importance in the featureless method. A well-chosen factor with the proper level of tolerated black percentage proved to have a significant impact in the final accuracy of the classifier.

Nonetheless, there are a few weaknesses associated to these methods. The feature-based method with hybrid ANN-PSO has a more accurate object/background segmentation process. However, its accuracy relies on statistical inferences based on a small group of features, which could be insufficient for less-controlled conditions. Regarding the featureless method with three-layered backpropagation ANN, it is fed exclusively by color pixels. While the available chickpeas can actually be distinguished by color, this method requires working with a data set where all the images have been taken on the same conditions in order to ensure color constancy. Some factors such as lighting color, white balance of the camera, brightness or other external conditions, could result in changes in the observed colors. In that case, grayscale images should be used.

Further studies could take these issues into account in order to make the predictive potential of the classifier independent of the conditions under which the images were obtained. Convolutional neural networks (CNN) and deep learning could be a recommended way to achieve this goal.

Acknowledgments

This work was partly supported by the Spanish MINECO, as well as European Commission FEDER funds, under grant TIN2015-66972-C5-3-R.

References

Clausi, D. A. 2002. An analysis of co-occurrence texture statistics as a function of grey level quantization. *Canadian Journal of remote sensing*, 28(1), 45-62.

Golzarian, M.R., Frick, R.A. 2011. Classification of images of wheat, ryegrass and brome grass species at early growth stages using principal component analysis. *Plant Meth* 7 (1), 7-28.

Kataoka, T., Kaneko, T., Okamoto, H., Hata, S. 2003. Crop growth estimation system using machine vision, IEEE/ASME Int. Conf. Adv. Intell. Mechatronics (AIM 2003), pp. 1079–1083.

Kennedy, J. 2011. Particle swarm optimization. In *Encyclopedia of machine learning*, pp. 760-766. Springer US.

Meyer, G.E., Neto, J.A.C. 2008. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Comp. Electron. Agricult* 63 (2), 282–293.

Nguyen, D., B. Widrow. 1990. Improving the Learning Speed of 2-Layer Neural Networks by Choosing Initial Values of the Adaptive Weights. *Neural Networks*, III: pp. 21-26.

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. 1988. Learning representations by back-propagating errors. *Cognitive modeling*, 5(3), 1.

Woebbecke, D., Meyer, G.E., Bargen, K.V., Mortensen, D.A. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Trans. ASAE* 38 (1), 259–269.

Woebbecke, D.M., Meyer, G.E., Bargen, K.V., Mortensen, D.A. 1992. Plant species identification, size, and enumeration using machine vision techniques on near-binary images. *Optics in Agriculture and Forestry* 1836, 208–219.

Correlación del vigor de la planta de colza y el estado nutritivo del suelo con imágenes obtenidas a través de teledetección

Isabel González-Barragán[1], Diego Merino[2], Rubén Rodrigo[3]

[1] INEA, Camino Viejo de Simancas, km 4,5, isabel@inea.uva.es

[2] SMART RURAL, Camino Viejo de Simancas, km 4,5, diego.merino@smartrural.net

[3] INEA, Camino Viejo de Simancas, km 4,5, ruben@inea.uva.es

Resumen

La agricultura de precisión se define como el "manejo de la variabilidad espacial y temporal a nivel de subparcela de campo, para mejorar el retorno económico y reducir el impacto ambiental". Para caracterizar esta variabilidad, se utilizan herramientas como los Sistemas de Posicionamiento Global (GNSS), sensores planta-clima-suelo e imágenes obtenidas a partir de satélites, aviones o RPAS. El objetivo último de la agricultura de precisión es la obtención de mayores rendimientos económicos, medioambientales y sociales, aumentando la competitividad a través de una mayor eficacia en las prácticas agrícolas.

Para aprovechar todas estas ventajas se ha dotado un DRON con los equipos necesarios para la adquisición de imágenes remotas. De esta forma se han obtenido mapas de la parcela con la clasificación de los diferentes estados de vigor en que se encuentra el cultivo en un momento determinado. Paralelamente se han recogido muestras de suelo y foliares en cada una de esas zonificaciones de diferente vigor.

Este proyecto en colaboración entre Smart Rural e INEA correlaciona estadísticamente imágenes y muestras de campo para desarrollar un modelo que permita establecer de manera cuantitativa el número de Unidades de Fertilizante que se deben aportar en cada zona, a partir de una imagen.

De esta manera, a través de un diagnóstico rápido y global de toda la parcela, el agricultor podrá aportar en cada zona la dosis de fertilizante que precisa su cultivo, que en raras ocasiones se desarrolla de forma homogénea en toda la parcela.

Palabras clave: Dron, NVDI, Termografía, GPS...

Correlation of rapeseed plant vigor and nutrient status of the soil with images obtained through remote sensing

Abstract

Precision agriculture is defined as the "management of spatial and temporal variability at the field subplot level, to improve economic returns and reduce environmental impact." To characterize this variability, tools such as Global Positioning Systems (GNSS), plant-climate-soil sensors and images obtained from satellites, airplanes or RPAS are used. The main goal of precision farming is to achieve higher economic, environmental and social returns as well as an increase in competitiveness through greater efficiency in agricultural practices.

To this end, a DRON has been equipped with the necessary tools for the acquisition of remote images. In this way, maps of the area are obtained with the classification of the different states of vigor in which the crop is at a given time. At the same time, soil and leaf samples have been collected in these areas of different vigor to be compared later with the DRON images.

Smart Rural and INEA collaborate in this project in which images and field samples are statistically correlated. The purpose is to develop a statistical model that establishes, just by looking at an image, the number of units of fertilizer that must be supplied to an area. It is difficult for a crop to develop homogeneously on a plot. Thus, it is intended that through rapid diagnosis of the plot, the farmer knows precisely in what areas must provide fertilizer and how much.

Keywords: DRON, NVDI, Termography, Reflectance, Precision agriculture.

1. Introducción

La optimización en el uso del agua y los productos fitosanitarios, son demandas que la sociedad viene imponiendo al sector agrícola. Al aumentar la concienciación medioambiental, crece la preocupación sobre las consecuencias ecológicas que tiene el uso masivo de pesticidas y abonos. Debido a estas demandas nace la agricultura de precisión, que intenta conocer en detalle el estado exacto del cultivo con el fin de optimizar los recursos, aplicando únicamente aquellos que necesita la planta de manera específica, en el lugar y en el momento idóneo para hacerlo.

En esta línea, este estudio pretende encontrar la relación existente entre índices multiespectrales y nutrientes en el suelo. El objetivo final es poder llegar a tomar decisiones específicas sobre el manejo, que reduzcan los recursos invertidos para su desarrollo y que además, mejoren la calidad del producto obtenido.

Teledetección

Actualmente los fertilizantes se aplican de manera homogénea por toda la superficie del cultivo y los sectores de riego están zonificados en grandes zonas sin atender a las características específicas de la planta.

A través de las técnicas de teledetección, se pretende extrapolar los datos puntuales que se obtengan en los análisis de laboratorio, con lo que conseguir analizar toda la superficie cultivada y no sólo de ciertas medidas concretas. Relacionar las medidas de campo puntuales con las imágenes permitiría tener resultados de toda la superficie, por lo que se recoge mejor la variabilidad del suelo de la parcela en cuanto a necesidades de fertilización, riego, pH, etc.

De esta manera podría generarse un fichero que pueda introducirse de manera directa en el tractor autoguiado, y así, aplicar el fertilizante o riego, únicamente, en el lugar donde se encuentran las zonas deficitarias. Esto supondrá un ahorro en costes y una mejora medioambiental muy importantes.

Estos dos últimos objetivos también supondrían una mejora general del sector agrícola. Por un lado se produciría una gran reducción en el uso del agua y los fertilizantes (reducción de costes y mejora ambiental). Por otro lado la implementación de esta tecnología redundaría en una renovación de la maquinaria (mejora de las condiciones laborales del agricultor), cuyos costes serían absorbidos por el ahorro que se produciría debido a la reducción en el uso de fitosanitarios.

Con estas metas se podrían desarrollar mapas de prescripción de nutrientes y necesidades hídricas que permitan aplicar la cantidad idónea de fertilizante y riego en cada zona.

El objetivo último al que se pretende llegar con este tipo de estudios es desarrollar modelos que permitan predecir de manera eficiente la concentración de ciertos nutrientes (N,P,K) en el suelo y las necesidades de riego, utilizando únicamente las imágenes obtenidas a través de vuelos UAV (vehículo aéreo no tripulado).

2. Materiales y Métodos

El estudio se realizó en una parcela de colza (en regadío) del municipio de Rueda (Valladolid).

Los datos y muestras fueron tomados en la fase de la formación de la roseta de la planta, en la que, según el grado de desarrollo, había plantas desde 1 hasta las 6-8 hojas verdaderas.

Sobre dicha parcela, se realizó un vuelo con dron equipado para tomar datos multiespectrales el día 20-12-2015, a las 15:00 horas. La plataforma de vuelo utilizada fue el eBee Ag de Sensefly, equipado con el sensor MultiSPEC (Green – 550 nm, Red – 660 nm, Red-Edge – 735 nm, NIR – 790 nm). Las imágenes se han procesado con el software Pix4D, obteniendo los mapas de reflectividad para las diferentes longitudes de onda, se ha calculado el índice NDVI (índice de vegetación de diferencia

normalizada: “NIR-Red/NIR+Red”). A partir de los valores de NDVI, se ha establecido una clasificación que posteriormente se utilizó para zonificar la parcela de recogida de muestras de suelo en campo. Se han establecido tres clases: bajo (MinNDVI + stdv), medio (mediaNDVI +(- stdv)) y alto (MáxNDVI – stdv)..

El día 22/12/2015 se tomaron muestras de suelo coincidiendo con las zonas clasificadas por el índice NDVI, es decir: se tomaron muestras en las tres clases separadas según el índice NDVI (bajo, medio y alto).

Extracción de los valores espectrales de las imágenes

Las imágenes se trataron a través de técnicas de análisis OBIA, agrupando píxeles en diferentes objetos homogéneos que representan mejor las diferentes texturas observables sobre las imágenes. Esta técnica actualmente está adquiriendo gran repercusión en el sector investigador debido a sus buenos resultados (Torres-Sánchez, 2015 y Peña-Barragán, 2015), su uso es especialmente interesante cuando se trabaja con imágenes de gran resolución espacial, ya que se dispone de un porcentaje mucho más reducido de “píxeles mixtos”, aquellos que tienen información de más de un tipo de cubierta del terreno. Al conservar mejor las propiedades de cada cubierta, se puede agrupar de manera muy precisa las diferentes zonas homogéneas (objetos) las cuales se corresponderían con los diferentes tipos de cubierta.

Se determinó la respuesta espectral y se decidió en qué puntos se realizarían los muestreos de campo. Con estos valores se buscan correlaciones entre la respuesta espectral y los diferentes componentes del cultivo (N, P, K,% humedad). Con todos estos datos se realiza un análisis de la varianza de las medidas para ver si existe influencia de unos parámetros en otros. La finalidad de todo esto es obtener modelos multivariantes predictivos que relacionen las diferentes variables “medidas” con el estado de vigor de la planta.

Análisis de suelo

Se tomaron muestras a 15 y 25 cm de profundidad, en diversos puntos de cada zona a estudiar de la parcela y se llevaron al laboratorio de análisis agrícolas de INEA en el que se analizaron parámetros químicos y físicos. Los métodos utilizados en el análisis son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Métodos utilizados en el análisis de suelo. (IAS: Instrucción de Análisis de Suelos).

Parámetros	Método
Limo (%)	D. Bouyoucos (IAS-02)
Arena (%)	D. Bouyoucos (IAS-02)
Arcilla (%)	D. Bouyoucos (IAS-02)
Textura	Clasificación USDA (IAS-02)
pH (1/2,5 suelo/agua a 25 ºC) (upH)	Potenciométrico (IAS-03)
Conductividad a 25ºC (1/5 en agua) (dS/m)	Conductimétrico (IAS-04)
Materia orgánica oxidable (%)	Oxidación con dicromato y volumetría (IAS-05)
Nitrógeno total (%)	Kjeldahl (IAS-06)
Relación C/N	Cálculo (IAS-05 y IAS-06)
Carbonatos totales (%)	Calcímetro de Bernard (IAS-07)
Caliza activa (%)	Calcímetro de Bernard (IAS-08)
Fósforo asimilable (M. Olsen) (mg/kg suelo)	Espectrofotometría UV/VIS (IAS-09)
Potasio extraído con AcNH4(mg/kg suelo)	Fotometría de llama (IAS-10)
Magnesio extraído con AcNH4 (mg/kg suelo)	Absorción atómica (IAS-10)
Calcio extraído con AcNH4 (mg/kg suelo)	Absorción atómica (IAS-10)
Sodio extraído con AcNH4 (mg/kg suelo)	Fotometría de llama (IAS-10)

El estudio realizado se apoya en un análisis estadístico descriptivo con mediciones porcentuales realizando una interpretación de análisis de suelos con parámetros estándares establecidos, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, salinidad, pH, textura, materia orgánica, etc.

Plataforma de vuelo - Dron Agrícola eBee Ag

El eBee Ag es un dron de ala fija diseñado por el grupo Sensefly. Sus principales ventajas son:

-Larga duración de sus baterías, permite cartografiar grandes superficies en poco tiempo.

-Poco peso que le permite realizar vuelos hasta el máximo alcance de su enlace de radio.

-Posibilidad de instalar diferentes sensores en el dron.

-Realización de vuelos bajos en condiciones meteorológicas adversas.

-Gran versatilidad a la hora de planificar y realizar los vuelos. Buen software de control de la aeronave durante el vuelo.

-Gran soporte técnico y de dudas, que constantemente hace actualizaciones sobre el firmware y software de vuelo.

Autonomía de vuelo	45 minutos
Velocidad de crucero nominal	40 – 90 km/h
Alcance de conexión de radio	Hasta 3 km
Resistencia al viento	Hasta 45 km/h
Tamaño de píxel (GSD)	Hasta 2 cm/píxel
Precisión relativa del orto mosaico	1 – 3 x GSD
Precisión absoluta (con GCP)	Hasta 4/7 cm
Precisión absoluta (sin GCP)	1 – 5 m
Planificación de vuelo 3D	Automática
Precisión de aterrizaje lineal	

Figura 1: Especificaciones técnicas eBee Ag

Sensor. Cámara Multiespectral – MultiSPEC 4C.

Es una cámara Multiespectral que capta imágenes en 4 bandas: Green, Red, Red-Edge y NIR.

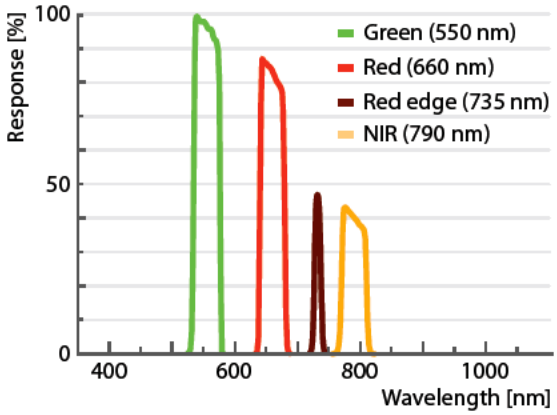


Figura 2: Bandas Green, Red, Red-Edge y NIR.

Gracias al sensor de irradiación y a la calibración pre vuelo, el sensor obtiene directamente valores de reflectancia con o medidas en diferentes bandas del espectro visible. Esto implica que se puedan

tomar datos durante todo el día y no únicamente en las horas centrales. También permite realizar la toma de datos en días con presencia de diferentes niveles de radiación (p. ej: nubes y claros).

Planificación de los vuelos

Se introdujo la zonificación en el software de gestión de vuelo eMotion 2. Se seleccionó la resolución espacial y el solape con el cual había que volar.

Índices vegetativos

Todos los cultivos tienen un rango característico de absorbancia y reflectancia, pero son cambiantes, es decir, que diferentes condiciones del cultivo (humedad, estado fenológico y salud del cultivo) producirán cambios en la lectura multiespectral. Es por este motivo, que se utilizan diferentes índices que permiten atribuir a las lecturas multiespectrales una determinada característica (estrés hídrico, rendimiento…).

La combinación de las diferentes bandas permite obtener índices que faciliten la interpretación de las imágenes multiespectrales, para conseguir atribuir características específicas del cultivo a las distintas lecturas.

Índice NDVI.

El índice NDVI permite identificar la presencia del material vegetal respecto al suelo y caracterizar su distribución espacial, así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Este índice también minimiza los efectos de la topografía, pero no es capaz de minimizar los efectos producidos por la atmósfera (en las imágenes dron este efecto se descarta, ya que la toma de datos se produce a una altura mucho más baja en comparación con las imágenes satelitales).

Basándose en la diferencia de reflectancias que la vegetación verde muestra en espectro visible (20%) y en el infrarrojo cercano (60%), el cálculo del Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada maximiza estas diferencias. El intervalo de valores obtenidos del NDVI, varía entre (–1) y (1). De ellos, sólo los valores positivos corresponden a zonas de vegetación. Valores negativos y cercanos a 0 (hasta 0,2-0,3) indican terreno y otros objetos

La interpretación del NDVI debe considerar asimismo los ciclos fenológicos y de desarrollo anuales, para distinguir, las oscilaciones naturales de la vegetación de los cambios en la distribución espacial causados por otros factores.

Ecuación (1).

$$\text{NDVI} = \frac{\left(NIR - RED\right)}{\left(NIR + RED\right)}$$

3. Resultados y Discusión

3.1. NDVI

Una vez procesadas las imágenes y calculado el índice NDVI con las bandas NIR y RED, se traducen los resultados a mapas como el que se muestra en la figura 3, perfectamente georeferenciados, sobre los que puede observarse, a través de los diferentes colores, el vigor de la vegetación de la parcela. Sobre el mapa mostrado en la figura 3, se han marcado los puntos de estudio según las tres clases establecidas: bajo (MinNDVI + stdv), medio (mediaNDVI +- stdv) y alto (MáxNDVI – stdv).

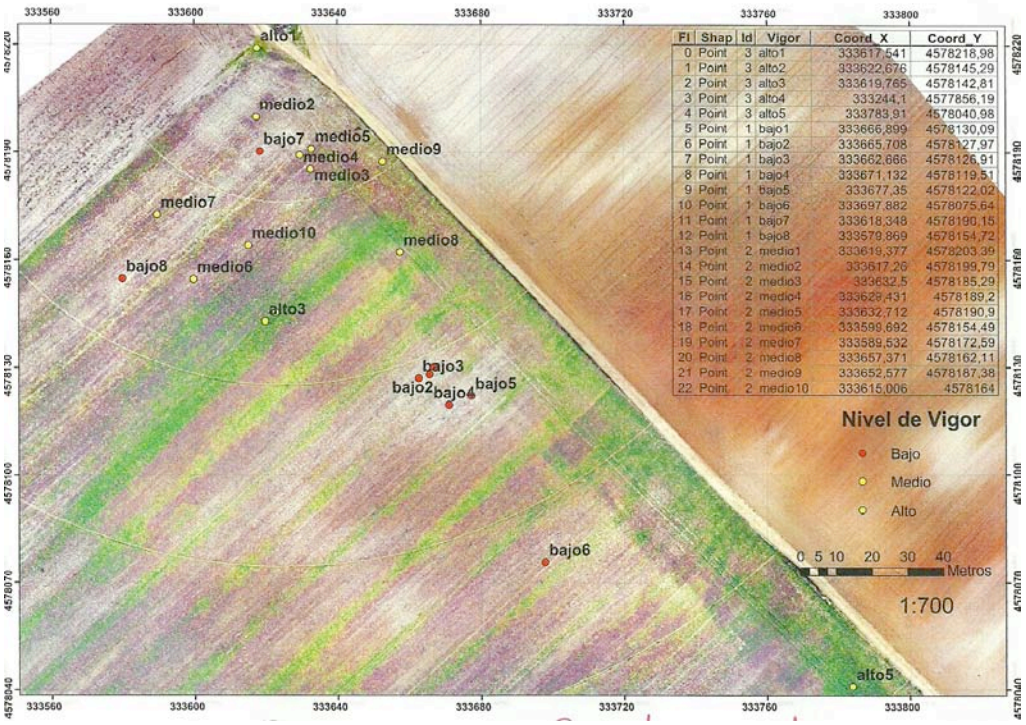


Figura 3: Mapa del vigor en la parcela (índice NDVI).

Tabla 2. Datos de los puntos marcados en el mapa de la figura 3.

Vigor (Clase)	Coord_X	Coord_Y	Valor NDVI
alto1	333.617,54	4.578.218,98	0,899
alto2	333.622,68	4.578.145,29	0,877
alto3	333.619,77	4.578.142,81	0,901
alto4	333.244,10	4.577.856,19	0,901
alto5	333.783,91	4.578.040,98	0,900
bajo1	333.666,90	4.578.130,09	0,392
bajo2	333.665,71	4.578.127,97	0,415
bajo3	333.662,67	4.578.126,91	0,404
bajo4	333.671,13	4.578.119,51	0,397
bajo5	333.677,35	4.578.122,02	0,389
bajo6	333.697,88	4.578.075,64	0,397
bajo7	333.618,35	4.578.190,15	0,392
bajo8	333.579,87	4.578.154,72	0,365
medio1	333.619,38	4.578.203,39	0,607
medio2	333.617,26	4.578.199,79	0,631
medio3	333.632,50	4.578.185,29	0,660
medio4	333.629,43	4.578.189,20	0,617
medio5	333.632,71	4.578.190,90	0,711
medio6	333.599,69	4.578.154,49	0,653
medio7	333.589,53	4.578.172,59	0,673
medio8	333.657,37	4.578.162,11	0,635
medio9	333.652,58	4.578.187,38	0,709
medio10	333.615,01	4.578.164,00	0,692

3.2. Análisis de suelo

Se estudiaron estadísticamente los resultados de los análisis de suelo, buscando las diferencias entre las tres clases de cada uno de los elementos estudiados. Se observó, que de entre todos los parámetros estudiados, las concentraciones de N, Mg, Ca y Na en suelo proporcionaban aproximadamente la misma separación de medias que los índices NDVI (a mayor concentración en el suelo de estos elementos, mayor nivel de índice NDVI), siendo la separación de medias del N exactamente igual que la del NDVI.

Por ello, de entre todos los parámetros, este estudio se centró en el nitrógeno. Además, este es un elemento clave a la hora de poder manejar la fertilización para aumentar el vigor del cultivo.

Tabla 3. Separación de medias de los niveles de nitrógeno en suelo.

Separación de medias	Nitrógeno	Clases NDVI
a	0,067	Alto
b	0,034	Medio
c	0,029	Bajo

Las distintas letras en la separación de medias quiere decir que los parámetros son significativamente diferentes para un valor de significación de $\alpha = 0,05$

3.3 Correlación del Vigor de la planta de colza y el contenido de Nitrógeno del suelo

En la figura 4 se observa claramente que existe una relación directa entre los valores altos y bajos del índice NDVI con los valores de N en suelo. Esto, además, facilitará la creación de un algoritmo que relacione dicho índice con el contenido de Nitrógeno en suelo.

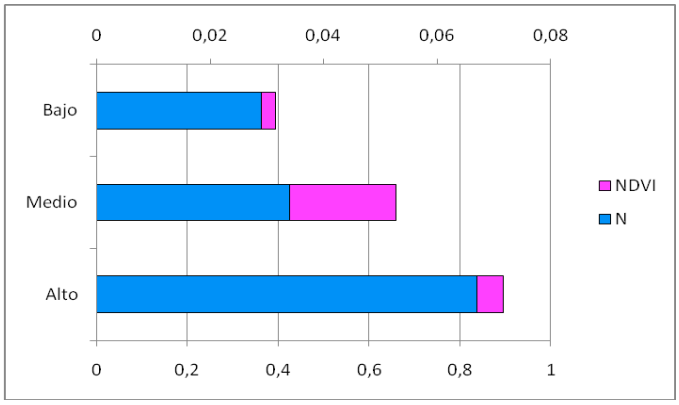


Figura 4: correlación del NDVI con el contenido de N en suelo..

Dicha relación parece ser del tipo que muestra la Ecuación (2):

$$NDVI \times K = \left[N\right] \quad (2)$$

En dicha ecuación la constante K es la misma tanto para las clases de índice NDVI alto como para las de NDVI bajo.

No obstante, esa relación no se observa en la clase de valores NDVI medios. Esto es normal, ya que para hacer ese grupo se cogió el rango de dos desviaciones estándar, mientras que en el alto y en el

bajo sólo una. Ese mayor rango de variabilidad para las zonas de valor medio de NDVI produciría mayores errores.

4. Conclusiones

Según los resultados obtenidos, se ha encontrado una relación directa entre las medidas tomadas mediante dron sobre un cultivo de colza y el contenido de nitrógeno del suelo de esa parcela.

Gracias a este resultado, podría calcularse el contenido de nitrógeno de ese suelo con un vuelo de dron. La gran ventaja no se queda ahí, sino que con esta nueva tecnología podría calcularse el contenido de nitrógeno en cada punto de la parcela y gracias a esto, poder tratar cada zona con la dosis necesaria, en lugar de utilizar una dosis generalizada para toda la parcela.

Los mapas de abonado que podrían generarse, estarían georeferenciados y por tanto la aplicación geolocalizada sería posible.

No obstante, es necesario contrastar este resultado en otros estudios de diferentes cultivos, en distintas parcelas y diversos estados fenológicos, por lo que este equipo seguirá investigando en esta línea. Un resultado de esta importancia debe de estar convenientemente validado.

Consideramos este estudio como una primera aproximación a la consecución del objetivo general perseguido: desarrollar modelos que permitan predecir de manera eficiente la concentración de nutrientes en el suelo y las necesidades de riego, mediante dron.

Nueva metodología para determinar el coeficiente de difusión y el coeficiente convectivo en el secado de alimentos

F. Javier Arranz[1], Tatiana Jiménez-Ariza[2], Belén Diezma[3], Eva C. Correa[4]

[1] Grupo de Sistemas Complejos, Departamento de Ingeniería Agroforestal, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, fj.arranz@upm.es

[2] Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad San Buenaventura, Carrera 8H # 172 - 20 Bogotá, Colombia, tatianajim@gmail.com

[3] Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación, LPF_TAGRALIA, Departamento de Ingeniería Agroforestal, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, belen.diezma@upm.es

[4] Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación, LPF_TAGRALIA, Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, evacristina.correa@upm.es

Resumen

En la actualidad, es usual determinar el coeficiente de difusión y el coeficiente convectivo de transferencia de masa recurriendo a relaciones aproximadas que emplean números adimensionales. Estas relaciones aproximadas se desarrollaron en el pasado, con el fin de evitar las dificultades asociadas con la expansión de series y el cálculo de sus correspondientes coeficientes de expansión a partir de ecuaciones trascendentales. Sin embargo, el desarrollo de computadoras ha eliminado estas dificultades, por lo que actualmente estos cálculos pueden realizarse fácilmente. En esta contribución proponemos una metodología iterativa que aprovecha las capacidades computacionales actuales, haciendo uso de soluciones analíticas en forma de expansión en serie, y evitando así utilizar las relaciones aproximadas clásicas para el cálculo de ambos coeficientes.

El nuevo enfoque metodológico ha sido aplicado a datos experimentales de secado de láminas de zanahoria a diferentes temperaturas, describiéndose como debe ser el procedimiento experimental para obtener datos de secado bajo las mismas condiciones bajo las cuales se obtiene la solución analítica de la ecuación de difusión (ley de Fick) en forma de expansión en serie. El objetivo de este trabajo es establecer un protocolo riguroso para el procedimiento experimental de secado, empleando una báscula de humedad de uso habitual en laboratorio adaptada para cumplir dichas condiciones.

La aplicación de esta nueva metodología iterativa junto con el protocolo de secado que se describe, permiten obtener valores de los dos coeficientes dentro del rango de los publicados en la bibliografía, tanto más cercanos a los valores reales como las condiciones experimentales lo son a las condiciones bajo las cuales se obtiene la solución de la ecuación de difusión.

Palabras clave: número de Biot, número de Fourier, metodología numérica iterativa, zanahoria

New methodology to determine the diffusion and the convective transfer coefficients in the drying of foods

Abstract

At the present time, it is usual in determining diffusion and convective transfer coefficients resort to classical approximate relationships involving dimensionless numbers. These approximate relationships were developed in the past, in order to avoid the difficulties associated with calculations of large series expansions and its corresponding expansion coefficients given by transcendental equations. However, the

development of computers has removed these difficulties, so that currently such calculations can be easily performed.

In this paper, we propose an iterative methodology that takes advantage of current computational capabilities, avoiding using approximate relationships. On the other hand, we present a drying protocol matching experimental conditions and theoretical conditions of analytical solution in order to obtain correct coefficients values. This proposed methodology was applied to experimental data from carrot drying at different temperatures, showing an adequate behaviour and giving reasonable results.

Keywords: mass Biot number, mass Fourier number, iterative numerical methodology, carrot.

1. Introducción

Para el desarrollo de modelos que describen procesos complejos en sistemas alimentarios y aplicables bajo una amplia variabilidad de condiciones externas, la determinación correcta y precisa de los parámetros físicos implicados en dichos procesos es un aspecto fundamental. En la ingeniería alimentaria son especialmente importantes los procesos de transferencia de masa y energía que están caracterizados principalmente por el coeficiente de difusividad y el coeficiente de transferencia por convección. El procedimiento más habitual que se utiliza para obtener los valores experimentales de esos coeficientes es por ajuste de la solución analítica de la ecuación de difusión a los datos obtenidos experimentalmente. A pesar de la importancia que, para una estimación experimental correcta de dichos coeficientes, tiene el hecho de que las condiciones experimentales bajo las cuales se obtienen los datos coincidan con las condiciones teóricas para la correcta aplicación de la solución analítica, éstas no siempre se cumplen.

En el caso concreto del secado de alimentos se asume que, para una muestra en forma de lámina, el proceso de secado se puede describir adecuadamente mediante la ecuación de difusión unidimensional para lámina infinita (Ley de Fick), cuyas condiciones de aplicación para la correcta estimación del coeficiente de difusividad y el coeficiente de transferencia de masa por convección requieren que: 1) la temperatura de la muestra se mantenga uniforme en todo su volumen, la presencia de gradientes de temperatura es una fuente de errores en la estimación de los coeficientes (Chirife 1983); 2) el volumen de la muestra sea constante por lo que habrá que tomar medidas correctoras a la hora de adquirir los datos experimentales; 3) la humedad relativa del aire circundante ha de mantenerse invariable para asegurar que el valor asintótico de humedad de la muestra (esto es, su humedad a tiempo infinito) sea constante.

Por otro lado, en el ajuste de la correspondiente solución analítica para obtener el coeficiente de difusión y el coeficiente convectivo de transferencia de masa, se consideran también algunas aproximaciones como: 1) tomar sólo el primer término de la serie de expansión infinita de la solución analítica, que es una aproximación muy precisa para tiempos de proceso suficientemente largos; 2) realizar un ajuste lineal sencillo a los datos experimentales debido a la forma logarítmica en la que se expresa el primer término de la serie; 3) el empleo de la metodología de análisis dimensional basada en el desarrollo de números adimensionales sencillos, frente a la resolución de ecuaciones transcendentales para la estimación final de los coeficientes, metodología de análisis dimensional que muchos autores siguen aplicando en la actualidad (Tripathy and Kumar 2009; Guine, Cruz et al. 2014).

Por ello, el objetivo de este trabajo es la definición de un protocolo riguroso del procedimiento experimental de secado en laboratorio para cumplir con las condiciones de aplicación de la solución analítica de la ley de Fick para la estimación del coeficiente de difusividad y coeficiente de transferencia de masa y su verificación mediante datos experimentales de secado de zanahoria.

2. Materiales y Metodología

2.1. Modelo matemático y metodología numérica iterativa

Como es bien conocido, la solución de la ecuación de difusión unidimensional para una lámina infinita puede expresarse en términos de magnitudes adimensionales (Luikov 1968; Crank 1979), de forma que la expansión de la serie se expresa mediante la siguiente ecuación

$$\overline{\Phi}(Fo) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Bi^2}{\mu_n^2 (Bi^2 + Bi + \mu_n^2)} \exp\left(-\mu_n^2 \cdot Fo\right), \tag{1}$$

donde $\Phi = [\overline{M}\,(t) - M_{eq}]/(M_0 - M_{eq})$ es la humedad adimensional, $Fo = Dt/l^2$ *el* número de Fourier que hace el papel de variable dinámica o tiempo adimensional. Se define además el denominado número de Biot $Bi = hl/D$ el cual determina la predominancia relativa del proceso de difusión $(Bi \to 0)$ o la del proceso de transferencia convectiva $(Bi \to \infty)$. Obsérvese que el número de Biot está implícitamente incluido en las raíces μ_n que ahora quedan definidas por la ecuación

$$\mu_n \tan\mu_n = Bi, \qquad \text{donde para } 0 < Bi < \infty \rightarrow (n-1)\pi < \mu_n < (2n-1)\,\pi/2. \tag{2}$$

Siendo además, D el coeficiente de difusividad, h el coeficiente de transferencia de masa convectivo, l el semiespesor de la lámina infinita, $\overline{M}\,(t)$ la humedad promedio de la muestra determinada experimentalmente, M_{eq} la humedad de equilibrio y M_0 la humedad inicial de la muestra.

Es importante recordar que para calcular la humedad adimensional Φ a partir de los datos de secado de las muestras de zanahoria, solo se necesitan los valores de los pesos y no los valores de humedad de la muestra puesto que se cumple que

$$(\overline{M}_i - M_{eq})/(M_0 - M_{eq}) = (w_i - w_{eq})/(w_0 - w_{eq}) \tag{3}$$

donde w_0 es el peso inicial de la muestra a t_0=0, w_i es el peso de la muestra en cada instante de tiempo t_i (i=1,2,….), y w_{eq} es el peso de la muestra en el equilibrio.

Para obtener el coeficiente de difusión y el coeficiente convectivo de transferencia de masa con elevada precisión a partir de los datos experimentales de secado, será necesario tomar un número elevado de términos N en la expansión de la serie Φ_N $(Fo;Bi)$. Para ello, se necesitará calcular las corespondientes N primeras raices de la ecuación trancendental (10) también con elevada precisión. En este trabajo, se ha utilizado el algoritmo de Forsythe (Forsythe, Malcolm et al. 1977) implementándolo en la función ***fzero*** de Matlab(R), lo que ha permitido calcular eficientemente dichas raices a pesar de la existencia de inegualdades.

El procedimiento iterativo para el ajuste directo de los coeficientes D y h se realiza tal y como ha sido descrito previamente por Arranz et al (Arranz, Correa et al. 2011) y aplicado con éxito sobre datos experimentales simulados. Este procedimiento básicamente consiste en establecer una comparación entre la solución exacta para N términos de la serie de expansión Φ_N y la solución aproximada al primer término de la serie Φ_1 y su ajuste a una recta $y=a+bt$ según la siguiente ecuación

$$\log\overline{\Phi} \approx \log\left(\frac{2\sin^2\mu_1}{\mu_1\,(\mu_1 + \sin\mu_1\cos\mu_1)}\right) - \frac{\mu_1^2 D}{l^2}t, \qquad \text{donde } a = \log\left(\frac{2\sin^2\mu_1}{\mu_1\,(\mu_1 + \sin\mu_1\cos\mu_1)}\right);\quad \log\frac{8}{\pi^2} < a < 0, \quad y \tag{4}$$

$$b = \frac{\mu_1^2 D}{l^2} t; \qquad b < 0 .$$

2.2. Protocolo experimental

Las muestras de zanahoria se obtuvieron a partir de zanahorias enteras (*Daucus carota* L. cv Nantes) adquiridas en un mercado local. Posteriormente fueron lavadas, peladas y cortadas a lo largo manualmente utilizando una laminadora de cocina (Cooking, CASA International nv, Itegem, Antwerpen, BE) que permitía asegurar un espesor constante de las láminas de zanahoria. Las láminas se obtuvieron de la parte central de las zanahorias (tejido del corazón más cortex) y se recortaron para adquirir una forma rectangular. Las dimensiones de cada lámina se midieron empleando un calibre digital (DigitCal 190 R Classic 05.30035, Swiss Instruments Ltd., 191 Mississauga, Ontario, CA). Es importante destacar que para aplicar la solución analítica unidimensional de la ley de Fick a un lámina infinita el espesor deber ser un orden de magnitud inferior a las otras dos dimensiones de la lámina (ver Tabla 1).

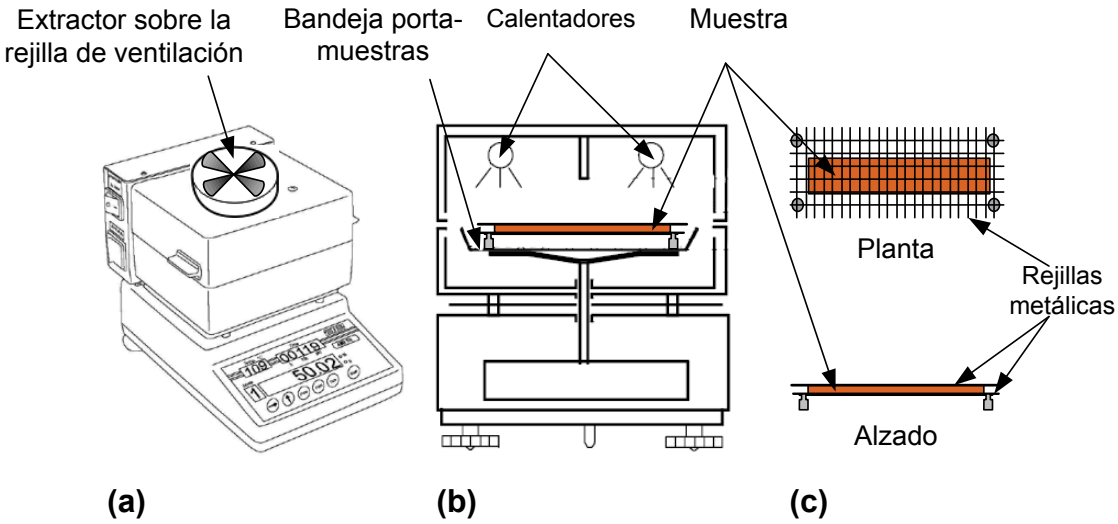


Figura 1. (a) aspecto general de la balanza de humedad con el ventilador extractor montado. (b) sección transversal de la balanza mostrando la posición de la muestra de zanahoria elevada sobre cuatro patas sobre la bandeja portamuestras. (c) Detalle de la lámina de zanahoria colocada entre dos rejillas metálicas.

El protocolo establecido de secado de las muestras de zanahorias se inicia antes de proceder al secado propiamente dicho de las láminas de producto. El proceso completo se puede descomponer en las siguientes etapas:

A) previamente al secado, las zanahorias se calentaron en un horno microondas (PTMW 700, Electrodomésticos Taurus S.L., Oliana, Lleida, ES) con el objetivo de conseguir una temperatura uniforme y próxima a la del secado en la totalidad de la muestra al iniciar el proceso. Esta condición es necesaria para poder asumir que el coeficiente de difusión se mantiene contante a lo largo del proceso de secado. Para evitar que en esta fase se pueda iniciar el proceso de deshidratación debido al calentamiento de la muestra en el horno microondas, junto a la lámina se colocaba un pequeño recipiente con agua. Después del calentamiento, la temperatura de la muestra fue medida empleando un termopar tipo T (HH2001TC, Omega Engineering Inc., Stamford, Connecticut, US).

B) Una vez precalentada, la muestra se coloca entre dos rejillas metálicas con el objeto de mantener en la medida de lo posible la forma de la lámina de zanahoria, disminuyendo la interferencia que puede ocasionar en el cumplimiento de las condiciones del modelo de difusión el fenómeno de contracción.

C) La muestra se colocaba sobre la bandeja portamuestras de una balanza de humedad programable, pero no directamente sino ligeramente elevada apoyada sobre cuatro patas (Figura 1), para conseguir condiciones externas simétricas (es decir, las mismas condiciones del aire en la cara superior e inferior de la lámina de zanahoria) para asegurar condiciones homogéneas durante el proceso de secado de la muestra. Dichas condiciones de temperatura y humedad relativa del aire se supervisaron colocando un pequeño registrador electrónico dotado de sensor de temperatura y humedad relativa (iButton® Hygrochron™ DS1923, Maxim Integrated Products Inc., San José, California, US).

D) La balanza de humedad (Figura 1) se cierra y se programan la temperatura de secado y el tiempo de adquisición de los datos de peso de la muestra a lo largo del proceso de secado. El modelo de balanza de humedad empleada en este experimento fue la (AMB 300 moisture balance, Inscale Measurement Technology Ltd., Bexhill, East Sussex, UK), dotada de dos calentadores-lámparas halógenas. Se programaron cuatro secados isotérmicos a las temperaturas de 40, 55, 64, 72 ºC para establecer la dependencia entre los coeficientes de difusividad y transferencia de masa por convencción con la temperatura, las pesadas se registraron en todos los casos cada 20 s. La báscula dispone de un conector RS-232 para PC, que permitía el registro automático de datos a través de la comunicación Hiperterminal del ordenador. El proceso de secado finalizaba automáticamente cuando no se registraban variaciones en 10 pesadas consecutivas realizadas por la balanza.

Para evitar el incremento de la humedad relativa del aire entorno a la muestra, es necesario instalar como elemento adicional un ventilador-extractor (everflow F128025BU, SilverStone Technology Co. Ltd., New Taipei, Zhonghe, TW) sobre la rejilla de ventilación situada en la parte superior de la balanza de humedad. La velocidad del aire en el extractor fue medida usando un manómetro de precisión multifunción con tubo de Prandt (DC^{100}pro, Wohler Messgerate Kehrgerate GmbH, Bad Wunnenberg, Paderborn, DE). La instalación de este ventilador es necesaria para asegurar por un lado, que la velocidad del aire se mantiene constante durante el proceso de secado condición necesaria para asumir que el coeficiente de transferencia de calor por convección que se desea estimar se mantiene constante a lo largo del proceso, y por otro que la humedad relativa del aire alrededor de la muestra se mantiene constante, condición imprescindible para poder considerar la M_{eq} constante.

E) Por último, una vez finalizado el proceso de secado en la balanza de humedad, la muestra se llevaba a deshidratación completa en horno (Conterm Poupinel, JP SELECTA S.A., Abrera, Barcelona, ES) a 105ºC hasta peso constante. El peso de la muestra desecada se determinó empleando una balanza de precisión (ADP 720/L, Adam Equipment Co. Ltd., Kingston, Milton Keynes, 221 UK).

3. Resultados y Discusión

A partir de los datos experimentales y mediante la aplicación del proceso iterativo de resolución de ecuaciones trascendentales descrito por Arranz et al (Arranz, Correa et al. 2011), la Figura 2 presenta el resultado de dicho procedimiento para obtener el coeficiente de difusividad y convectivo de transferencia de masa a partir del secado de láminas de zanahoria tal y como se resume en la Tabla 1. La Figura 2 muestra, en su parte superior para las cuatro temperaturas de secado, el logaritmo de la humedad adimensional $\bar{\phi}$ frente al número de Fourier Fo para los datos experimentales (círculos huecos), la línea recta obtenida del ajuste a la aproximación al

primer término de la serie $\overline{\phi}_1$ (Fo_i, Bi_i) (línea gruesa), la curva exacta del proceso de secado correspondiente a un ajuste de alta precisión tomando un número N de términos de la serie $\overline{\phi}_N$ (Fo_i, Bi_i) (línea fina) y el ajuste de los datos experimentales a la curva exacta de secado (círculos rellenos). Los gráficos de (a) a (d) están representando el resultado del ajuste final iterativo una vez alcanzada la convergencia (círculos huecos engloban círculos rellenos), cuando los datos ajustados a la solución lineal y los datos correspondienes a la aplicación de la solución exacta descrita por la ecuación 1 coinciden. En cada iteración (gráficos no mostrados) se va eliminando el primer dato, y los datos restantes se vuelven a ajustar a una nueva recta hasta que no existen diferencias significativas con la solución exacta.

Por otro lado, en la parte inferior de la Figura 2, se representa el logaritmo decimal de la diferencia $\Delta_i = \left|\overline{\phi_N}(Fo_i;Bi_i) - \overline{\phi_1}(Fo_i;Bi_i)\right|$, es decir, de la diferencia entre la solución exacta y la solución aproximada al primer término de la serie, versus Fo. Los círculos huecos representan los datos experimentales eliminados en cada iteración (éstos no aparecen en las gráficas de (a) a (d)) y los círculos rellenos representan los datos una vez alcanzada la convergencia, lo que ocurre a partir del dato i=39, 34, 78, 18 para las temperaturas T=40, 55, 64, 72 ºC respectivamente. La línea de puntos en los gráficos de (e) a (h) representa el error cometido en la estimación, por diferencia entre la solución exacta y aproximada en el punto de convergencia para cada temperatura ensayada, así la precisión de los coeficientes de difusión y convectivo de transferencia de masa calculados se estimó en σ_D=0.02m^{2}s^{-1} y σ_h=0.01ms^{-1} respectivamente.

La Tabla 1 muestra, tal y como era de esperar, que ambos coeficiente D y h toman valores crecientes a medida que aumenta la temperatura. Sin embargo, se observa un ligero descenso del valor de D entre las temperaturas de 55 a 64ºC. Podemos asumir que este comportamiento anómalo es debido al diferente comportamiento ante el secado de los tejidos del corazón de la zanahoria y del cortex, que no fue posible separar en las láminas conformadas en nuestro experimento. En este sentido, es interesante indicar que Srikiatden et al (Srikiatden and Roberts 2006) obtuvieron valores ligeramente superiores de D para el tejido correspondiente al corazón que para el cortex en muestras cilíndricas de zanahorias. Estos investigadores calcularon valores de D (en unidades de 10^{-9} m^{2}s^{-1}) de 1.01 vs 0.76 a 40ºC, de 1.32 vs 0.92 a 50ºC, de 1.90 vs 1.06 a 60ºC y de 2.34 vs 1.36 a 70ºC. Teniendo en cuenta que la variedad de zanahoria empleado por Srikiatden et al (2006) era diferente a la empleada en este trabajo se puede considerar que sus resultados concuerdan aceptablemente con los nuestros. Con respecto al coeficiente de transferencia de masa por convección h, Markowski (Markowski 1998) estimó un valor de h=1.37 10^{-7} ms^{-1} a una temperatura de 60ºC y en convección natural. Considerando que los resultados obtenidos por nosotros corresponden a un experimento en convección forzada parece razonable que nuestros valores sean algo mayores a los descritos por Markowski.

La idoneidad del protocolo de secado propuesto en este trabajo y la adecuación de los conjuntos de datos obtenidos y por tanto la correcta estimación a partir de ellos de los coeficiente de difusividad y convectivo de transferencia de masa se comprueba fácilmente por aplicación del proceso iterativo propuesto. La Figura 3 muestra la aplicación del proceso iterativo an un conjunto inadecuado (no-isotérmico, la temperatura de la muestra no es homogénea) de datos experimentales de secado de láminas de zanahoria. En este set de datos la temperatura inicial de la muestra era de 20ºC para someterse a un proceso de secado fijado a 65ºC. La Figura 3 muestra como la curva de secado definida por los datos experimentales (círculos huecos) es convexa (segunda derivada positiva) por lo que la ordenada en el origen de la recta de ajuste toma valores por encima de 0 y por tanto fuera del rango definido para a en la ecuación 4. Según muestra la Figura 2 (parte superior) los puntos correspondientes a un set de datos obtenidos bajo las condiciones adecuadas del cumplimento del modelo definido por la Ley de Fick definen una curva cóncava (segunda derivada negativa) y el valor de a se encuentra dentro del rango adecuado.

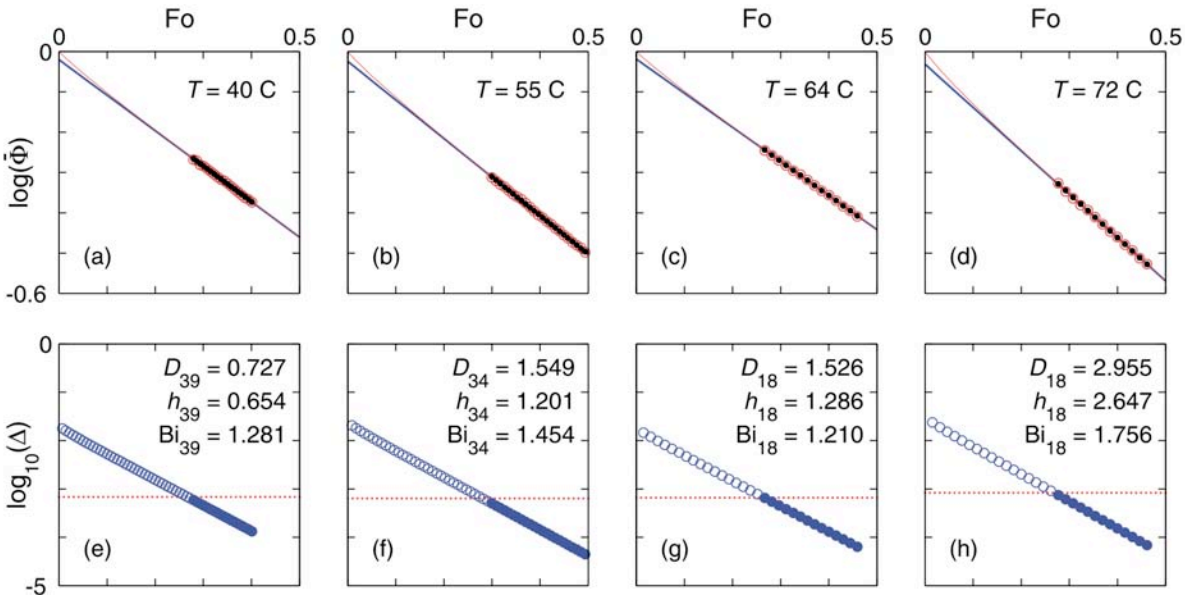


Figura 2. Proceso iterativo para obtener los coeficientes de difusividad y convectivo de transferencia de masa para datos experimentales de secado de láminas de zanahoria a distintas temperaturas. En la parte superior se representa el logaritmo de la humedad adimensional frente a los valores del número de Fourier una vez alcanzada la convergencia en el proceso iterativo, siendo, los datos experimentales ajustados los círculos rojos huecos, la recta de ajuste al primer término de la serie de expansión la línea gruesa azul, la solución exacta para N términos de la serie de expansión la línea fina roja y los datos ajustados a la solución exacta los círculos rellenos negros. En la parte inferior se representa el logaritmo decimal de la diferencia entre la solución exacta y aproximada frente al número de Fourier para todos los datos experimentales de secado. Los círculos huecos representan el valor de la diferencia entre la solución exacta y aproximada antes de la convergencia y los círculos rellenos una vez alcanzada la convergencia. Se muestran los valores calculados para el coeficiente de difusividad ($\cdot 10^{-9}$) y convectivo de transferencia de masa ($\cdot 10^{-7}$) una vez alcanzada la convergencia, indicando el subíndice el dato a partir del cual la solución exacta y aproximada convergen.

Tabla 1. Coeficientes de difusividad y convectivo de transferencia de masa obtenidos para láminas de zahorias junto con otros parámetros adicionales.

T (ºC)	D ($m^2 s^{-1}$)	h ($m\ s^{-1}$)	Bi	$2l$ (mm)	$2l_y$(mm)	$2l_z$(mm)	w_0 (g)	w_{eq}(g)	w_{ms}(g)
40	$7.27 \cdot 10^{-10}$	$6.54 \cdot 10^{-7}$	1.28	2.85	32.80	61.17	4.795	0.662	0.593
55	$1.55 \cdot 10^{-9}$	$1.20 \cdot 10^{-6}$	1.45	3.75	27.40	62.48	5.450	0.890	0.845
64	$1.53 \cdot 10^{-9}$	$1.29 \cdot 10^{-6}$	1.21	2.87	29.51	62.96	4.986	0.733	0.702
72	$2.95 \cdot 10^{-9}$	$2.65 \cdot 10^{-6}$	1.76	3.92	23.43	52.13	3.986	0.479	0.456

Precisión obtenida para los coeficientes: σ_D=0.02$m^2 s^{-1}$ y σ_h=0.01ms^{-1} .Precisión de la báscula: σ_w=0.001g. Velocidad del aire: v=0.71 ms^{-1}. ms: materia seca.

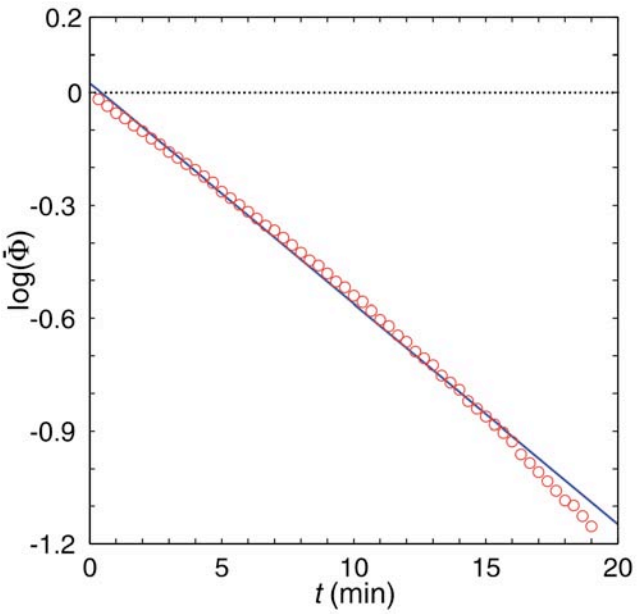


Figura 3. Resultado del proceso iterativo aplicado a datos experimentales inadecuados (no-isotérmicos) obtenidos en el secado de láminas de zanahoria. Se representa el logaritmo de la humedad adimensional frente al tiempo, para los datos ajustados (círculos abiertos) y la recta de ajuste al primer término de la serie.

4. Conclusiones

En esta contribución proponemos una metodología iterativa para la determinación de los coeficientes de difusión y convectivo de transferencia de masa, que aprovecha las capacidades computacionales actuales evitando así utilizar las relaciones aproximadas clásicas para el cálculo de ambos coeficientes. Al igual que en estas aproximaciones, este trabajo usa el ajuste asintótico de los datos experimentales al primer término de la solución de la serie de expansión, pero en nuestro método el número de Fourier se recalcula iterativamente teniendo en cuenta que el número de Fourier depende del coeficiente de difusividad. Además, el empleo de métodos numéricos permite la resolución precisa de ecuaciones trascendentales, de forma que se puede obtener la solución a la serie de expansión y la obtención directa de los coeficientes de difusión y convectivo de transferencia de masa por ajuste de los parámetros.

El nuevo enfoque metodológico ha sido aplicado a datos experimentales de secado de láminas de zanahoria a diferentes temperaturas, describiéndose como debe ser el procedimiento experimental para obtener datos de secado bajo las mismas condiciones bajo las cuales se obtiene la solución analítica de la ecuación de difusión (ley de Fick) en forma de expansión en serie. El método permite incluso la detección automática de datos experimentales que no se han obtenido en un secado isotérmico y por tanto inadecuados para la determinación de los coeficientes de difusividad y convectivo de transferencia de masa.

Los principales parámetros físicos que caracterizan el proceso de secado, el coeficiente de difusividad y convectivo de transferencia de masas, son significativos para la adecuada determinación de las condiciones óptimas de secado en procesos de secado convectivo por aire caliente de alimentos, por lo que la propuesta de un protocolo de secado adecuado para la obtención de datos experimentales correctos y una metodología para la estimación precisa de dichos coeficientes es de especial relevancia.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Comunidad de Madrid y la Unión Europea a través del proyecto S2013/ABI-2747 (TAVS-CM).

Bibliografía

Arranz, Francisco Javier, Eva Cristina Correa, Heidi Tatiana Jiménez-Ariza, Belen Diezma, Javier Garcia-Herrero, José Ignacio Robla, and Pilar Barreiro. 2011. Empleo de metodos numéricos para el ajuste de los coeficientes de difusividad (D) y convectivo de transferencia de masa (h_m) en el secado de alimentos. Paper read at VI Congreso Ibérico de AgroIngeniería, 05/09/2011, at Évora (Portugal).

Crank, J. 1979. *The Mathematics of Diffusion*: Clarendon Press.

Chirife, J.M. 1983. "Fundamentals of the drying mechanism during air dehydratation of foods." In *Advances in Drying*. Hemisphere Publishing Corp.

Forsythe, G.E., M.A. Malcolm, and C.B. Moler. 1977. *Computer Methods for Mathematical Computations*: Prentice-Hall. Original edition, US.

Guine, Raquel P. F., Ana C. Cruz, and M. Mendes. 2014. "Convective Drying of Apples: Kinetic Study, Evaluation of Mass Transfer Properties and Data Analysis using Artificial Neural Networks." *International Journal of Food Engineering* no. 10 (2):281-299. doi: 10.1515/ijfe-2012-0135.

Luikov, A.V. 1968. *Analytical Heat Diffusion Theory*: University of Illinois, Department of Energy Engineering.

Markowski, M. 1998. "Air drying of vegetables: evaluation of mass transfer coefficient. (vol 34, pg 55, 1997)." *Journal of Food Engineering* no. 35 (2):257-257.

Srikiatden, J., and J. S. Roberts. 2006. "Measuring moisture diffusivity of potato and carrot (core and cortex) during convective hot air and isothermal drying." *Journal of Food Engineering* no. 74 (1):143-152. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.02.026.

Tripathy, P. P., and Subodh Kumar. 2009. "A methodology for determination of temperature dependent mass transfer coefficients from drying kinetics: Application to solar drying." *Journal of Food Engineering* no. 90 (2):212-218.

Evaluación del confort térmico en una instalación para procesamiento húmedo de café por medio de simulación computacional

Lina Marcela Guerra García[1], Ilda de Fátima Ferreira Tinôco[2], Cecília de Fátima Souza[3], Williams Pinto Marques Ferreira[4], Jairo Alexander Osorio Saraz[5], Robinson Osorio Hernandez[6]

[1] Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900, Brazil, lina.garcia@ufv.br

[2]Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900, Brazil, iftinoco@ufv.br

[3]Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900, Brazil, cfsouza@ufv.br

[4] Embrapa Café. Vila Gianetti - Campus UFV, Viçosa - MG, 36570-900, Brazil, williams.ferreira@embrapa.br

[5]Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Calle 59a #63-20, Medellín, 05001000, Colombia, aosorio@unal.edu.co

[6]Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Calle 59a #63-20, Medellín, 05001000, Colombia, robinson0413@gmail.com

Resumen

El secado mecánico de café genera gran cantidad de calor y vapor, partiendo de lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el confort térmico en una instalación para procesamiento húmedo de café en Colombia, por medio de simulación computacional con EnergyPlus™. Fue comparado el efecto de diferentes áreas de ventilación natural sobre el confort térmico, cuya área original era 15.36 m2 - 2.84 % del área total de la envolvente, y las demás eran 2, 3, 5,7 y 9 veces la original. El área de ventilación que generó mayor tiempo de confort térmico fue 5 veces la original. También fue evaluado el efecto de diferentes materiales en cubierta y en fachadas sobre el confort térmico. En la cubierta fueron comparados teja de fibrocemento (material original), teja de barro, teja de zinc, teja tipo sándwich y teja de aluminio. Con todos los materiales hubo estrés calórico y el mayor tiempo en estrés se presentó con la teja tipo sándwich. En las fachadas fueron comparados ladrillo (material original), ladrillo más una y, más dos capas de revoque, ladrillo más dos capas de revoque y una capa de cerámica, y ladrillo macizo. Con todos los materiales hubo estrés calórico, siendo el material original el de mejor comportamiento. Se concluye que en este tipo de construcciones en Colombia, el confort térmico está determinado por el área de ventilación natural, mientras la resistencia térmica en materiales de cubiertas y fachadas debe ser menor para facilitar la pérdida calor generado dentro de la instalación.

Palabras clave: EnergyPlusTM, área de ventilación natural, resistencia térmica, secado mecánico de café.

Evaluation of the thermal comfort in a facility for wet processing of coffee through computer simulation

Abstract

The mechanical drying of coffee generates a great amount of heat and steam. Based on the above, this work had as objective to evaluate the thermal comfort in a facility for wet processing of coffee in Colombia, through computer simulation in the EnergyPlusTM. It was compared the effect of different areas of natural ventilation on thermal comfort, whose original area was 15.36 m2 - 2.84% of the total area of the envelope, and the others were 2, 3, 5,7 and 9 times the original. The ventilation area that generated the most thermal comfort time was 5 times the original one. The effect of different materials on roof and on façades on thermal comfort was also evaluated. In the roof was compared with asbestos cement tile (original material), clay tile, zinc tile, sandwich tile and aluminum tile. With all the materials there was caloric stress and the longest time in stress

was presented with the sandwich-type tile. In the facades were compared brick (original material), brick plus one and, two more layers of plaster, brick plus two layers of plaster and a layer of ceramic, and solid brick. With all the materials there was caloric stress, being the original material the one of better behavior. It is concluded that in this type of constructions in Colombia, the thermal comfort is determined by the area of natural ventilation, while the thermal resistance in materials of roofs and facades must be smaller to facilitate the loss of heat generated within the installation.

Keywords: EnergyPlusTM, natural ventilation area, thermal resistance, mechanical coffee drying.

1. Introducción

Las condiciones ambientales para los trabajadores, en lo referente al confort térmico, pueden cumplir un papel muy importante en los procesos productivos. Estudios sobre este tema sugieren que el microclima dentro de las instalaciones para procesamiento húmedo de café puede influir en la productividad y en la calidad del trabajo. Según Moura (2015), trabajadores inconformes con su ambiente térmico pueden perder la motivación por el trabajo, desconcentrarse y exponerse al aumento de accidentalidad y disminución de la calidad de su trabajo.

En Colombia, el café es procesado por vía húmeda, a través de subprocesos que incluyen despulpado, fermentación, lavado y secado de los granos (Osorio, et al., 2016). En el secado de los granos, los operarios pueden estar expuestos a gran cantidad de calor y vapores generados por las máquinas, situación que genera estrés calórico, lo cual puede afectar la productividad y la calidad del trabajo.

Algunos autores han propuesto modelos para determinar la faja de confort térmico en construcciones ventiladas naturalmente, siendo el índice de confort adaptativo uno de los que más han cobrado fuerza la actualidad (Gómez-Azpeitia, et al., 2007), donde las temperaturas medias exteriores están relacionadas a la temperatura interna deseada, bajo la suposición de que los individuos se pueden adaptar a esas condiciones. Los estudios de confort adaptativo se orientan al desarrollo de patrones locales de confort térmico.

Considerando que las instalaciones para beneficio húmedo de café en Colombia son naturalmente ventiladas, se han realizado estudios con ayuda de programas computacionales para la simulación de la ventilación natural relacionada con el consumo energético y el confort térmico, es el caso del EnergyPlus™, el cual es uno de los programas de simulación bioclimática y energética para construcciones más difundido en el mundo, utiliza modelos zonales y de red (Oropeza-Perez y Østergaard, 2014). Este es un programa de código abierto desarrollado por el U.S. Departament of Energy (DoE, 2012), cuyas principales variables de entrada: la geometría 3D de la edificación, las propiedades físicas de los materiales de la construcción y los equipos internos (potencia y patrones de uso), así como el archivo climático del lugar.

Por otro lado, los componentes de la envolvente en una edificación pueden influir en el confort térmico de sus usuarios, ya que según Ralegaonkar y Gupta (2010), este protege el ambiente interno del externo, facilitando el control del clima al mismo tiempo, y según DoE, U. (2011), la envolvente contribuye con 73% del total de ganancias y/o pérdidas de calor de las edificaciones, afectando su desempeño térmico.

El objetivo de este estudio fue evaluar el confort térmico en una instalación para procesamiento húmedo de café en Colombia, por medio de simulación computacional con EnergyPlus™, a partir de modificaciones en componentes de su envolvente.

2. Materiales y Métodos

La construcción está localizada en el municipio de Jardín (Antioquia-Colombia), en las coordenadas: latitud 5°36’55.49” norte, longitud -75°50’54.93”, a 1839 msnm, orientada en sentido oriente – occidente.

La simulación fue realizada para el mes de noviembre, en el cual se presenta el pico de la cosecha anual. La propiedad tiene una cantidad de producción anual de café de 1125000 kg de café cereza, equivalente aproximadamente a 225000 kg de café pergamino seco, mientras su producción en el día pico es de 28125 kg de café cereza, equivalente a 5225 kg de café pergamino seco.

Fue realizada una geometría 3D en el programa Sketchup® para la instalación para beneficio húmedo de café (Figura 1). La volumetría de la construcción tiene una forma escalonada, constituyendo dos niveles, uno destinado al secado mecánico y el otro al beneficio húmedo. Sus dimensiones son: en el nivel de secado mecánico 8.90m de ancho, 11.10m de largo, 6.0m de altura hasta el alero y 7.40m de altura hasta el caballete, y en nivel del beneficio húmedo tiene 8.90m de ancho, 8.70m de largo, 5.50m de altura hasta el alero y 6.90m de altura hasta el caballete.

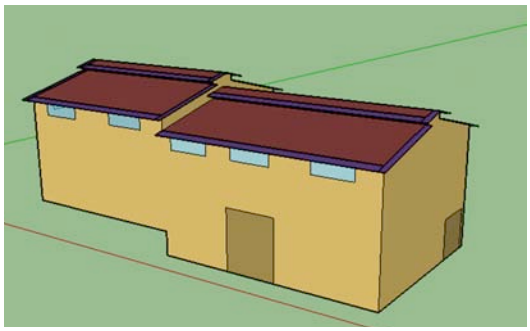


Figura 1. Geometria 3D en el programa Sketchup de la instalación de beneficio de café en Colombia

La construcción en su totalidad fue analizada como una zona térmica, la cual fue creada con ayuda del plugin Open Studio de EnergyPlus™, generando un archivo idf. Las zonas tienen un grupo de objetos (Zona, BuildingSurface) que describen sus características térmicas, así como los detalles de cada superficie modelada (DoE, U., 2014).

La envolvente de la instalación está conformada por: Paredes de ladrillo perforado de 15cm a la vista por ambas caras, cubierta a dos aguas, aleros de 50cm y chimenea, todas de fibrocemento, pisos en concreto y ventanas que más bien son vanos, protegidos con barrotes por seguridad. Estas últimas se localizan en las fachadas norte, sur y oeste. En el interior de la instalación, las zonas destinadas al beneficio húmedo cuentan con revestimiento cerámico.

Fueron adicionados 15.4m^3 de concreto al interior de la instalación, correspondientes al material del canal y los tanques de fermentación, para considerar su efecto de inercia térmica en la simulación.

Fueron realizadas modificaciones en elementos de la envolvente de la instalación, estableciendo diferentes tratamientos, con el fin de determinar el efecto que causaba cada uno sobre el confort térmico de los trabajadores. Las modificaciones fueron las siguientes:

- Áreas de ventilación natural, donde el área total de ventanas original constituyó el tratamiento V1, y para modificarla, se fue aumentando su área en 5 tratamientos más (V2, V3, V4, V5 e V6) conforme se puede apreciar en la Tabla 1.
- Materiales de cubierta, donde el tratamiento C1 estuvo constituido por la teja de fibrocemento (material original), el tratamiento C2 por teja de barro, el C3 por teja de zinc, el C4 por teja tipo sándwich y el C5 por teja de aluminio pintada de blanco en su superficie externa.
- Materiales de paredes de fachada, donde el tratamiento M1 correspondió al ladrillo perforado (material original), el tratamiento M2 al ladrillo + una capa de revoque, el M3 al

ladrillo + dos capas de revoque, el M4 al ladrillo + dos capas de revoque + una capa de cerámica, y el M4 a ladrillo macizo.

Tabla 1. Área de ventilación natural a través de ventanas para la evaluación del confort térmico en la instalación de beneficio húmedo de café en Colombia

	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Área total de ventanas (m^2)	15.36	28.16	41.0	66.6	92.2	117.8
% correspondiente al área de la envolvente	2.84	5.21	7.59	12.33	17.07	21.81

La construcción cuenta con un módulo Becolsub con capacidad de despulpado de 5000 kg de café cereza por hora y potencia de 11.19 kw, y dos máquinas de secado mecánico (combustible carbón mineral) con capacidad de 3750 kg de café pergamino seco por día, cada una, las cuales tienen intercambiador de calor con potencia de 433.48 Kw y eficiencia de 50%, y motor de ventilador con potencia eléctrica consumida de 3.73Kw. La iluminación artificial de la instalación está conformada por lámparas fluorescentes con consumo de aproximadamente 10 W.m-2. Estos datos fueron necesarios para el cálculo del calor generado por las máquinas e iluminación dentro de la instalación.

Para el balance de energía, además del calor generado por las máquinas e iluminación, fue necesario calcular el metabolismo de los trabajadores. La ecuación (1) propuesta por ASHRAE (2001), determina la tasa metabólica donde, donde M es la tasa metabólica (W.m2), Q_{O2} es la tasa volumétrica de consumo de oxígeno a 0°C a una presión de 101.325KPa (L.s-1), y A_d es el área de DuBois (m2).

$$M = \frac{21(0.23RQ + 0.77)Q_{O2}}{A_d} \quad (1)$$

Los materiales de construcción que se encuentran en la instalación son: ladrillo en las paredes, revoque y revestimiento cerámico en las zonas donde se realiza el beneficio húmedo de café, concreto en los pisos y en la estructura, y fibrocemento en la cubierta. Las propiedades térmicas de estos materiales se pueden apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades de los materiales de construcción utilizados en la instalación de beneficio húmedo de café en Colombia

Material	**ρ(kg.m^3)**	**K(W.m^{-1}.°K^{-1})**	**C_p(kJ.kg^{-1}.°K^{-1})**
Cerámica	1600	0.90	0.92
Concreto	2200	1.75	1.00
Fibrocemento	1600	0.65	0.84
Ladrillo	2000	1.05	0.92
Revoque	2000	1.15	1.00

Fuente: Adaptado de ABNT-NBR 15220-2 (2005)

Para el cálculo de las propiedades térmicas de los materiales compuestos de la instalación fue considerado el método de simplificación de capas de materiales propuesto por INMETRO (2015), y para el cálculo del espesor y resistencia térmica equivalente el método según Ordenes, et al., (2008)

El cálculo del confort térmico de los trabajadores fue realizado según la propuesta por Brager & de Dear, (1998), donde (Tn) es la temperatura neutra o temperatura de confort, que está en función de la temperatura media del ambiente (Tm), y donde la faja de confort es Tm ±2°C. Los datos para determinar la temperatura del ambiente para el mes de noviembre, fueron extraídos del archivo climático de la ciudad de Medellín, emitido por la White Box Technologies, Inc. (WBT), ya que está muy cerca del lugar de estudio.

$$Tn = 17.8 + 0.31Tm \quad (2)$$

Los patrones de uso de la instalación de beneficio húmedo de café en estudio, son presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Patrones de uso utilizados en la instalación de beneficio húmedo de café en Colombia

Horas	Secado mecánico	Despulpado	Luminarias	Ocupantes
00:00-06:00	0	0	0	0
06:00-07:00	1	0	1	2
07:00-07:30	1	0	0	0
07:30-09:00	1	0	0	0
09:00-10:00	1	0	0	1
10:00-10:30	1	0	0	0
10:30-12:00	1	0	0	0
12:00-13:00	1	1	0	2
13:00-13:30	1	0	0	0
13:30-14:00	1	0	0	0
14:00-15:00	1	0	0	0
15:00-15:30	1	0	0	1
15:30-16:00	1	0	0	1
16:00-17:30	1	0	0	0
17:30-18:00	1	1	1	0
18:00-19:00	1	1	1	1
19:00-20:00	1	0	1	2
20:00-21:00	1	0	1	2
21:00-24:00	0	0	0	0

Fuente: Osorio, H. R. et al. (2016)

Finalmente, para comparar el efecto sobre el confort térmico de cada tratamiento aplicado a la construcción, fueron realizados análisis de frecuencia, evidenciando el porcentaje de tiempo que permanecen los trabajadores dentro de la faja de confort térmico encontrada mediante la ecuación (2).

3. Resultados y Discusión

3.1. Efecto de diferentes áreas de ventilación natural sobre el confort térmico

La faja de sensación térmica encontrada para el lugar de estudio, aplicando la la ecuación (2) fue de confort térmico entre 22,1 y 27,1 °C, temperaturas menores de 22.1 °C producen frio y mayores de 27,1 producen calor.

Comparando el efecto del área total de ventilación natural original (tratamiento V1), con los tratamientos V2, V3, V4, V5 y V6, se encontró que la sensación de calor va disminuyendo a medida que se aumenta el área de ventilación y, así mismo, va aumentando el porcentaje de tiempo en condiciones de confort, conforme aparece en la Figura 2.

Figura 2. Análisis de frecuencia: Porcentaje de tiempo de cada sensación térmica con cada tratamiento de ventilación natural en la instalación de beneficio húmedo de café en Colombia

Según los resultados evidenciados en la Figura 2 se puede afirmar que, el tratamiento V5 fue el que presentó mayor porcentaje de tiempo en confort térmico, con aberturas correspondientes a 17,1% del área de la envolvente. Aberturas con área superior al tratamiento V5 pueden generar mayor porcentaje de tiempo de estrés por frio, y aberturas con área inferior pueden causar el efecto contrario, siendo el tratamiento V1, el que presentó mayor porcentaje de tiempo de estrés por calor.

Estos resultados tienen relación con estudios sobre ventilación natural de construcciones en países tropicales, donde son comunes los ambientes cálidos y húmedos, como el de Tantasavasdi, et al. (2001), quien comparó diferentes tamaños de aberturas para ventilación natural para casas en Tailandia, encontrando que las mayores aberturas, correspondientes a 40% del área total de piso, generaron ambientes más confortables térmicamente. Aplicando lo anterior a este estudio, el 40% del área total del piso de la instalación en análisis es 74.46 m2, valor cercano al del tratamiento V5.

Otro estudio, aplicado específicamente en instalaciones para beneficio húmedo de café, realizado por Osorio, H. R. et al. (2016), plantea que el área mínima de ventilación natural para no sobrepasar 27°C, cuando hay máquinas emitiendo calor y vapor, como es el caso de las máquinas de secado mecánico en estas instalaciones, debe ser mayor a la capacidad de la máquina de secado en kilogramos dividido por 100, en nuestro caso, este valor corresponde a 75m2 o a aproximadamente 14% del área de la envolvente, concordando con Tantasavasdi, et al. (2001), y con el presente estudio, dado que el resultado obtenido con el tratamiento V5 es mayor a estos valores.

3.2. Efecto de diferentes materiales de cubierta sobre el confort térmico

En la Figura 3 es posible observar que, aunque el cambio en los materiales de la cubierta mantiene muy elevado el porcentaje de tiempo en estrés por calor, hay diferencia entre ellos, en el efecto causado sobre el confort térmico. Los tratamientos C1, C2 y C3, tuvieron porcentajes de tiempo de

estrés por calor similares, mientras los tratamientos C4 y C5 presentaron el porcentaje más alto y el más bajo, respectivamente.

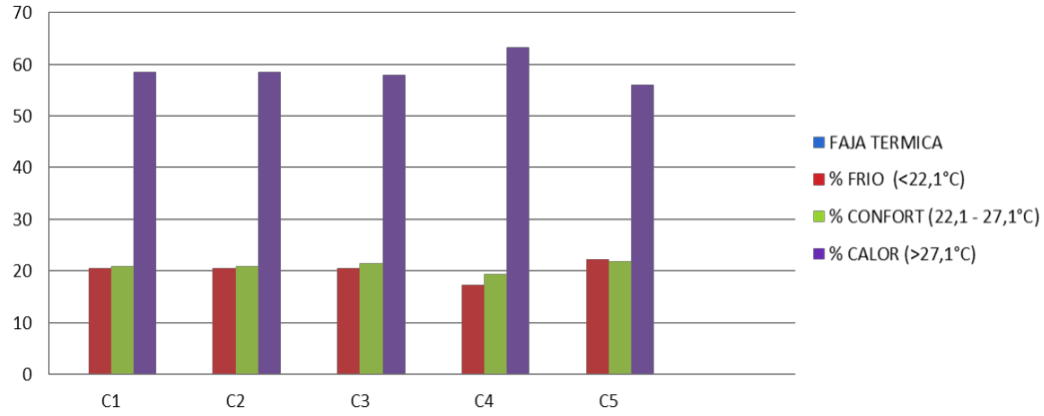


Figura 3. Análisis de frecuencia: Porcentaje de tiempo de cada sensación térmica con cada material de cubierta en la instalación de beneficio húmedo de café en Colombia

Se analiza una fuerte influencia del calor generado por las dos máquinas secadoras de café al interior de la instalación, las cuales tienen una capacidad de 3750 kg cada una, potencia de 433.48 Kw y eficiencia de 50%. Esto puede hacer que el calor generado al interior sea mayor al calor que recibe la cubierta por radiación solar. Para Frank & David (1999), "transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas", es así como el calor interior de la instalación será transferido al exterior a través de los cerramientos, pero en este proceso la resistencia térmica es determinante.

Los resultados presentados en la Figura 3, muestran que el tratamiento C4, con la mayor resistencia térmica por tratarse de una teja con aislamiento térmico, dificulta la salida del calor en la instalación, generando mayor tiempo de estrés por calor, mientras el tratamiento C5, tratándose de una teja de aluminio blanca en su superficie externa, con resistencia térmica menor, permite la salida del calor interno con mayor facilidad, además de reflejar la radiación solar, disminuyendo el tiempo de exposición al estrés por calor.

Es importante anotar que, dentro de las simulaciones no fueron tomadas en cuenta las filtraciones de aire entre las tejas de barro (tratamiento C2), que posiblemente hubiesen disminuido el porcentaje de tiempo de estrés por calor.

3.3. Efecto de diferentes materiales de paredes de fachada sobre el confort térmico

En la Figura 4 se evidencia una situación similar entre los materiales de cubierta, analizados anteriormente, y los materiales de paredes de fachadas, ya que con estos últimos también predomina el estrés por calor, sin embargo se nota diferencia entre ellos, en el efecto causado sobre el confort térmico. Se observa que el tratamiento M1, seguido del M2, tuvo el menor porcentaje de tiempo de estrés por calor dentro de la instalación para beneficio húmedo de café, entretanto, los tratamientos M3, M5 y M4, en orden ascendente, tuvieron los mayores porcentajes.

Figura 4. Análisis de frecuencia: Porcentaje de tiempo de cada sensación térmica con cada material de paredes de fachada en la instalación de beneficio húmedo de café en Colombia

En este caso, la resistencia térmica que fueron ganando las fachadas a medida que iban aumentando las capas de materiales, o su propia masa en el caso del ladrillo macizo, iban dificultando la salida del calor que se genera en el interior de la instalación, el cual es mayor que el calor del ambiente externo.

4. Conclusiones

Al evaluar el efecto de elementos de la envolvente de un tipo representativo de instalación para beneficio húmedo de café en Colombia, se estableció que el confort térmico en su interior está determinado principalmente por el área de ventilación natural, mientras la resistencia térmica en materiales de cubiertas y fachadas debe ser menor, con el fin de facilitar la pérdida calor generado dentro de la instalación, que tiende a ser mayor al del ambiente externo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa, CAPES, FAPEMIG, CNPq, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, y a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia por su invaluable ayuda en esta investigación.

Bibliografía

ABNT-NBR 15220-2. 2005. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 15220-2. Desempenho Térmico de edificações. Parte 2.

ASHRAE. 2001. Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 111. Recuperado a partir de http://shop.iccsafe.org/media/wysiwyg/material/8950P203-toc.pdf

Brager, G. S., & de Dear, R. J. 1998. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and buildings*, 27(1), 83–96.

DoE, U. 2011. Buildings energy databook. Energy Efficiency & Renewable Energy Department.

DoE, U. 2012. Energyplus engineering reference. The Reference to EnergyPlus Calculations. Recuperado a partir de http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/engineeringreference.pdf

DoE, U. 2014. Input Output Reference. The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output.

Frank, I., & David, D. 1999. Fundamentos de transferencia de calor. México: Editorial Prentice Hall, cuarta edición.

Gómez-Azpeitia, G., Morales, G. B., & Torres, R. P. R. 2007. El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. Palapa, 2(1), 45–57.

INMETRO, I. de M. 2015. Qualidade e tecnologia. Anexo V-Portaria no 50, de 01 de fevereiro de 2013. 2013.

Moura, R. A. 2015. Caracterización del ambiente térmico laboral y su relación con la salud de los trabajadores expuestos. En Convención Salud 2015. Recuperado a partir de http://www.convencionsalud2015.sld.cu/index.php/convencionsalud/2015/paper/viewPaper/1450

Ordenes, M., Lambert, R., & Güths, S. 2008. Transferência de calor na envolvente da edificação. Departamento de Engenharia Civil–Universidade Federal de Santa Catarina. Recuperado a partir de http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Apostila_08.pdf

Oropeza-Perez, I., & Østergaard, P. A. 2014. The influence of an estimated energy saving due to natural ventilation on the Mexican energy system. *Energy*, 64, 1080–1091.

Osorio, H. R., Guerra, G., Lina, M., Tinôco, I. F., Martins, J. H., Souza, C. de F., et al. 2016. Simulation of the internal environment of a post-harvest installation and a solar dryer of coffee. R*evista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(2), 163–168.

Ralegaonkar, R. V., & Gupta, R. 2010. Review of intelligent building construction: A passive solar architecture approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2238–2242.

Tantasavasdi, C., Srebric, J., & Chen, Q. 2001. Natural ventilation design for houses in Thailand. *Energy and Buildings*, 33(8), 815–824.

WBT. 2012. www.whiteboxtechnologies.com. Used by permission.

Estudio comparativo de cámaras de bajo coste para su implementación en un nodo de visión para la monitorización de cultivos hortícolas

José Manuel González Esquiva[1], Antonio Ruíz-Canalez[2], José Miguel Molina-Martínez[1], Ginés García-Mateos[3]

[1] Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203. Cartagena. Murcia, España, jgonzalez1690@gmail.com, josemiguel.molina.martinez@gmail.com

[2] Departamento de Ingeniería, Universidad Miguel Hernández, Orihuela, 03312 Alicante, España, aruizcanales@gmail.com

[3] Dpto. de Informática y Sistemas, Facultad de Informática, 30100 Campus de Espinardo, Universidad de Murcia, 30100 Murcia, España, ginesgm@um.es

Resumen

Con el desarrollo de la agricultura de precisión, se precisan nuevas técnicas para la determinación óptima de las necesidades de riego y estado de los cultivos, siendo una de estas técnicas la utilización de nodos de visión, que requieren la captura de imágenes para su posterior procesamiento como queda demostrado en diversos estudios, aunque su realización ha requerido la toma de imágenes de manera manual o con cámaras de alto coste, que imposibilitan su instalación permanente. El objetivo de este artículo es realizar un estudio comparativo para la incorporación de cámaras de foto de bajo coste en lugar de las cámaras estándar para nodos de visión que automaticen todo el proceso, teniendo en cuenta diferentes condiciones ambientales. En el artículo hemos estudiado la evolución de crecimiento de un cultivo hortícola, tomando las imágenes con diversas cámaras de bajo coste conectadas ya sea por bus serie o paralelo al popular Arduino que gestionará su envío por GPRS a un servidor WEB, donde se procesarán las imágenes para la determinación de la relación de la cobertura vegetal por segmentación en varios modelos de color. A continuación se enumerarán las diversas ventajas e inconvenientes de la utilización de las diferentes cámaras, teniendo en cuenta la luminosidad ambiental en diferentes resoluciones para determinar la configuración más óptima. También se tendrá en cuenta la posición de la cámara para aquellas situaciones en que la colocación de la cámara en posición cenital no es posible, estudiándose la captura de las imágenes dependiendo del ángulo y su distancia, la posibilidad de utilizar el zoom o un enfoque manual que mejore las prestaciones de las imágenes capturadas. Con los datos obtenidos se estudiarán los requisitos con diferentes buses y protocolos de comunicación detallando su tiempo de procesamiento, requerimientos de memoria y necesidades de ancho de banda de comunicación, así como su posible implementación en sistemas inalámbricos que posibiliten la utilización de drones.

Palabras clave: Arduino, segmentación automática, web, protocolo de comunicación.

Comparative study of low cost cameras for their implementation in a vision node for monitoring horticultural crops

Abstract

With the development of precision agriculture, new techniques are needed for the optimal determination of irrigation needs and crop status, being one of these techniques the use of vision nodes that allow the capture of images for later processing. Many previous studies have shown the benefits of using images in agriculture, although capture is usually performed in manual way or with high cost cameras, which makes it unfeasible to do a permanent installation. The objective of this article is to carry out a comparative study of the use of low cost cameras, instead of the standard cameras, for vision nodes in horticultural crops that automate the entire process, considering different environmental conditions. The evolution of a crop growth is analyzed using the images obtained with different low cost cameras. These cameras are connected to an Arduino board either by serial or parallel bus, that manages its sending by GPRS to a web server, where the images are processed for the determination of the percentage of vegetation cover by segmentation with several color models. Then, the main advantages and disadvantages of using the different cameras studied are indicated, taking into account

the ambient luminosity in various resolutions to determine the optimal configuration. The position of the camera is also considered, for those situations where the placement of the camera in a zenith position is not possible, analyzing the capture of images depending on the angle and distance, the possibility of using the zoom or a manual focus that improves the quality of the captured images. With the data obtained, the requirements of different buses and communication protocols are extracted, detailing their processing time, memory and communication bandwidth requirements, as well as its possible implementation in wireless systems that allow the use of drones.

Keywords: Arduino, automatic segmentation, web, communication protocol.

1. Introducción

El uso de las cámaras de bajo coste se ha extendido en todos los ámbitos de la tecnología. En el caso de la agricultura de precisión, por medio de la fotogrametría se han podido desarrollar sistemas para el control de crecimiento del cultivo y las necesidades de riego con resultados muy precisos por medio de fotos áreas, drones utilizando relaciones alométricas que permiten relacionar la relación de suelo y planta con las necesidades hídricas de la planta (González-Esquiva et al., 2017a) o por medio de estudios en diversos espectros (ultravioleta, infrarrojo, luz visible).

La modulación de los sistemas de fotogrametría precisa el uso de procesamiento digital de imágenes, no siendo posible en todos los casos una automatización del proceso dado la variabilidad de diversos factores ambientales, ubicación o encuadre, requiriéndose el uso de personal cualificado para una continua recalibración del sistema o el tratamiento de las imágenes (González-Esquiva et al., 2017b).

En este artículo se estudia la implementación de las cámaras de bajo coste para la monitorización de la cobertura vegetal de cultivos hortícolas, dependiendo del encuadre y luminosidad y su integración en un sistema IoT (Internet of Things), requerimientos de conexión y espacio.

2. Materiales y Métodos

Para el estudio se ha utilizado un nodo de visión con captura integrado en un sistema *cloud computing*, que posibilita la captura y transmisión de imágenes al servidor de forma automática, realizándose una serie de fotos programadas cada 60 minutos, con dos escalas de imagen, QQVGA (160x120 píxeles) y QVGA (320x240 píxeles) con un registro del valor de luminosidad y de consumo:

1 Nodo de visión

El nodo de visión desarrollado por TeleNatura EBT, consta de una placa Arduino DUE, Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU, que permite la conexión de las dos cámaras al disponer de 4 puertos serie, I2C, SPI y canales digitales configurables.

Dispone de un módulo WiFi ESP8266 con memoria FLASH 4Mb. Así mismo, dispone de conexión para 4 modelos de cámara TTL y una cámara I2C.

2. Cámara

Para realizar la comparativa, se ha dispuesto de dos cámaras de bajo coste muy versátiles conectadas al nodo de visión, la OV7670 (OmniVision Technologies, Santa Clara, California), formato de imagen RAW, YUV, con un bus paralelo y un bus I2C para configurar los predefinidos de registros de 8 bits que controlan los diferentes parámetros de captura y por otro lado un módulo VC0706, formato de imagen JPEG UART, dado su bajo coste, alta disponibilidad y su fácil integración en sistemas de arquitectura abierta, disponiendo

Ambas cámaras disponen de un sensor de imagen CMOS ¼", 5.6um, con un ángulo de visión de 60º, apertura automática, 1-15m y en el caso de la VC0706 también se extiende la sensibilidad al rango infrarrojo. Se realiza una captura de imágenes utilizando los siguientes filtros:

- Automatic Exposure Control (AEC). Ajusta automáticamente el tiempo de exposición acorde al nivel de luminosidad.
- Automatic Gain Control (AGC). Con este parámetro se puede definir de forma manual o automática el nivel de ganancia por canal de color para obtener un mayor contraste en las imágenes
- White Balancing (AWG). Ajusta la imagen igualando los canales RGB, considerando que la media de los colores RGB tiende al gris.
- Automatic Black Level Calibration (ABLC). Se calibran los registros con el mínimo nivel correspondiente al color negro.

Como añadido, el módulo VC0706 también capta luz infrarroja dado que es una cámara utilizada en los sistemas de seguridad, disponiendo además un sistema automático de detección de movimiento.

En el caso de la cámara, se utilizó una compresión del 90% en los ficheros JPEG y para la selección de apertura del objetivo, se tomará previamente una lectura de la intensidad luminosa, aplicando los filtros preconfigurados acorde al nivel de luz. Por último, se ajustan las ganancias de color por temperatura de color.

El archivo se almacenará en un fichero CSV en la tarjeta SD del nodo de visión, sincronizando el archivo a la nube a continuación.

3. Servidor

En primer lugar, el servidor realiza un proceso de escalado de la imagen a una resolución de 150x150 píxeles.

A continuación, se ejecuta una corrección de la imagen por el sistema de 4 puntos, aplicando una transformación geométrica para corregir la distorsión por ángulo de visión o lente. Para ello se realiza una transformación bidimensional perspectiva. Se tomaron imágenes con tres ángulos diferentes (60, 70 y 80 grados) a una distancia de 1m-2m.

Como valor de referencia se realizaron fotografías con una cámara Sony DSP-200 3,5-5,3 en posición cenital.

4. Aplicación conjunta de algoritmos de segmentación

Para minimizar los efectos de una sobreexposición de luminosidad o ajuste de ganancia de colores, validándose la foto solo si se produce una discrepancia superior al 5%, cuando las fotografías se realizan en las condiciones ambientales correctas, las dos técnicas de segmentación analizadas coinciden en los valores.

Por un lado se utilizará el software CAPS® (Clasificación Automática de Plantas y Suelo), que implementa el método de segmentación binaria de imágenes por color (García-Mateos et al., 2015), que incluye el recorte de imágenes y el entrenamiento de modelos de color. El programa incluye varios modelos genéricos de planta/suelo; y se pueden crear otros modelos nuevos. El aspecto principal de la segmentación es el color.

Aplicamos en paralelo el algoritmo fuzzy C-means (González-Esquiva et al., 2017b). En este caso, la obtención de la segmentación se produce por la agrupación de los colores, no dependiendo de las condiciones de la imagen. La principal ventaja de este método es que no requiere de la intervención del humano para su aplicación, aunque presenta un alto coste de computación que requiere reducir el tamaño de los archivos. Se tiene en cuenta la forma, que facilita una segmentación por agrupación de píxeles.

5 Morfología, erosión y dilatación

A partir de los elementos estructurantes principales, se eliminan por erosión aquellos grupos de píxeles que estén fuera de los objetos y se incluyen por dilatación aquellos píxeles que se encuentren en el interior de los objetos.

Se han realizado 24 series de capturas de fotografías aplicando los diferentes filtros, balance de blancos, AEC, AGC y ABLC, con las cámaras OV7670 y la cámara OV706, aplicándose a continuación los algoritmos fuzzy C- Means previamente calibrados con la cámara Sony DSC-200, dándose por válidas aquellas imágenes con un error menor del 5%.

3. Resultados y Discusión

En cuanto al balance automático de blancos, solo se han registrado 2 fotos como válidas con un altísimo nivel de error. Se ha apreciado que un inadecuado uso del balance de blanco produce una alteración de los colores respecto al patrón, ya que ajusta la ganancia de los canales para conseguir un nivel igual en los diferentes canales. En el caso de la agricultura, con un predominio del verde, las imágenes tratadas han sido compensadas con una ganancia menor en el canal verde y un incremento de los canales rojo y azul, reduciéndose la saturación de la imagen. De esta forma se obtenienen imágenes con un marcado tono grisáceo, produciendo unos malos resultados en la segmentación, tanto por CAPS como fuzzy C-means.

En el caso de los filtros AEC, AGC y ABLC, están relacionados con la obtención de una distribución uniforme de grises, realizando el ajuste por zonas y por medio de un histograma para ajustar la imagen con la distribución deseada, obteniéndose un mejor contraste en la resolución de la imagen. Aunque solo se han obtenido los mejores resultados con el ajuste de la temperatura del color tanto por CAPS como fuzzy C-means. Cabe destacar que la cámara VO706 ha detectado unos mayores niveles de luminosidad debido a su sensibilidad del rango infrarrojo, que no es detectado por el ojo humano, apareciendo un efecto de lavado (grisáceo) o con un carácter monocromático.

En el caso de las imágenes capturadas con distintos niveles de iluminación, al aplicar la segmentación se han detectado valores dispares al aplicar los algoritmos dada la aberración cromática que se produce al variar la luminosidad. Con niveles inferiores, la imagen toma un tono azulado, mientras que una luminosidad elevada se produce un efecto sepia, obteniéndose desviaciones superiores al 5% fuera de un estrecho margen adecuado de lúmenes. En el mismo margen del 5% se han apreciado las desviaciones para ángulos inferiores al 70%.

En la comparativa de las dos cámaras, se ha observado una mayor nitidez y enfoque en la VO706, con colores más vivos con ficheros inferiores a los 20kb en la resolución QQVGA y a los 100kb en la resolución QVGA con un marcado granulado en los bordes de las formas con un pequeño margen de error menor al 2% respecto a las imágenes de referencia. Por su parte, la OV7076 ha generado archivos de 80kb en QQVGA y 330kb en QVGA, con un efecto marcado de lavado que ha ocasionado un mayor número de errores en la segmentación.

En las imágenes capturadas por la OV7670 también se ha apreciado una parte de fotografías con franjas verdes, o aberración del fichero al desplazarse un bit, o una división por 0 en el programa de procesamiento ffmpeg.

4. Conclusiones

Debido a las diferencias entre los formatos JPEG y RAW, salvo que se requiera imágenes precisas de bordes o se escale a mayores niveles, el formato JPEG es la mejor elección para segmentación, debido al pequeño tamaño de los archivos y los algoritmos prefijados de agrupación de píxeles, que hace que las imágenes sean más nítidas con un mayor nivel de contraste. Al reducirse el tamaño de los archivos se ha apreciado una rebaja en los tiempos de computación del algoritmo Fuzy C-Means de 30 s en ficheros de 300 kb a 5 s en archivos de 40 kb.

En el caso de la aplicación de filtros, claramente no se deben usar los filtros de balance por blanco ya que produce un marcado tono monocromático, ni los de balance de histograma de color en fotos vegetales, dado el nivel de verde de las plantas ya que producen un incremento en los canales no verdes para compensar.

La utilización de las técnicas combinadas de segmentación ha obtenido muy buenos resultados para descartar las imágenes con desviaciones cromáticas, al entrecruzar los datos por color (CAPS) respecto a las formas predominantes en el algoritmo fuzzy C-means.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el MINECO español, así como los fondos FEDER de la Comisión Europea, bajo el proyecto TIN2015-66972-C5-3-R.

Bibliografía

White, J.F. and S. J. Gould. 1965. Interpretation of the coefficient in the allometric. *Am.Nat.* 99 (904), 5–18

González-Esquiva, J.M., G. García-Mateos, D. Escarabajal-Henarejos, J.L. Hernández-Hernández, A. Ruiz-Canales and J.M. Molina-Martínez. 2017a. A new model for water balance estimation on lettuce crops using effective diameter obtained with image analysis, *Agric. Water Manag*., 183: 116-122.

García-Mateos, G., J.L. Hernández-Hernández, D. Escarabajal-Henarejos, S. Jaén-Terrones and J.M. Molina-Martínez. 2015. Study and comparison of colormodels for automatic image analysis in irrigation management applications. *Agric. Water Manag*. 151, 158–166.

Bezdek, J. 1973. Fuzzy Mathematics in Pattern Classification. Ph. D. Thesis, Applied Math. Center, Cornell University.

González-Esquiva, J.M., García-Mateos, G., Hernández-Hernández, J.L., Ruiz-Canales, A., Escarabajal-Henerajos, D., Molina-Martínez, J.M. 2017. Web application for analysis of digital photography in the estimation of irrigation requirements for lettuce crops, *Agric. Water Manag*., 183: 136-145.

Mapeamento de precipitação e temperatura do ar na região das Matas de Minas – MG

Thalyta Varejão Miranda [1] , Williams Pinto Marques Ferreira [2] , Guilherme de Castro Oliveira [3] Cecília de Fátima Souza [4,] Marcos Antônio Vanderlei Silva [5]

[1] Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Unidade Regional Zona da Mata (URZM), 36570-000, Voçosa, Brasil, thatavarejao@hotmail.com

[2] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Unidade Regional Zona da Mata (URZM), 36570-000, Viçosa, Brasil, williams@embrapa.br

[3] Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 36570-000, Viçosa, Brasil, guilhermecastro86@gmail.br

[4] Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 36570-000, Viçosa, Brasil. cfsouza@hotmail.br

[5] Departamento de ciências exatas e da terra (DCET), Colegiado de Engenharia Agronômica, Universidade Estadual da Bahia (UNEB), Campus IX, 47802-682, Barreiras, Brasil, maavsilva@uneb.br

Resumo

A cultura do café tem importância significativa na economia brasileira. O país é o maior exportador de café do mundo, sendo Minas Gerais, o Estado de maior participação no cultivo do fruto, com destaque para a região das Matas de Minas. Essa região apresenta grande potencial à cultura do cafeeiro arábica. Nesse contexto, faz-se necessário uma investigação técnica acerca do mapeamento de elementos climáticos que podem afetar a produção de café na região, pois o mapeamento desses elementos permite avaliar espacialmente as condições que permeiam a produtividade das lavouras. Objetivou-se neste trabalho gerar mapas que representem o padrão médio mensal de chuva e temperatura do ar na região nas fases reprodutiva e vegetativa do ciclo fenológico do café arábica, com base nas informações dos dois bancos de dados, e avaliar a correlação entre essas informações. Foram utilizados diferentes métodos de interpolação, a fim de averiguar a correlação entre as informações das estações meteorológicas do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, com as informações cedidas pelo banco de dados climáticos globais – Worldclim. Constatou-se boa correlação entre os valores interpolados por Krigagem e Cokrigagem com os dados do WorldClim, contudo, foram identificadas diferenças entre os mapas gerados, devido, principalmente, ao volume de dados disponíveis para as análises.

Palavras-chave: Café arábica, ciclo fenológico, clima, INMET, interpolação, WorldClim

Mapping of precipitation and air temperature in the Matas de Minas region - MG

Abstract

The coffee culture has significant importance in the Brazilian economy. The country is the largest exporter of coffee in the world, being Minas Gerais, the State with the largest participation in the cultivation of this fruit, with emphasis on the Matas de Minas region. This region presents great potential for the cultivation of arabica coffee. In this context, it is necessary a technical investigation about the mapping of climatic elements that can affect the production of coffee in this region, since the mapping of these elements allows to evaluate spatially the conditions that permeate the productivity of the crops. The objectives of this work were to generate maps that represent the average monthly rainfall pattern and air temperature in the region during the reproductive and vegetative phases of the arabica coffee phenological cycle, based on the information from two databases, and to evaluate the correlation between this information. Different interpolation methods were used in order to verify the correlation between the INMET (Instituto Nacional de Meteorologia-Brazil) meteorological station information and the information provided by the global climatic database, named Worldclim. A good correlation was found between the values interpolated by kriging and cokriging and the WorldClim data,

however, differences among the generated maps were identified, mainly due to the volume of data available for such analyzes.

Keywords: Arabica coffee, phonological cycle, climate, INMET, interpolation, Worldly

1. Introdução

Historicamente a cultura do café tem importância significativa na economia brasileira. O país destaca-se como o maior exportador de café do mundo, sendo Minas Gerais o estado com maior participação na produção. De acordo com os dados do IBGE, em 2016 o Estado produziu 1.827.883 toneladas de café arábica, quantidade correspondente a mais de 50% da produção nacional (IBGE, 2017).

A região das Matas de Minas (Figura 1), localizada na porção sudeste do Estado, abrange 63 municípios das mesorregiões da Zona da Mata e do Vale do Rio Doce e destaca-se como uma das mais importantes áreas produtoras de café de Minas Gerais. Nessa região o cultivo de café de montanha é de grande relevância, cuja qualidade está relacionada às características naturais da região e também em razão de aspectos climáticos e geomorfológicos (Ferreira, 2016).

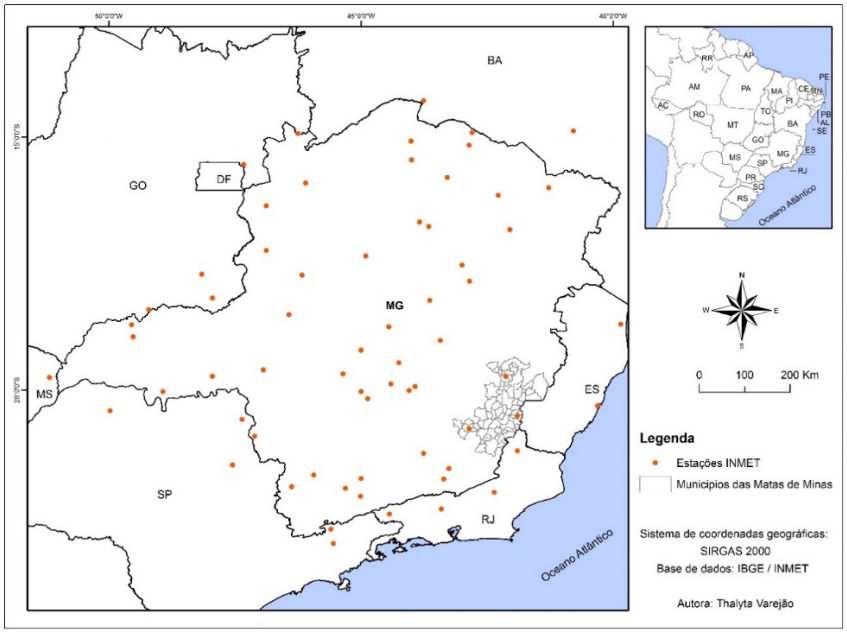


Figura 1. Mapa de localização das estações do Instituto Nacional de Meteorologia- INMET

Na região das Matas de Minas (Figura 1) o cultivo é predominantemente de café arábica o qual, segundo Ngolo et al. (2014), não é tolerável a abruptas variações térmicas, se desenvolvendo bem em regiões em que a média térmica ótima à produção varia entre 18° C a 21° C. Já com relação aos valores precipitados, o volume de chuvas ótimo à produção está entre 1.200 mm a 1.500 mm ao ano.

As características climáticas do local onde o café é cultivado são importantes pois interferem no ciclo fenológico da planta que, segundo Pezzopane (2008), corresponde a interação entre seus processos biológicos, em função das condições ambientais, sendo que no café arábica, as fases fenológicas ocorrem no período de dois anos, com seis fases que ao final completam o ciclo.

Ao longo do ciclo fenológico os valores de chuva e temperatura do ar influenciam diretamente os resultados da safra, uma vez que o choque hídrico e o aumento da umidade do ar são os principais fatores para desencadear a florada, no entanto, caso a temperatura ambiente seja elevada e associada a déficit hídrico, pode ocorrer abortamento da florada (Camargo e Camargo, 2001).

Considerando a importância do clima para o desenvolvimento vegetal, o conhecimento a cerca do comportamento espacial dos elementos climáticos que envolvem a produção cafeeiro é importante para definir estratégias ao planejamento de áreas agricultáveis, gestão dos riscos climáticos, e etc (Perin et al., 2015). Ainda segundo Perin et al. (2015), quando em uma região não existem dados suficientes para o mapeamento, são utilizadas técnicas geoestatísticas, que se destacam como uma ferramenta aplicada ao estudo do comportamento de variáveis regionalizadas. Métodos geoestatísticos de interpolação possibilitam projetar a relação espacial de dados georreferenciados para obter superfícies contínuas. Li e Heap (2008) citam que tais métodos, são classificados em geoestatísticos, não geoestatísticos, e combinados.

Um dos interpoladores geoestatísticos é a Krigagem, que faz estimativas dos valores ótimos amostrais de um ponto, que são distintos dependendo do arranjo espacial dos dados (Perin et al., 2015). A Cokrigagem, é uma extensão multivariada da Krigagem, que possibilita usar variáveis secundárias densamente amostradas na espacialização de uma variável primária (Carvalho, Queiroz, 2002). O Inverso do Quadrado da Distância, IDW em inglês, é um interpolador não geoestatístico que estima valores de um atributo para pontos não amostrados por meio de combinação linear dos pontos mais próximos, e leva em consideração a relação de distância entre os pontos (Perin et al., 2015). É também considerado um interpolador de suavização de superfícies, por considerar que a influência de cada ponto é proporcional à distância (Alves, et al., 2011).

Tendo em vista a importância da produção cafeeira das Matas de Minas, e a relevância do estudo do clima para o cultivo de café de montanha, considerando a aptidão climática do grão, as particularidades fenológicas da planta, e os para espacia métodos de interpolaão para espacialização de dados meteorológicos, objetiva-se com esse trabalho investigar formas para representar espacialmente o padrão de chuva e temperatura do ar, dessa região, durante os períodos vegetativo e reprodutivo do cafeeiro arábica, bem como averiguar a correlação entre os dados de precipitação e temperatura do ar, com base nas informações das estações meteorológicas e do banco de dados climáticos global.

2. Materiais e Métodos

Para o mapeamento do padrão térmico e pluviométrico da região das Matas de Minas, foram utilizados dados de estações meteorológicas padrão do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, e do portal WorldClim, que dispõe de um banco de dados interpolados climáticos globais, que disponibiliza dados matriciais com informações de chuva e temperatura do ar.

Para definição da escala temporal dos dados foram considerados os meses referentes a primeira fase fenológica (setembro a março) do primeiro ano fenológico, quando são formados os ramos vegetativos; e os meses referentes as terceira e quarta fases (setembro a março) do segundo ano fenológico, quando se inicia a florada sucedida pelo crescimento dos grãos e granação dos frutos (Camargo e Camargo, 2001).

Devido a pequena quantidade de estações meteorológicas na região (conforme os pontos em destaque na Figura 1), para minimizar o vazio de informações foram utilizadas 65 estações, de Minas Gerais e de estados vizinhos.

Foi utilizado o *software* Microsoft Excel, para elaboração dos gráficos de correlação a partir dos valores das médias mensais de temperatura do ar e precipitação, no período entre setembro a março. Ao todo, foram agrupadas informações referentes a cinquenta e um anos de registro, de 1963 a 2014, a partir do BDMEP, e trinta anos com os dados do WorldClim (segunda versão) entre 1970 - 2000.

A decisão acerca do interpolador mais adequado à elaboração dos mapas, foi feita com base na análise dos erros médios gerados. O mapeamento foi feito com base nos registros médios mensais de precipitação, e médias mensais de temperatura máxima e mínima do ar das estações do INMET.

Foram criadas camadas contínuas a partir dos interpoladores IDW, Krigagem ordinária, e Cokrigagem ordinária. Na Cokrigagem, tomou-se valores altimétricos como variáveis secundárias, de acordo com Carvalho e Queiroz (2002). Todo processo de georreferenciamento, interpolação e produção dos mapas foi feito com o programa Arcgis, versão 10.1.

As camadas de interpolação geradas foram convertidas em imagens raster, e os valores de precipitação e temperatura do ar foram extraídos a partir das imagens com as informações do Worldclim e do INMET, gerando novo plano de informações com valores de 66 pontos com dados térmicos e pluviométricos. Assim, os gráficos de correlação com valores extraidos das imagens foram elaborados.

3. Resultados e Discussão

3.1. Correlação entre os dados

A partir das interpolações dos dados das estações meteorológicas, o modelo da Krigagem Ordinária resultou em menores valores de erros médios para temperatura do ar. Já com relação a chuva, a Cokrigagem Ordinária, com valores altimétricos como variável secundária, resultou em menores erros médios, conforme a Figura 2.

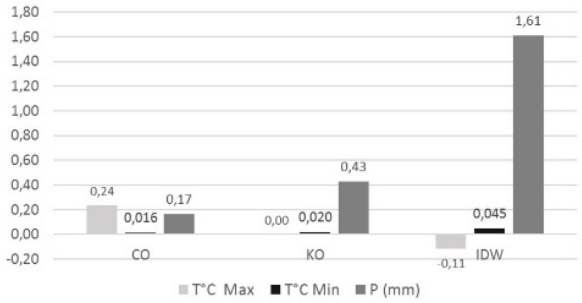


Figura 2. Erros médios obtidos para a interpolação da temperatura máxima (TºC Max), mínima (T°C Min), e precipitação (Pmm), considerando os interpoladores Cokrigagem (CO), Krigagem (KO), e IDW.

Nas Figuras 3, 4 e 5 são apresentados gráficos que expressam a correlação entre as informações de precipitação média mensal e temperatura média do ar, nos meses em análise, das informações cedidas pelo INMET e pelo WorldClim.

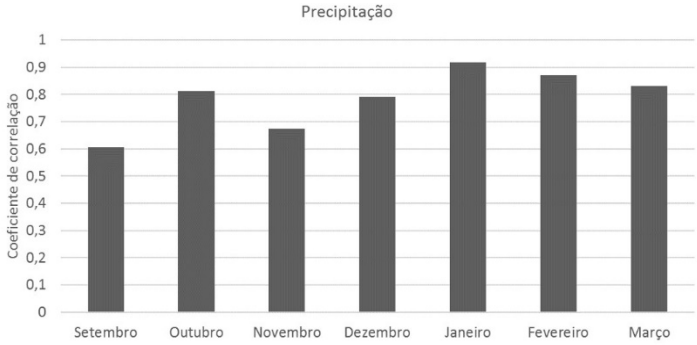


Figura 3. Coeficiente de correlação entre valores médios precipitados cedidos pelo WorldClim e INMET.

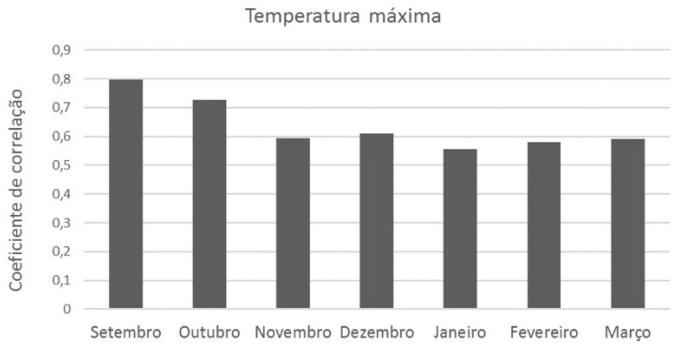


Figura 4. Coeficiente de correlação entre valores médios de temperatura máxima do ar cedidos pelo WorldClim e INMET.

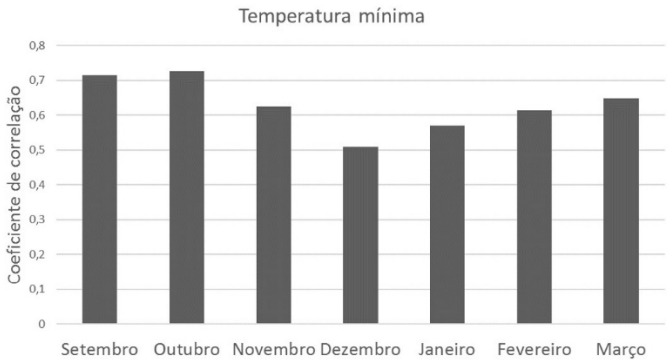


Figura 5. Coeficiente de correlação entre valores médios de temperatura mínima do ar cedidos pelo WorldClim e INMET.

Nota-se também que de modo geral os dados de precipitação foram mais correlacionados, do que os de temperatura do ar. Percebe-se também boa correlação dos dados, com exceção dos meses de setembro e dezembro (Figura 3).

3.3. Mapas

Pela representação espacial dos dados, notam-se diferenças entre as os valores de registros de precipitação e temperaturas médias do ar em ambas fontes de dados. Pode-se observar as singularidades dos mapas gerados a partir da base de dados do WorldClim, com relação ao nível de detalhamento. As informações nas escalas dos mapas também salientam as diferenças entre os valores registrados pelas estações meteorológicas do INMET e pelo banco de dados climáticos global.

A partir da analise dos mapas de precipitação, observa-se que no mês de janeiro (Figura 7), que teve maior correlação entre os dados, não houve grande discrepância entre a amplitude das escalas nos mapas (i e k) das distintas bases de dados. Pode-se destacar também o mês de setembro (Figura 6), cujos valores de chuva foram os menores entre o período de análise, segundo as duas fontes de dados.

Com relação aos mapas de temperatura do ar, observa-se também significativas diferenças entre valores de temperaturas médias máximas e mínimas, como expressão da amplitude térmica, da região. O mês de Setembro (Figura 9) expressou menor discrepâncias entre os valores de amplitude térmica no período (mapas a, c). Contudo, com relação aos mapas (e, g) de temperaturas máximas do ar, dezembro (Figura 9) foi o mês com menor diferença entre as escalas, das bases de dados.

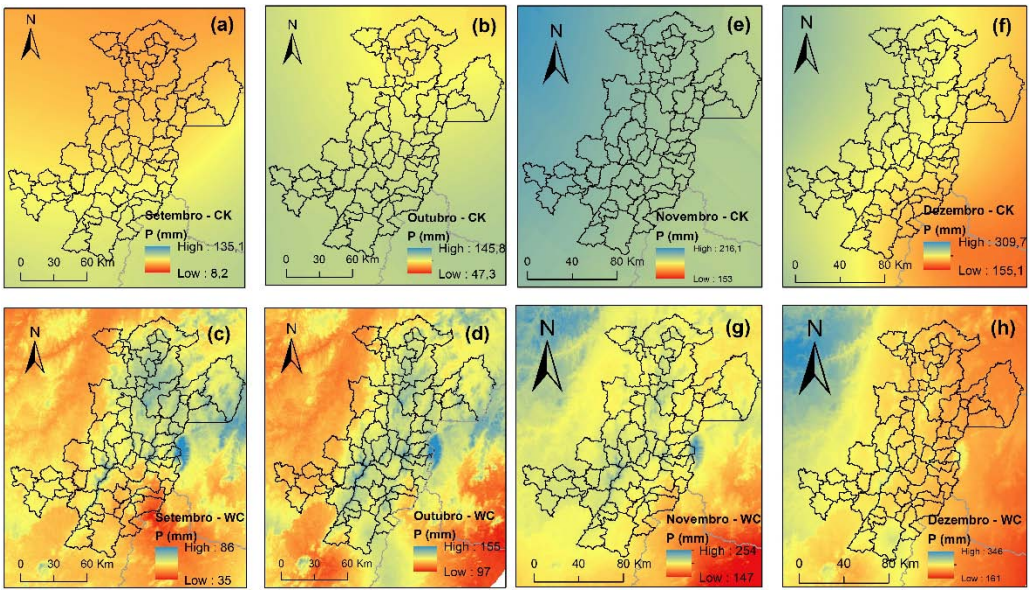


Figura 6. Mapas de precipitação de setembro a dezembro Cokrigagem (CK) e WorldClim (WC).

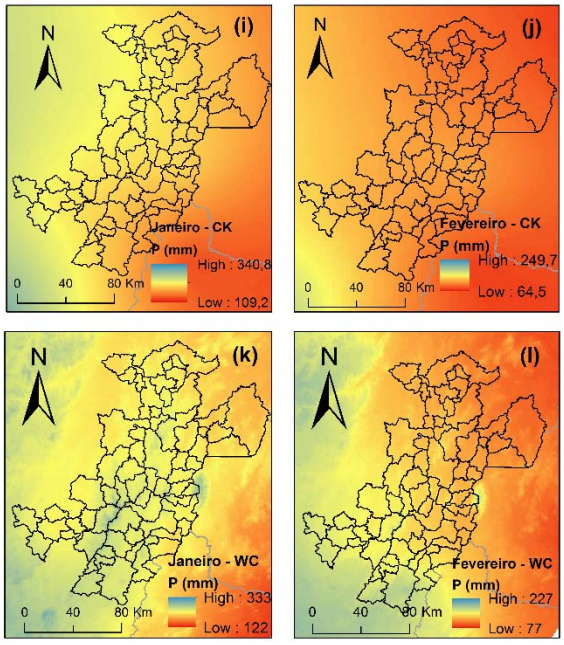


Figura 7. Mapas de precipitação de Janeiro a fevereiro Cokrigagem (CK) e WorldClim (WC).

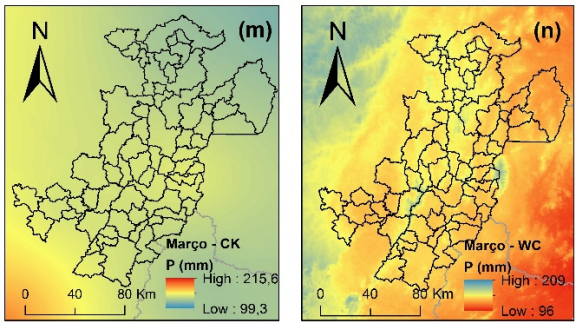


Figura 8. Mapas de precipitação de Março Cokrigagem (CK) e WorldClim (WC).

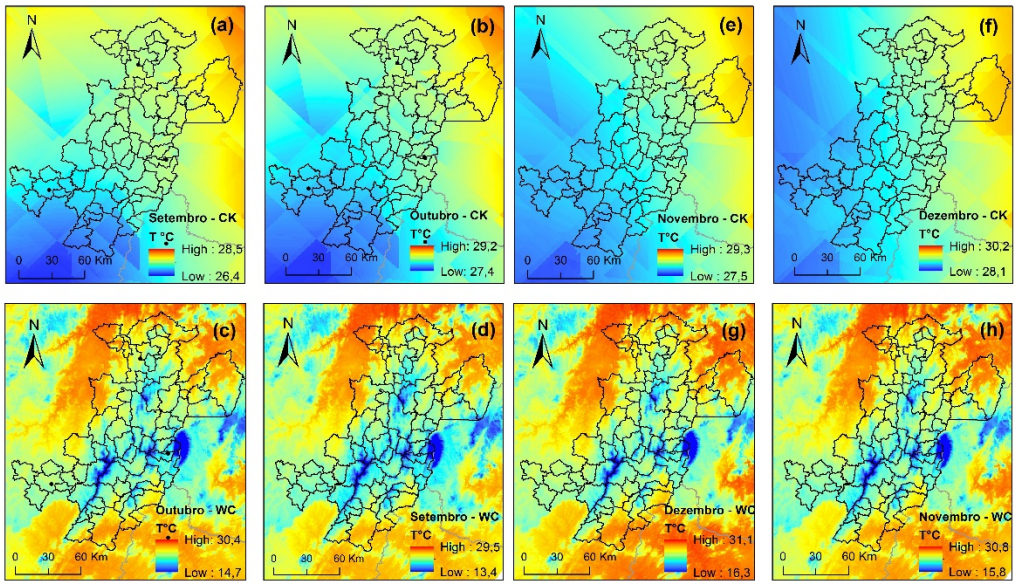


Figura 9. Mapas de temperaturas médias máximas do ar de setembro a dezembro Cokrigagem (CK) e WorldClim (WC).

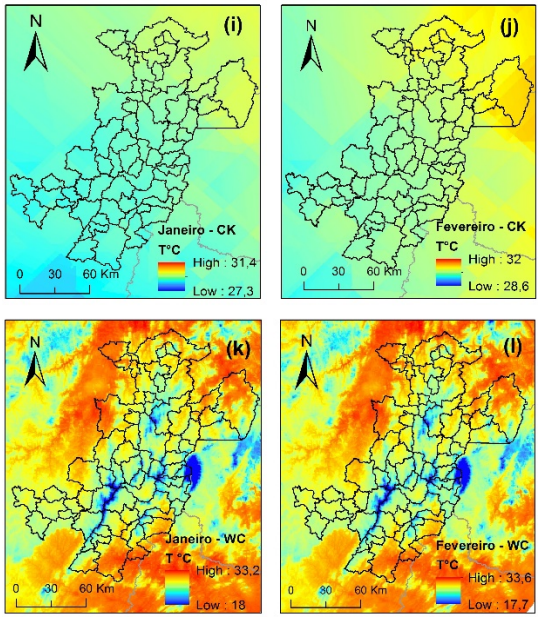


Figura 10. Mapas de temperaturas médias máximas do ar de janeiro a fevereiro Cokrigagem (CK) e WorldClim (WC).

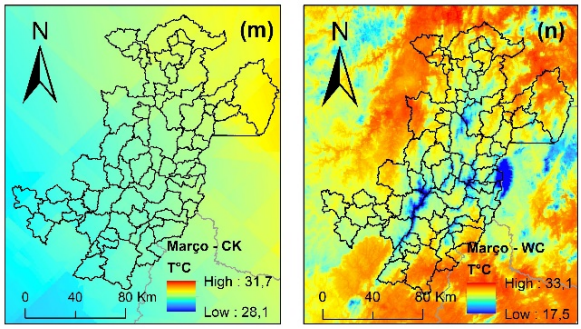


Figura 11. Mapas de temperaturas médias máximas do ar de março Cokrigagem (CK) e WorldClim (WC).

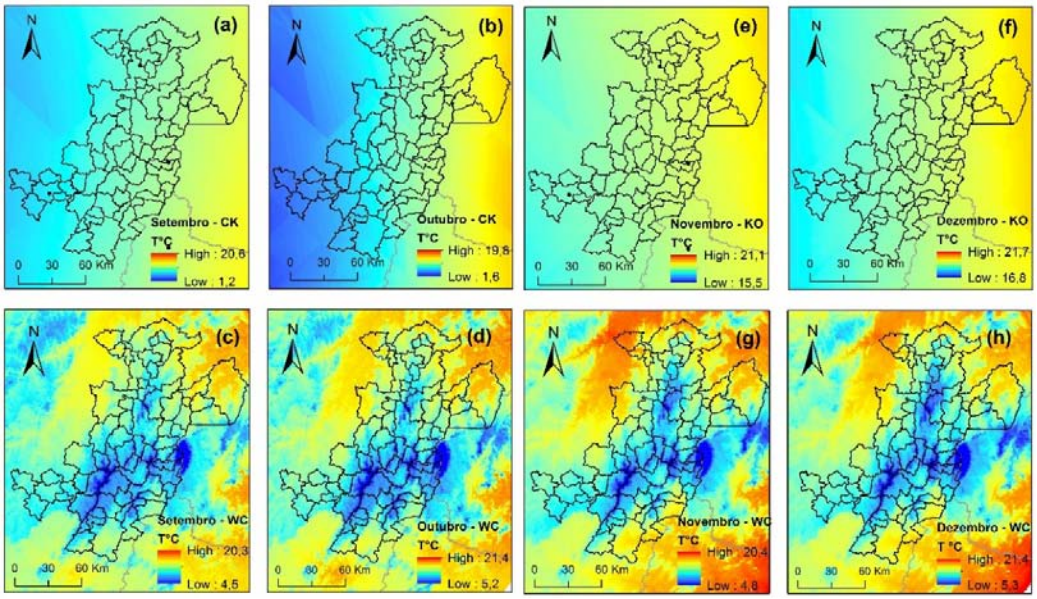


Figura 12. Mapas de temperaturas médias minimas do ar de setembro a dezembro Cokrigagem (CK) e WorldClim (WC).

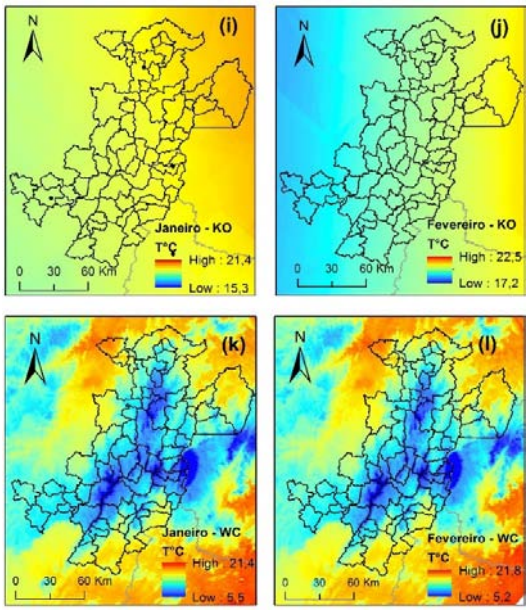


Figura 13. Mapas de temperaturas médias mínimas do ar de janeiro a fevereiro Cokrigagem (CK) e WorldClim (WC).

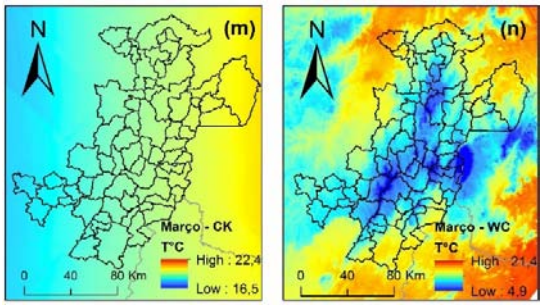


Figura 14. Mapas de temperaturas médias mínimas do ar de março Cokrigagem (CK) e WorldClim (WC).

4. Conclusões

Os graficos de correlação permitem notar que de modo geral não houve grande diferença entre as informações dos dois bancos de dados na região das Matas de Minas, no período vegetativo e reprodutivo do cafeeiro arábica. No entanto, nota-se significativa diferença na espacialização dessas informações, devido ao nível de detalhamento dos mapas em razão do volume de informações disponíveis. Por tal motivo, recomenda-se cautela quanto ao uso de mapas feitos a partir de interpolações dos dados das estações meteorológicas nessa escala espacial, sobretudo quando há pequeno número de estações com informações disponíveis.

Bibliografia

Alves, E. D. L.; Vecchia, F. A. S. 2011. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. *Acta Scientiarum*. *Human and Social Sciences*, 33: 193-197.

Camargo, A. P. de; Camargo, M. B. P. 2001. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Revista Bragantia*, 60: 65-68.

Carvalho, J. R. P. de; Queiroz, E. F. 2002. Uso de cokrigagem colocalizada na determinação da distribuição espacial de precipitação. *Boletim Técnico EMBRAPA*.

FERREIRA, W. P. M, QUEIROZ, D. M. SILVAC, S. A. TOMAZ, R. S. CORRÊA, P. C. 2016. Effects of the Orientation of the Mountainside, Altitude and Varieties on the Quality of the Coffee Beverage from the "Matas de Minas" Region, Brazilian Southeast. *American Journal of Plant Sciences*, 7: 1291.

Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA; Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 2016. Disponível em:<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em 31 de janeiro de 2017.

Ngolo, A. O. 2014. Zoneamento agroclimático para cultura do café em Angola. Tese Mestrado em agroecologia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Perin, E. B.; Viana. L. F. N.; Ricce W.S.; Massignam, A. M.; Pandolfo, C. 2015. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos mais eficientes. *Caminhos de Geografia*, 40: 269-289.

Pezzopane, J. R. M.; Junior, M. J. P.; Camargo, M. B. P.; Fazuoli, L. C. 2008. Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. *Ciência e agrotecnologia*, 32: 1781-1786.

Aplicación SIG para calcular el factor por accesibilidad a núcleos de población en la valoración de expropiaciones del suelo rural

Jacinto Santamaría-Peña [1], Mª Elena Palacios-Ruiz [2], Félix Sanz-Adán [3]

[1,3] Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería. Universidad de La Rioja. C/ Luis de Ulloa, 4. 26004-LOGROÑO (La Rioja) Email: jacinto.santamaria@unirioja.es ; felix.sanz@unirioja.es

[2] Sección de Asistencia Técnica y Expropiaciones-Consejería de Fomento y Política Territorial (Gobierno de La Rioja). C/ Marqués de Murrieta, 76. 26005-LOGROÑO (La Rioja) Email: elena.palacios@larioja.org

Resumen

En la valoración de un suelo rural sometido a un proceso de expropiación, se han de considerar aspectos relativos a la localización de las parcelas afectadas. La valoración final del suelo, deberá tener en cuenta la localización espacial concreta del inmueble y aplicar un factor global de corrección al valor de capitalización, denominado Factor global de localización (Fl). Para su determinación hay que calcular otro factor llamado Factor por accesibilidad a núcleos de población (u_1), en el que intervienen dos parámetros P_1 (*habitantes de los núcleos de población situados a menos de 4 km*) y P_2 (*habitantes de los núcleos de población situados entre 4 km y 40 Km*).

Para el cálculo preciso de estos dos parámetros se necesita una buena cartografía con la posición exacta de los núcleos de población y una buena base de datos con información actualizada sobre la población existente en dichos núcleos. No es suficiente conocer la población de los términos municipales ya que este dato por sí solo sería de una gran imprecisión.

Con este objetivo, se ha integrado la información gráfica de los núcleos de población del conjunto del Estado español y la base de datos del INE más actualizada del nomenclátor de población distribuido por entidades de población, en un Sistema de Información Geográfica. Incluyendo la cartografía catastral e imágenes georreferenciadas y localizando la parcela afectada por la expropiación, en pocos pasos se llega a obtener la población en un entorno de 4 Km y la población en un entorno entre 4-40 Km, según establece la reglamentación.

El trabajo se ha desarrollado íntegramente utilizando software libre QGIS v2.8 ´Wien´ y bases de datos gráficas y alfanuméricas facilitadas por Organismos Públicos. Se describen los pasos necesarios para la obtención del factor de accesibilidad a núcleos de población de una forma rápida y precisa.

Palabras clave: expropiaciones; factor de localización; factor de accesibilidad; valoración del suelo; valoración rural.

GIS application to calculate factor for accessibility to population centers in the valuation of rural land expropriations

Abstract

In assessing a rural land subject to an expropriation process, consideration must be given to aspects relating to the location of the affected plots. The final valuation of the land must take into account the specific spatial location of the property and apply a global correction factor to the capitalization value, called the global location factor (Fl). For its determination, we must calculate another factor called Factor for accessibility to population centers (u_1), in which two parameters P_1 (inhabitants of the population nuclei located less than 4 km) and P_2 (inhabitants of the population nuclei between 4 km and 40 km).

For accurate calculation of these two parameters a good mapping is needed with the exact position of the population nuclei and a good database with updated information on the population existing in those nuclei. It is not enough to know the population of the municipal terms since this information alone would be of great imprecision.

To this end, the graphic information of the population centers in Spain as a whole and the most updated INE database of the population gazette distributed by population entities have been integrated into a Geographic Information System. Including cadastral mapping and georeferenced images and locating the parcel affected by the expropriation, in a few steps the population is reached in an environment of 4 km and the population in an environment between 4-40 km, according to the regulations.

This work has been developed in full using free software QGIS v2.8 'Wien' and graphic and alphanumeric databases provided by Public Organizations. The steps to obtain in a fast and precise way the accessibility factor for population nuclei are described.

Keywords: Expropriations; Localization factor; Accessibility factor; Soil evaluation; Rural valuation.

1. Introducción

En España, la valoración de fincas rústicas sometidas a un proceso de expropiación se debe realizar de acuerdo con el Real Decreto 1492/2011, de 24 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de valoraciones de la Ley de Suelo y el Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana. Entre otros aspectos (artº 17 del Real Decreto 1492/2011), hay que considerar la localización concreta espacial de la finca para corregir el valor obtenido por capitalización de rentas anuales. Este factor de localización de la finca, depende de varios factores, destacando entre ellos el **factor de accesibilidad a núcleos de población (u_1)**, que depende de dos parámetros P_1 y P_2, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\mu_1 = 1 + \frac{\left(P_1 + \frac{P_2}{3}\right)}{1000000} \qquad (1)$$

donde:

μ_1 es el factor de accesibilidad a núcleos de población.

P1 es el número de habitantes de los núcleos de población situados a menos de 4 km de distancia medida a vuelo de pájaro.

P2 es el número de habitantes de los núcleos de población situados a más de 4 km y a menos de 40 km de distancia medida a vuelo de pájaro.

De la expresión anterior, criticada por algunos autores *(Porto-Rey, 2012),* se deduce que el legislador quiere reconocer un mayor valor a las parcelas rústicas expropiadas, cuando éstas están próximas a núcleos de población con muchos habitantes o cuando están en entornos muy poblados (Hernández-Alemán, 2016). Para cumplir estrictamente con lo que ordena el Real Decreto 1492/2011 no basta con disponer de la población de cada municipio en torno a la parcela expropiada, ya que dicha población se distribuye en núcleos más o menos dispersos y, por tanto, es necesario conocer su posición y su población de manera individualizada.

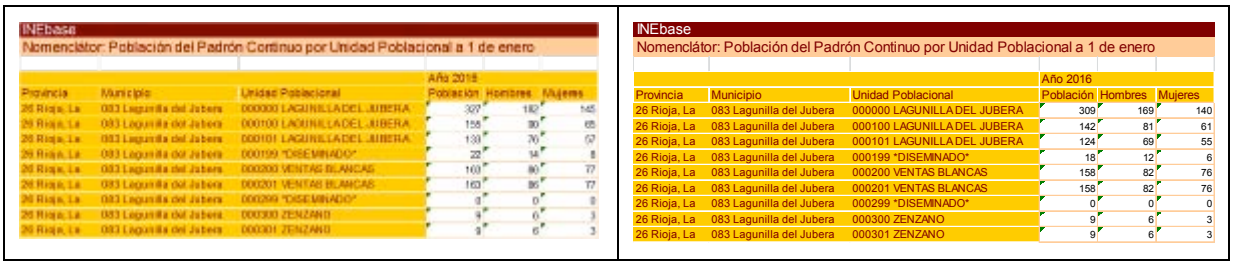
Es por este motivo, por lo que se hace imprescindible utilizar sistemas de información geográfica que gestionen la información gráfica del posicionamiento exacto de cada núcleo de población en torno a la parcela a expropiar y el número de habitantes que cada núcleo dispone en un año determinado.

2. Materiales y Métodos

En este trabajo se va a demostrar que se puede calcular de una forma rápida y precisa el factor de accesibilidad a núcleos de población que hay que aplicar en la valoración de una parcela expropiada, de acuerdo con el vigente Reglamento de valoraciones de la Ley del Suelo. Y para ello, se van a utilizar las bases de datos de población del nomenclátor del INE, posicionamiento geográfico de los núcleos de población realizado por el IGN y las herramientas topológicas de análisis espacial de QGIS (*software libre que opera bajo la licencia GNU GP*).

2.1. Bases de Datos de Población

El Padrón Municipal es el registro administrativo donde constan los vecinos de cada municipio. La revisión del padrón municipal corresponde a cada ayuntamiento, que lo hace con referencia al 1 de enero de cada año. Dentro de los municipios, la población se asienta en entidades locales de ámbito territorial inferior, como las entidades singulares, los núcleos y diseminados. El INE considera núcleo de población a un conjunto de al menos diez edificaciones, que están formando calles, plazas y otras vías urbanas, o que siendo inferior a diez edificaciones, la población que habita en las mismas supere los 50 habitantes.


INEbase
Nomenclátor: Población del Padrón Continuo por Unidad Poblacional a 1 de enero

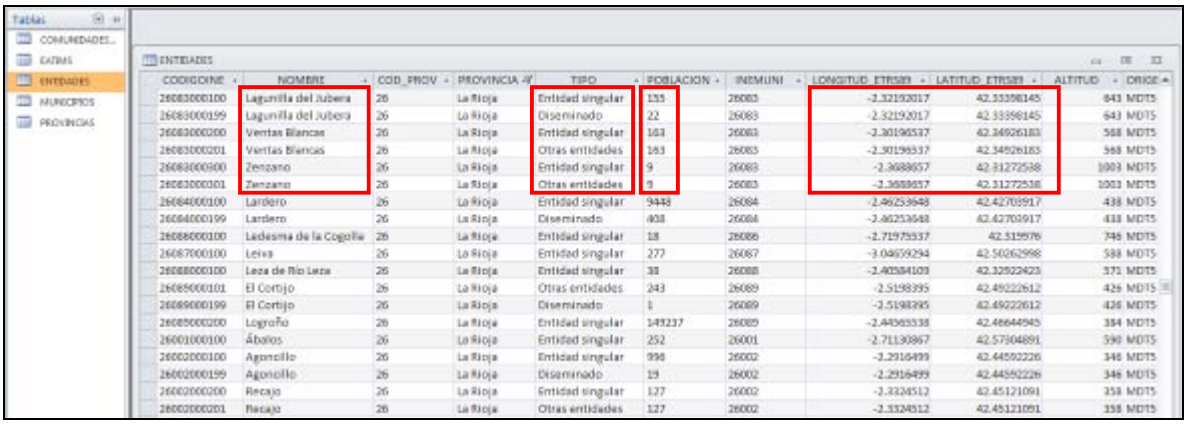
Provincia	Municipio	Unidad Poblacional	Año 2016 Población	Hombres	Mujeres
26 Rioja, La	083 Lagunilla del Jubera	000000 LAGUNILLA DEL JUBERA	309	169	140
26 Rioja, La	083 Lagunilla del Jubera	000100 LAGUNILLA DEL JUBERA	142	81	61
26 Rioja, La	083 Lagunilla del Jubera	000101 LAGUNILLA DEL JUBERA	124	69	55
26 Rioja, La	083 Lagunilla del Jubera	000199 "DISEMINADO"	18	12	6
26 Rioja, La	083 Lagunilla del Jubera	000200 VENTAS BLANCAS	158	82	76
26 Rioja, La	083 Lagunilla del Jubera	000201 VENTAS BLANCAS	158	82	76
26 Rioja, La	083 Lagunilla del Jubera	000299 "DISEMINADO"	0	0	0
26 Rioja, La	083 Lagunilla del Jubera	000300 ZENZANO	9	6	3
26 Rioja, La	083 Lagunilla del Jubera	000301 ZENZANO	9	6	3

Figura 1. Nomenclátor del INE años 2015 y 2016 (Ejemplo: Lagunilla del Jubera-LA RIOJA).

Desde la página web del INE (www.ine.es) se puede acceder a la población registrada de todos los municipios de España y su distribución en entidades singulares menores.

2.2. Núcleos de población georreferenciados

Los núcleos de población georreferenciados de toda España los podemos obtener en el centro de descargas del C.N.I.G. (Centro Nacional de Información Geográfica).


Tablas
COMUNIDADES...
CAPAS
ENTIDADES
MUNICIPIOS
PROVINCIAS

ENTIDADES

CODIGOINE	NOMBRE	COD_PROV	PROVINCIA	TIPO	POBLACION	INEMUNI	LONGITUD_ETRS89	LATITUD_ETRS89	ALTITUD	ORIGE
26083000100	Lagunilla del Jubera	26	La Rioja	Entidad singular	155	26083	-2.32192017	42.33398145	643	MDT5
26083000199	Lagunilla del Jubera	26	La Rioja	Diseminado	22	26083	-2.32192017	42.33398145	643	MDT5
26083000200	Ventas Blancas	26	La Rioja	Entidad singular	163	26083	-2.30196537	42.34926183	568	MDT5
26083000201	Ventas Blancas	26	La Rioja	Otras entidades	163	26083	-2.30196537	42.34926183	568	MDT5
26083000300	Zenzano	26	La Rioja	Entidad singular	9	26083	-2.3688657	42.31272538	1003	MDT5
26083000301	Zenzano	26	La Rioja	Otras entidades	9	26083	-2.3688657	42.31272538	1003	MDT5
26084000100	Lardero	26	La Rioja	Entidad singular	9448	26084	-2.46253648	42.42703917	438	MDT5
26084000199	Lardero	26	La Rioja	Diseminado	408	26084	-2.46253648	42.42703917	438	MDT5
26086000100	Ledesma de la Cogolla	26	La Rioja	Entidad singular	18	26086	-2.71975337	42.319976	746	MDT5
26087000100	Leiva	26	La Rioja	Entidad singular	277	26087	-3.04659294	42.50262998	588	MDT5
26088000100	Leza de Río Leza	26	La Rioja	Entidad singular	38	26088	-2.40584109	42.32522423	571	MDT5
26089000101	El Cortijo	26	La Rioja	Otras entidades	243	26089	-2.5198395	42.49222612	426	MDT5
26089000199	El Cortijo	26	La Rioja	Diseminado	1	26089	-2.5198395	42.49222612	426	MDT5
26089000200	Logroño	26	La Rioja	Entidad singular	149237	26089	-2.44565538	42.46644945	384	MDT5
26001000100	Ábalos	26	La Rioja	Entidad singular	252	26001	-2.71130867	42.57304891	590	MDT5
26002000100	Agoncillo	26	La Rioja	Entidad singular	996	26002	-2.2916499	42.44552226	346	MDT5
26002000199	Agoncillo	26	La Rioja	Diseminado	19	26002	-2.2916499	42.44552226	346	MDT5
26002000200	Recajo	26	La Rioja	Entidad singular	127	26002	-2.3324512	42.45121091	358	MDT5
26002000201	Recajo	26	La Rioja	Otras entidades	127	26002	-2.3324512	42.45121091	358	MDT5

Figura 2. Nomenclator_Municipios_EntidadesDePoblacion.mdb [© Instituto Geográfico Nacional].

En esta base de datos, podemos apreciar los habitantes registrados en cada núcleo de población de España, apareciendo además las coordenadas geográficas ETRS89 de un punto central de cada núcleo, lo que permite su integración y explotación en un sistema de información geográfica.

2.3. Gestión con un Sistema de Información Geográfica

En este trabajo se utilizará el sistema de información geográfica QGIS versión 2.8.9 ´Wien´.

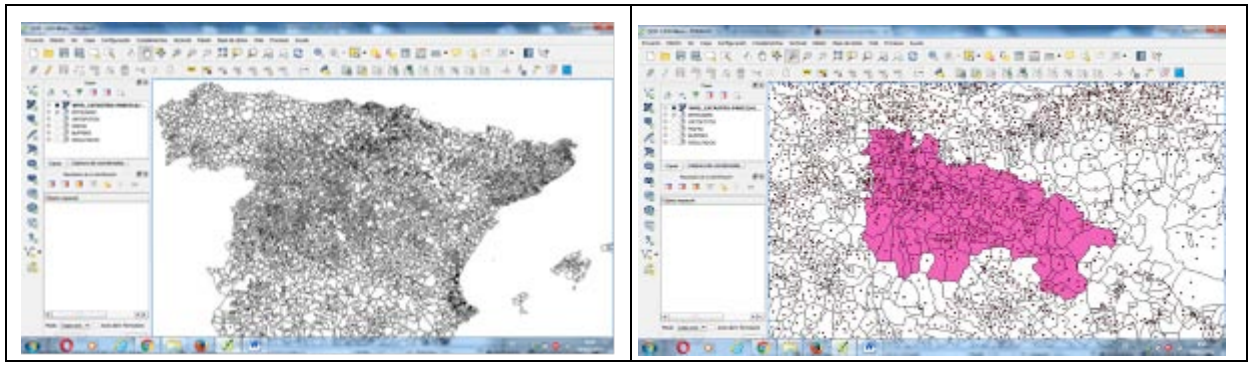


Figura 3. Municipios de España y núcleos de población en La Rioja.

La finca rústica hipotéticamente afectada por el proceso de expropiación es la parcela 587 del polígono 4 del municipio de Lagunilla del Jubera (La Rioja), que cuenta con tres núcleos de población bien diferenciados (Ventas Blancas, Lagunilla del Jubera y Zenzano).

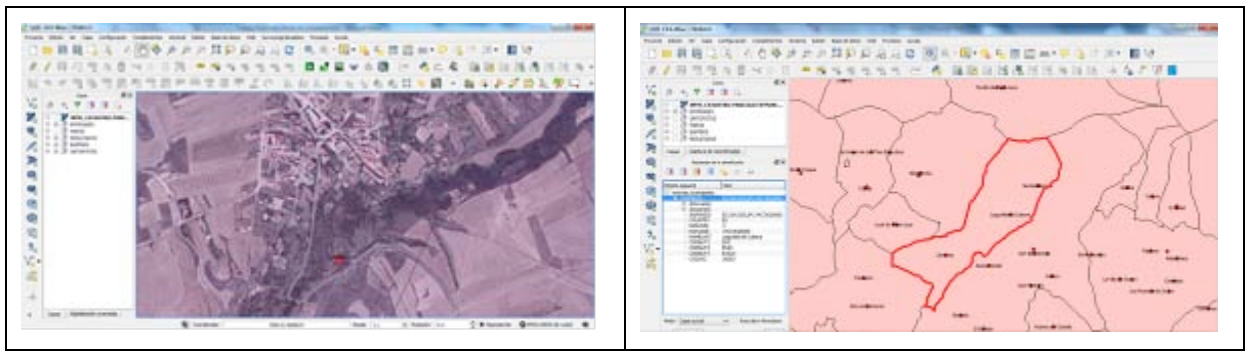


Figura 4. Finca afecta por expropiación y municipio con sus núcleos de población.

2.3.1. Determinación del parámetro P1

Conocida la posición geográfica de la parcela expropiada en coordenadas UTM30N-ETRS89 [557.563; 4.688.456], y definida ésta por medio de un centroide, se crea una zona "buffer" de 4 Km de radio utilizando las herramientas de geoproceso vectorial. De este modo se pueden visualizar los municipios y núcleos de población que están contenidos dentro de ese límite de 4 Km.

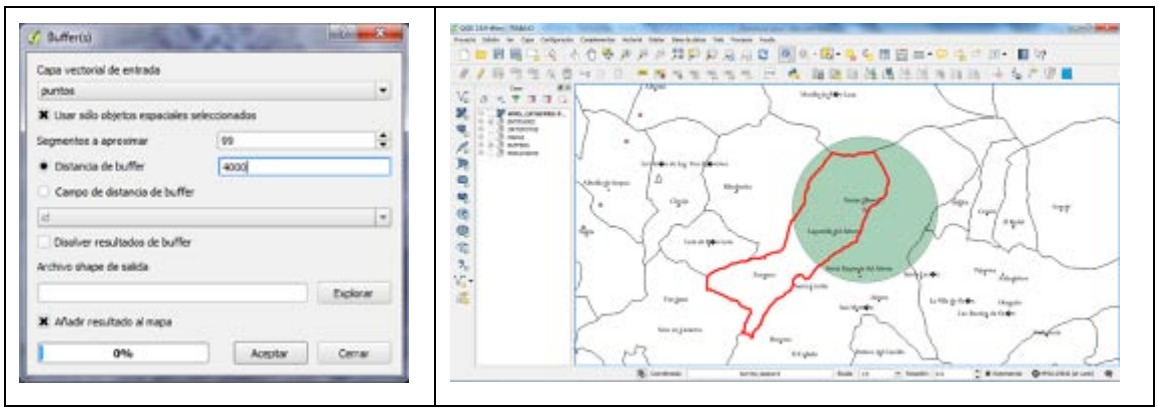


Figura 5. Núcleos de población a menos de 4 km de la parcela expropiada.

Mediante intersección espacial entre los núcleos de población y la zona "buffer" de 4km alrededor de la parcela expropiada, se obtienen los núcleos que integran el parámetro P_1. Del mismo modo se podría realizar una consulta espacial entre ambas coberturas y obtener el mismo resultado. Realizando estadísticas básicas sobre el campo POBLACIÓN, se obtiene el total de habitantes.

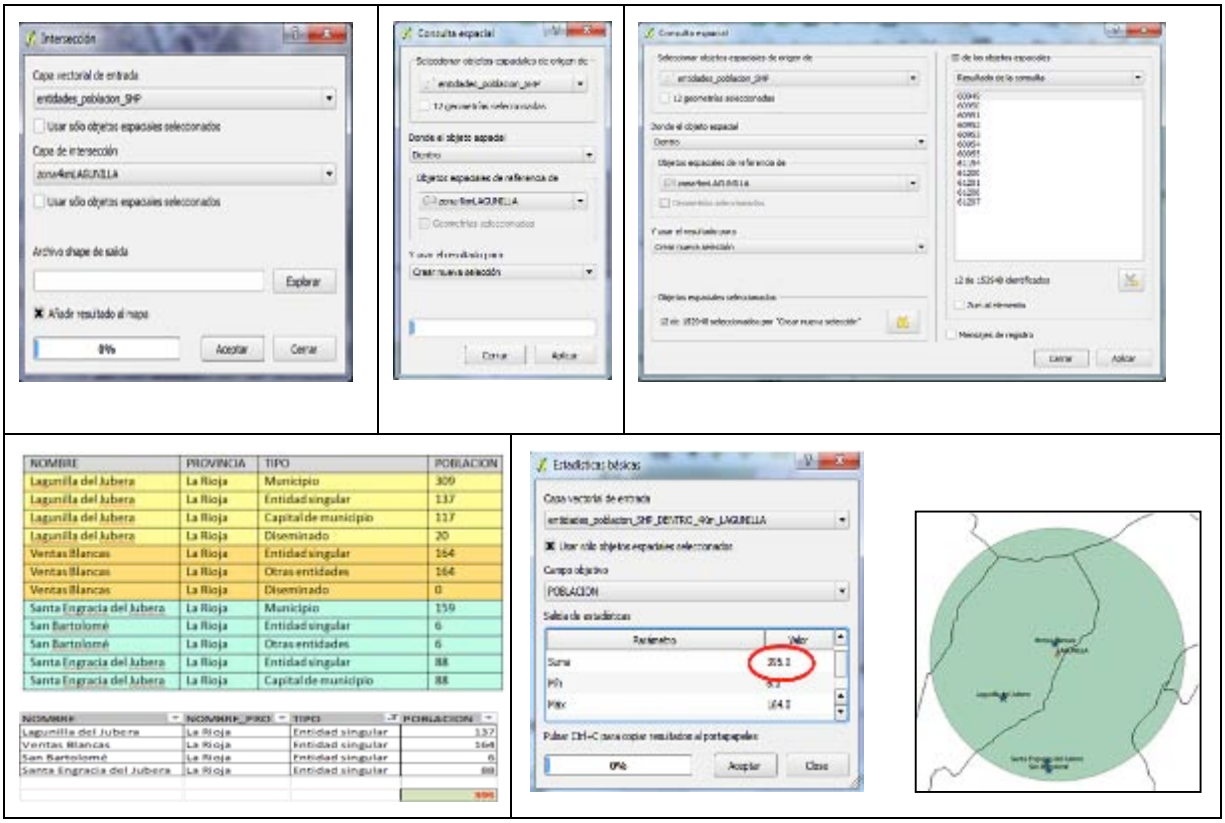


Figura 6. Obtención del parámetro P_1 del factor de accesibilidad a núcleos de población.

2.3.2. Determinación del parámetro P_2

Para la obtención del parámetro P_2, se ha de crear una nueva zona "buffer" de 40 km alrededor de la parcela expropiada y después realizar una diferencia espacial con el "buffer" de 4 Km. De este modo se tendrá definida una región entre 4km y 40km, y a través de intersección espacial con la cobertura de entidades, se localizarán los núcleos de población que definen dicho parámetro P_2.

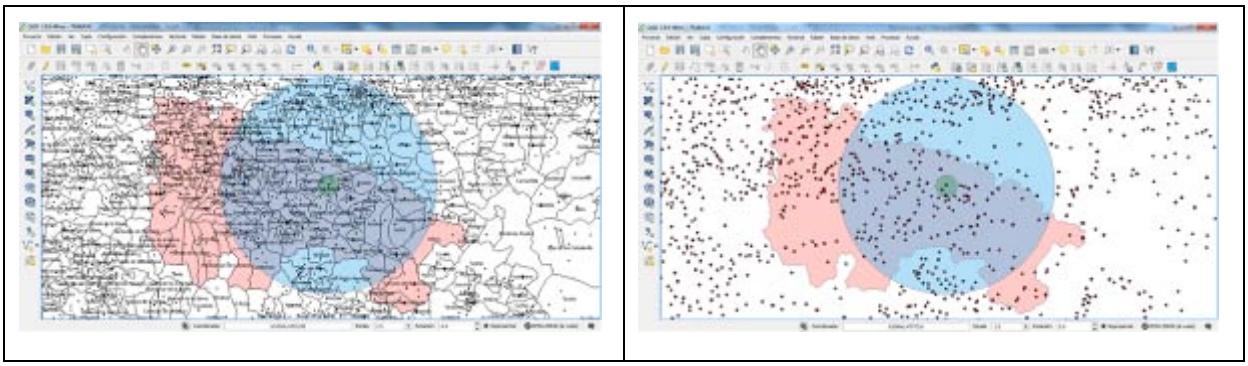
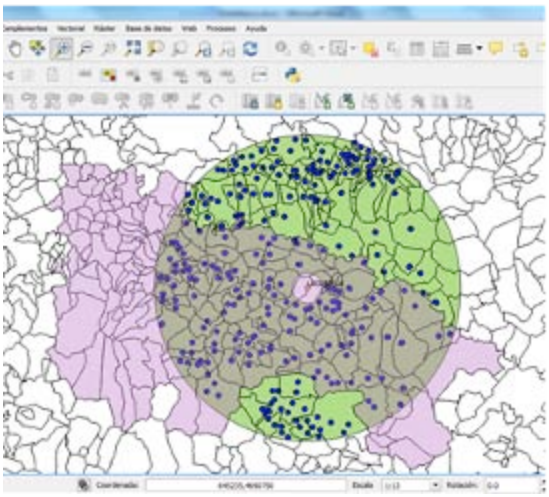
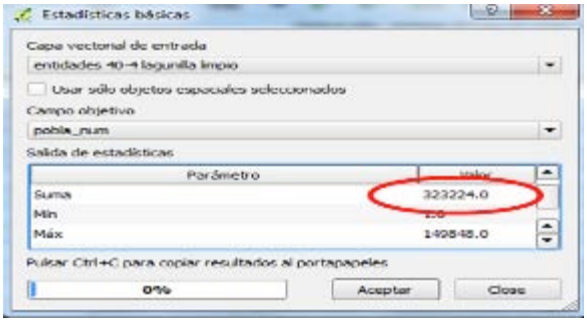


Figura 7. Procesos iniciales para obtención del parámetro P_2.

En esta zona, quedan integrados 265 núcleos de población de distintas provincias, concretamente de Álava (34), Burgos (1), Navarra (68), Soria (27) y La Rioja (135).





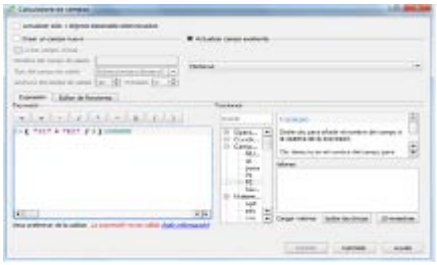
Aplicando estadísticas básicas a las entidades singulares dentro del recinto 40-4, se obtiene:

265 Entidades singulares entre 4km y 40 km, con 323.224 habitantes

Figura 8. Obtención del parámetro P_2 del factor de accesibilidad a núcleos de población.

2.3.3. Determinación del Factor de Localización μ_1

Una vez hallados los parámetros P_1(395) y P_2(323.224) asociados a la parcela expropiada y mediante la calculadora de campos, se puede obtener automáticamente el factor de accesibilidad a núcleos de población creando un campo nuevo que sea resultado de la operación $\mu_1 = 1 + (P_1 + P_2 /3)/1000000$, del modo:



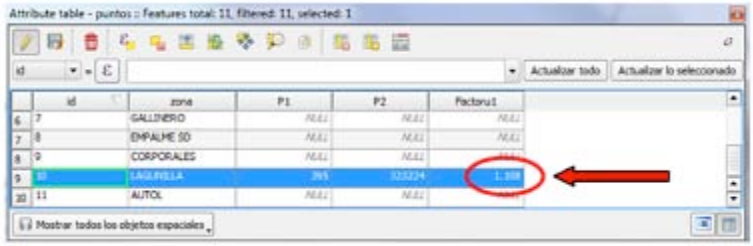


*Figura 9. Factor de accesibilidad para la parcela expropiada = 1 + (395 + 323224 /3)*10^{-6} = 1,108*

Es decir, el Reglamento de valoración del Suelo, otorga a dicha parcela expropiada un incremento de valor por efecto de proximidad a núcleos de población de un 10,8 %. Y este valor ha sido obtenido cumpliendo estrictamente lo indicado por dicho reglamento y de forma totalmente objetiva.

3. Resultados y Discusión

El proceso descrito demuestra que utilizando simples operaciones topológicas de intersección y diferencia espacial de QGIS llevadas a cabo sobre la base de datos de entidades de población georreferenciadas, es posible determinar el factor de accesibilidad a núcleos de población asociado a cualquier parcela expropiada en España (Marqués-Pérez et al., 2015*)*. Tan sólo es necesario localizar dicha parcela sobre un mapa, sobre cartografía catastral, sobre una ortofoto, o bien conocer sus coordenadas y desplegar las herramientas necesarias que como resultado darán dicho factor de accesibilidad. Y todo ello, siguiendo estrictamente lo ordenado por el Real Decreto 1492/2011, de 24 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de valoraciones de la Ley de Suelo, que exige tener en cuenta la población próxima a la parcela expropiada a nivel de núcleo de población. No es

suficiente conocer la población de cada municipio, ya que ésta no se distribuye de forma homogénea en el territorio.

Utilizando el diseñador de impresión de QGIS, para cada parcela expropiada se puede generar de una manera más o menos automática, un informe individualizado de todos los elementos que han intervenido en el cálculo del factor de accesibilidad (mapa base de núcleos afectados, listados de entidades y su población, operaciones y resultados).

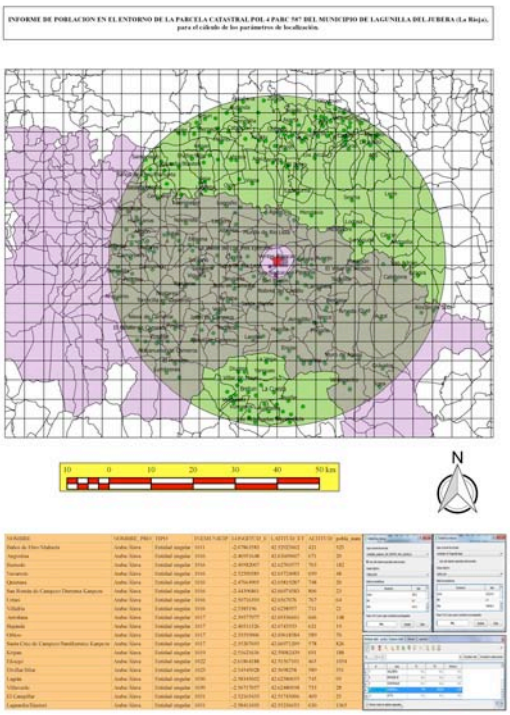


Figura 10. Informe de cálculo del factor de accesibilidad.

4. Conclusiones

El Real Decreto 1492/2011, de 24 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de Valoraciones de la Ley de Suelo, exige tener en cuenta la población que rodea a una parcela sometida a un proceso de expropiación, a distancias de 4 km y de 40 km. En los procesos expropiatorios, el legislador quiere dar un valor añadido a aquellas parcelas que estén próximas a centros de población importantes o que acumulen en sus cercanías gran número de habitantes *(*Pérez-Sala el al., 2016*)*. Y para ello establece el uso de un factor de localización multiplicador en la valoración del suelo rural. En la estimación de dicho factor interviene decisivamente el llamado factor de accesibilidad a núcleos de población.

La distribución espacial de la población a lo largo de la geografía nacional se materializa a través de entidades o núcleos de población y ésta se determina anualmente por el Instituto Nacional de Estadística con la colaboración de los ayuntamientos. Considerar la población por municipios, de forma genérica, da como resultado errores y una gran imprecisión en la obtención del factor e accesibilidad.

Los Sistemas de Información Geográfica son útiles para la determinación del factor de localización en la valoración de expropiaciones de parcelas rústicas. Sus herramientas de análisis topológico permiten la obtención automatizada de dicho factor a partir de la base de datos “Nomenclátor

Geográfico de Municipios y Entidades de Población" elaborada por Centro Nacional de Información Geográfica, en colaboración con el INE.

En este trabajo, se han descrito los pasos necesarios para la obtención del factor de accesibilidad de una parcela, utilizando herramientas de análisis topológico mediante el sistema de información geográfica QGIS. Y ha quedado demostrado que su uso es una técnica rápida y precisa para la obtención del factor de localización de parcelas rústicas sometidas a procesos de expropiación.

Agradecimientos

Al Centro Nacional de Información Geográfica–Instituto Geográfico Nacional–Ministerio de Fomento, por su labor de georreferenciación de todos los núcleos de población en España.

Al Instituto Nacional de Estadística, por el mantenimiento anual del nomenclátor de población por unidad poblacional.

Ambos materiales han sido la base de este trabajo.

Bibliografía

Hernández-Alemán, A. 2016. La valoración del suelo rural en la Ley. Reflexión acerca del método. International *Conference on Regional Science*. 16-18 Noviembre, Santiago de Compostela.

Marques-Perez, I., J.L. Salas and B. Segura. 2015. Aplicación del Factor de Localización como complemento a la renta agraria para las valoraciones en suelo rural: el caso de la Comunidad valenciana. *XIV Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas* (ACTA Nº 71). 3-5 Octubre, Orihuela.

Pérez-Sala, J. L., I. Marqués, B. Segura, G. Mora, C. Femenia and J. M. Velilla. 2016. Cálculo del factor de localización en las valoraciones en suelo rural sometidas a procedimientos expropiatorios conforme a la ley del suelo. *Agrónomos* 45: 92-102.

Porto-Rey, E. 2012. Las valoraciones tras el Reglamento de la Ley del Suelo. *LA LEY-Práctica urbanística* 113: 20-59.

Aplicación de la fotogrametría métrica para el cálculo del porcentaje de cubierta vegetal del cultivo de lechuga

José Cordero Gracia[1], Cesáreo Bas Vivancos[1], Francisco Javier Mesas Carrascosa[2], Antonio Ruiz Canales[3]

[1] Departamento de Economía Agroambiental, Ing. Cartográfica y Expresión Gráfica en la Ingeniería. Ctra. de Beniel, km 3,2-03312 Orihuela (Alicante) jcordero@goumh.umh.es; cesareo.bas@goumh.umh.es

[2] Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática. Ctra. N-IVa km 396-14071 Córdoba (Córdoba) fjmesas@uco.es

[3] Departamento de Ingeniería. Ctra. de Beniel, km 3,2-03312 Orihuela (Alicante) acanales@umh.es

Resumen

La línea de investigación que se está realizando consiste en avanzar en el conocimiento y aplicar la técnica de la fotogrametría (imagen 3D) para obtener un modelo digital de cobertura vegetal (MDCV) del cultivo a lo largo de su ciclo productivo. Simultáneamente se mide una ortofoto (imagen 2D). Con ambas técnicas se calcula el porcentaje de cobertura vegetal (PGC). Simultáneamente, se mide la evolución de la altura del cultivo y la profundidad de las raíces, así como otros parámetros relacionados con el crecimiento del cultivo. Posteriormente, con todos los datos obtenidos, se compararán las dos técnicas de medida del PGC y su relación con el consumo de agua del cultivo.

Palabras clave: Modelo tridimensional, proyecto de vuelo, coeficiente de cultivo, monitoreo de cultivo.

Application of metric photogrammetry for the calculation of the percentage of vegetable cover of lettuce

Abstract

The line of research that is being carried out is to advance the knowledge and apply the technique of photogrammetry (3D image) to obtain a digital model of crop cover (MDCV) of the crop throughout its productive cycle. Simultaneously an orthophoto is measured (2D image). With both techniques the percentage of vegetal cover (PGC) is calculated. Simultaneously, the evolution of the height of the crop and the depth of the roots, as well as other parameters related to the growth of the crop, are measured. Subsequently, with all the data obtained, the two techniques of measurement of PGC and their relationship with the water consumption of the crop will be compared.

Keywords: Three-dimensional model, flight project, crop coefficient, crop monitoring.

1. Introducción

Durante los últimos años ha surgido un elevado interés en las técnicas de mapeado a través de las imágenes aéreas obtenidas por los sistemas aéreos no tripulados (UAV). Y la necesidad de obtener modelos 3D más precisos y detallados en el campo de la agricultura ha provocado el rechazo de las fotografías proporcionadas por los satélites por no ser adecuadas para tal fin, y se han descartado las técnicas mediante vuelos tripulados, por su elevado coste y su limitación de vuelo (Ruiz et al. 2010).

Es muy significativo el avance tecnológico que, en cuestión de software, ha experimentado la generación de modelos digitales 3D a partir de imágenes aéreas o terrestres.

En los últimos años se ha estado empleando la fotografía digital y diferentes técnicas de post-procesamiento de imágenes con diversas aplicaciones informáticas en el estudio de las necesidades

hídricas en el cultivo de hortalizas, como es el caso del cultivo de lechuga (*Lactuca Sativa* L) en la zona del sureste español.

Una de las tecnologías empleadas para ello es la relación de la evolución del porcentaje de la cobertura vegetal (percentage of green cover, PGC en inglés) con el consumo hídrico en el marco de plantación (Fernández-Pacheco et al. 2014). El PGC se obtiene mediante fotografía cenital y otros parámetros manualmente (altura del cultivo, profundidad de raíz), relacionándolos simultáneamente con el consumo de agua (González-Esquiva et al., 2017; Escarabajal et al., 2015). Se usa un modelo de fotografía bidimensional que no da una idea precisa de la arquitectura del cultivo y se pierde exactitud en las medidas.

Se propone aplicar la técnica de la fotogrametría (imagen 3D) para obtener un modelo digital de cobertura vegetal (MDCV) del cultivo a lo largo de su ciclo productivo (Weiss and Baret, 2017) mediante fotogrametría de bajo coste. Se contrastará con la metodología descrita inicialmente (imagen 2D). Con ambas técnicas se calcula el porcentaje de cobertura vegetal (PGC). Simultáneamente, se mide la evolución de la altura del cultivo y la profundidad de las raíces, así como otros parámetros relacionados. Posteriormente, con todos los datos obtenidos, se compararán las dos técnicas y su relación con el consumo de agua del cultivo.

2. Materiales y Métodos

Zona de estudio

El área de trabajo se encuentra situado en una parcela experimental de cultivo (UTM ETRS89 HUSO 30 X = 676942; Y = 4215291; latitud 38º 4’ 10.17’’N y longitud 0º 59’ 6.81’’W) en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, del Campus de Desamparados de la Universidad Miguel Hernández de Elche (EPSO-UMH). La altitud media de la parcela experimental es de 19 metros sobre el nivel del mar. La parcela experimental de forma rectangular ocupa una superficie de unos 434 m^2 (una longitud de 28 metros y una anchura de 15,5 metros).

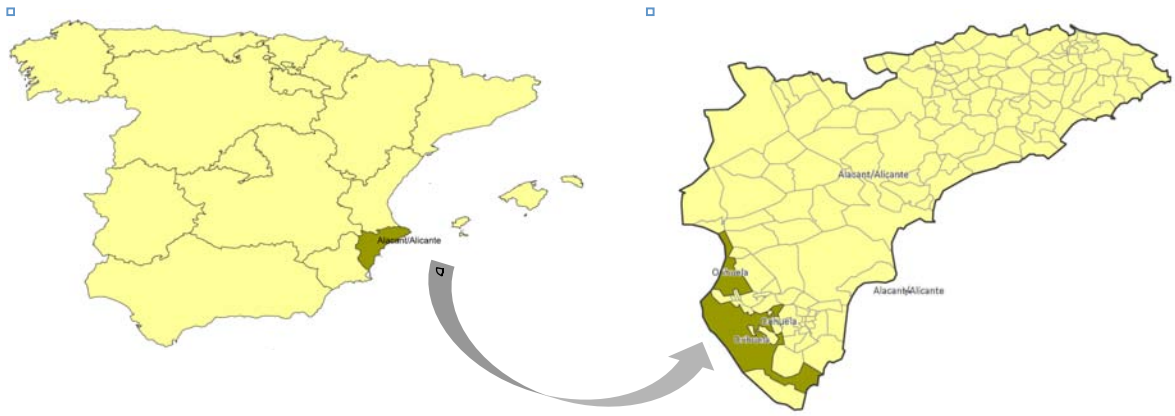


Figura 1. Localización de la zona de estudio

Figura 2. Emplazamiento de la zona de estudio

Sobre la parcela se ha establecido el cultivo de lechuga (*Lactuca Sativa L*) marcando sobre el terreno, mediante estacas, diferentes marcos de referencia de dimensiones 1,80 x 1,80 m, aproximadamente e identificados con una letra y un número, cada uno de ellos. Para la realización del presente estudio se han elegido los marcos de referencia de cultivo T-14 y T-22. Estos marcos corresponden a repeticiones correspondientes a los tratamientos de riego T1 y T2. El tratamiento de riego se desarrolla en un experimento diferente al descrito en esta comunicación. En este caso solamente se desarrollarán algunos aspectos del tratamiento fotogramétrico de las imágenes del cultivo.

Plan de vuelo

Como cámara de trabajo se está empleando una cámara digital "FUJIFILM modelo FinePix350" de 14 millones de pixeles. A partir de las dimensiones del marco de referencia del cultivo y considerando una distancia focal de 5 mm y unas dimensiones de imagen de 4288x3216 pixeles de entre las posibles combinaciones que presenta la cámara, se han definido los siguientes parámetros que defeninen el plan de vuelo para realizar las fotografías:

- Altura de toma: 1,80 m
- Solape longitudinal: 80%.
- Solape transversal: 60%
- Altura de imagen sobre el terreno: 2,21 m
- Ancho de imagen sobre el terreno: 1,65 m
- Separación entre imágenes en una pasada: 33 cm
- Separación entre pasadas: 88 cm

Puntos de apoyo

Para el levantamiento topográfico de los puntos de apoyo se ha utilizado un receptor GNSS Topcon Hiper V, con seguimiento GPS y GLONASS.

El levantamiento se realiza en tiempo real RTK con la Red de Estaciones de Referencia de Valencia (ERVA), perteneciente a la Red Geodésica Activa en Tiempo Real del Instituto Cartográfico de la Comunidad Valenciana.

La Red ERVA ofrece el servicio para trabajar en tiempo real con solución de red RTK y con correcciones diferenciales de código DGPS (protocolo: NTRIP, formato: RTCM 2.3), alcanzando precisiones centimétricas (2-3 cm) sobre el Datum ETRS89 con altura elipsoidal.

Se han establecido 5 puntos de apoyo, en algunos casos mediante estacas (color amarillo) clavadas sobre el terreno y en otros casos mediante clavos topográficos, más 4 puntos de apoyo que corresponden a las estacas (color magenta) que delimitan el marco de referencia. Cada una de las estacas lleva un clavo en su cabeza que marca el punto de medición de las coordenadas UTM.

Figura 3. Detalle del cultivo de lechuga, marco de referencia y puntos de apoyo.

Software empleado

Para el procesamiento de las imágenes se ha empleado el programa PIX4D, software de fotogrametría que utiliza las imágenes obtenidas desde el aire o tierra, para generar una nube de puntos, modelos del terreno y superficie, ortomosaicos con calidad métrica, etc.

El flujo de trabajo del software es completamente automático, encargándose de la calibración y el procesamiento para obtener un resultado de calidad y precisión, semejante a los resultados ofrecidos por LiDAR 3D (Mesas-Carrascosa F. J. et al. 2012)

Los algoritmos empleados se basan en la técnica denominada SfM (Structure from Motion) que calcula la geometría 3D a partir del flujo óptico o movimiento en 2D.

3. Resultados y Discusión

En la primera toma (Toma nº 1) realizada en diciembre de 2016 se tomaro 10 fotos distribuidas en 2 pasadas sobre el marco de referencia T-14 con 5 fotos por pasada.

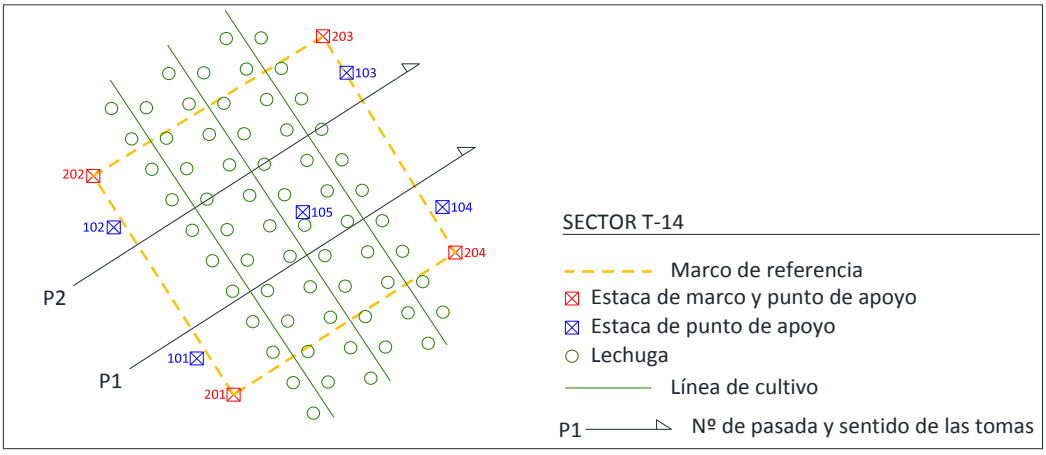


Figura 4. Esquema de la toma nº 1

Figura 5. Fotografía de la toma nº 1 y detalle del estado vegetativo del cultivo de lechuga.

De esta toma no se obtuvieron buenos resultados debido principalmente a:

- escaso solape longitudinal; se recomienda aumentar el número de fotos por pasada para que los puntos de apoyo aparezcan en el mayor número de imágenes.
- escaso solape transversal; se recomienda aumentar en 1 o 2 pasadas más sobre el marco de referencia.
- presencia en algunas imágenes del calzado del operario que toma las fotos, dificultando el algoritmo de búsqueda de "tie-points".

En la segunda toma (Toma nº 2) realizada a principios de marzo de 2017 se escogieron dos marcos de referencia (T-14 y T-22) y se realizaron un total de 30 fotos por marco, procedentes de la realización de 5 pasadas sobre el marco de referencia con 6 fotos por pasada.

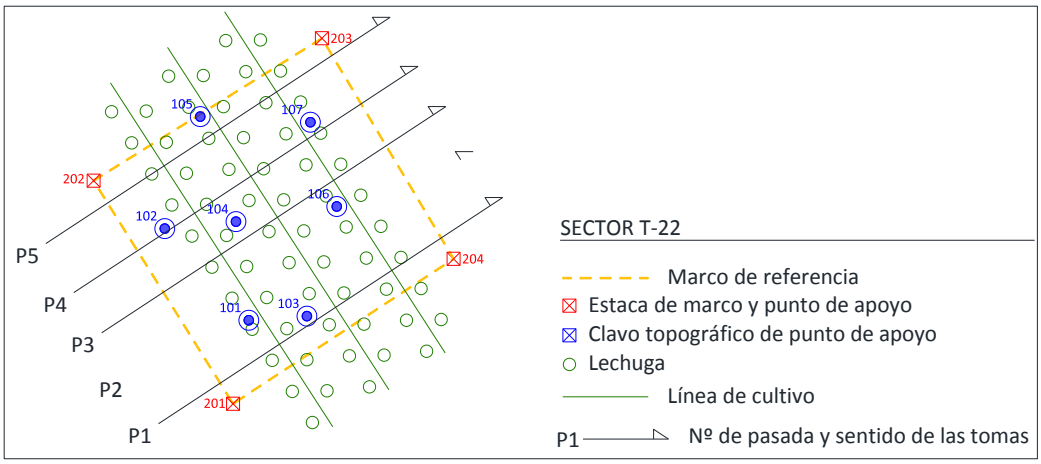


Figura 6. Esquema de la toma nº 2

Figura 7. Fotografía de la toma nº 2 y detalle del estado vegetativo del cultivo de lechuga.

Los resultados de esta segunda toma fueron mejores que los de la anterior; se pudo obtener una ortofoto, lo que indicaba que la muestra de imágenes se había realizado mejor que la anterior.

Figura 8. Formación de ortofoto obtenida a partir de la toma de fotografías.

No obstante, era necesario mejorar la toma de fotos, debido a la presencia de elementos del riego (tuberías portagoteros) y del lisímetro colocado en el marco de referencia T-22, que provocan que el modelo 3D no se genere de forma correcta.

Figura 9. Imágenes 3D obtenidas del cultivo de lechuga.

Para solucionar esta cuestión, se propuso realizar una toma de fotos más intensa en número, que permita compensar las deficiencias propias de la cámara digital y dado que, los algoritmos que se emplean se basan en la técnica SfM (Structure from Motion) la sobreabundancia de imágenes mejora el buen funcionamiento de estos algoritmos.

En la tercera toma (Toma nº 3), realizada a principios de abril de 2017, se realizaron un total de 75 fotos, 50 de ellas procedentes de la realización de 5 pasadas sobre el marco de referencia T-14 con 10 fotos por pasada y el resto realizadas desde distintos ángulos e inclinación con el objetivo de hacer que el sistema sea más redundante y obtener información de las caras ocultas vistas desde arriba.

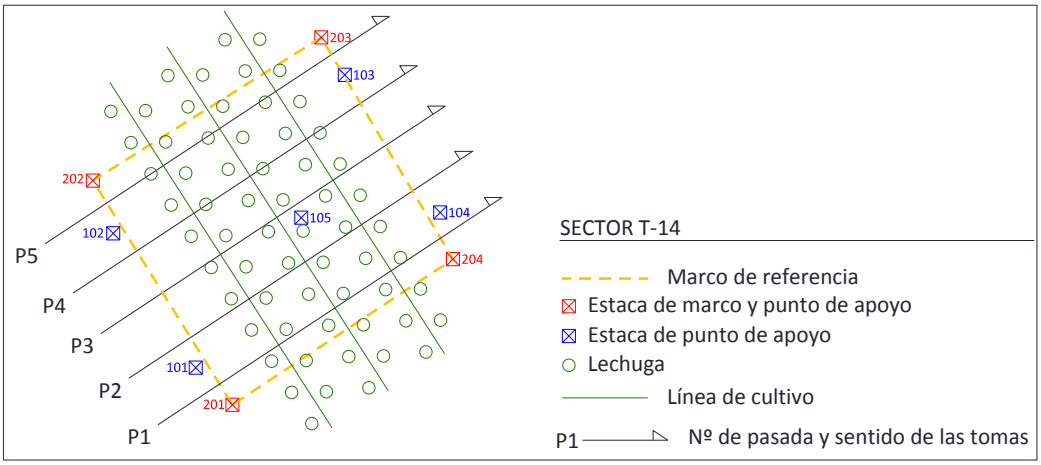


Figura 10. Esquema de la toma nº 3

Figura 11. Fotografía de la toma nº 3 y detalle del estado vegetativo del cultivo de lechuga.

Los resultados han mejorado en esta última toma, obteniendo una nube de puntos densificados que reconstruyen el modelo en 3D del cultivo de lechuga.

Figura 12. Detalle de la vista en planta y en 3D de la nube de puntos del cultivo de lechuga.

La comparación entre los valores de PGC muestran una diferencia clara entre la imagen bidimensional (2D) y la tridimensional (3D). La diferencia de estimación oscila en un 20%. Es decir, la medida del PGC mediante imagen 2D es aproximadamente un 20% mayor que la 3D. Este valor aumenta a medida que evoluciona el cultivo pero es necesario contrastarlo con un mayor número de datos.

4. Conclusiones

Vemos que, realizando una adecuada toma de imágenes, se puede llegar a obtener un modelo digital de superficie del cultivo de lechuga en sus diferentes estados de crecimiento a los largo de su ciclo a partir del área mapeada. Y que nos va a proporcionar una Nube de Puntos formada por puntos 3D que va a reconstruir el modelo. Se podrá obtener así, una malla 3d del conjunto de la muestra o una malla 3D independiente de una parte de la muestra.

La posición X, Y, Z y la información de color se va a almacenar para cada punto de la Nube de Puntos. De esta forma nos proporcionará de forma muy precisa la medición de distancias, superficie y volumen, pudiendo comparar los datos con los obtenidos mediante imágenes 2D.

Por último, la información de color de cada punto puede abrir otras vías de investigación que comparen con los estudios de los modelos de color en imágenes 2D, relacionados con el consumo de agua del cultivo.

Bibliografía

Escarabajal-Henarejos, D., J.M. Molina-Martínez, D.G. Fernández-Pacheco, F. Cavas-Martínez, G. García-Mateos. 2015. Digital photography applied to irrigation management of Little Gem lettuce. *Agricultural Water Management* 151: 148-157.

Fernández-Pacheco, D. G., D. Escarabajal-Henarejos, A. Ruiz-Canales, J. Conesa, J. M. Molina-Martínez. 2014. A digital image-processing-based method for determining the crop coefficient of lettuce crops in the southeast of Spain. *Biosystems Engineering* 117: 23-34.

González-Esquiva, J.M.; García-Mateos, G.; Escarabajal-Henarejos, D.; Hernández-Hernández, J.L.; Ruiz-Canales, A.; Molina-Martínez, J.M. 2017. A new model for water balance estimation on lettuce crops using effective diameter obtained with image analysis. *Agricultural Water Management*, 183: 116-122.

Mesas-Carrascosa F. J., I. L. Castillejo-González, M. Sánchez de la Orden, A. García-Ferrer. 2012. Combining LiDAR intensity with aerial camera data to discriminate agricultural land uses. *Computers and electronics in agriculture* 84: 36-46.

Ruiz, J.J., L. Diaz-Mas, F. Perez, A. Viguria. 2013. Evaluating the accuracy of dem generation algorithms from UAV imagery. UAV-G2013. 79-83.

Weiss, M.; Baret, F. 2017. Using 3D Point Clouds Derived from UAV RGB Imagery to Describe Vineyard 3D Macro- Structure. *Remote Sensing*, 9 (2), 111.

Área Temática:

Agricultura de Montanha

Agricultura de Montaña

Aparición de la agricultura en las montañas orientales gallegas versus declive del área cubierta por bosques de frondosas caducifolias autóctonas

Ignacio J. Díaz-Maroto[1], María Consuelo Díaz-Maroto[2]

[1] Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Universitario s/n, E-27002 Lugo, España. ignacio.diazmaroto@usc.es

[2] Área de Tecnología de los Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Castilla-La Mancha, Avenida Camilo José Cela 10, E-13071 Ciudad Real, España. MariaConsuelo.Diaz@uclm.es

Resumen

El paisaje actual es resultado de la intervención humana y de la dinámica de la vegetación durante el último ciclo glacial/interglaciar del Pleistoceno. Su evolución se ha determinado mediante estudios multidisciplinares (análisis palinológicos, indicadores sedimentológicos,…).

En el noroeste peninsular, existe evidencia de la presencia de especies del género *Quercus* desde la era Cretácica y de su diversificación durante el Terciario. El declive de los bosques de frondosas caducifolias, se inició en tiempos prehistóricos y coincidió con la expansión de la actividad humana, nacimiento de la agricultura y el pastoreo, entre 4000 y 5000 años A.C. Otras causas fueron, la expansión de la industria naval y siderúrgica, la extracción de madera y leña para uso doméstico/industrial y, recientemente, los incendios forestales. Estas actividades causaron la reducción de la superficie ocupada por estos bosques hasta mediados del siglo XIX, sin realizar ningún tipo de gestión para favorecer su regeneración natural; incluso, en muchos de ellos, se hicieron actuaciones silvícolas inadecuadas (trasmocho y corta de los mejores pies).

En la segunda mitad del XIX, se produjo un cambio de tendencia y, como consecuencia, un aumento del área ocupada por estas especies, debido al abandono de ciertas actividades, tales como, el uso de leña, y la agricultura y pastoreo extensivo en zonas de montaña. Gran parte de las pequeñas explotaciones desaparecieron y han sido reemplazadas por especies de crecimiento rápido y tierras improductivas. Como resultado, en los últimos años, se produjo un considerable aumento del área poblada por bosques naturales.

Palabras clave: Paisaje forestal, bosques naturales, gestión forestal sostenible, noroeste peninsular

Birth of agriculture in the eastern Galician mountains versus decline of the area covered by native deciduous forests

Abstract

The current landscape is the result of human intervention and vegetation dynamics during the last glacial/interglacial cycle of the Pleistocene. Its evolution has been determined by multidisciplinary studies (palynological analysis, sedimentological indicators ...).

In the peninsular northwest, there is evidence of the presence of *Quercus* species from the Cretaceous era and its diversification during the Tertiary. The decline of broadleaved deciduous forests began in prehistoric times and coincided with the expansion of human activity, birth of agriculture and grazing, between 4000 and 5000 B.C. Other causes were the expansion of the naval and steel industry, the extraction of wood and firewood for domestic/industrial use and, recently, the forest fires. These activities resulted in reducing the area occupied by these forests until the mid-nineteenth century, without doing any management to encourage natural regeneration; even in many of them, unsuitable forestry operations (pollarding and cutting of the best trees) were made.

In the second half of the nineteenth century, there was a change in trend and, consequently, an increase in the area occupied by these species, due to the abandonment of certain activities such as the use of firewood, and farming and extensive grazing in mountain areas.

Much of smallholdings has disappeared and has been replaced by fast-growing species and unproductive land. As a result, in recent decades, there has been a considerable increase in the area occupied by natural forests.

Keywords: Forest landscape, natural forests, sustainable forest management, northwest peninsular

1. Introducción

En el noroeste de la Península Ibérica existe la evidencia de la presencia de especies del género *Quercus* desde la era Cretácica y de su diversificación durante el período Terciario (Allen et al., 1996). Los datos palinológicos indican que los bosques caducifolios fueron dominantes en este territorio entre 9000 a 11000 años A.C., después de la última fase glacial, en el período cuaternario (Sobrino et al., 2001). Especies tales como, robles, avellanos, tilos, alisos, cerezos, hayas y abedules progresaron durante este período y siguen siendo abundantes en la actualidad (Santos et al., 2000).

El nacimiento y expansión de la agricultura y del pastoreo, así como, la posterior estabulación del ganado, debido a que el hombre se convierte de nómada a sedentario, dieron lugar a un importante aumento de la producción de cereales. Por otro lado, la extracción de madera y leña para uso doméstico e industrial (principalmente en la siderurgia), la expansión de la industria naval, los incendios forestales y, recientemente, la reforestación con pinos y eucaliptos provocaron una disminución de la superficie ocupada por los bosques naturales de frondosas caducifolias (Manuel y Gil, 2001). Los bosques caducifolios más valiosos, a veces únicos, desde el punto de vista de su conservación, están situados en su mayoría en laderas abruptas inaccesibles. Un aspecto muy importante, que sin duda va a contribuir a su recuperación y a una adecuada conservación de los mismos, es su designación como hábitats de interés comunitario dentro de la Red Natura 2000.

La comprensión del estado actual y las futuras estrategias de conservación de estos bosques debe basarse en su dinámica y evolución histórica. Por lo tanto, el objetivo principal de nuestro trabajo es la descripción y el análisis de la dinámica del paisaje forestal, tomando como referencia los bosques de frondosas caducifolias autóctonas, en las montañas orientales de Galicia, desde la aparición de la agricultura hasta nuestros días.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales empleados: fuentes de información

Los estudios sobre el paisaje, en general, y particularmente, sobre el paisaje forestal deben considerar dos aspectos diferentes, pero complementarios (Chocarro et al., 1990; Van Eetvelde y Antrop, 2004): i) aspectos corológicos, para los cuales se estudian el origen de las plantas y los cambios naturales de su área de distribución; ii) transformaciones sufridas por la intervención humana. El presente estudio se centró en estos últimos, para ello, la información se obtuvo de varias fuentes: 1) Estadísticas Agrarias Anuales; 2) Datos de los Inventarios Forestales Nacionales (IFN) publicados hasta la fecha, los cuales recopilan información detallada por especie arbórea y también por tipo de bosque; 3) Plan Forestal de Galicia 1992.

2.2. Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en el noroeste de la Península Ibérica, donde la vegetación clímax está dominada por bosques caducifolios que incluyen diferentes especies de roble (Izco, 1987). Concretamente, abarca toda el área de la montaña oriental de Galicia, Os Ancares e O Courel. Los bosques de roble, masas puras o mixtas con otras frondosas caducifolias, ocupan una superficie de 246.445 ha, es decir, el 18% de la superficie forestal de Galicia (MAGRAMA 2011). Estas especies tienen un temperamento robusto y no toleran la sombra en las primeras etapas de su desarrollo, ya que las plántulas languidecen rápidamente bajo un dosel arbóreo cerrado. Las masas más importantes se encuentran en elevadas pendientes, donde han sobrevivido dado que su

aprovechamiento es muy complicado debido a la orografía del terreno y al difícil acceso a las mismas (Ruiz de la Torre 1991). La especie más abundante es *Quercus robur* L., seguida por *Quercus pyrenaica* Willd., y con escasa presencia de *Quercus petraea* Liebl., cuyos rodales se localizan principalmente en áreas de montaña.

3. Resultados y Discusión

3.1. Primeros signos de deforestación: aprovechamiento intensivo de los bosques

Los primeros indicios de deforestación de estos bosques datan del período comprendido entre 7700 a 7300 años A.C. (Manuel y Gil, 2001). Posteriormente, los primeros campesinos, nómadas, sembraron cultivos, en tierras ganadas al bosque mediante el uso del fuego, y cuando los rendimientos disminuyeron, abandonaron la tierra, introduciendo ganado que aceleraba considerablemente el deterioro de los suelos (Villares, 1992). Los bosques de hoja caduca resultaron esenciales durante la Edad Media para el desarrollo humano, debido a los beneficios de la leña, frutos, madera y caza (Bauer, 1980). Más recientemente, su explotación para la construcción naval, el uso industrial de la leña para la producción de hierro y la posterior fabricación de diferentes utensilios en las numerosas ferrerías existentes en la montaña oriental gallega, el aprovechamiento de su corteza (principalmente de *Quercus robur*, dado su contenido en taninos) en las fábricas de curtidos, su utilización en la industria conservera, la obtención de traviesas para las líneas del ferrocarril, y la roturación de numerosos de estos bosques para la agricultura, afectaron en gran medida al área de estudio y, en general, a todo el territorio gallego (Bouhier, 1979; Muñoz, 1983). El aprovechamiento de estos bosques fue tan intenso que dio lugar a que grandes extensiones de monte quedarán prácticamente desarboladas, tal y como se relata en el Catastro del Marqués de la Ensenada, con el perjuicio añadido de tratarse en muchos casos de un aprovechamiento selectivo de los mejores pies (Rico, 1995).

3.2. Sistema de explotación tradicional de la montaña oriental gallega

Los distintos acontecimientos históricos relatados en el párrafo anterior, explican, en gran medida, la evolución del paisaje en el noroeste ibérico. A continuación, comentaremos un caso concreto de dinámica del paisaje, el sistema tradicional de explotación de la montaña oriental gallega.

Se trata de un sistema *agrosilvopastoral*, adaptado a la diversidad de ambientes ecológicos de la montaña, basado en el cultivo de cereales y en el pastoreo extensivo, complementado con cultivos de huerta o de árboles frutales y con el aprovechamiento de la leña procedente de los bosques caducifolios, sobre todo, la leña de roble, dado su poder calorífico. En este sistema, la explotación agrícola se desarrolla en el fondo de los valles, los pueblos se sitúan a media ladera, especialmente con orientación de solana, y los huertos y frutales se intercalan entre las construcciones y también alrededor de los pueblos, dando paso a los *soutos* de castaño y los campos de centeno (Figura 1) (Guitián Rivera, 1995).

En lo alto de las laderas domina el monte, que padece quemas periódicas para regenerar el pasto, sobre todo, en las laderas de solana pobladas de matorral y/o bosques de *Quercus pyrenaica*. Los prados de siega se ubican en el fondo de los valles, cerca de los ríos, ya que en los meses de estío normalmente es necesario regarlos. En las laderas de umbría, con una mayor humedad y lejos de las aldeas, hay una menor presión por parte del hombre, aquí es donde se refugian las mejores muestras de los bosques primitivos, especialmente en sitios abruptos (Figura 2) (Guitián Rivera, 1993).

3.3. Actuaciones silvícolas para la adecuada gestión de los bosques caducifolios

A continuación, se exponen un conjunto de recomendaciones silvícolas para la conservación, y en su caso, una correcta gestión de los bosques de frondosas autóctonas que perviven hoy en día en la zona montañosa oriental de Galicia:

- Conversión de monte bajo procedente de brote de cepa y/o raíz, dominante actualmente, a monte alto de semilla para su posterior gestión.
- Muchos de los actuales bosques de *chirpiales* son longevos y se encuentran empobrecidos genéticamente, por lo que su conversión sería inviable desde un punto de vista económico; estas masas podrían ser manejadas como bosques de protección o para uso recreativo.
- En las masas cuya conversión a monte alto fuese económicamente viable, sería preciso el apoyo de la Administración Forestal para su manejo.
- Favorecer las repoblaciones con especies caducifolias de hoja ancha en general, y en particular, con aquellas especies que conforman las formaciones clímax en el noroeste de la Península Ibérica.

Figura 1. Ejemplo de aldea ubicada en ladera de solana (Donís, Cervantes, Ancares Lucenses)

Figura 2. Prados de siega regados a manta aprovechando los cursos de agua (Ancares, Lugo)

4. Conclusiones

Los diferentes procesos involucrados en el declive de los bosques nativos caducifolios han sido largos y complicados, incluyendo guerras, invasiones, cortas para la construcción naval y la industria siderúrgica, cambios de uso suelo, obtención de traviesas para la construcción del ferrocarril, y la reciente repoblación masiva con especies de crecimiento rápido, entre otros.

Las repoblaciones artificiales han jugado un papel fundamental en la evolución del paisaje forestal de la montaña oriental gallega, siendo el principal factor que ha contribuido a los recientes cambios en el sistema productivo.

El sistema de explotación tradicional de este territorio montañoso explica la dinámica del paisaje, caracterizada por un modelo de gestión rural tradicional: agrícola-silvícola-pastoral, adaptado a la diversidad de ambientes existentes.

La aplicación de prácticas de manejo silvícola para conservar y mejorar los bosques nativos caducifolios permitiría recuperar el paisaje natural como parte del patrimonio cultural y ambiental.

Bibliografía

Allen, J. R. M., B. Huntley and W. A. Watts. 1996. The vegetation and climate of northwest Iberia over the last 14000 yr. *Journal of Quaternary Science* 11: 125-147.

Bauer, E. 1980. *Los Montes de España en la Historia*. Madrid: Ministerio de Agricultura.

Bouhier, A. 1979. *La Galice. Essai géographique d'analyse et d'interprétation d'un vieux complexe agraire*. La Roche-sur-Yon: Imprimerie Yonnaise.

Chocarro, C., R. Fanlo, F. Fillat and P. Marin. 1990. Historical evolution of natural resource use in the Central Pyrenees of Spain. *Mountain Research and Development* 10: 257-265.

Guitián Rivera, L. 1995. Origen y evolución de la cubierta forestal de Galicia. Ph.D. Thesis. Universidad de Santiago, Santiago de Compostela.

Guitián Rivera, L. 1993. Sistemas de utilización del espacio y evolución del paisaje vegetal en las Sierras Orientales de Lugo. In *La evolución del paisaje en las montañas del entorno de los Caminos Jacobeos. Cambios ambientales y actividad humana*. Ed. A. Pérez Alberti et al., 211-225. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.

Izco, J. 1987. Galicia. In *La vegetación de España*. Ed. M. Peinado and S. Rivas-Martínez, 354-415. Madrid: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares.

Manuel, C. M. and L. Gil. 2001. *La transformación histórica del paisaje forestal en Galicia*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). 2011. *Cuarto Inventario Forestal Nacional, Galicia*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Muñoz, G. 1983. *Crónica sobre bosques y montes de la Península Hispánica*. Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.

Rico, E. 1995. *Política forestal y repoblaciones en Galicia (1941-1971)*. Santiago de Compostela: Servicio de Publicaciones e intercambio científico, Universidad de Santiago de Compostela.

Ruiz de la Torre, J. 1991. *Mapa Forestal de España*. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Medio Ambiente.

Santos, L., J. R. V. Romani and G. Jalut. 2000. History of vegetation during the Holocene in the Courel and Queixa Sierras, Galicia, northwest Iberian Peninsula. *Journal of Quaternary Science* 15: 621-632.

Sobrino, C. M., P. Ramil-Rego and M. R. Guitián. 2001. Vegetation in the mountains of northwest Iberia during the last glacial-interglacial transition. *Vegetation History and Archaeobotany* 10: 7-21.

Van Eetvelde, V. and M. Antrop. 2004. Analyzing structural and functional changes of traditional landscapes−Two examples from southern France. *Landscape and Urban Planning* 67: 79-95.

Villares, R. 1992. *A historia*. Santiago de Compostela: Biblioteca básica de la Cultura Gallega, 7th Ed., Galaxia.

Planificación y gestión de los bosques de frondosas caducifolias en la montaña oriental gallega (Ancares-O Courel)

Ignacio J. Díaz-Maroto[1], María Consuelo Díaz-Maroto[2]

[1] Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Universitario s/n, E-27002 Lugo, España. ignacio.diazmaroto@usc.es

[2] Área de Tecnología de los Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Castilla-La Mancha, Avenida Camilo José Cela 10, E-13071 Ciudad Real, España. MariaConsuelo.Diaz@uclm.es

Resumen

La vegetación potencial que debería ocupar gran parte de la montaña nororiental de Galicia (Ancares-O Courel) son los bosques caducifolios mixtos de frondosas autóctonas, caracterizados por diferentes especies de roble, y conocidos con diferentes denominaciones, *carballeira*, *fraga*, *devesa*, *aveseda*, entre otras.

Los robledales gallegos, en general, y los que pueblan esta zona montañosa, en particular, presentan una amplia gama de edades y calidades, resultado del diferente uso que el hombre ha realizado desde tiempos ancestrales. Muchos, fueron intensamente explotados y, en la mayoría de los casos, se realizaron prácticas de manejo inapropiadas. No obstante, hoy en día, constituyen un hábitat de interés comunitario, formando parte de la Red Natura 2000; por lo cual, deben conservarse de manera sostenible, siendo un pilar esencial para el desarrollo rural de la población local.

La especie más abundante es *Quercus robur* L. (roble común) que ocupa una superficie de 246.445 ha, un 18% de la superficie forestal de Galicia (IV Inventario Forestal Nacional-IFN). La ubicación de muchas masas en zonas escarpadas es indicativa de que han permanecido allí desde tiempos inmemoriales, y ello impidió su aprovechamiento. Las estaciones más adecuadas para el desarrollo de las masas de roble se corresponden con zonas donde las características climáticas combinan una temperatura mínima óptima, menor amplitud térmica y mayor precipitación, tanto ambiental como edáfica. Teniendo presente el estado silvícola actual de estos bosques, se deben proponer métodos alternativos de gestión, desde la conversión a monte alto hasta la recuperación de los bosques más deteriorados mediante repoblación artificial.

Palabras clave: *Fraga*, silvicultura, estación forestal, Ancares-O Courel, Galicia

Planning and management of broadleaf deciduous forests in the eastern Galician mountain (Ancares-O Courel)

Abstract

The potential vegetation that should occupy much of the North-eastern Mountains of Galicia (Ancares-O Courel) is mixed deciduous forests of native hardwoods, characterized by different species of oak, and known under different names, *carballeira*, *fraga*, *devesa*, *aveseda*, among other.

Galician oak trees, in general, and those that inhabit this mountainous area, in particular, present a wide range of ages and qualities, as a result of the different use that man has made since ancestral times. Many were greatly exploited and, in most cases, inappropriate management practices were carried out. However, today, they constitute a habitat of community interest, forming part of the Natura 2000 Network; therefore, must be conserved in a sustainable way, being an essential pillar for the rural development of the local population.

The most abundant species is *Quercus robur* L. (common oak) which covers an area of 246,445 ha, 18% of the forest area of Galicia (IV National Forest Inventory-NFI). The location of many stands in steep areas is indicative that have remained there since time immemorial, and this not permitted their forest exploitation. The sites most suitable for the development of the oak stands correspond to areas where the climatic features combine a minimum optimal temperature, the lower temperature range and increased precipitation, both environmental and soil. Considering the current silvicultural state of these forests should be proposed

alternative methods of management from conversion to high forest until recovery of the most damaged forests by artificial repopulation.

Keywords: Oak forest, forestry, site, Ancares-O Courel, Galicia

1. Introducción

La vegetación climácica de gran parte del territorio montañoso nororiental de Galicia (principalmente, las Sierras de Os Ancares y O Courel), se corresponde con bosques caducifolios mixtos de frondosas autóctonas, caracterizados por diferentes especies, entre las que destacan las del género *Quercus* (Buide et al., 1998). Las especies del género *Quercus* dominan la mayoría de los bosques templados del hemisferio norte y de las zonas de transición subtropicales. En la actualidad, están descritas más de 400 especies, la mayoría de ellas presentes en México, y extendiéndose también por Norteamérica, Europa y Asia (Díaz-Maroto et al., 2005). Estos bosques se establecieron en el noroeste ibérico entre cinco y siete mil años A.C. Los factores históricos, las condiciones de sitio y sus requerimientos auto-ecológicos, han dado lugar a diferentes tipos con composiciones florísticas diversas (Peterken y Game, 1984). Todos ellos pertenecen a la clase *Querco-Fagetea* (Provincia Atlántica) y muestran el grado máximo de evolución posible, de manera que si las condiciones ambientales no cambian, permanecerían en el estado actual.

La planificación y gestión forestal tiene una influencia importante en la sostenibilidad de los ecosistemas forestales (Johnson et al., 2002). En el caso de los bosques de frondosas caducifolias, en general, y particularmente, en los bosques de roble, las prácticas silvícolas aplicadas forman parte de la tradición forestal (Bouchon y Trencia, 1990). La silvicultura utilizada en las masas de robledales atlánticos (*Quercus robur* L. y *Quercus petraea* Liebl.), está perfectamente desarrollada y actualizada, en los países europeos donde estas especies tienen una gran importancia económica, y donde miles de hectáreas de robledales han sido gestionadas durante siglos (Timbal y Aussenac, 1996; Harmer y Morgan, 2007).

No obstante, la situación dentro del área de estudio es muy diferente a la de los países mencionados, ya que existen escasos conocimientos sobre los tratamientos silvícolas que se deberían aplicar en los bosques nativos objeto de estudio. Los robledales gallegos presentan una amplia gama de edades y calidades, como resultado de los diferentes usos y de su estado de conservación (Diaz-Maroto et al., 2005). Predomina el monte bajo de *chirpiales*, el cual requiere una gestión minuciosa y continua, de lo contrario las cepas envejecen y su crecimiento se paraliza, pudiendo llegar a estancarse (Diaz-Maroto et al., 2006). La mayoría de estos bosques fueron explotados intensamente, aplicando en muchos casos prácticas silvícolas inapropiadas (trasmocho y corta de los mejores pies) (Ruiz de la Torre, 1991). Recientemente, como resultado de la despoblación rural, los avances tecnológicos y las demandas sociales, se produjo durante el siglo pasado un cambio de tendencia importante, pasando de la sobreexplotación de muchos de ellos a una total falta de explotación, sin que ello signifique una menor preocupación social por su conservación, sino, todo lo contrario (Reque y Bravo, 2007). Aunque, paradójicamente, la ausencia de una selvicultura adecuada en estos bosques podría provocar un efecto *boomerang* y sus consecuencias en un futuro cercano pueden influir negativamente en la conservación dentro del escenario actual de cambio global.

Los bosques de roble común, masas puras de *Quercus robur* o mezcladas con otras caducifolias, ocupan una superficie de 246.445 ha en Galicia, es decir, aproximadamente el 18% del área forestal total (MAGRAMA, 2011). *Quercus robur* se comporta como una especie robusta y demandante de luz, no tolera la sombra en las primeras fases de su desarrollo y las plántulas languidecen pronto bajo cubierta del dosel arbóreo. Las masas más significativas se encuentran en zonas escarpadas con pendientes pronunciadas, donde han sobrevivido dado que su corta es muy complicada por la orografía del terreno, siendo imposible el empleo de maquinaria forestal (Ruiz de la Torre, 1991).

Dado el estado silvícola actual de estos bosques, es preciso proponer métodos alternativos de gestión, desde la conversión a monte alto hasta la recuperación de los bosques más deteriorados mediante repoblación artificial. El objetivo principal de nuestro trabajo es explicar la importancia de estos bosques como clave para el desarrollo rural sostenible, no solo en la zona de estudio, sino también, en otras muchas de Galicia.

2. Materiales y Métodos

2.1. Descripción del área de estudio

La Comunidad Autónoma de Galicia, situada en el noroeste de España, tiene una superficie aproximada de 3 millones de ha. La altitud media es de 508 m y las pendientes de más de la mitad de su territorio son superiores al 20%. La composición litológica es variada, aunque existe una dominancia de sustratos silíceos, tales como, granito, esquisto, pizarras y cuarcita. El clima es variado, dentro de un patrón oceánico húmedo con cierta influencia mediterránea en algunas zonas. La precipitación anual varía entre 600 a más de 3000 mm (Diaz-Maroto et al., 2006). El área de estudio, en concreto, se localiza en la zona montañosa nororiental, Os Ancares e O Courel. A pesar de que a lo largo de estas elevaciones se establece el límite administrativo con las Comunidades Autónomas del Principado de Asturias y Castilla-León, desde el punto de vista ambiental y de su aprovechamiento por el hombre, constituyen una unidad difícilmente separable del resto de las montañas del occidente de la Cordillera Cantábrica (Manuel y Gil, 2001). En esencia, se trata de un territorio de relieve abrupto, con un clima caracterizado por precipitaciones elevadas y un régimen termométrico contrastado, con inviernos largos y rigurosos, sobre todo en las zonas situadas por encima de los 1000 m (Guitián Rivera, 1993). Aunque, el principal componente biótico está claramente relacionado con los territorios atlánticos y centroeuropeos, la penetración de elementos florísticos y faunísticos de tendencia mediterránea, principalmente a través de las áreas más meridionales, supone la presencia de comunidades vegetales y animales, cuya representación en Galicia es prácticamente exclusiva, lo que supone un alto valor desde el punto de vista de su significación en relación a la conservación de la biodiversidad existente (Guitián Rivera, 1995).

La actividad humana, desarrollada en este territorio de manera ininterrumpida a partir de hace unos 4000 años (Guitián Rivera, 1993), fue modelando un paisaje en mosaico en el que destacan las grandes superficies ocupadas por matorral y los bosques, tanto más extensos cuanto más alejados de los asentamientos humanos se encuentran (Guitián Rivera, 1995). Desde el punto de vista ecológico, son precisamente la extensión y el estado de conservación de los bosques, uno de los valores que más ha contribuido a la consideración de este espacio como una de las áreas de mayor interés de Galicia, y también, del noroeste ibérico.

2.2. Muestreo y toma de datos

El área de estudio se consideró como una unidad única, donde se eligieron las zonas para la toma de datos, de manera que se incluyesen un número representativo de rodales de roble (*Quercus robur*), sobre la base del Mapa Forestal de España (Ruiz de la Torre, 1991). El área mínima de los rodales considerados osciló entre 0,5 y 1 ha, lo que evitó problemas asociados con el efecto borde. El resultado fue una red de 39 parcelas rectangulares de dimensiones variables, con al menos 50 pies (Ø> 5 cm). En cada una de ellas, se midieron los datos dendrométricos y se calculó un conjunto de 14 parámetros que describen el sitio forestal y el estado actual de las masas, para evaluar así la estructura y silvicultura de estos bosques (Rubio et al., 1997; Lebourgeois et al., 2004).

Específicamente, se calcularon los siguientes parámetros: 1) número de árboles por hectárea; 2) área basimétrica por hectárea; 3) diámetro aritmético medio; 4) diámetro cuadrático medio; 5) diámetro dominante; 6) altura aritmética media; 7) altura cuadrática media; 8) altura dominante de Assmann; 9) desviación estándar de la distribución de diámetros; 10) coeficiente de variación de la distribución de diámetros; 11) desviación estándar de la distribución de alturas; 12) coeficiente de variación de la

distribución de alturas; 13) índice de Hart; 14) índice de Czarnowski (Timbal y Aussenac, 1996; Claessens et al., 1999).

2.3. Análisis estadístico

Los valores de los parámetros permitieron establecer una base de datos sobre las características silvícolas de las masas de *Quercus robur* en Galicia. Para conocer cual/es de estos parámetros explican mejor las características silvícolas y la situación actual de los robledales gallegos, se realizaron dos tipos de análisis bivariantes. En el primero, se compararon entre sí, los parámetros de masa, característicos de la gestión realizada, y en el segundo, se compararon con los descriptores ambientales. En función de los resultados obtenidos, se procurará modelizar el estado silvícola de los rodales usando un análisis de regresión lineal multivariante paso a paso.

3. Resultados y Discusión

3.1. Características de la gestión

La edad y la estación forestal de las masas de roble son muy heterogéneas, debido a los diferentes aprovechamientos que han tenido. La elevada variabilidad del número de árboles y del área basimétrica por hectárea, así como, del índice de Czarnowski, se pone de manifiesto por el elevado coeficiente de variación obtenido, superior al 50%. En el resto de parámetros relacionados con el diámetro normal (diámetro aritmético medio, diámetro cuadrático medio, desviación estándar de la distribución de diámetros, coeficiente de variación de la distribución de diámetros y diámetro dominante), y especialmente en el caso de la altura total (altura aritmética media, altura cuadrática media, desviación estándar de la distribución de alturas, coeficiente de variación de la distribución de alturas, índice de Hart e índice de Czarnowski), la variabilidad fue menor.

3.2. Relación entre los parámetros de masa y los descriptores del biotopo

Del conjunto de parámetros para describir el uso y el estado actual de los robledales, debemos eliminar la altura dominante, así como el índice de Hart, ya que depende de la primera. Esto se debe a que la altura dominante se ve afectada por ciertos tratamientos silvícolas inadecuados a los que han sido sometidos muchas de estas masas, tales como el trasmocho de los pies. Finalmente, únicamente quedaron cuatro parámetros (diámetro aritmético medio, diámetro cuadrático medio, altura aritmética media y altura cuadrática media). Todos ellos están estrechamente relacionados con los siguientes descriptores del biotopo: altitud, profundidad del suelo a la roca madre, temperatura media anual y media anual de las temperaturas mínimas absolutas, incluso los diámetros aritmético medio y cuadrático medio con un nivel de significación del 99%.

La ubicación actual de muchos rodales en zonas escarpadas, indica que han permanecido en ellas desde tiempos inmemoriales dado que su aprovechamiento no era factible; estas masas son en la actualidad muy valiosas en términos ecológicos y paisajísticos. Sin embargo, los resultados muestran que con valores menores de altitud, pendiente y distancia desde el mar, los valores de densidad, en número de pies por hectárea, son mayores, siendo el espaciamiento entre árboles menor. Por lo tanto, los mejores sitios para la ubicación de las masas de *Quercus robur* se corresponden con zonas de vaguada de pendientes intermedias con una importante influencia oceánica y donde las características climáticas combinan una óptima temperatura mínima, menor amplitud térmica y una elevada precipitación. Todo ello, se relaciona con el período de crecimiento de la especie y garantiza su adecuado desarrollo. Respecto a los parámetros de masa, los cuatro parámetros finales son adecuados para definir correctamente las características de los rodales de roble común en el área de estudio (Timbal y Aussenac, 1996; Rubio et al., 1997), pudiendo establecerse que su distribución está estrechamente relacionada con las características fisiográficas y climáticas y no tanto con los factores edáficos, probablemente debido a que el carácter de los sustratos en que se desarrollan es similar (Diaz-Maroto et al., 2005, 2006). Las relaciones estadísticas entre los parámetros de masa y los

ecológicos, mostradas por los análisis de regresión multivariante, señalan que, si bien es posible establecer estrechas correlaciones con los factores climáticos, son los parámetros fisiográficos (pendiente, distancia al mar y profundidad del suelo) los que mejor definen el estado actual de estos bosques (Diaz-Maroto et al., 2005, 2006).

4. Conclusiones

Dado el actual estado silvícola de las masas estudiadas, se deben proponer métodos alternativos para su gestión, que van desde la conversión a monte alto hasta la recuperación de los bosques más deteriorados mediante repoblación artificial. Adicionalmente, podemos hacer las siguientes recomendaciones para el manejo adecuado de estos bosques: i) conversión de monte bajo a monte alto, para su posterior gestión; ii) muchos de los actuales bosques, procedentes mayoritariamente de monte bajo, están muy envejecidos y empobrecidos genéticamente, por lo que su conversión sería inviable desde un punto de vista económico; estos bosques podrían ser gestionados como bosques de protección o para uso social-recreativo; iii) en los bosques cuya conversión a monte alto sea económicamente factible, sería necesario que la Administración Forestal creara una *fórmula* para ello, algo inexistente actualmente; iv) favorecer las repoblaciones con especies frondosas caducifolias en general, y en particular, con las especies de roble que componen las formaciones climácicas del área de estudio.

Bibliografía

Bouchon, J. and J. Trencia. 1990. Sylviculture et production du chêne. *Revue Forestière Française* 2 : 246-253.

Buide, M. L., J. M. Sánchez and J. Guitián. 1998. Ecological characteristics of the flora of the Northwest Iberian Peninsula. *Plant Ecology* 135: 1-8.

Claessens, H., D. Pauwels, A. Thibaut and J. Rondeux. 1999. Site index curves and autoecology of ash, sycamore and cherry in Wallonia (Southern Belgium). *Forestry* 72: 171-182.

Diaz-Maroto, I.J., J. Fernández-Parajes and P. Vila-Lameiro. 2006. Autecology of rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) in Galicia (Spain). *Annals of Forest Sciences* 63: 157-167.

Diaz-Maroto, I. J., P. Vila-Lameiro and F. J. Silva-Pando. 2005. Autecology of oaks (*Quercus robur* L.) in Galicia (Spain). *Annals of Forest Sciences* 62: 737-749.

Guitián Rivera, L. 1995. Origen y evolución de la cubierta forestal de Galicia. Ph.D. Thesis. Universidad de Santiago, Santiago de Compostela.

Guitián Rivera, L. 1993. Sistemas de utilización del espacio y evolución del paisaje vegetal en las Sierras Orientales de Lugo. In *La evolución del paisaje en las montañas del entorno de los Caminos Jacobeos. Cambios ambientales y actividad humana*. Ed. A. Pérez Alberti et al., 211-225. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.

Harmer, R. and G. Morgan. 2007. Development of *Quercus robur* advance regeneration following canopy reduction in an oak woodland. *Forestry* 80: 137-149.

Johnson, R. H., R. R. Shifley and R. Rogers. 2002. *The ecology and silviculture of oaks*. Wallingford: CAB International.

Lebourgeois, F., G. Cousseau and Y. Ducos. 2004. Climate-tree-growth relationships of *Quercus petraea* Matt. stand in the Forest of Bercé ("Futaie des Clos", Sarthe, France). *Annals of Forest Sciences* 61: 361-372.

Manuel, C. M. and L. Gil. 2001. *La transformación histórica del paisaje forestal en Galicia*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). 2011. *Cuarto Inventario Forestal Nacional, Galicia*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Peterken, G. F. and M. Game. 1984. Historical factors affecting the number and distribution of vascular plant-species in the woodlands of Central Lincolnshire. *Journal of Ecology* 72: 155-182.

Reque, J. and F. Bravo. 2007. Viability of thinning sessile oak Stands by girdling. *Forestry* 80: 193-199.

Rubio, A., A. Escudero and J. M. Gandullo. 1997. Sweet chestnut silviculture in an ecological extreme of its range in the West of Spain (Extremadura). *Annals of Forest Science* 54: 667-680.

Ruiz de la Torre, J. 1991. *Mapa Forestal de España*. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Medio Ambiente.

Timbal, J. and G. Aussenac. 1996. An overview of ecology and silviculture of indigenous oaks in France. *Annals of Forest Sciences* 53: 583-591.

Obtenção de conservantes e bioativos a partir de matrizes naturais e sua aplicação em produtos alimentares

Caleja, Cristina[1,2,3]; Dias, Maria Inês[1]; Pires, Tânia C.S.P.[1,3]; Roriz, Custódio[1,4]; Barros, Lillian[1], Oliveira, M. Beatriz P.P.[3]; Barreiro, Maria Filomena[2]; Ferreira, Isabel C.F.R.[1]

[1] Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal, tania.pires@ipb.pt; cmlobo@ipb.pt; ccaleja@ipb.pt; maria.ines@ipb.pt; iferreira@ipb.pt

[2] Laboratório de Separação e Engenharia das Reações (LSRE), Laboratório Associado LSRE/LCM, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, barreiro@ipb.pt

[3] REQUIMTE/LAQV, Departamento de Ciências Químicas, Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto, Portugal, beatoliv@ff.up.pt

[4] Dpto. Nutrición y Bromatología II, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Pza Ramón y Cajal, s/n, E-28040 Madrid, Spain

Resumo

Os efeitos nocivos de alguns aditivos sintéticos preocupam cada vez mais os consumidores, impulsionando uma tendência crescente para a sua substituição por compostos/extratos de origem natural. No presente trabalho, foram desenvolvidos dois protocolos de incorporação de extratos naturais em alimentos, visando obter efeitos de conservação e de funcionalização do produto final. O 1º protocolo consistiu na incorporação de um extrato obtido a partir da decocção de *Foeniculum vulgare* Mill. (funcho) e *Matricaria recutita* L. (camomila), na sua forma livre, em iogurtes, não se tendo verificado alterações significativas do seu valor nutricional e propriedades organolépticas, quando comparadas com amostras aditivadas com um conservante sintético (sorbato de potássio, E202). No entanto, verificou-se que os iogurtes incorporados com os extratos de funcho e camomila apresentaram atividade antioxidante superior. No 2º protocolo fez-se a incorporação de microesferas de alginato enriquecidas com o extrato obtido a partir da infusão de *Fragaria vesca* L. silvestre (morangueiro) em gelatinas. As microesferas produzidas apresentaram forma esférica, uma eficiência de encapsulação de 95% e capacidade de reidratação adequada. A dissolução da *k*-carragenina a temperaturas elevadas não afetou a integridade das microesferas. A atividade antioxidante dos extratos protegidos foi, assim, preservada comparativamente à sua forma livre. Este trabalho mostrou que os extratos aquosos de funcho e camomila apresentam potencial para o desenvolvimento de conservantes naturais, enquanto que os extratos de morangueiro silvestre são alternativas de interesse para a formulação de novos produtos nutracêuticos.

Palavras-chave: *Foeniculum vulgare* Mill., *Matricaria recutita* L., *Fragaria vesca* L., conservantes, bioativos

Obtaining preservatives and bioactives from natural matrices and their application in food products

Abstract

The harmful effects of some synthetic additives are increasingly concerning some consumers, motivating a growing trend for their replacement by natural compounds/extracts. In the present work, two protocols were developed to incorporate natural extracts in food matrices to confer conservation and bioactive effects to the final product. The first protocol was the addition of an extract obtained from the decoction of *Foeniculum vulgare* Mill. (fennel) and *Matricaria recutita* L. (Chamomile), in the free form, in yogurts. No significant changes of their nutritional value and organoleptic properties were observed when compared with samples with a synthetic preservative (potassium sorbate E202). However, it was possible to confirm that yogurts incorporated with fennel and chamomile extracts exhibited higher antioxidant activity. The second protocol was the incorporation of alginate microspheres enriched with an extract obtained from the infusion of wild

Fragaria vesca L. (strawberry) in gelatine. The microspheres produced presented spherical shape, encapsulation efficiency of 95% and proper rehydration. The dissolution of the k-carrageenan at high temperatures did not affect the integrity of the microspheres. The antioxidant activity of the protected extract was preserved when compared with the free form. Overall, this work showed the potential of aqueous extracts of fennel and chamomile to be used in the development of natural preservatives, while wild strawberry extracts are an interest alternative for formulating new nutraceuticals products.

Keywords: *Foeniculum vulgare* Mill., *Matricaria recutita* L., *Fragaria vesca* L, preservative, bioactives

1. Introdução

O sorbato de potássio é um dos conservantes mais utilizados pela indústria alimentar, sobretudo como agente antimicrobiano uma vez que tem a capacidade de inibir o crescimento de fungos, bactérias aeróbicas e leveduras (Liu et al., 2014). Apesar de ser considerado seguro por apresentar uma toxicidade mais baixa que os restantes conservantes (Fandos e Dominguez, 2007), alguns autores consideram que a sua utilização pode provocar efeitos prejudiciais para a saúde humana (Kamankesh et al., 2013), tendo sido já descritos alguns casos de alergias associadas ao seu consumo (urticária e asma) e algumas intolerâncias (Goren et al., 2015).

Para contornar esta problemática em torno dos efeitos adversos para a saúde do consumidor tem-se apostado na procura de alternativas aos aditivos sintéticos. As plantas, algas e cogumelos representam uma excelente fonte de antioxidantes e, podem por isso representar uma excelente alternativa (Carocho et al., 2015). Devido ao elevado potencial antioxidante, os compostos fenólicos são consideradas substâncias naturais interessantes para incorporação em alimentos quer como conservantes, quer como ingredientes bioativos (Caleja et al., 2015a; Caleja et al., 2015b).

Por outro lado, após ingestão, os compostos fenólicos podem sofrer metilações, glucoronidações e sulfatações, alterando a sua estabilidade e funcionalidade no organismo humano com a consequente perda de biodisponibilidade, sendo esta também influenciada pela quantidade ingerida, estrutura química, interações moleculares e pelo próprio organismo (Holst & Williamson, 2008; Leong & Oey, 2012; Heleno et al., 2015).

Para ultrapassar alguns destes problemas, a microencapsulação surge como uma resposta viável na proteção e estabilização de extratos bioativos, podendo ainda providenciar uma libertação controlada e localizada dos mesmos (Dias et al., 2015a). A microencapsulação pode ser aplicada em várias áreas, nomeadamente a farmacêutica, agrícola e biomédica no entanto, a área alimentar é ainda um nicho de mercado por explorar e com elevado potencial de aplicação (Dias et al., 2015a).

As propriedades antioxidantes e antimicrobianos da decocção de *Matricaria recutita* L. (camomila) e de *Foeniculum vulgare* Mill. (funcho) (ricos em compostos fenólicos como quercetina-3-*O*-glucósido e ácido 5-*O*-caffeoilquínico, e luteolina-*O*-glucurónido, respetivamente) foram demonstradas pelo nosso grupo de investigação, bem como a sua eficiência como conservantes em requeijões (Caleja et al., 2015a; Caleja et al., 2015b). Relativamente às partes vegetativas de *Fragaria vesca* L. silvestre (morangueiro), o seu potencial como fonte de compostos nutricionais e bioativos foi também demonstrado pelo nosso grupo de investigação (Dias et al., 2015c).

O objetivo deste estudo foi mostrar a versatilidade da incorporação de extratos naturais em produtos alimentares, providenciando-lhes diferentes efeitos: função conservante, no caso dos extratos de funcho e camomila, e efeitos bioativos, no caso do morangueiro silvestre. Para tal, foram implementados dois protocolos de incorporação: um em iogurtes (com extratos conservantes de camomila e funcho e comparação com um aditivo sintético) e outro em gelatinas (com extratos bioativos de morangueiro silvestre livres e microencapsulados).

2. Material e Métodos

2.1. Amostras e preparação das infusões e decocções

As amostras desidratadas de Matricaria recutita L. (camomila) e Foeniculum vulgare Mill. (funcho) foram fornecidas pela empresa Américo Duarte Paixão Lda. (Alcanede, Portugal). As partes vegetativas de Fragaria vesca L. (morangueiro silvestre) foram recolhidas na Serra da Nogueira, Bragança, tendo sido posteriormente identificadas e um exemplar armazenado em Herbário; as restantes amostras foram desidratadas por liofilização para posterior análise. Para a preparação das decocções, as amostras de camomila e funcho foram reduzidas a pó e adicionadas (5 g) a 200 ml de água destilada. As misturas foram aquecidas (placa VELP Scientific, Usmate, Itália) até à fervura durante 5 min, com 5 min adicionais de repouso, filtradas, congeladas e liofilizadas (FreeZone 4,5, Labconco, Kansas City, Missouri, EUA). As infusões de morangueiro silvestre foram preparadas adicionando 1 g de amostra a 200 ml de água destilada a 100oC, deixadas repousar 5 min à temperatura ambiente e posteriormente filtradas e liofilizadas. Os extratos liofilizados obtidos das decocções (camomila e funcho) e da infusão (morangueiro) foram posteriormente utilizados nos protocolos de incorporação em alimentos como conservantes naturais e bioativos, respetivamente.

2.2. Protocolo I - Enriquecimento de iogurtes com conservantes naturais e sintéticos

2.2.1 Preparação dos iogurtes: Foram preparados quatro grupos de amostras: i) controlo (iogurtes sem conservantes); ii) iogurtes com sorbato de potássio (E202); iii) iogurtes com decocção de funcho; iv) iogurtes com decocção de camomila. Para cada porção de 100 g de iogurte, foram incorporados 40 mg de decocção ou conservante sintético. Os iogurtes foram preparados seguindo uma receita tradicional utilizando apenas leite ultrapasteurizado (lípidos 3,6%, proteínas 3,3% e glúcidos 5,0%) misturado com iogurte natural comprado no mercado local. Após a fortificação com os diferentes conservantes, cada amostra correspondente foi deixada a incubar durante a noite a 44°C para a produção de iogurte. Todos os iogurtes foram preparados em duplicado e foram testados 3 tempos de conservação, 0, 7 e 14 dias, ao fim dos quais as amostras foram congeladas e liofilizadas para posterior análise (Caleja et al, 2015a).

2.2.2 Avaliação nutricional e dos parâmetros físico-químicos: os iogurtes fortificados foram analisados quanto à sua composição nutricional (humidade, proteína, lípidos, cinzas e glúcidos) seguindo os métodos de referência AOAC (2016). A medição da cor foi efetuada recorrendo a um colorímetro (modelo CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Tóquio, Japão) medindo seis pontos diferentes (três na parte superior e três na parte inferior), para cada amostra. O pH foi medido diretamente nas amostras (HI 99161, Hanna Instruments, Woonsocket, Rhode Island, EUA) (Caleja et al, 2015a).

2.2.3 Avaliação da atividade antioxidante: As amostras de iogurte fortificadas (3 g) foram extraídas com metanol/água (80:20) à temperatura ambiente durante 1 h sob agitação. O extrato foi filtrado e o resíduo sólido foi submetido a uma nova extração nas mesmas condições. Os extratos resultantes foram evaporados sob pressão reduzida num evaporador rotativo até à remoção completa do solvente. De seguida, o extrato resultante foi redissolvido em metanol para a obtenção de uma concentração conhecida para avaliação da atividade antioxidante. A atividade captadora de radicais de DPPH e o poder redutor foram avaliados a 515 e 690 nm, respetivamente, utilizando um leitor de microplacas ELX800 (Bio-Tek Instruments, Inc., Winooski, Vermont, EUA) (Caleja et al, 2015a).

2.3. Protocolo II – Funcionalização de gelatinas com bioativos naturais livres e microencapsulados

2.3.1 Caraterização fenólica das infusões: Os extratos de infusão de morangueiro silvestre foram redissolvidos em água ultrapura para determinar o perfil fenólico por HPLC (Hewlett-Packard 1100, Agilent Technologies, Santa Clara, USA) acoplado a um detetor de díodos, usando 280 nm e 370 nm como comprimentos de onda preferenciais, e a um espetrómetro de massa. Os compostos fenólicos foram identificados comparando o seu tempo de retenção e espetros UV e de massa com compostos padrão, se existentes. Em alternativa, os picos foram identificados por comparação com a literatura.

Para a análise quantitativa, foram construídas curvas de calibração de padrões individuais com base no sinal UV. No caso dos compostos fenólicos identificados sem padrão comercial, a quantificação foi realizada com base na curva de calibração de um composto similar pertencente ao mesmo grupo fenólico. Os resultados foram expressos em mg por g de extrato (Dias et al., 2015b).

2.3.2 Encapsulação das infusões de morangueiro silvestre: Foi utlizada a técnica de atomização/coagulação na preparação das microesferas. Foram dissolvidos 50 mg de infusão em 10 ml de água destilada com 400 mg de alginato de sódio (material encapsulante) e, posteriormente, atomizadas com o sistema NISCO Var J30 (Zurich, Switzerland) gerando microesferas que coagularam imediatamente numa solução de cloreto de cálcio (agente de coagulação); o período de coagulação durou 4 horas. As microesferas obtidas foram recolhidas sob pressão, lavadas duas vezes com água destilada, liofilizadas e armazenadas até posterior incorporação. A caracterização das microesferas foi ainda realizada por microcopia ótica, análise SEM e FTIR. A eficiência de encapsulação das microesferas foi avaliada através do extrato não encapsulado que permaneceu na água de coagulação, com base no composto maioritário (quercetina-O-glucorónido).

2.3.3 Incorporação em gelatina e avaliação da sua atividade antioxidante: As gelatinas foram preparadas usando somente k-carragenina como material gelificante. Para os ensaios de incorporação, foram preparadas três gelatinas: i) controlo (k-carragenina); ii) k-carragenina com a infusão de morangueiro silvestre na sua forma livre; iii) k-carragenina com as microesferas enriquecidas com a infusão. A atividade captadora de radicais de DPPH e o poder redutor foram avaliados a 515 e 690 nm, respetivamente, utilizando o leitor de microplacas já mencionado anteriomente.

3. Resultados e Discussão

3.1. Protocolo I - Enriquecimento de iogurtes com conservantes naturais e sintéticos

Os quatro tipos de iogurtes (controlo, enriquecido com E202, com funcho e com camomila) foram armazenados a frio (4ºC) e analisados após três períodos de armazenamento (0, 7 e 14 dias). Os valores médios da composição nutricional relativos a cada tempo de armazenamento (TA), independentemente do conservante incorporado, e também os valores médios relativos a cada conservante (Cons), independentemente do tempo de armazenamento, são apresentados na Tabela 1. Assim, é possível determinar o melhor tipo de enriquecimento (controlo, E202, decocção de funcho e decocção de camomila) independentemente do tempo de armazenamento, bem como a influência do tempo de armazenamento independentemente do tipo de incorporação.

Foi possível verificar que o iogurte é uma matriz com elevado teor de humidade sendo os lípidos os macronutrientes menos abundantes. Em geral, nenhuma das incorporações teve uma influência significativa no perfil nutricional dos iogurtes. Os valores de humidade e proteína estão de acordo com os resultados descritos por Serafeimidou et al. (2013), em iogurtes preparados com leite de vaca e de ovelha. No entanto, os valores de cinzas foram superiores aos descritos por estes autores.

O enriquecimento com os diferentes conservantes não provocou alterações significativas no aspeto final dos iogurtes, tal como é possível observar na Figura 1. Relativamente ao pH, também se verificou a mesma tendência.

Num estudo semelhante com iogurtes enriquecidos com extrato de sementes de uva (*Vitis vinifera*), observou-se a mesma tendência em relação ao pH uma vez que a incorporação com extratos de sementes não afetou os valores de pH dos iogurtes no entanto, a cor vermelha e amarela das diferentes sementes (Agiorgitiko e Moschofilero, respetivamente) provocaram uma alteração na cor dos iogurtes (Chouchouli et al., 2013).

Tabela 1. Composição nutricional (g/100 g) dos iogurtes ao longo do tempo e com incorporação de diferentes conservantes.

		Humidade	**Lípidos**	**Proteínas**	**Cinzas**	**Glúcidos**
Tempo de armazenamento (TA)	0 dias	87,6 ± 0,2b	2,58 ± 0,18	3,92 ± 0,12	0,67 ± 0,02	5,25 ± 0,4
	7 dias	87,5 ± 0,3a	2,42 ± 0,23	3,77 ± 0,10	0,70 ± 0,02	5,62 ± 0,33
	14 dias	87,3 ± 0,8ab	2,32 ± 0,13	3,84 ± 0,05	0,70 ± 0,02	5,79 ± 0,81
p-value (n=24)	Teste Tukey	0,036	<0,001	<0,001	<0,001	0,005
Conservante (Cons)	Controlo	87,6 ± 0,5	2,55 ± 0,22	3,81 ± 0,04	0,70 ± 0,03	5,39 ± 0,66
	E202	87,4 ± 0,7	2,38 ± 0,22	3,87 ± 0,08	0,68 ± 0,02	5,64 ± 0,73
	Decocção de funcho	87,3 ± 0,5	2,54 ± 0,16	3,91 ± 0,12	0,70 ± 0,02	5,57 ± 0,52
	Decocção de camomila	87,6 ± 0,3	2,30 ± 0,13	3,79 ± 0,14	0,67 ± 0,02	5,62 ± 0,31
p-value (n=18)	Teste Tukey	0,058	<0,001	0,098	<0,001	0,606
TA x Cons (n=72)	*p*-value	0,086	<0,001	<0,001	<0,001	0,016

Em cada linha e dentro de cada período de armazenamento, letras diferentes significam diferenças estatísticas significativas entre os diferentes iogurtes (p <0,05). Em Caleja et al. (2016).

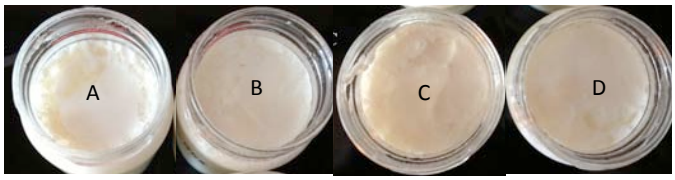


Figura 1. Aspeto visual das diferentes amostras de iogurte: (A) iogurte controlo, (B) iogurte com E202, (C) iogurte com decocção de funcho e (D) iogurte com decocção de camomila.

Os resultados obtidos após avaliação da atividade antioxidante são apresentados na Tabela 2. Os menores valores de EC50 foram obtidos no ensaio do poder redutor. De uma maneira geral, as decocções de funcho e camomila conferiram maior capacidade antioxidante aos iogurtes do que o conservante sintético. Outro dado interessante é o facto da capacidade antioxidante dos iogurtes enriquecidos com funcho e camomila se manter durante mais tempo de armazenamento, sendo que os iogurtes com o conservante sintético perdem atividade, principalmente a partir do sétimo dia de armazenamento. Estudos semelhantes descrevem que a atividade antioxidante dos iogurtes foi reforçada pela presença de extratos naturais, por exemplo, em estudos com iogurtes fortificados com frutos de dragão (*Hylocereus polyrhizus* F.A.C.Weber Britton & Rose) (Zainoldin e Baba, 2009) ou com amora preta (*Rubus ulmifolius* Schott)(Martins et al., 2014). Foram detetados e identificados dezanove compostos fenólicos nas infusões preparadas a partir de partes vegetativas silvestres de F. vesca L. (Tabela 3): cinco derivados de ácidos elágico e HHDP, sete flavan-3-óis (catequinas) e sete flavonóides (derivados de quercetina e canferol). O composto maioritário encontrado corresponde ao pico 15 (3-O-glucorónido de quercetina, 22,10 mg/g), seguido do composto correspondente ao pico 7 (catequina, 21,65 mg/g). A presença de 3-O-glucorónido de quercetina já tinha sido previamente descrita em frutos de F. vesca (Bubba et al., 2012; Sun et al., 2014) e em outras espécies de Fragaria (Simirgiotis & Schmeda-Hirschmann, 2010; Aaby et al., 2012).

Tabela 2. Atividade antioxidante dos iogurtes (expressa em valores de Ec_{50}, mg/ml) ao longo do tempo e com incorporação de diferentes conservantes.

		Poder Redutor	DPPH
Tempo de armazenamento (TA)	0 dias	25 ± 6	105 ± 54
	7 dias	26 ± 6	107 ± 56
	14 dias	27 ± 6	121 ± 57
p-value (n=27)	Teste Tukey	<0,001	<0,001
Conservante (Cons)	Controlo	32,4 ± 0,4	195 ± 5
	E202	29 ± 2	111 ± 20
	Decocção de funcho	27 ± 1	94 ± 4
	Decocção de camomila	16,4 ± 0,8	45 ± 3
p-value (n=36)	Teste Tukey	<0,001	<0,001
TA x Cons (n=108)	*p*-value	<0,001	<0,001

Em Caleja et al. (2016).

Tabela 3. Identificação e quantificação de compostos fenólicos (mg/g) em infusões de partes vegetativas silvestres de F. vesca.

Pico	Rt (min)	λmax (nm)	Tentativa de identificação	mg/g
1	4,9	258	Bis-HHDP-glucose	1,72 ± 0,12
2	5,6	278	Hexósido de (epi)catequina	4,51 ± 0,09
3	5,8	260	Bis-HHDP-glucose	0,63 ± 0,06
4	7,3	280	Dímero de procianidina	8,47 ± 0,29
5	7,1	280	Trímero de (epi)catequina tipo B	4,82 ± 0,16
6	7,7	356	Hexósido glucurónido de quercetina	4,04 ± 0,08
7	8,1	280	(+)-Catequina	21,65 ± 0,01
8	9.7	278	(epi)Afzelequina-(epi)catequina tipo B	5,53 ± 0,04
9	10,2	280	Dímero de procianidina	2,68 ± 0,21
10	14,7	278	(epi)Afzelequina-(epi)catequina tipo B	3,75 ± 0,29
11	17,0	352	Di-hexósido glucurónido de quercetina	15,21 ± 0,08
12	17,6	364	3-*O*-rutinósido de quercetina	5,11 ± 0,12
13	18,6	264	Isómero de sanguiin h10	7,40 ± 0,11
14	19,8	346	Di-hexósido glucurónido de canferol	11,96 ± 0,07
15	20,6	358	*O*-glucurónido de quercetina	22,10 ± 0,32
16	20,4	354	Di-hexósido glucurónido de metilquercetina	10,43 ± 0,23
17	21,1	356	3-*O*-glucósido de quercetina	1,41 ± 0,06
18	21,7	252/sh370	Ácido elágico	1,77 ± 0,02
19	26,1	248/sh372	Metildesoxi-hexósido de ácido elágico	1,47 ± 0,00
			Derivados do ácido elágico	11,22 ± 0,06[b]
			Flavonoís	72,02 ± 0,40[a]
			Flavan 3-óis	51,41 ± 0,44[a]
			Compostos fenólicos	134,65 ± 0,09[b]

Em cada linha e dentro de cada período de armazenamento, letras diferentes significam diferenças estatísticas significativas entre os diferentes iogurtes (p <0,05). Em Dias et al. (2015b).

3.2 Protocolo II – Funcionalização de gelatinas com bioativos naturais livres e microencapsulados

Após avaliação do perfil fenólico da infusão, procedeu-se à preparação das microsferas enriquecidas com este extrato que foram posteriormente caracterizadas recorrendo à microscopia óptica; as microesferas apresentaram-se perfeitamente individualizadas. No final do procedimento, atingiu-se a forma esférica desejada, com tamanhos de partículas entre os 39 e 202 µm, e com um leve tom acastanhado devido à incorporação do extrato. A determinação da eficiência de encapsulação (EE) foi baseada no composto 3-*O*-glucorónido de quercetina presente na água de coagulação (não encapsulado), tendo sido atingida uma EE de 97%. A análise de FTIR e SEM deram também evidências qualitativas de uma alta eficiência de encapsulação.

A Figura 2 apresenta a morfologia das microesferas enriquecidas imediatamente após a sua incorporação em gelatina de *k*-carragenina, sendo possível observar que a temperatura de preparação da gelatina (90ºC) não afetou a morfologia da microesfera. Os pontos pretos observados nas microesferas representam o extrato, evidenciando uma vez mais a proteção efetiva do extrato dentro da matriz.

Relativamente à atividade antioxidante do produto final, como era expectável, somente a gelatina de *k*-carragenina com o extracto livre mostrou atividade antioxidante (EC_{50} atividade captadora de radicais DPPH = 2,74±0,11 mg/ml; EC_{50} poder redutor = 1,23±0,12 mg/ml). Nem o controlo (sem incorporação de bioativos) nem a gelatina com extratos microencapsulados (proteção eficiente dos extratos) mostraram atividade antioxidante.

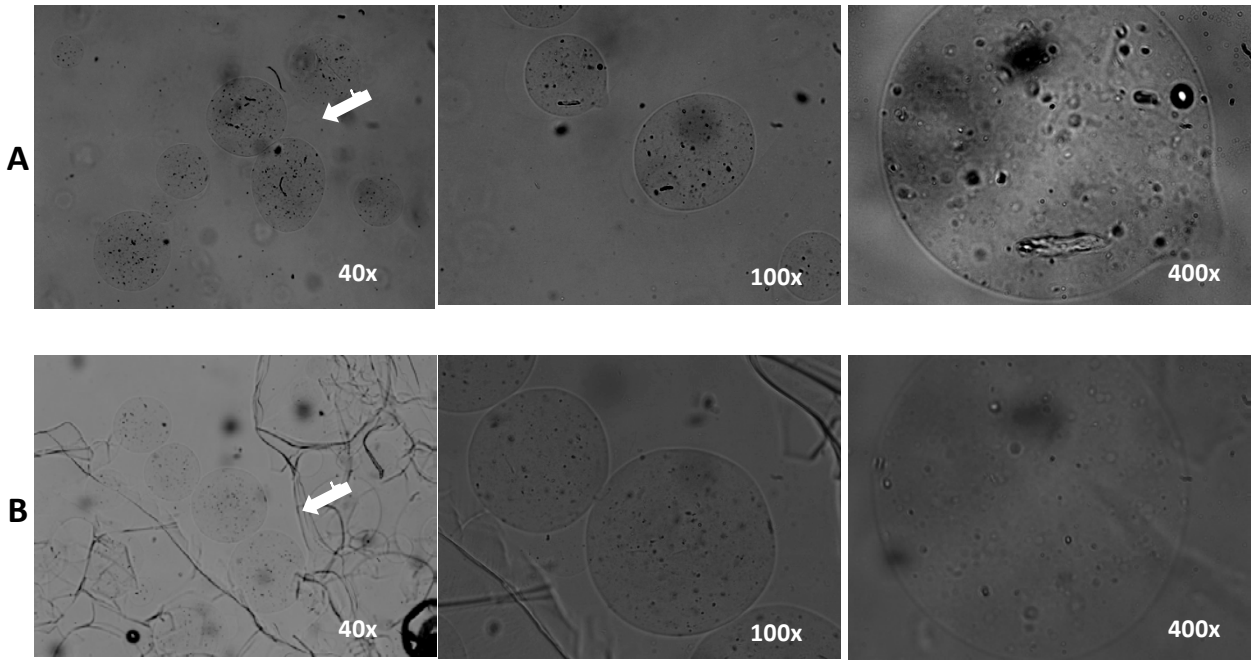


Figura 2. Análise de microscopia óptica com ampliações de 40, 100 e 400× da k-carragenina com infusão de morangueiro silvestre microencapsulada antes (A) e após (B) liofilização. Em Dias et al. (2015b).

4. Conclusões

Os iogurtes enriquecidos com antioxidantes de origem natural são um alimento inovador que deverá ter uma boa aceitabilidade por parte dos consumidores uma vez que vai de encontro às suas expectativas na procura de produtos saudáveis. Este estudo revelou que a introdução de extratos aquosos preparados a partir de plantas (nomeadamente funcho e camomila) melhora a atividade antioxidante de iogurtes, mostrando maior capacidade do que o aditivo sintético, sorbato de

potássio. Além disso, essa mesma incorporação não provocou alterações significativas no perfil nutricional, aparência ou pH dos produtos finais evidenciando que os extratos vegetais naturais são benéficos para os consumidores e não apresentam alterações nutricionais nos iogurtes durante o seu período normal de armazenamento.

A técnica de microencapsulação de atomização/coagulação foi efetivamente aplicada para produzir microesferas enriquecidas com infusão de morangueiro silvestre (eficiência de encapsulação próxima a 97%). A incorporação das microesferas numa matriz alimentar de gelatina demonstrou que este sistema preserva as propriedades antioxidantes do extrato em comparação com a forma livre. Este é um estudo inovador sobre o desenvolvimento de nutracêuticos baseados em extratos de morangueiro silvestre. Serão necessários mais estudos para avaliar processos de libertação controlada do extrato bioativo no organismo utilizando, por exemplo, modelos gastrointestinais.

Com estes dois estudos pudemos verificar a grande versatilidade de aplicação de extratos naturais, na sua forma livre ou microencapsulada, no desenvolvimento de novos produtos alimentares.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e ao FEDER no âmbito do Programa PT2020 pelo apoio financeiro ao CIMO (UID/AGR/00690/2013), REQUIMTE (UID/QUI/50006/2013 - POCI/01/0145/FEDER/007265), bolsa de C. Caleja (SFRH/BD/93007/2013), bolsa de C. Roriz (SFRH/BD/117995/2016) e contrato de L. Barros. Ao POCI-01-0145-FEDER-006984 - Laboratório Associado LSRE-LCM financiado pelo FEDER através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) - e por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Bibliografia

Aaby, K., Ekeberg, D., & Skrede, G. 2007. Characterization of phenolic compounds in strawberry (Fragaria x ananassa) fruits by fifferent HPLC detectors and contribution of individual compounds to total antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4395-4406.

AOAC (2016) Official Methods of Analysis of AOAC International - 20th Edition, 20th ed. AOAC International.

Bubba, M., Checchini, L., Chiuminatto, U., Doumett, S., Fibbi, D., & Giordani E. 2012. Liquid chromatographic/electrospray ionization tandem mass spectrometric study of polyphenolic composition of four cultivars of Fragaria vesca L. berries and their comparative evaluation. *Journal of Mass Spectrometry*, 47, 1207-1220.

Caleja, C., Barros, L., Antonio, A. L., Ciric, A., Sokovic´, M., Oliveira, M. B. P. P., Santos-Buelga, C. and Ferreira, I. C. F. R. 2015a. *Foeniculum vulgare* Mill. as natural conservation enhancer and health promoter by incorporation in cottage cheese. *Journal of functional foods,* 12, 428–438.

Caleja, C., Barros, L., Antonio, A. L., Ciric, A., Barreira, J. C. M., Sokovic´, M., Oliveira, M. B. P. P. and Ferreira, I. C. F. R. 2015b. Development of a functional dairy food: exploring bioactive and preservation effects of chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Journal of functional foods,* 16, 114–124.

Caleja, C., Ribeiro, A., Barros, L., Barreira, J. C. M., Antonio, A. L., Oliveira, M. B. P.P., Barreiro, M. F. and Ferreira, I. C. F. R. 2016. Cottage cheeses functionalized with fennel and chamomile extracts: comparative performance between free and microencapsulated forms. *Food Chemistry. 199,* 720-726.

Carocho, M., Morales, P. and Ferreira, I. C. F. R. 2015. Natural food additives: Quo vadis? *Trends in Food Science & Technology,* 45, 284–295.

Chouchouli, V., Kalogeropoulos, N., Konteles, S. J., Karvela, E., Makris, D. P. and Karathanos, V. T. 2013. Fortification of yoghurts with grape (Vitis vinifera) seed extracts. *LWT – Food Science and Technology,* 53, 522–529.

Dias, M. I., Barros, L., Fernandes, I. P., Ruphuy, G., Oliveira, M. B. P., Santos-Buelga, C., Barreiro, Filomena & Ferreira, I.C.F.R. 2015b. A bioactive formulation based on *Fragaria vesca* L. vegetative parts: Chemical characterisation and application in *κ*-carrageenan gelatin. *Journal of Functional Foods*, 16, 243-255.

Dias, M. I., Barros, L., Morales, P., Sánchez-Mata, M. C., Oliveira, M. B. P., & Ferreira, I. C. 2015c. Nutritional parameters of infusions and decoctions obtained from Fragaria vesca L. roots and vegetative parts. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 32-38.

Dias, M.I., Ferreira, I.C.F.R., & Barreiro, M.F. 2015a. Microencapsulation of bioactives for food applications. Food & Function, Submitted.

Fandos, G. E. and Dominguez, J. L. 2007. Effect of potassium sorbate washing on the growth of Listeria monocytogenes on fresh poultry*. Food Control,* 18(7), 842–846.

Goren, A. C., Bilsel, G., Simsek, A., Bilsel, M., Akcadag, F., Topal, K. and Ozgen, H. 2015. HPLC and LC–MS/MS methods for determination of sodium benzoate and potassium sorbate in food and beverages: Performances of local accredited laboratories via proficiency tests in Turkey. *Food Chemistry,* 175, 273–279.

Heleno, S., Martins, A., Queiroz, M.J.R.P., & Ferreira, I.C.F.R. 2015. Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. *Food Chemistry*, 173, 501-513.

Holst, B., & Williamson, G. (2008). Nutrients and phytochemicals: from bioavailability to bioefficacy beyond antioxidants. *Current Opinion in Biotechnology*, 19, 73-82.

Kamankesh, M., Mohammadi, A., Tehrani, Z. M., Ferdowsi, R. and Hosseini, H. 2013. Dispersive liquid–liquid microextraction followed by high-performance liquid chromatography for determination of benzoate and sorbate in yogurt drinks and method optimization by central composite design. *Talanta,* 109, 46–51.

Leong, S.Y., & Oey, I. 2012. Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 133, 1577-1578.

Liu, K., Wang, X. and Young, M. 2014. Effect of bentonite/potassium sorbate coatings on the quality of mangos in storage at ambient temperature. *Journal of Food Engineering,* 137, 16–22.

Martins, A., Barros, L., Carvalho, A. M., Santos-Buelga, C., Fernandes, I. P., Barreiro, F. and Ferreira, I. C. F. R. 2014. Phenolic extracts of *Rubus ulmifolius* Schott flowers: characterization, microencapsulation and incorporation into yogurts as nutraceutical sources. *Food & Function,* 5, 1091–1100.

Serafeimidou, A., Zlatanos, S., Kritikos, G. and Tourianis, A. 2013. Change of fatty acid profile, including conjugated linoleic acid (CLA) content, during refrigerated storage of yogurt made of cow and sheep milk. *Journal of Food Composition and Analysis,* 31, 24–30. Wilson, B. G. and Bahna, S. L. 2005. Adverse reactions to food additives. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology,* 95(6), 499–507.

Simirgiotis, M.J., & Schmeda-Hirschmann, G. 2010. Determination of phenolic composition and antioxidant activity in fruits, rhizomes and leaves of the white strawberry (Fragaria chiloensis spp. chiloensis form chiloensis) using HPLC-DAD–ESI-MS and free radical quenching techniques. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, 545-553.

Sun, J., Liu, X., Yang, T., Slovin, J., & Chen, P. 2014. Profiling polyphenols of two diploid strawberry (Fragaria vesca) inbred lines using UHPLC-HRMSn. *Food Chemistry*, 146, 289-298.

Zainoldin, K. H. and Baba, A. S. 2009. The effect of *Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus* on physicochemical, proteolysis, and antioxidant activity in yogurt. *Engineering and Technology,* 60, 361–366.

Análise da utilização das ferramentas FlorNExT ® e FlorNExT Pro® do seu possível impacto na gestão florestal do Nordeste Trasmontano

Marcelo Fagundes[1,2], Luis Nunes[1,2], João C. Azevedo[1,2], Fernando Pérez-Rodríguez[1,2]

[1] Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253, Bragança-Portugal.

[2] Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253, Bragança-Portugal. fernando.perez@ipb.pt

Resumo

O Nordeste Transmontano vem sofrendo nas últimas décadas, abandono nas zonas rurais como consequência acontece o défice ao nível da gestão florestal praticada. Neste contexto, a estratégia levada a cabo na região para promover boas práticas de gestão florestal, fez o IPB e seus investigadores desenvolverem ferramentas informáticas para o apoio nas decisões relativas à gestão das florestas dirigidas a diferentes tipos de utilizadores: FlorNExT ® e FlorNExT Pro®. O FlorNExT® é uma ferramenta disponibilizada na internet de forma livre que simula o crescimento e a produção de povoamentos de pinheiro bravo e carvalho negral enquanto o FlorNext Pro®, é uma aplicação de ambiente de trabalho dirigida a técnicos com amplos conhecimentos de gestão florestal, que permite gerir um conjunto de parcelas em base nas metodologias de análise com multi-objetivos. Contudo, o desenvolvimento das ferramentas não é suficiente para garantir que a partilha de conhecimento com origem em grupos de investigação na forma de aplicações informáticas de apoio a gestão florestal promove a aplicação de boas práticas e aumenta a mobilização de madeira na região. Torna-se neste contexto necessário monitorizar a utilização destas ferramentas, assim como reforçar e consolidar os veículos para partilha deste tipo de conhecimento.

O presente trabalho mostra uma análise baseada na opinião dos potenciais agentes envolvidos no uso de cada uma das ferramentas desenvolvidas, com base na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP em inglês), através de inquéritos aplicando esta metodologia para análise dos resultados, com o intuito de obter indicadores, sobre o possível impacto das ferramentas desenvolvidas na gestão florestal da região. Para a aplicação e extração de dados estabeleceu-se uma série de eventos como workshops, cursos e reuniões de difusão de informação e tecnologia para diferentes perfis de utilizadores, assim como se fomentaram debates para a identificação de barreiras e sugestões de melhoria dos veículos para partilha de conhecimento dos grupos de investigação aos utilizadores finais ou gestores florestais. Como resultados preliminares do trabalho em curso, apresentam-se tendências observadas e previstas de utilização das ferramentas na região, e os pontos fortes e fracos deste tipo de desenvolvimentos para a gestão florestal na região do Nordeste Trasmontano.

Palavras-chave: Gestão florestal, transferência de conhecimento, análise de opinião, AHP, inquéritos.

Analysis of the application of tools for forest management FlorNExT ® and FlorNExT Pro® for forest management in the Northeast region of Portugal

Abstract

The Northeast region of Portugal has suffered in the last decades, abandonment in rural areas with consequently the deficit in the level of the forest management practiced. In this context, the strategy carried out in this region to promote good practices in forest management has led the IPB and its researchers to develop computer tools to support forest management decisions in the region and target different types of users: FlorNExT ® and FlorNExT Pro®. FlorNExT ® is a free-form Internet tool that simulates the growth and production of pine and black oak stands while FlorNExT Pro® is a desktop application for technicians with extensive forest management Allows to manage a set of plots based on multi-objective analysis methodologies. However, the development of tools is not sufficient to ensure that the sharing of knowledge from research

groups in the form of software applications in support of forest management promotes the application of good practices and increases the mobilization of timber in the region. It is necessary in this context to monitor the use of these tools, as well as to strengthen and consolidate the vehicles to share this type of knowledge.

The present work presents an analysis based on the opinion of the potential agents involved in the use of each of the tools developed, based on the application of the analytical hierarchical method or AHP, through surveys applying a methodology to analyse the results in order to obtain indicators on The possible impact of the tools developed in the region's forest management. For the application and extraction of data a series of events such as workshops, courses and meetings of diffusion of information and technology for different profiles of users were established, as well as discussions were fomented for the identification of barriers and suggestions of improvement of the vehicles for sharing Knowledge of research groups to end users or forest managers. Preliminary results of the work in progress show observed and predicted trends in the use of tools in the region, and the strengths and weaknesses of this type of development for forest management in the Northeast region of Portugal.

Key words: Forest management, knowledge transfer, opinion analysis, AHP, surveys.

1. Introdução

O Nordeste Transmontano vem sofrendo nas últimas décadas o abandono nas zonas rurais e como consequência esta a aparecer um défice no nível da gestão florestal praticada (Azevedo et al., 2011). Este défice na gestão florestal provoca um maior risco de incêndio, com a consequente perda de floresta em termos económicos e ambientais (Fernandes et al., 2012). Esta tendência está em contraposição com as previsões futuras na Europa, que preveem uma procura crescente de energia lenhosa, desempenhando um grande papel no fornecimento futuro de energia renovável e mantendo os objetivos de proteção do clima (Peroskurina et al., 2016; Mubareka et al., 2016).

Neste contexto, a estratégia levada a cabo nesta região para promover boas práticas de gestão florestal, fez o IPB e seus investigadores desenvolverem ferramentas informáticas para o apoio nas decisões relativas à gestão das florestas da região e dirigidas a diferentes tipos de utilizadores: FlorNExT ® (Pérez-Rodríguez et al., 2016) e FlorNExT Pro® (Pérez-Rodríguez et al., 2017). Contudo, a transferência de conhecimento não é simples, e deve ser feita pelos veículos necessários para que sejam bem e frequentemente utilizadas (Larocque et al., 2015), e para verificar o cumprimento da seguinte hipótese:

Hipótese: "Partilhar conhecimento desde os grupos de investigação em forma de aplicações informáticas de apoio a gestão florestal, pode promover a aplicação de boas práticas e aumentar a mobilização de madeira na região."

Para tratar de demostrar esta hipótese, o presente trabalho mostra uma análise baseada na opinião dos potenciais agentes envolvidos no uso de cada uma das ferramentas desenvolvidas, com base da aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP em inglês), através de inquéritos aplicando esta metodologia para análise dos resultados, com o intuito de obter indicadores sobre o possível impacto das ferramentas desenvolvidas, na gestão florestal da região.

2. Material e Métodos

O FlorNExT® (Pérez-Rodríguez et al., 2016) é uma ferramenta disponibilizada na internet de forma livre que simula o crescimento e a produção de povoamentos de pinheiro bravo e carvalho negral enquanto o FlorNExT Pro® (Pérez-Rodríguez et al., 2017), é uma aplicação de ambiente de trabalho dirigida a técnicos com amplos conhecimentos de gestão florestal, que permite gerir um conjunto de parcelas em base em metodologias de análise multi-objetivo.

A metodologia seguida para a avaliação do impacto destas ferramentas na gestão florestal, foi a recolhida de dados de opinião, mediante inquéritos para os dois tipos de agentes focais implicados de cada um dos aplicativos. Estes são os proprietários para o FlorNExT e o pessoal técnico para o

FlorNExT Pro®. Os inquéritos foram estabelecidos com perguntas temáticas em blocos de conhecimento, atitude e práticas, por além de recolher certa informação de caracter pessoal como o género, idade, e a relação com a floresta. Os blocos de perguntas são hierarquizadas através de uma árvore, como mostra a Figura 1. Posteriormente cada uma das perguntas é ponderada por um painel de expertos, que, mediante a utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP). O método AHP (Saaty, 1980) é um método de análise multicritério à decisão, desenvolvido por Tomas Saaty na década de 70 e é um dos métodos mais conhecidos da atualidade (Vargas, 2010; Carli et al., 2010). A ideia central deste método, consiste na redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparação aos pares, a fim de realizar o processo de tomada de decisão, minimizando suas falhas. O AHP é utilizado para o estabelecimento da árvore hierárquica (Figura 1), para obtenção de um indicador entre 0 e 1, sendo 0 pouco impacto e 1 com muito impacto, utilizando a ponderação de perguntas de cada inquérito mediante ao processo de determinação pareada (Saaty, 1980).

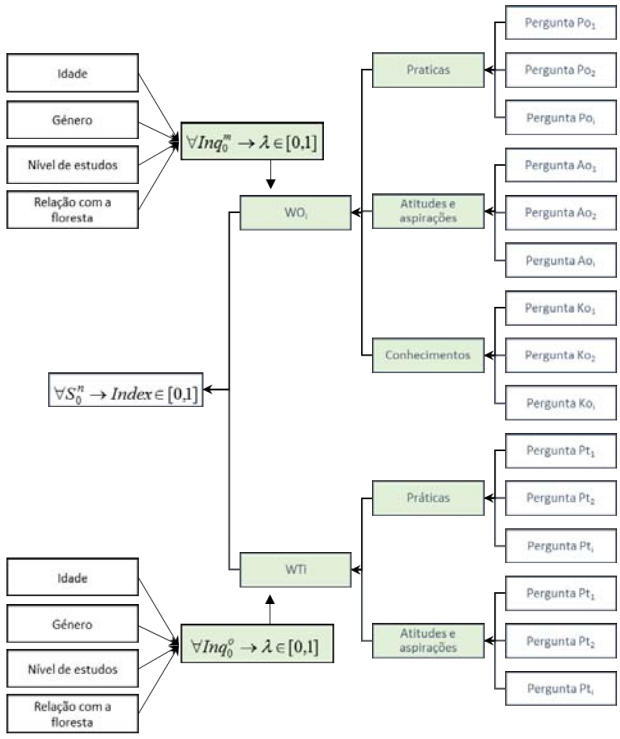


Figura 1: esquema hierárquico para a obtenção do indicador (Index[0,1]) de impacto das ferramentas na gestão florestal: 0 pouco impacto, 1 muito impacto. As caixas em cor branca mostram os resultados dos inquéritos aos diferentes agentes implicados.

Para a aplicação e extracção de dados estabeleceu-se uma série de eventos como workshops, cursos e reuniões de difusão de informação e tecnologia para diferentes perfis de utilizadores, assim como, se fomentaram debates para a identificação de barreiras e sugestões de melhoria dos veículos para partilha de conhecimento, dos grupos de investigação aos utilizadores finais ou gestores florestais.

3. Resultados

No dia 22 de fevereiro, foi realizado no auditório pequeno na Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança a 2ª edição do Workshop FlorNExT®, ministrado pelo investigador e criador do aplicativo, Fernando Pérez. Após o Workshop foi realizado um inquérito com o intuito de obter um feedback dos participantes do que foi apresentado. Estiveram presentes 13 homens e 10 mulheres, sendo que 21 possui ou estão fazendo um curso superior e 2 possuem ensino médio, 12 dos participantes trabalham no setor florestal e 11 responderam que não. Em relação à idade dos participantes está ilustrado na Figura 2.

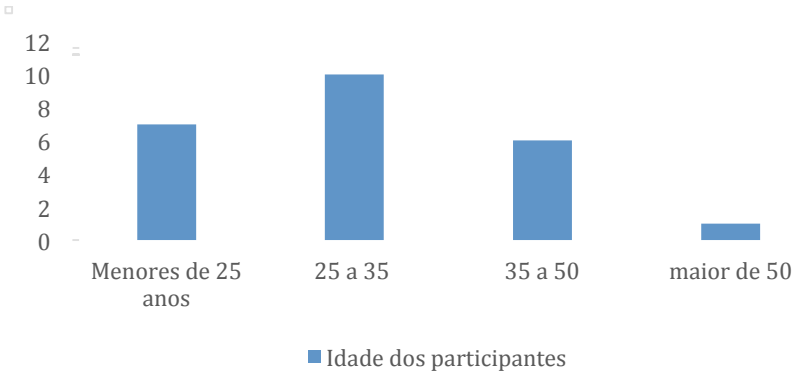


Figura 2: Idade dos participantes do 2º Workshop FlorNExT®

Os participantes consideraram que há viabilidade de gerir florestas ainda que haja um custo e 17 opinaram que a falta da industrialização leva que a madeira não seja rentável. Todos responderam que novas indústrias podem melhorar a colheita e a valorização dos produtos florestais, 21 disseram que a indústria da biomassa (pellets e/ou bioenergia) é rentável.

Somente 1 participante não pensa em utilizar o software FlorNExT ® para gerir suas florestas no futuro, 19 pessoas recorreriam a uma associação ou uma empresa especializada para utilizar o software e 4 consideraram-se capazes de utilizar a ferramenta.

Todos acreditam que é importante a divulgação dos aplicativos produzidos para melhorar a gestão florestal do Nordeste Transmontano, sendo que além da madeira, 19 participantes sugerem outro tipo de negócio relacionado à gestão florestal, conforme apresenta a Figura 3, os outros 4 participantes restantes responderam que não pretendem utilizar a madeira, como outro tipo de negócio.

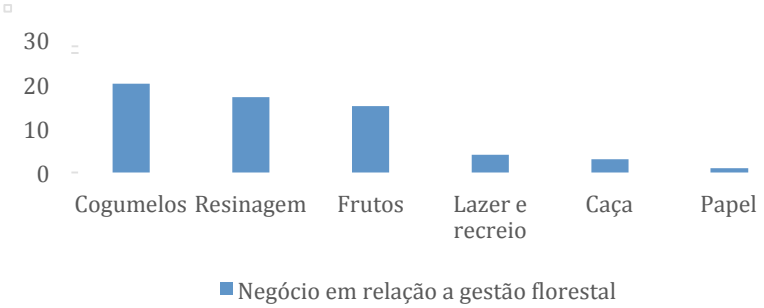


Figura 3: Comércio relacionado à gestão de florestas

A Figura 4 apresenta a frequência da opinião dos participantes em relação ao grau, procedimentos, investimentos ou políticas que para eles mudaram a mobilização de madeira na região transmontana em uma escala de 0 (pouco relevante) a 10 (muito relevante).

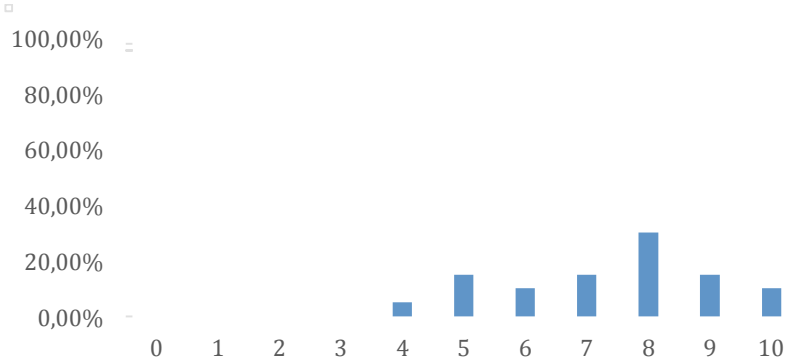


Figura 4: Opinião dos participantes sobre a mobilização no Nordeste Transmontano

A Figura 5, apresenta a frequência da opinião dos participantes se o desenvolvimento de softwares como o FlorNExT® ajuda na melhor gestão florestal na região do Nordeste Transmontano na mesma escala que a Figura 4.

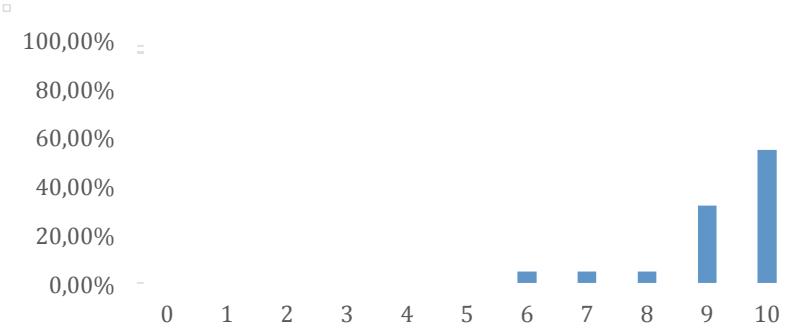


Figura 5: Resposta em relação ao desenvolvimento de aplicativos para a melhoria da gestão florestal

A Figura 6 apresenta a frequência da opinião dos participantes na mesma escala anteriormente citada na Figura 4 e 5, em resposta se a partilha de conhecimento desde o Instituto Politécnico de Bragança e do Centro de Investigação de Montanha está sendo eficaz para a comunidade da região.

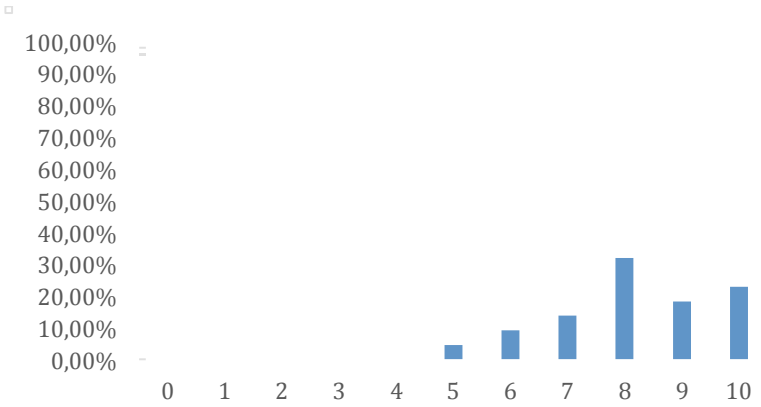


Figura 6: Opinião dos participantes em relação à partilha de conhecimentos

No 1º Workshop de divulgação do aplicativo FlorNExT Pro®, estiveram presentes 8 homens e 4 mulheres, onde todos os participantes responderam que possuem curso superior. Em relação à idade dos participantes, 11 tem de 35 a 50 anos e 1 uma pessoa está entre 25 a 35 anos. Entre os

participantes, 5 responderam que utilizam aplicativo informático para gestão florestal e 7 responderam que não.

Em relação às respostas do inquérito sobre a gestão da florestal na região do Nordeste Transmontano, 11 responderam considerar a mobilização de madeira não gerida como um potencial objetivo de manejo e 1 respondeu não considerar. Todos responderam que há viabilidade de gerir as florestas ainda que haja um custo, onde novas indústrias florestais podem melhorar a colheita e a valorização dos produtos florestais, a indústria de biomassa (pellets e/ou bioenergia) apresentou por todos, ser rentável. Além da madeira, todos acreditam que há mais negócio em relação à gestão florestal, onde exemplos de alternativas de negócio relacionado a florestas, será apresentado na Figura 7.

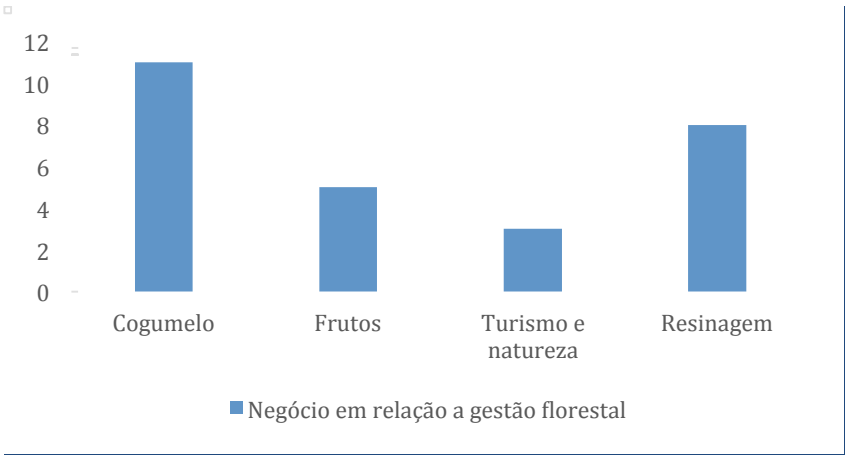


Figura 7 – Frequência de respostas respeito ao comércio relacionado à gestão das florestas

Todos os participantes responderam que pretendem utilizar o FlorNExT Pro® para gerir floresta. Na Figura 8, mostrasse as respostas dos participantes em relação a importância dos objetivos que se podem utilizar no aplicativo.

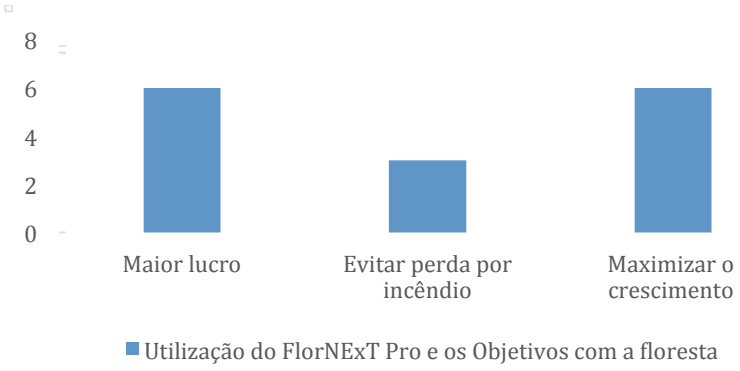


Figura 8 – Respostas em relação aos objetivos aplicáveis no FlorNExT Pro®

Todos os participantes do Workshop responderam que é importante a divulgação do Projeto SIMWOOD e dos softwares desenvolvidos no Instituto Politécnico de Bragança, para a gestão florestal da região. A Figura 9 apresenta a frequência da opinião dos participantes com relação ao grau, procedimentos, investimentos ou políticas que mudaram para mobilizar a madeira na região transmontana na escala de 0 (pouco relevante) e 10 (muito relevante).

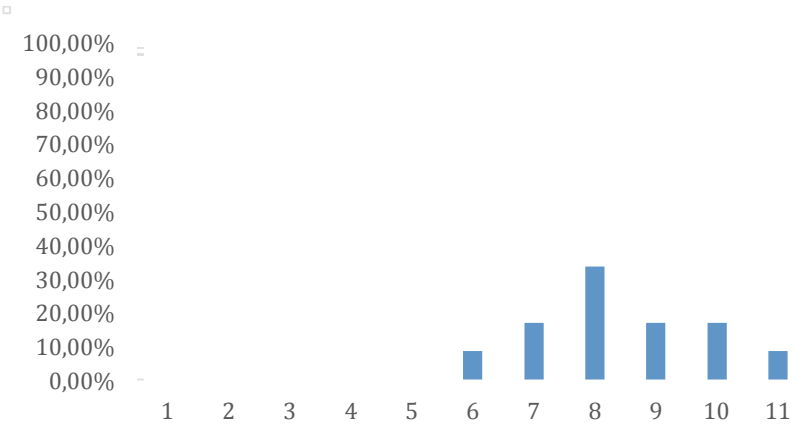


Figura 9 - Respostas em relação à mudança para a mobilização de madeira

A Figura 10 apresenta as respostas dos participantes, se o desenvolvimento de ferramentas informáticas ajuda a gerir as florestas no Nordeste Transmontano na mesma escala da Figura 9.

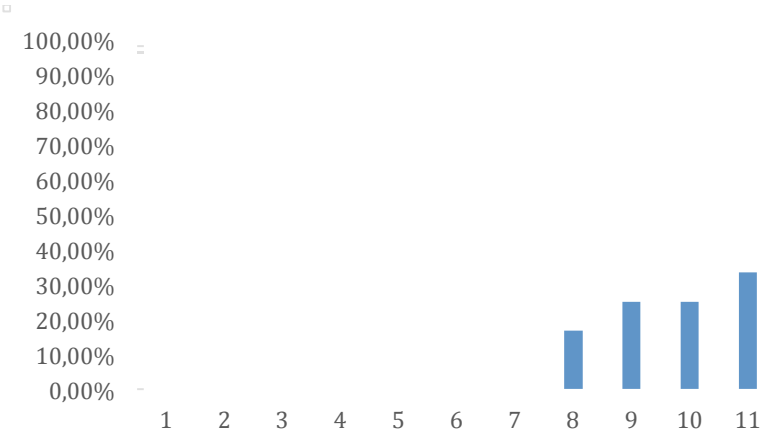


Figura 10 – Opinião dos participantes em relação ao desenvolvimento de ferramentas informáticas

A Figura 11 apresenta a frequência da opinião dos participantes, sobre se o esforço que o Instituto Politécnico de Bragança e o Centro de Investigação de Montanha é suficiente para a partilha de conhecimento.

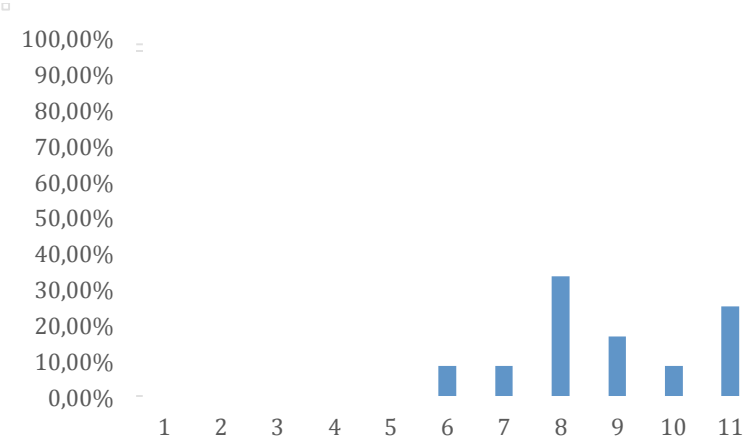


Figura 11 – Opinião dos participantes em relação a partilha de conhecimento

Como resultado final, apresentasse a resolução da árvore estabelecida para a obtenção do indicador proposto na metodologia para a demostração ou não da hipótese proposta. Nesta resolução estabeleceram-se 1000 simulações, obtendo o resultado de frequências da Figura 12. Estes resultados mostram uma frequência no eixo vertical e o indicador na escala 0 (não demostra) a 1 (demostra) no eixo horizontal.

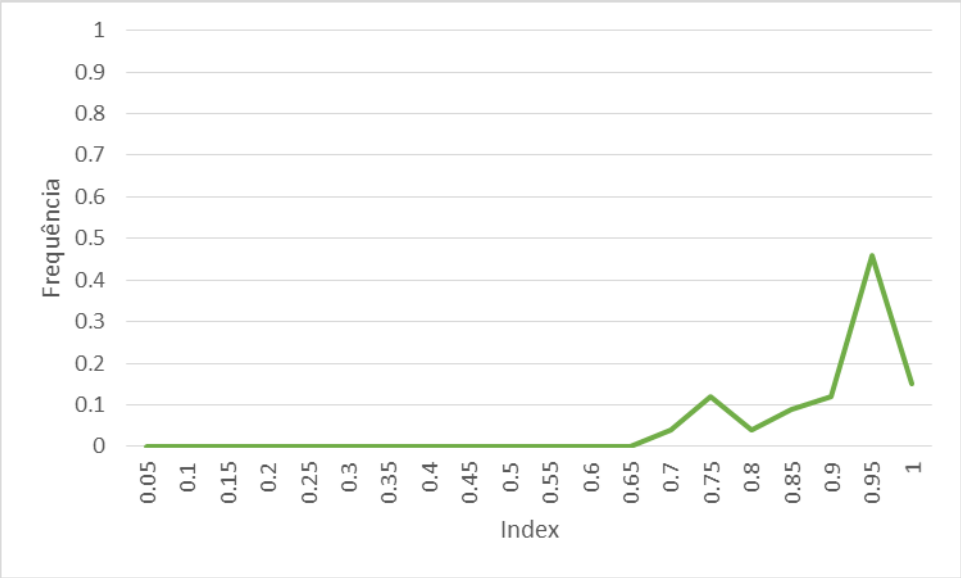


Figura 12: Resultado do indicador para a resolução do indicador para um processo interativo de 1000 simulações

4. Discussão

Este estudo teve como objetivo determinar o impacto da utilização das ferramentas na gestão florestal. Com isso foi realizado entrevistas com inquéritos para a recolha de respostas, durante os meses de fevereiro e março de 2017, sendo posteriormente os dados sujeitos a um tratamento estatístico através da metodologia AHP. Os inquéritos foram feitos de maneira individual com perguntas relacionadas com as florestas da região de Bragança. O resultado dos inquéritos foi retirado junto os participantes de uma série de eventos como workshops, cursos e reuniões de difusão de informação. As perguntas dividiram-se em blocos para diminuir o número de evacuações pelo painel de expertos. O primeiro se deu por um bloco temático, dividido por conhecimentos e competências, atitudes e aspirações e aplicação nas práticas de casos reais. O segundo foi por um bloco de análise, sendo por avaliação ou impacto. E o terceiro e último bloco se deu pelos usuários das ferramentas, proprietário de terra, técnico ou empresa, relacionado a florestais, decisor político ou de estratégia.

A estruturação em árvore dos diferentes blocos temáticos das perguntas e dos agentes implicados permite a ponderação mediante o painel experto através da aplicação do AHP. Para a análise das respostas foram diferenciadas em pesos com valores distintos. O primeiro se deu por um bloco temático, dividido por conhecimentos e competências, atitudes e aspirações e aplicação nas práticas de casos reais. O segundo foi por um bloco de análise, sendo por avaliação ou impacto.

5. Conclusão

O desenvolvimento de ferramentas informáticas ajuda a transferir conhecimento desde os grupos de investigação aos utilizadores últimos, quem, ao fim, são os que realmente tomam as decisões na gestão florestal.

A avaliação do impacto das ferramentas na gestão florestal, tal e como foi proposta na hipótese introdutória, não é direta e deve ser analisada utilizando modelos de opinião perguntando diretamente aos agentes implicados na sua utilização, assim como a um painel de expertos que deve ponderar cada uma das opiniões dadas pelos utilizadores.

Por ultimo, o desenvolvimento de aplicativos deve ser acompanhado com eventos de demostração para fazer uma boa transferência e recolher dados de opinião para a avaliação do impacto e a obtenção de retroalimentação para o melhoramento dos aplicativos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi financiado pelo Projecto SIMWOOD (Sustainable Innovative Mobilisation of Wood), EU FP7 Collaborative Project 2013-2017 Grant Agreement No. 613762

Referencias

Azevedo, J. C., Moreira, C., Castro, J. P., and Loureiro, C. 2011. Agriculture abandonment, land-use change and fire hazard in mountain landscapes in northeastern Portugal. In *Landscape Ecology in Forest Management and Conservation: Challenges and Solutions for Global Change*, Li, C. Lafortezza, R. Chen J. Eds. HEP-Springer, Beijing 2011, pp. 329–351.

Fernandes, P.M., Loureiro, C., Magalhães M., Ferreira, P., and Fernandes, M. 2012. Fuel age, weather and burn probability in Portugal. *International Journal of Wildland Fire* 21(4), 380-384, DOI: 10.1071/WF10063

Larocque, G.R., Bhatti, J., and Arsenault, A. 2015. Integrated modelling software platform development for effective use of ecosystem models. *Ecol. Modell*. 306, 318-325.

Mubareka, S., Jonsson, R., Rinaldi, F., Azevedo, J., De Rigo, D., and Sikkema, R. 2016. Forest bio-based economy in Europe. In J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri (Eds.) European Atlas of Forest Tree Species, Publication Office of the European Union, Luxembourg

Peroskurina, S., Sikkema, R., Heinimö, J., and Vakkilainen E. 2016. Five years left – How are the EU member states contributing to the 20% target for EU's renewable energy consumption; the role of woody biomass. *Biomass and Bioenergy* 95:64–77.

Pérez-Rodríguez, F., Nunes, L., Sil, A., Azevedo, J.C. 2016. FlorNExT®, a cloud computing application to estimate growth and yield of maritime pine (Pinus pinaster Ait.) stands in northeastern Portugal. Forest Systems 25(2), eRC08. doi:10.5424/fs/2016252-08975

Pérez-Rodríguez, F., Nunes, L., Sil, A., Azevedo, J.C. 2017 FlorNExTPro®: herramienta para la gestión forestal en la región del NE de Portugal. VII Congreso Forestal Español. Plasencia, Spain 26-30 June.

Saaty T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process. Planing priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill. New York. 287 pp.

Vargas, R. V. Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portifólio. In:*PMI GLOBAL CONGRESS, 2010*, [Washington, DC]. Proccedings. [Washington, DC]: PMI, 2010. P1-22.

Short-term response of the canopy arthropod community to fire in a Portuguese olive grove

David Barreales[1], Sónia A.P. Santos[2, 3] , Márcio Capelo[1], José A. Pereira[1], Jacinto Benhadi-Marín[1, 4]

[1] Mountain Research Centre (CIMO)/School of Agriculture, Polytechnic Institute of Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal. davidsantos@ipb.pt, marciocapelo87@gmail.com, jpereira@ipb.pt

[2] Barreiro School of Technology, Polytechnic Institute of Setúbal, Rua Américo da Silva Marinho, 2839-001 Lavradio, Portugal. *sonia.santos@estbarreiro.ips.pt

[3] LEAF, Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal.

[4] Centre for Functional Ecology (CFE), Department of Life Sciences, University of Coimbra, 3004-517 Coimbra, Portugal. jbenma@hotmail.com

Abstract

In the Mediterranean region, fires have been an ecosystem modeling force for centuries. Low-mobile or small sized fauna such as arthropods are strongly affected by these periodic disturbances. Arthropods represent a hyperdiverse group and are present in all the ecosystems occupying the totality of available niches. In agroecosystems, shifts on arthropod communities are of especial relevance when the natural enemies of pests are significantly affected. The aim of this work was to assess the short-term effect on the canopy arthropod community of an unintentional fire occurred in an olive grove in Cedães-Mirandela (Portugal). Samples of arboreal entomofauna were collected in the burnt olive grove by shaking olive branches as well as in an adjacent grove (used as control area). In each olive grove, samples were collected in two areas (one adjacent and one distant) relatively to the nearest shrubland. Total arthropod abundance and the most abundant groups were compared between burnt and non-burnt groves. The effect of sample position (adjacent to shrubland vs. central area) was assessed. A total of 1318 arthropods were captured. Both the total and each dominant group abundances were significantly higher in the non-burnt grove. The fire drastically reduced the abundance of arthropods in the olive tree canopy; however, the dominant groups were almost the same is the two groves. The abundance pattern was, in general, the opposite when considering the sample position, relatively to the shrubland areas. We suggest that the colonization ability of different groups of arboreal arthropods through flight can be involved in the restoration of the community after disturbance instead the presence of semi-natural surrounding areas.

Keywords: arthropods, shrubland, colonization, Trás-os-Montes, wind.

Respuesta a corto plazo de la comunidad de artrópodos al incendio de un olivar en Portugal

Resúmen

En la región mediterránea, los incendios han modelado los ecosistemas durante siglos. La fauna de pequeño tamaño, como los artrópodos, se ve fuertemente afectada por estas perturbaciones periódicas. Los artrópodos representan un grupo muy diverso, estando presentes en todos los ecosistemas y ocupando la totalidad de los nichos disponibles. En los agro-ecosistemas, los cambios en las comunidades de artrópodos son de especial relevancia cuando se producen alteraciones en las poblaciones de enemigos naturales de las plagas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto a corto plazo de un incendio no intencionado sobre la comunidad de artrópodos de un olivar ocurrido el 19 de julio de 2016 en Cedães, Mirandela (Portugal). Se recogieron muestras de entomofauna arbórea en el olivar quemado y en un olivar adyacente no quemado (utilizado como control). En cada olivar se recogieron muestras en dos zonas, una adyacente y otra distante, respecto a un matorral cercano. La abundancia total de artrópodos y de los grupos más abundantes se comparó entre los dos olivares, quemado y no quemado. El fuego redujo drásticamente la abundancia de artrópodos en el olivar quemado, siendo los grupos dominantes semejantes en los dos olivares. En general, el patrón de abundancia

fue contrario a la posición de la muestra, en relación a las áreas de matorral. Esto puede deberse a que la capacidad de colonización de los diferentes grupos de artrópodos arbóreos voladores de la zona afectada esta influencia por la presencia de áreas semi-naturales en los alrededores.

Palabras clave: artrópodos, matorral, colonización, Trás-os-Montes, viento.

1. Introduction

Fire is a natural ecosystem process that has been repeatedly used in the Mediterranean region for centuries. Fires are used to control the masses of natural scrub in order to increase the available grass biomass for livestock or to burn stubble (Urones and Majadas, 2002). Historically, during summer in the Mediterranean ecosystem is frequent the natural fire to which the vegetation is adapted.

Low-mobile or small sized fauna such as arthropods may be strongly affected by these periodic disturbances (Kral et al., 2017). Arthropods represent a hyperdiverse group and are present in all the ecosystems occupying the totality of available niches (Benson et al., 2007)

The dynamics of arthropod communities reflect changes in plant structure as a consequence of the development of cyclical succession processes caused by fires. The effect of fire may be especially strong in managed areas such as agroecosystems were overall landscape complexity is often reduced (Johnson et al., 2008). In this context, shifts on arthropod communities are of especial relevance when natural enemies of pests are significantly affected (Chaplin-Kramer et al., 2011). The aim of this work was to assess the short-term effect on the canopy arthropod community of an unintentional fire occurred on the 19th July 2016 in an olive grove in Cedães-Mirandela (Portugal).

2. Material and Methods

2.1. Study area

The study area was located in one olive grove in Cedães (Mirandela, Portugal) (41°29´15´´N, 7°07´41´´W). The olive grove included a burnt and a non-burnt area, serving as control, and covered an area of 3 ha. Both areas of the grove are adjacent to a seminatural area (shrubland).

2.2. Sampling and identification of arthropods

On the 1st August 2016, 13 days after the fire has occurred, 12 samples of arboreal entomofauna were collected in the burnt olive grove and other 12 samples in an adjacent non-burnt grove. Each sample consisted in shaking two branches per tree in a total of four trees. In each grove, samples were grouped in adjacent to the nearest shrubland and distant to it. The captured individuals were preserved in 70% ethanol in situ, transported to the laboratory, sorted, counted and identified till class, order or family taxonomic groups.

2.3. Data analysis

The mean and standard error were calculated for total abundance in each grove and area (adjacent to shurbland vs. central area) within the grove. Total arthropod abundance and the most abundant groups were compared between burnt and non-burnt areas using the Wilcoxon rank test as well as the effect of sample position (adjacent to shrubland vs. central area). Due to the low number of samples per area, the means were used to simulate a pool of 100 samples from a Poisson distribution for total abundance and each arthropod group. Simulations and contrasts were conducted in R (R Core Team, 2014).

3. Results

A total of 1318 arthropods were captured encompassing the groups Araneae, Chrysopidae, Coleoptera, Diptera, Formicidae, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Psocoptera and Thysanoptera (Table 1). Hemiptera, Araneae, Formicidae, Psocoptera and Coleoptera were the most abundant groups (Table 1). Both the total and each dominant group abundance were significantly higher in the non-burnt grove (Table 2) (Fig. 1). Also, the total and Hemiptera, Araneae and Formicidae abundance were significantly higher in the area adjacent to the shrubland in the non-burnt grove (Fig. 2A). On the contrary, total and Araneae, Coleoptera, Hemiptera and Psocoptera abundance was significantly higher in the central area within the burnt grove (Fig. 2B). The fire drastically reduced the abundance of arthropods in the olive canopy, however, the dominant groups were almost the same in the two groves. The abundance pattern was, in general, the opposite when considering the sample position.

Table 1. Abundance (mean ± standard error) of each arthropod group captured in the non-burnt and burnt olive groves.

	Non-burnt (Mean ± SE)	Burnt (Mean ± SE)
Araneae	22.08 ± 4.78	5.67 ± 0.75
Chrysopidae	0.33 ± 0.14	-
Coleoptera	4.66 ± 0.95	0.50 ± 0.19
Diptera	0.16 ± 0.11	-
Formicidae	21.33 ± 3.86	0.25 ± 0.13
Hemiptera	48.58 ± 5.44	0.08 ± 0.08
Hymenoptera	0.33 ± 0.13	0.25 ± 0.13
Lepidoptera	0.08 ± 0.08	-
Ortoptera	0.08 ± 0.08	-
Psocoptera	5.08 ± 1.46	0.08 ± 0.08
Thysanoptera	0.08 ± 0.08	0.25 ± 0.13
Total	102.75 ± 8.01	7.08 ± 0.91

Table 2. Results of the Wilcoxon tests for the abundance of arthropod groups between adjacent to shrublands and central areas, and non-burnt and burnt olive groves (Simulated data).

	Non-burnt		Burnt		Non-burnt vs. Burnt	
	W	**P**	**W**	**P**	**W**	**P**
Araneae	8893.00	<0.01	1724.50	<0.01	138.50	<0.01
Coleoptera	5421.50	0.30	3797.00	<0.01	134.50	<0.01
Hemiptera	9777.50	<0.01	4300.00	<0.01	124.00	<0.01
Formicidae	7979.50	<0.01	4320.00	0.02	144.00	<0.01
Psocoptera	2631.00	<0.01	4200.00	<0.01	144.00	<0.01
Total	9710.00	<0.01	1294.00	<0.01	144.00	<0.01

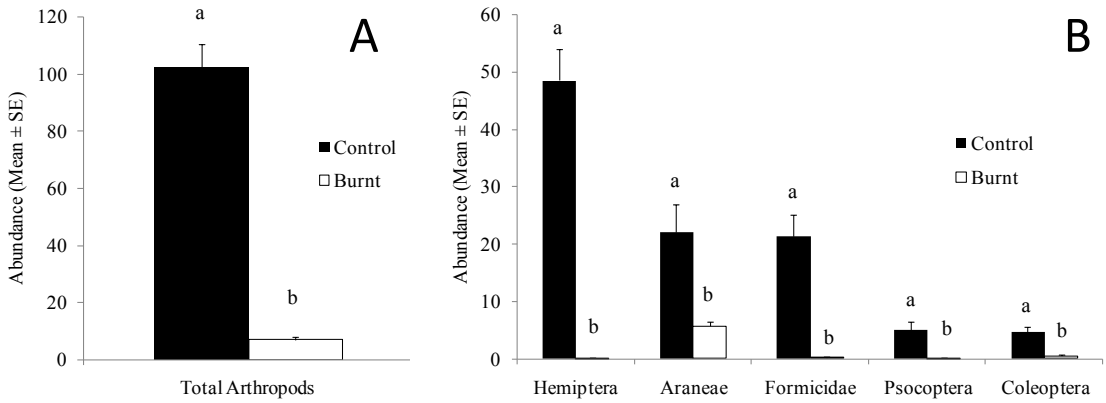


Figure 1. A: Total arthropod abundance (mean ± standard error – SE) in the non-burnt grove and burnt olive groves and B: dominant arthropod groups abundance (mean ± standard error – SE) in the control grove and burnt olive groves. Different letters above each pair of bars indicate significant differences between groves (p<0.01).

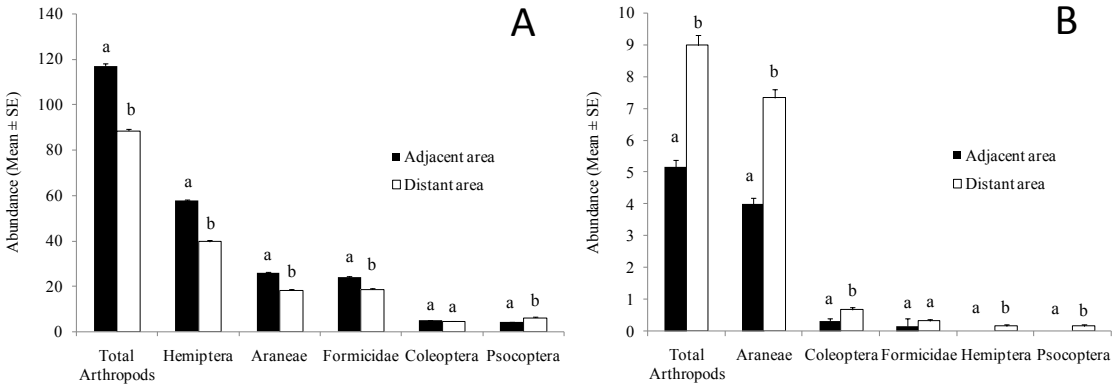


Figure 2. Total arthropod abundance and abundance of the dominant groups (mean ± standard error) in the pool of samples adjacent to the shrubland area and distant to it. A: Non-burnt grove and B: Burnt grove. Different letters above each pair of bars indicate significant differences between areas (p<0.01).

4. Conclusion

Since the shurbland areas are located on the opposite grove side in each case, we suggest that the flying colonization ability of different arthropod groups are involved in how the canopy community is restored after the disturbance more than the presence of semi-natural surrounding areas. For example, in the case of spiders, aerial dispersion (ballooning) depends on wind direction (Bianchi et al., 2017) and the dominant wind along the study area could be the most important driver controlling the incoming population to the grove.

Acknowledgements

This work is part of the project: EXCL/AGR-PRO/0591/2012: Olive crop protection in sustainable production under global climatic changes: linking ecological infrastructures to ecosystem functions, funded in the research lines of excellence of FCT.

References

Benson, T.J., Dinsmore, J.J., Hohman, W.L., 2007. Responses of plants and arthropods to burning and disking of riparian habitats. *Journal of Wildlife Management* 71, 1949–1957.

Bianchi, F.J.J.A., B. J. Walters, S.A. Cunningham, L. Hemerik & N.A. Schellhorn. 2017. Landscape-scale mass-action of spiders explains early-season immigration rates in crops. *Landscape Ecology*, in press. DOI: 10.1007/s10980

Chaplin-Kramer, R., M.E. O'Rourke, E.J. Blitzer & C. Kremen. 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*, 14: 922–932.

Johnson, S.D., Horn, K.C., Savage, A.M., Windhager, S., Simmons, M.T., Rudgers, J.A., 2008. Timing of prescribed burns affects abundance and composition of arthropods in the Texas Hill Country. *Southwestern Naturalist* 53, 137–145.

Kral, K.C., R.F. Limba, J.P. Harmonb & T.J. Hovicka 2017. Arthropods and Fire: Previous Research Shaping Future Conservation. *Rangeland Ecology & Management*, *in press*. DOI: 10.1016/j.rama.2017.03.006

R Core Team. 2014. R: a Language and Environment for Statistical Computing. R. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: http://www. R-project.org.

Urones, C. & A. Majadas. 2002. Cambios en la comunidad de Araneae durante la sucesión postfuego en matorrales mediterráneos de montaña. *Revista Ibérica de Aracnología*, 5: 19–28.

Eficácia no controlo da erosão de medidas de gestão do solo baseadas em coberturas herbáceas: simulações para a viticultura do Douro, Portugal

Tomás de Figueiredo[1], Zulimar Hernández[2], Felícia Fonseca[1], Jean Poesen[3]

[1] CIMO – Centro de Investigação de Montanha, Instituto Politécnico de Bragança, 5300-253 Bragança, Portugal. tomasfig@ipb.pt, ffonseca@ipb.pt

[2] Grupo de Esafología, Departamento de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autonoma de Madrid, C Tomas y Valiente, s / n, Cantoblanco, Espanha. zulimar.hernandez@uam.es

[3] KU Leuven, GEO-INSTITUTE, Celestijnenlaan 200 E, B-3001 Heverlee, Bélgica. jean.poesen@ees.kuleuven.be

Resumo

A gestão do solo (GS) convencional na viticultura do Douro, Portugal, compreende mobilizações para controlo das infestantes ao longo do ciclo cultural. Práticas alternativas de GS reduzem ou excluem as mobilizações, mantendo o solo coberto grande parte do ano. Com o propósito de comparar o desempenho relativo no controlo da erosão de práticas alternativas de GS, este estudo utilizou registos de longo prazo de uma vinha na Quinta de Santa Bárbara, Pinhão (estado vegetativo das videiras, operações culturais e precipitação). Aplicou-se o fator C da Equação Universal de Perda de Solo, combinando o efeito das coberturas da linha de plantação pelas videiras e da entrelinha por vegetação herbácea e resíduos sobre o solo, ao longo do ciclo típico das vinhas, e considerando a distribuição temporal da erosividade da precipitação. A variação do fator C calculado estima o desempenho das práticas de GS convencional e alternativa, com diferentes densidades, datas de remoção e níveis de resíduos da vegetação herbácea na entrelinha. Os resultados mostram que o nível de resíduos sobre o solo após o controlo de infestantes é mais decisivo (aumento de 54% no controlo da erosão para 80 % de cobertura por resíduos na entrelinha) do que o atraso na data de controlo das infestantes (aumento de 37% para atraso até meados de Julho), sendo menos evidente o efeito da densidade da cobertura herbácea, semeada (aumento de 17% para 80 % de cobertura da entrelinha). Espera-se que a abordagem e os resultados deste estudo contribuam para afinar práticas de controlo da erosão na viticultura do Douro.

Palavras-chave: Gestão do solo, Equação Universal de Perda de Solo, Fator Cultural, Erosividade da Precipitação

Performance in erosion control of ground vegetation-based soil management practices: simulations for Douro viticulture

Abstract

Conventional soil management (sm) in Douro viticulture, Portugal, comprise several weed control tillage operations along the crop cycle. Alternative sm practices reduce or exclude tillage, keeping herbaceous ground cover for a large part of the cycle. Aiming at comparing the relative performance in erosion control of alternative sm practices, this study used long term records of a vineyard at Quinta de Santa Bárbara, Pinhão, namely vine and ground vegetation evolution, crop management operations and detailed rainfall data. The Universal Soil Loss Equation C factor was calculated combining plant row cover and inter-row ground vegetation cover effects in the typical vine cycle. With rainfall erosivity temporal distribution, erosion control by ground vegetation management options, representing different sm practices, was assessed for conventional and alternative (imposing different ground vegetation density, removal date and residues level after weed control). Results compare relative soil protection performance of alternative sm practices with conventional sm. Leaving residues over ground after weed control works better (54% increase in erosion control for 80% residue cover), than delaying weed control date (37% increase for a delay to mid-July), while increasing sown ground vegetation density is not so effective (17% increase for 80% cover). The methodological approach and results of this study are expected to contribute to better adjust sm practices for erosion control in Douro viticulture.

Keywords: Soil management, Universal Soil Loss Equation, Crop Factor, Rainfall Erosivity

1. Introdução

A viticultura do Douro é caso exemplar de preocupação ancestral com a proteção do solo – recurso escasso em qualidades e aptidões nesta Região (Figueiredo, 2015). A topografia com declives muito elevados, a dominância de solos derivados de xistos de elevada erodibilidade da terra fina, o regime climático com tendência para a aridez crescente para leste, determinam um quadro de risco potencial de erosão muito severo, todavia mitigado pela elevada pedregosidade dos solos e fortemente reduzido pela tradicional instalação de estruturas de conservação do solo, como os terraços murados, que alçaram a paisagem assim construída a Património da Humanidade da UNESCO (Figueiredo, 1989; Bianchi-de-Agguiar, 2002; Figueiredo, 2012; Figueiredo, 2015).

A gestão do solo (GS) convencional na viticultura do Douro, Portugal, compreende mobilizações para controlo das infestantes ao longo do ciclo cultural (Magalhães, 2008). Práticas alternativas de GS visam reduzir ou excluir as mobilizações, mantendo o solo coberto por vegetação herbácea adventícia ou semeada em grande parte do ano, com efeitos positivos, entre outros, na redução da erosão, no ciclo da água dos nutrientes (Morlat and Jacquet, 2003; Celetteet al., 2005; Vrsic et al., 2011). A sua implementação, embora em progresso, é ainda limitada na Região, estando também progresso experimentação sobre os seus efeitos sob variadas perspetivas (Martins et al., 2014; Martins, 2015). A adoção de práticas alternativas de GS é particularmente necessária em vinha ao alto (Figura 1), sistema instalado na Região a partir dos anos 70 do século passado, atualmente não permitido em novas plantações acima de 40% de declive (Bianchi-de-Agguiar, 1987; Bianchi-de-Aguiar, 2002; Portugal, 2003; Figueiredo, 2015). Apesar do tratamento de registos de longo prazo de talhões de erosão da Quinta de Santa Bárbara, Pinhão, ter demonstrado o baixo impacto deste sistema no Douro, mercê da elevada pedregosidade dos solos derivados de xisto, a vinha ao alto é todavia o de maior risco potencial de erosão hídrica de entre as formas de plantação de vinha na Região (Figueiredo, 2001, Figueiredo, 2015).

Figura 1. Vinhas ao alto no Douro (final de Junho), com entrelinha nua (esq.) e bem coberta de resíduos (dir.)

Este estudo compara o desempenho relativo no controlo da erosão de práticas alternativas de GS, simuladas aplicando o Fator Cultural da Equação Universal de Perda de Solo e com base nos registos de longo prazo de talhões da Quinta de Santa Bárbara, Pinhão, tomados como representativos da GS convencional em vinha ao alto na Região do Douro.

2. Metodologia

A informação de base deste exercício corresponde aos registos de 10 anos realizados na Quinta de Santa Bárbara, Pinhão, Douro (41˚10'N, 7˚33'W e 130m de altitude), relativos a 5 talhões de erosão (5,2 m de largura por 32,1 m de comprimento) instalados em vinha ao alto (45% de declive), para avaliar a resposta erosiva deste modelo com 3 densidades de plantação (ca. 3600, 4800 e 6000 plantas ha^{-1}) (Figueiredo, 2001).

Para além das perdas de solo e de água de escoamento, foram registados o estado da vegetação nos talhões (folhada, infestantes e vegetação das videiras) e as operações culturais realizadas nos talhões (datas da lavoura, da cava, da descava e da redra, Magalhães, 2008). A sua interpretação, somada a informação recolhida nas avaliações sobre o terreno, permitiu estabelecer o padrão normal das variações temporais da cobertura vegetal dos talhões (Figura 2).

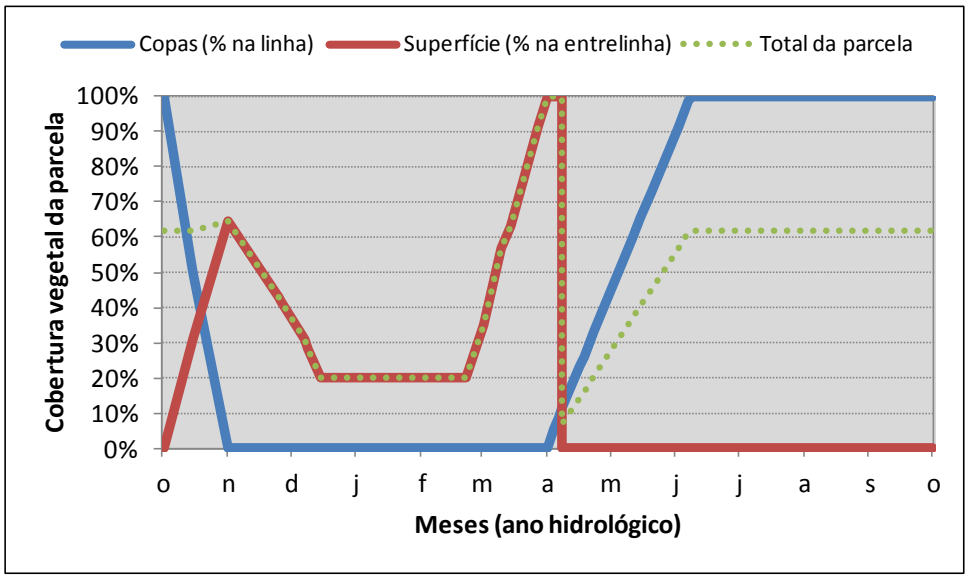


Figura 2. Modelo da variação típica no ano hidrológico da cobertura vegetal de vinhas no Douro (baseada em registos de 10 anos na Quinta de Santa Bárbara, Pinhão) (adaptada de Figueiredo, 2001)

Os registos incluem também informação pluviométrica contínua (udógrafo), cujo tratamento permitiu estimar a erosividade das precipitações (Wischmeier and Smith, 1978). Com a série de 10 anos de registos, desagregados em intervalos semanais, obtiveram-se as curvas acumuladas no ano hidrológico do índice EI30, expressas em termos percentuais, para diferentes percentis (Figura 3).

Tomando como referência para o modelo de vinha ao alto na viticultura do Douro as condições da Quinta de Santa Bárbara, aplicou-se o fator C da Equação Universal de Perda de Solo (Wischmeier and Smith, 1978), combinando o efeito das coberturas da linha de plantação pelas videiras e da entrelinha por vegetação herbácea e resíduos sobre o solo, ao longo do ciclo típico da cultura, e considerando ainda a distribuição temporal da erosividade da precipitação:

$$Ci = CCi\ SCi = (1 - FCi\ e^{-0,34Hi})\ e^{-3,5RCi} \quad (1)$$

$$Cano = \sum Ri\ Ci \quad (2)$$

C – Fator Cultural; CC – efeito da cultura (copas ou parte aérea); SC – efeito da cobertura do solo (resíduos e vegetação rasteira); FC – Cobertura pela cultura; H – Altura da cultura; RC – Cobertura por resíduos; R – proporção da erosividade anual; i – período cultural ou intervalo de cálculo no ano; FC, RC e R, [0-1]; H, m.

O fator Cano estima o desempenho das práticas de GS no controlo da erosão, seja para a prática convencional (representada pelas condições de referência da Quinta de Santa Bárbara), seja para práticas alternativas. A eficácia foi avaliada por (1 – C), e o desempenho relativo das alternativas por:

$$\text{Fator: } C_{relativo} = C_{GS\ alternativa} / C_{CS\ convencional} - 1 \quad (3)$$

$$\text{Eficácia: } (1 - C)_{relativo} = (1 - C)_{GS\ alternativa} / (1 - C)_{CS\ convencional} - 1 \quad (4)$$

Foram simuladas práticas alternativas de GS e calculados os respetivos fatores Cano, considerando:

(i) Densidade de revestimento herbáceo na entrelinha (adventício ou semeado) gerador de frações de cobertura invernal máxima crescente (convencional – 20%; eficaz – 50%; muito eficaz – 80%)

(ii) Datas de controlo por remoção primaveril da vegetação herbácea na entrelinha, com atraso progressivo na operação (convencional – ao arranque vegetativo da vinha; 2 meses – ao máximo desenvolvimento vegetativo da vinha)

(iii) Níveis de manutenção de resíduos deixados na entrelinha após controlo primaveril da vegetação herbácea efetuado ao arranque vegetativo da vinha (convencional – remoção integral; manutenção pouco eficaz – 20% de cobertura; manutenção muito eficaz – 80% de cobertura)

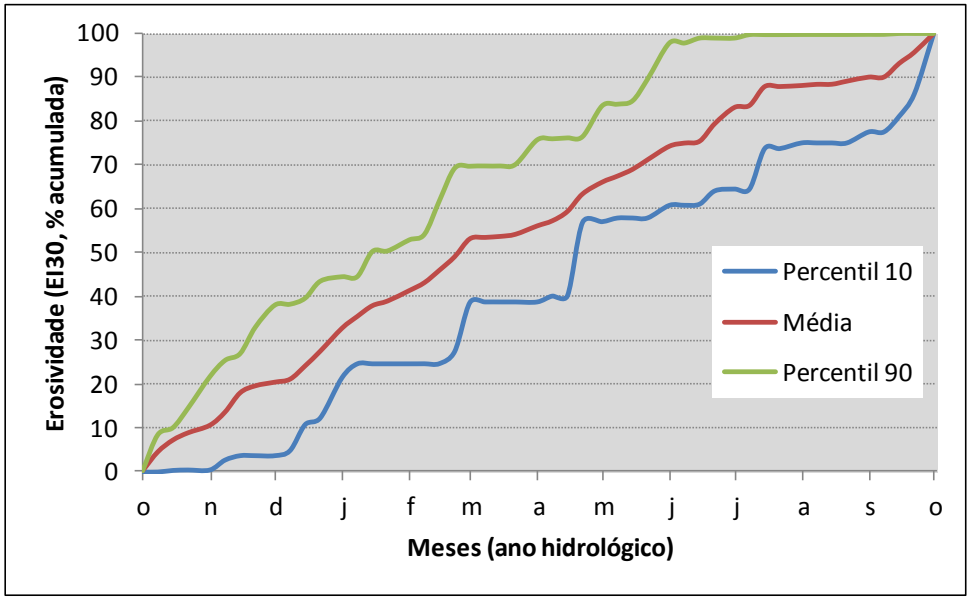


Figura 3. Distribuição percentual acumulada no ano hidrológico da erosividade das precipitações (baseada em registos de 10 anos na Quinta de Santa Bárbara, Pinhão) (adaptada de Figueiredo, 2001)

3. Resultados e Discussão

Estima-se que práticas convencionais de GS em vinha ao alto, em condições que se consideram representativas a viticultura do Douro, têm eficácia média no controlo da erosão de 58%, a significar perdas de solo médias equivalentes a 42% das que ocorreriam em solo nu. O período crítico de exposição do solo é na Primavera, a partir da intervenção de controlo de infestantes e antes da estação mais seca, embora nos meses de Inverno a eficácia de proteção do solo pela cultura seja também inferior à média (Figura 4). Esta limitada eficácia média confirma que a vinha não é genericamente uma cultura protetora, situando-se entre as de maiores registos de perda de solo na Europa (Cerdan et al., 2006). Por outro lado, os eventos erosivos de maior magnitude em 10 anos de registos na Quinta de Santa Bárbara, ocorridos no final da Primavera – início do Verão, confirmam esse período como crítico (Figueiredo, 2001).

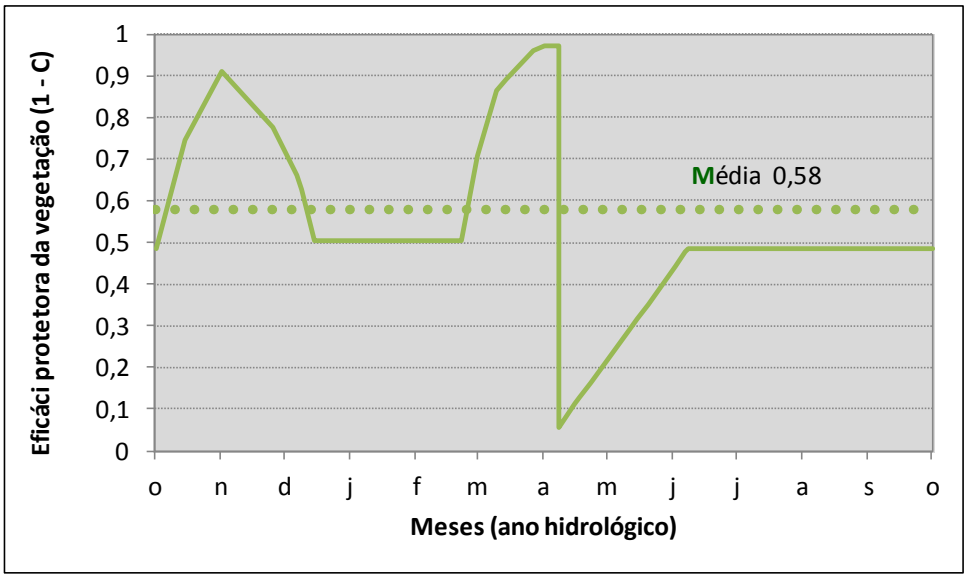


Figura 4. Modelo da variação típica no ano hidrológico da eficácia da cobertura vegetal no controlo da erosão em vinhas ao alto no Douro

Práticas alternativas de GS focadas no aumento da fração da cobertura invernal por vegetação herbácea (adventícia ou semeada) determinam aumentos de eficácia média anual de proteção do solo de 13% e 17% para, respetivamente, 50% e 80% de cobertura, quando comparada com a GS convencional (20% de cobertura invernal) (Figura 5). Manter a cobertura herbácea no terreno o mais tempo possível, atrasando a intervenção de controlo de infestantes na Primavera pode ser uma estratégia alternativa de GS. O aumento da eficácia média anual de proteção do solo pela vinha é de 37% quando o atraso é de 2 meses e de 22% para um mês de atraso, relativamente à prática convencional (Figura 6).

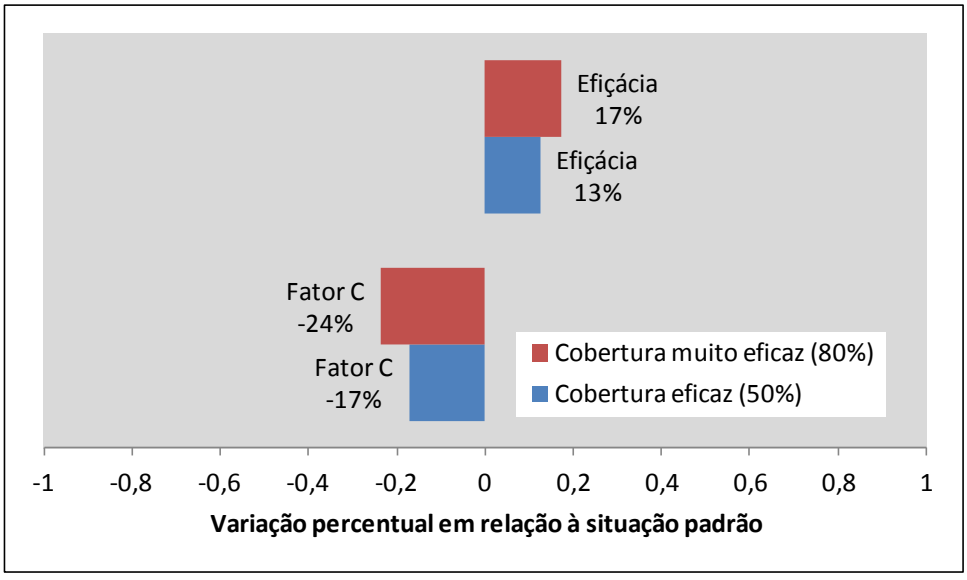


Figura 5. Efeito da densidade das coberturas herbáceas invernais na entrelinha no controlo da erosão (simulações do Fator C da EUPS para a Quinta de Santa Bárbara, parcela com 62% de cobertura máxima na linha e 20% de cobertura adventícia na entrelinha no Inverno)

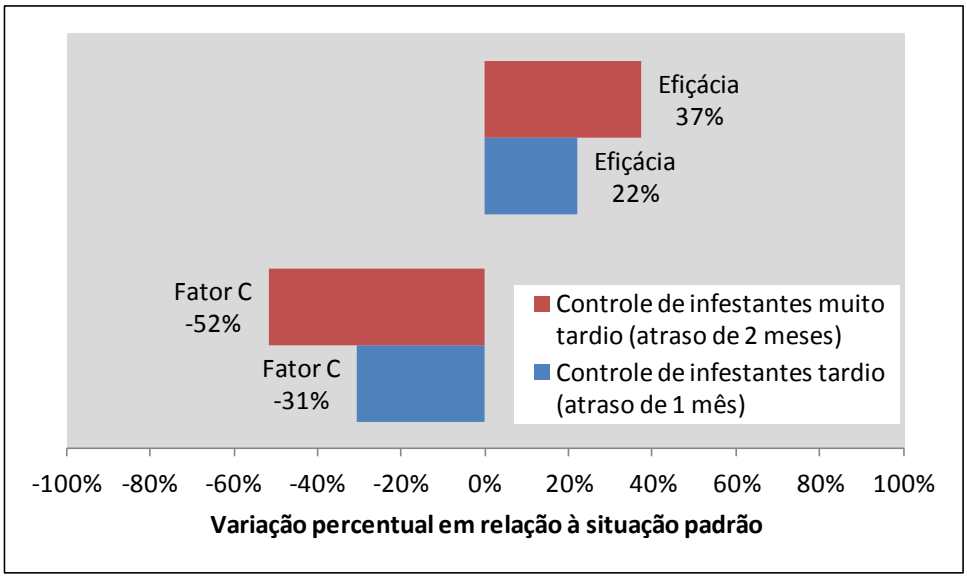


Figura 6. Efeito do atraso no controlo da vegetação herbácea na entrelinha na Primavera na redução da erosão: situação de referência – ao arranque vegetativo da vinha; atraso de 2 meses – ao máximo desenvolvimento vegetativo da vinha (simulações do Fator C da EUPS para a Quinta de Santa Bárbara, parcela com 62% de cobertura máxima na linha e 20% de cobertura adventícia na entrelinha no Inverno)

A manutenção dos resíduos sobre o terreno após a intervenção de controlo de infestantes na Primavera, a significar uma incorporação mínima no solo, simulada para 20% e 80% de cobertura por resíduos conduz a aumentos de eficácia de 37% e 54%, respetivamente, em relação ao convencional, em que se pressupõe a incorporação total dos resíduos pela mobilização primaveril) (Figura 7).

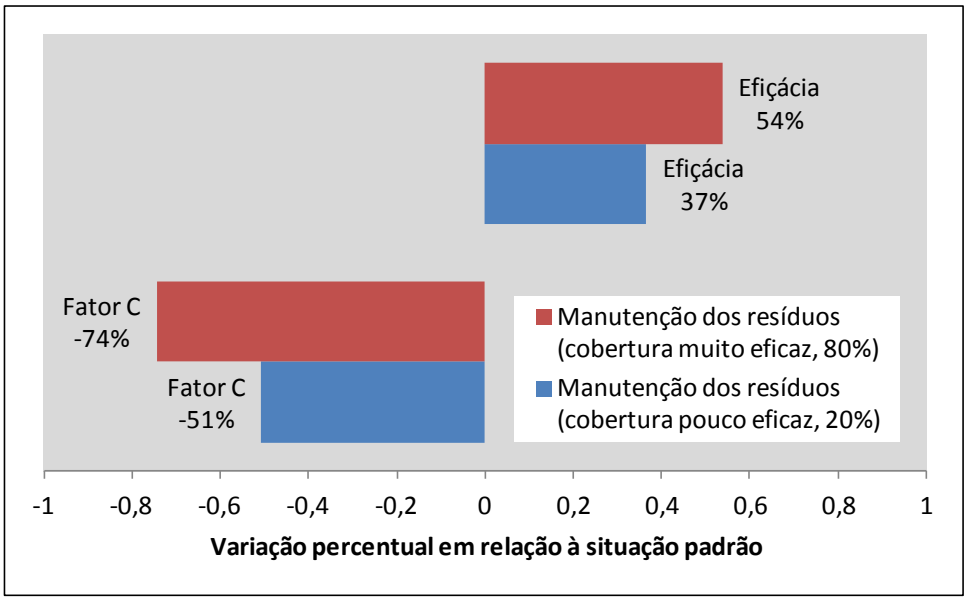


Figura 7. Efeito da manutenção dos resíduos na superfície do solo após o controlo primaveril da vegetação herbácea na entrelinha efetuado ao arranque vegetativo da vinha (simulações do Fator C da EUPS para a Quinta de Santa Bárbara, parcela com 62% de cobertura máxima na linha e 20% de cobertura adventícia na entrelinha no Inverno)

Das alternativas simuladas, a estratégia de manter resíduos sobre o solo após controlo de infestantes é a mais eficaz, mesmo quando a massa de resíduos é limitada, prática compatível com a não mobilização e a monda química ou corte da vegetação herbácea na entrelinha (Vrsic et al., 2011; Martins et al., 2014; Martins, 2015). Atrasos na intervenção primaveril têm expressão sensível

quando da ordem de 2 meses, situação que acarreta riscos acrescidos quanto à competição para água e nutrientes entre vegetação herbácea e cultura e quanto à deposição no solo de sementes viáveis de espécies infestantes de mais difícil controlo (Celetteet al., 2005; Martins et al., 2014; Martins, 2015). Porque focadas no período crítico primaveril, estas estratégias alternativas de GS mostram-se mais eficazes do que a focada na cobertura herbácea outono-invernal, estações durante as quais ocorreu menos de 20% da perda de solo total em 10 anos na Quinta de Santa Bárbara (Figueiredo, 2001; Figueiredo, 2015).

4. Conclusões

Os resultados permitem concluir que:

- A limitada eficácia das práticas convencionais de GS em vinha ao alto no Douro apontam para a necessidade de implementar práticas alternativas baseadas em mais eficaz gestão das coberturas herbáceas na entrelinha;
- Aa práticas alternativas de GS focadas no controlo da vegetação herbácea no período primaveril mostram-se mais eficazes do que as focadas no período outono-invernal;
- A manutenção de resíduos sobre o solo após o controlo de infestantes na Primavera revelou-se a opção mais eficaz de entre as simuladas, sendo exequível em contexto de não mobilização.

Espera-se que a abordagem metodológica e os resultados deste estudo contribuam para afinar práticas de controlo da erosão na viticultura do Douro.

Bibliografia

Bianchi-de-Aguiar, F. 1987. *Cultura da Vinha em Terrenos de Encosta: alternativas para a sua implantação*. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Bianchi-de-Aguiar, F. 2002. O Alto Douro Vinhateiro, uma Paisagem Cultural, Evolutiva e Viva. *Douro – Estudos & Documentos* VII (13), (3º): 143-152.

Celette, F., J. Wery, E. Chantelot, J. Celette and C. Gary. 2005. Belowground interactions in a vine (*Vitis vinifera* L)-tall fescue (*Festuca arundinacea* Shreb.) intercropping system: water relations and growth. *Plant Soil* 276: 205-217.

Cerdan, O., J. Poesen, G. Govers, N. Saby, Y. Le Bissonnais, A. Gobin, A. Vacca, J. Quinton, K. Auerswald, A. Klik, F. J. P. M. Kwaad, M. J. Roxo. 2006. Sheet and rill erosion. In: Soil Erosion in Europe, Eds. J. Boardman and J. Poesen, Chapter 2.4, 501-513. Chichester: Wiley.

Figueiredo, T. de. 1989. *Estimativa da Erodibilidade em alguns Perfis de Unidades Solo representativos de Trás-os-Montes: 1. Primeira Aproximação*. Bragança: ESA/IPB. 16 pp..

Figueiredo, T. de. 2001. *Pedregosidade e Erosão Hídrica dos Solos em Trás-os-Montes: contributo para a interpretação de registos em vinhas ao alto na Região do Douro*. Tese de Doutoramento. Vila Real: UTAD. 283 pp.

Figueiredo, T. de. 2012. *Pedregosidade dos Solos em Trás-os-Montes: importância relativa e distribuição espacial*. Série Estudos Nº 83. Bragança: IPB. 79 pp.

Figueiredo, T. de. 2015. *Proteção do solo em viticultura de montanha: manual técnico para a região do Douro*. Vila Real: AVID - Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense.

Magalhães N. 2008. *Tratado de viticultura. A videira, a vinha e o terroir*. Cascais: Chaves Ferreira Publicações.

Martins, A. 2015. A gestão do solo vitícola. In: *Proteção do solo em viticultura de montanha: manual técnico para a região do Douro*. Ed. T. de Figueiredo, Chapter 4, 54-58. Vila Real: AVID - Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense.

Martins, A., H. Trindade, J. Santos, F. Santos, A. Malheiro, V. Faço., A. Oliveira, I. Cortez, T. de Figueiredo, R. Amador, A. Pinto and J. Moutinho Pereira. 2014. Greevitis-Gestâo do solo para otimizaçâo da produtividade e sustentabilidade do sistema vitivinícola duriense. In: *VI Congresso Ibérico da Ciência do Solo*. Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela.

Morlat, R and A. Jacquet. 2003. Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward. *Am J Enol Vitic* 54: 1-7.

Portugal. 2003. *Resolução do Conselho de Ministros 150/2003 de 27 de Setembro de 2003*. Lisboa: INCM.

Vrsic, S., A. Ivancic, B. Pulko and J. Valdhuber. 2011. Effect of soil management systems on erosion and nutrition loss in vineyards on steep slopes. *J Environ Biol.* 32: 289-294.

Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses — a guide to conservation planning*. Agriculture Handbook 537. Washington, D. C.: U. S. Department of Agriculture.

Produtividade e azoto recuperado por diversas leguminosas cultivadas em sequeiro e regadio no Nordeste de Portugal

Rosalino Viegas[1], Margarida Arrobas[2], M Ângelo Rodrigues[2*]

[1]Instituto Superior Politécnico do Cuanza Sul, Angola

[2]CIMO – Instituto Politécnico de Bragança, Portugal. *Email: angelor@ipb.pt

Resumo

As proteaginosas são muito valorizadas pela produção de proteína vegetal, por serem culturas de reduzidas necessidades em fertilizantes e ainda por promoverem a fertilidade do solo. Em Bragança ensaiou-se o cultivo de leguminosas pratenses [trevo encarnado (*Trifolium incarnatum*) e trevo subterrâneo (*T. subterraneum*)] para serem usadas como sideração na cultura do milho (*Zea mays*) e várias proteaginosas em sequeiro e em regadio para produção de grão. Em sequeiro foram cultivados grão-de-bico (*Cicer arietinum*) e feijão-frade (*Vigna unguiculata*). Em regadio cultivou-se feijão-frade, e duas variedades de feijão rasteiro (*Phaseolus vulgaris*), uma habitual no mercado nacional português (Maravilha-de-Piemonte) e outra habitual no mercado angolano (Amarelo), e soja (*Glycine max*) inoculada e não inoculada. A sideração com leguminosas aumentou significativamente a produção de matéria seca de milho e azoto (N) exportado em comparação com vegetação natural (testemunha). Grão-de-bico e feijão-frade cultivados em sequeiro produziram respetivamente 1506 e 955 kg ha^{-1} de grão. Em regadio obtiveram 2733, 3164 e 3533, kg ha^{-1} de grão, respetivamente em feijão-comum cv. Maravilha-de-Piemonte, cv. Amarelo e Feijão-frade. Na colheita, a quantidade de N contida no grão foi de 43,7 e 33,0 kg ha^{-1} respetivamente em grão-de-bico e feijão-frade, permanecendo na palha 6.7 e 10.2 kg N ha^{-1}. Em regadio, na colheita, feijão-comum, cv. Maravilha-de-Piemonte, cv. Amarelo e feijão-frade continham no grão 105,6, 113,5 e 137,3 kg ha^{-1} de N e na palha respetivamente 58.0, 91.2 e 110.8 kg N ha^{-1}. A soja inoculada produziu apenas ligeiramente mais grão e recuperou um pouco mais de N que a modalidade não inoculada. Os resultados mostraram a enorme capacidade das leguminosas em acumular N (proteína) no grão, que pode ser usado na alimentação humana, e na palha, podendo este ser usado pelos animais ou permanecer no solo e ser usado pelas culturas que se seguem na rotação.

Palavras-chave: grão-de-bico; feijão-frade, feijão-comum; *Cicer arietinum*; *Vigna unguiculata*; *Phaseolus vulgaris*.

Productivity and nitrogen recovery from several pulse crops grown in rainfed and irrigated conditions in Northeast Portugal

Abstract

Pulse crops are highly valued for the production of protein and because they are crops of reduced needs of nitrogen (N) fertilizers which still promote the fertility of the soil.

In Bragança, NE Portugal, a trial with pasture legumes [red clover (*Trifolium incarnatum*) and subterranean clover (*T. subterraneum*)] was carried out with the aim of using them as green manure to maize (*Zea ma*ys). Several pulse crops were also grown in rainfed and irrigated conditions. Chickpea (*Cicer arietinum*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) were grown in rainfed conditions. Under irrigation there were grown cowpea and two dwarf varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris*), one commonly grown in Portugal (Maravilha-de-Piemonte) and the other commonly grown in Angola (Amarelo, yellow), and inoculated and non-inoculated soybean (*Glycine max*). Chickpea and cowpea grown in rainfed conditions respectively produced 1506 and 955 kg ha^{-1} of grain. In irrigated fields there were obtained 2733, 3164 and 3533 kg ha^{-1} of grain, respectively in common bean cv. Maravilha-de-Piemonte, cv. Amarelo and cowpea. At harvest, the amounts of N contained in the grain were 43.7 and 33.0 kg ha^{-1} respectively in chickpea and cowpea rainfed grown. At harvest, remained in straw residues 6.7 and 10.2 kg N ha^{-1}, respectively in chickpea and cowpea. In irrigated plots, at the harvest, common bean, cv. Maravilha-de-Piemonte and cv. Amarelo, and cowpea contained in the grain 105.6, 113.5 and 137.3 kg N ha^{-1}, and in the straw respectively 58.0, 91.2 and 110.8 kg N ha^{-1}. Inoculated soybean produced

slightly more grain and recovered few more kilograms of N than that not inoculated. These results showed the great ability of legumes to accumulate N (protein) in the grain that can be used as human food, and in the straw which can be used by animals or remain in the soil and to be used by the crops that follow in the rotation.

Key-words: chickpeas; cowpea, common bean*; Cicer arietinum*; *Vigna unguiculata*; *Phaseolus vulgaris*.

1. Introdução

O azoto (N) é um dos elementos habitualmente mais abundantes nos tecidos vegetais e um dos que mais limita a produtividade das plantas em ecossistemas naturais e agrícolas. A elevada dinâmica do nutriente não permite que se acumule no solo em formas minerais utilizáveis pelas plantas. Assim, em culturas não leguminosas, o N tem de ser aplicado regularmente para se obterem produções elevadas (Havlin et al., 2014). O uso de quantidades excessivas de N em solos agrícolas, sobretudo na forma mineral, reduz a eficiência de uso do nutriente e aumenta as perdas para o meio ambiente, designadamente por lixiviação, volatilização de amoníaco e desnitrificação (Coyne, 2008; Francis et al, 2008).

Em regiões de agricultura marginal, como o interior norte de Portugal, e de uma maneira geral em vastas regiões do continente africano, o preço elevado dos fertilizantes industriais conjugado com o baixo rendimento das culturas, estimula a procura de soluções mais económicas e com menor impacte ambiental. As leguminosas podem aceder ao N atmosférico através do estabelecimento de uma relação simbiótica com bactérias fixadoras de N (Cooper e Scherer, 2012), permitindo-lhe desenvolver-se adequadamente mesmo em solos de baixa fertilidade (Ferreira et al., 2015). As leguminosas podem obter N em quantidade suficiente para o seu próprio crescimento e libertar parte para o sistema, podendo este N ser utilizado por outras culturas que se desenvolvam em consociação (Hardarson e Atkins, 2003; Pirhofer-Walzl et al., 2012) e sobretudo por outras que se sigam na rotação (Carranca et al., 2009b; Zotarelli et al., 2012; Monday et al., 2103) beneficiando estas do N resultante da mineralização dos seus tecidos. Árvores e arbustos podem também beneficiar de N libertado por cobertos vegetais de leguminosas de revestimento do solo (Snoeck et al., 2000; Rodrigues et al., 2015). Assim, as leguminosas apresentam-se como a base de sistemas de agricultura economicamente mais atrativos e sustentáveis, reduzindo a necessidade de fertilizantes azotados (Smil, 2001; Hardarson e Atkins, 2003). Para tirar o melhor partido desta simbiose as sementes das leguminosas são por vezes inoculadas com estirpes de rizóbios que asseguram maior especificidade com o hospedeiro podendo, potencialmente, aumentar a capacidade de fixar N (Russelle, 2008; Cooper e Scherer, 2012).

Assim, as leguminosas podem ser cultivadas como culturas principais da rotação, desenvolvendo-se com reduzida ou nula necessidade de fertilizante azotado, consorciar-se com espécies não leguminosas, beneficiando estas de N residual libertado na rizosfera, ou serem usadas como sideração ou adubo verde com o objetivo de serem incorporadas no solo e libertarem o N para as culturas que se seguem na rotação. Neste trabalho testou-se a capacidade de duas leguminosas pratenses usadas como sideração em fornecer N para a cultura do milho (*Zea mays* L.). Foram também cultivadas várias leguminosas de grão em sequeiro [grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) e feijão-frade (*Vigna unguiculata* L., Walp.)] e regadio [feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), cvs. Maravilha-de-Piemonte e Amarelo, este proveniente de Angola] e soja (*Glycine max* L. Merrill). A soja foi cultivada com e sem inóculo específico. Avaliou-se a capacidade das leguminosas de produzir biomassa e recuperar N na biomassa aérea e, no caso da sideração, de transferir N para o milho cultivado a seguir.

2. Material e métodos

As experiências decorreram em Bragança, NE Portugal, entre setembro de 2015 e outubro de 2016. O clima da região é do tipo mediterrânico com alguma influência atlântica. As médias da precipitação

e temperatura anuais são respetivamente 778 mm e 12,7 ºC. Os registos meteorológicos observados na estação da Qta de Sta Apolónia para o período em que decorreram os ensaios são apresentados na figura 1.

O solo onde os ensaios foram instalados está classificado como Cambissolo êutrico. Apresenta textura franca, pH ligeiramente ácido, baixa percentagem de matéria orgânica e teores de fósforo e potássio médios e altos, respetivamente.

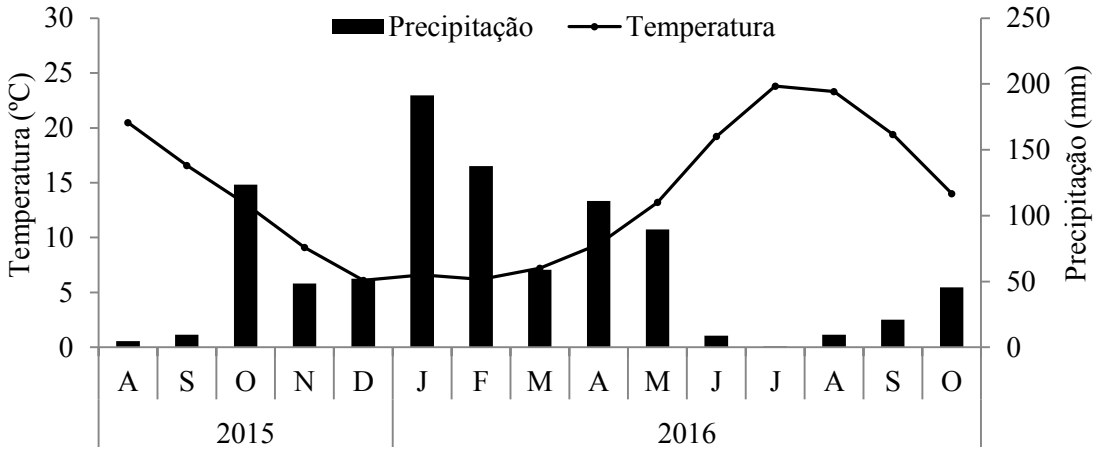


Figura 1. Registos da precipitação e temperatura do ar mensais na estação meteorológica da Quinta de Sta Apolónia durante o período de ensaio.

Os ensaios dividem-se em dois grupos: i) cultivo de leguminosas pratenses de ciclo outono/inverno para sideração; e ii) cultivo de leguminosas de grão de ciclo primavera/verão. Este segundo grupo divide-se ainda em dois subgrupos: i) cultivo de leguminosa de grão em sequeiro; e ii) cultivo de leguminosa de grão em regadio.

O ensaio de leguminosas para sideração foi instalado em setembro de 2015. Foram usadas leguminosas anuais de outono/inverno, designadamente trevo encarnado (*Trifolium incarnatum*, cv Contea) e trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*, cv Losa). A sementeira foi feita no dia 25 de setembro. As plantas foram cortadas após a floração usando uma quadrícula de 0.25 m^2 de área. Uma subamostra correspondente à área de um vaso foi pesada em fresco e misturada com terra do talhão respetivo. A mistura foi colocada num vaso de 3 L. A restante amostra foi pesada em fresco, seca em estufa de ventilação forçada regulada a 70 ºC, pesada de novo, moída e analisada para a composição elementar. Estes vasos foram semeados com milho no dia 1 de junho, servindo o milho como indicador de disponibilidade de N no solo. A colheita do milho foi feita no dia 21 de julho de 2016. As plantas de milho foram secas em estufa, pesadas, moídas e analisadas para a composição elementar.

Os ensaios de sequeiro com feijão-frade e grão-de-bico foram instalados em 4 de maio de 2016. Cada espécie ocupou uma área de 21,6 m^2, sendo o espaçamento na linha de 20 cm entre plantas e 50 cm na entrelinha, o que resulta numa população produtiva de 10 plantas por m^2. De cada espécie foram constituídas três repetições. Durante a estação de crescimento foram feitos cortes aleatórios em cada espécie e em cada uma das três repetições em função do desenvolvimento fenológico das plantas. Cada corte foi feito em uma linha aleatória, em 1 m linear, recolhendo-se a biomassa para pesagem em seco e posteriormente avaliar a percentagem de N e outros nutrientes extraídos do solo pela planta, durante a fase de desenvolvimento da cultura. Como práticas culturais efetuou-se monda manual de infestantes, desbaste e tratamento para afídios com deltametrina. Ambas as culturas foram colhidas dia 25 de agosto de 2016.

Nos ensaios de regadio a sementeira foi efetuada no dia 25 de maio de 2016. Instalaram-se ensaios com a cultura de soja em duas modalidades (com inóculo e sem inóculo), feijão-frade e duas variedades de feijão-comum (cvs. Maravilha-de Piemonte, e Amarelo proveniente de Angola). Estes ensaios ocuparam uma área de 21,6 m^2 por cultura. Foram feitos 5 cortes aleatórios em cada uma das culturas e nas três repetições em função do desenvolvimento fenológico das plantas. Cada corte foi feito em 1 m linear recolhendo-se a biomassa para pesagem em seco e posteriormente se avaliar a quantidade de N e outros nutrientes na planta. Como práticas culturais efetuaram-se as operações referidas para os ensaios de sequeiro.

Efetuou-se análise de variância sempre que se pretendeu comparar o efeito de diferentes tratamentos. Quando as médias apresentaram diferenças significativas foram separadas pelo teste Tukey HSD (α=0,05). Às médias dos registos foi também associado o desvio padrão nas representações gráficas.

2. Resultados

2.1. Leguminosas pratenses como sideração

A produção de biomassa aérea não diferiu significativamente entre trevos semeados, mas foi significativamente mais elevada em trevo encarnado em comparação com vegetação natural (Figura 2). O N contido na biomassa aérea foi similar entre os dois tipos de trevos semeados e significativamente superior entre estes tratamentos e a vegetação natural, sobretudo em virtude da maior concentração de N nos tecidos.

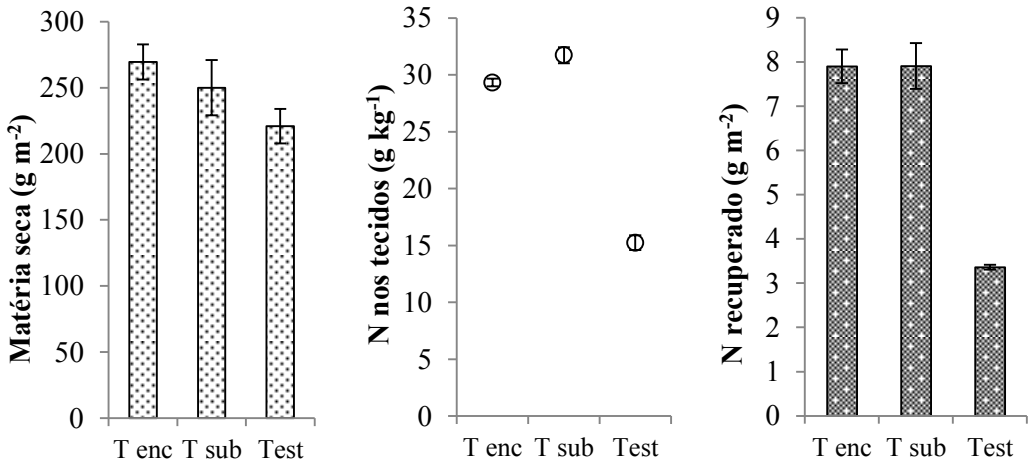


Figura 2. Produção de matéria seca, concentração de N e N recuperado na biomassa aérea em trevo encarnado (T enc), trevo subterrâneo (T sub) e vegetação natural (Test). As barras de erro representam o desvio padrão da média.

A produção de matéria seca de milho não diferiu significativamente entre vasos tratados com a sideração dos diferentes trevos mas foi bastante mais elevada entre os trevos e a testemunha (Figura 3). A concentração de N nos tecidos de milho não foi significativamente diferente entre os três tratamentos o que fez com que o N exportado na biomassa aérea mantivesse o padrão registado para a produção de matéria seca.

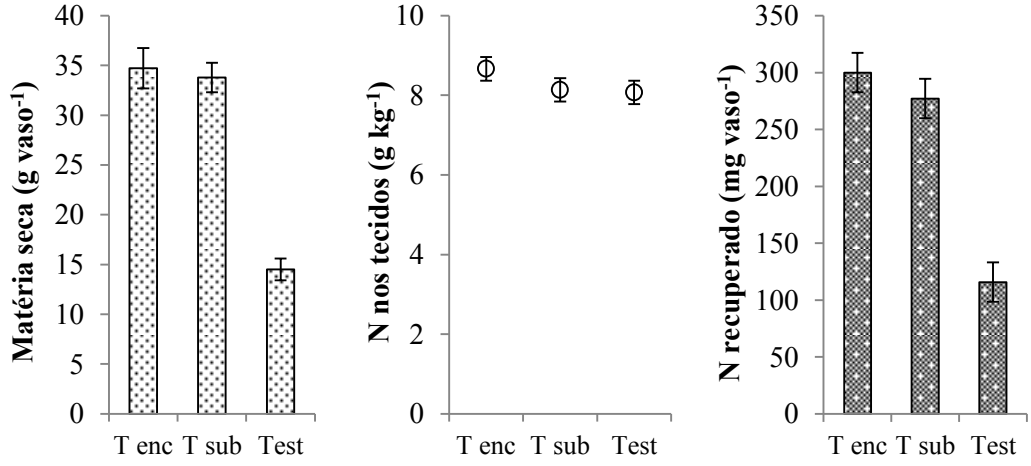


Figura 3. Produção de matéria seca, concentração de N e N recuperado na biomassa aérea em milho cultivado sobre a sideração de trevo encarnado (T enc), trevo subterrâneo (T sub) e vegetação natural (Test). As barras de erro representam o desvio padrão da média.

2.2. Leguminosas de grão

A produção total de matéria seca (palha + grão) das plantas cultivadas em sequeiro seguiu uma função sigmoide, com crescimento inicial lento (fase *lag*), seguido de crescimento exponencial e linear rápidos, com redução da taxa de crescimento nas fases pós-floração (Figura 4). Na parte final do ciclo pode ocorrer redução da biomassa aérea por senescência das folhas. Este padrão de crescimento típico de plantas anuais que se reproduzem exclusivamente por sementes foi igualmente observado para o N recuperado na parte aérea. A concentração de N na palha decresceu ao longo da estação de crescimento. O grão-de-bico apresentou maior produção total de biomassa e de grão mas menor concentração de N nos tecidos que feijão-frade. Do balanço dos parâmetros anteriores, grão-de-bico exportou mais N no grão que feijão-frade mas com menor diferença que a registada na produção total de matéria seca e no grão.

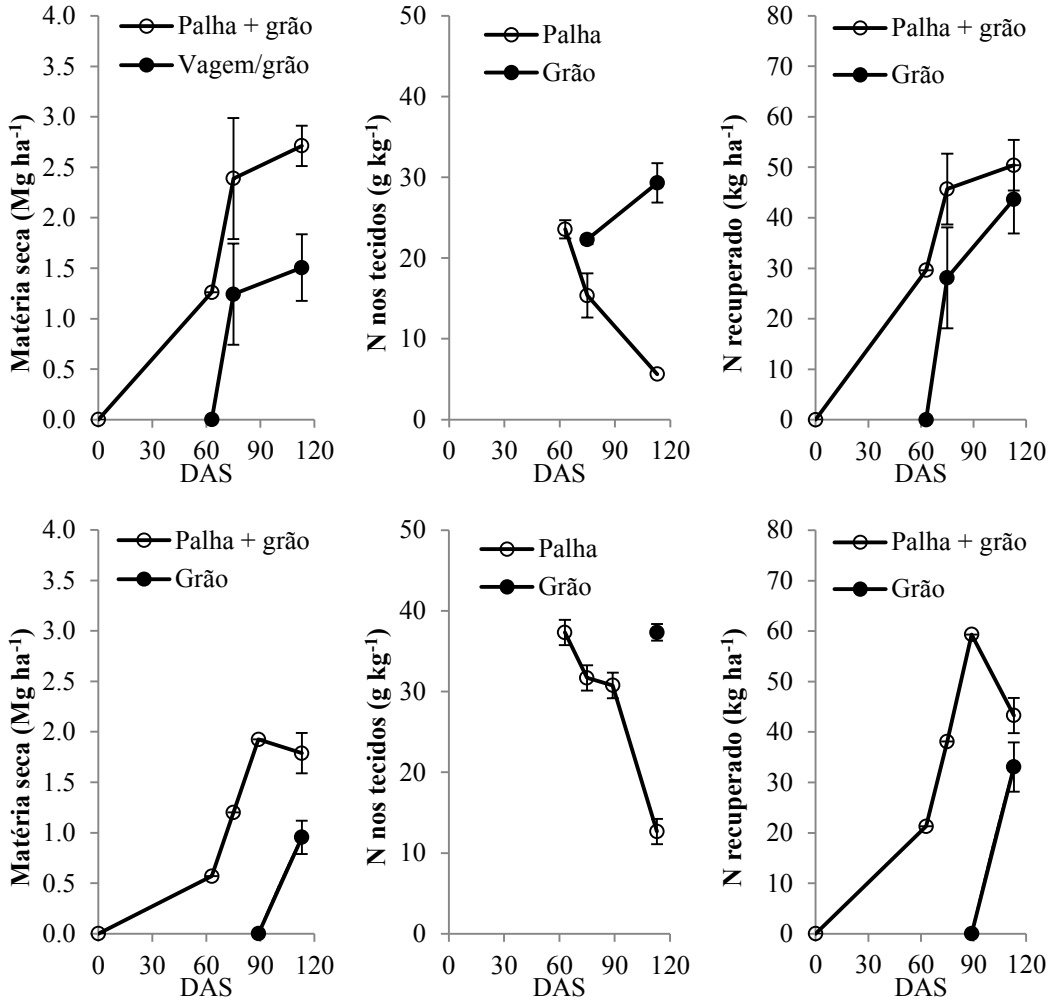


Figura 4. Produção de matéria seca (esquerda), concentração de N nos tecidos (centro) e N exportado na biomassa (direita) ao longo da estação de crescimento (DAS, dias após sementeira) em grão-de-bico (em cima) e feijão-frade (em baixo) cultivados em sequeiro. As barras de erro representam o desvio padrão da média.

As espécies cultivadas em regadio seguiram o padrão geral de crescimento, concentração de N e N recuperado nos tecidos que foi observado para as espécies cultivadas em sequeiro (Figura 5). O feijão-comum, cv. Maravilha-de-Piemonte, originou produção de matéria seca total e de grão mais baixa que a cv. Amarelo e feijão-frade. A tendência manteve-se para o N contido no grão.

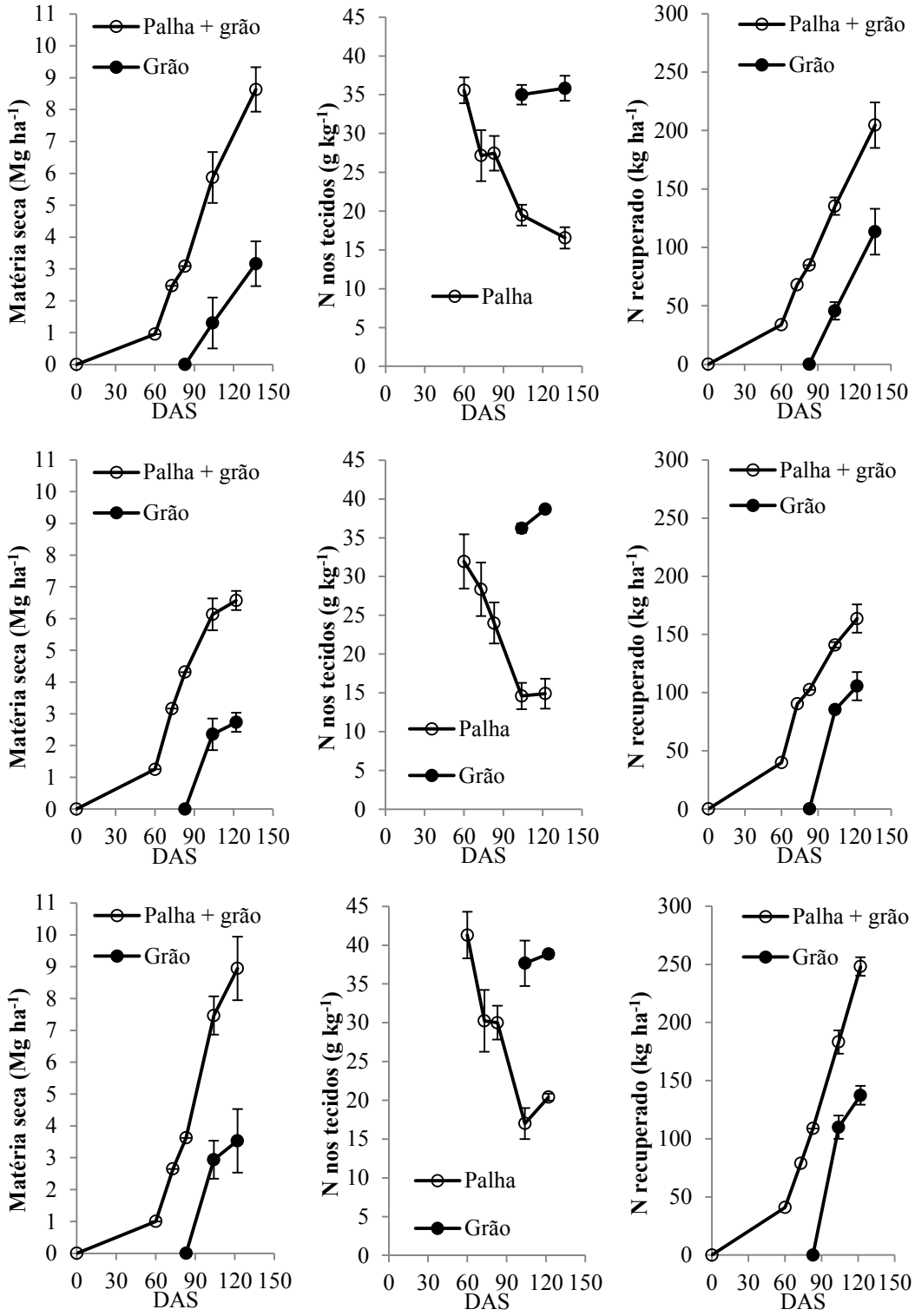


Figura 5. Produção de matéria seca (esquerda), concentração de N nos tecidos (centro) e N exportado na biomassa aérea (direita) ao longo da estação de crescimento (DAS, dias após sementeira) em feijão-comum, cv. Amarelo (em cima), feijão-comum, cv. Maravilha-de-Piemonte (centro) e feijão-frade (em baixo) cultivados em regadio. As barras de erro representam o desvio padrão da média.

A inoculação da soja induziu apenas um ligeiro aumento de produção de matéria seca total e de N exportado no grão e na totalidade da planta (Figura 6). Não foi visível qualquer efeito significativo da inoculação na concentração de N nos tecidos.

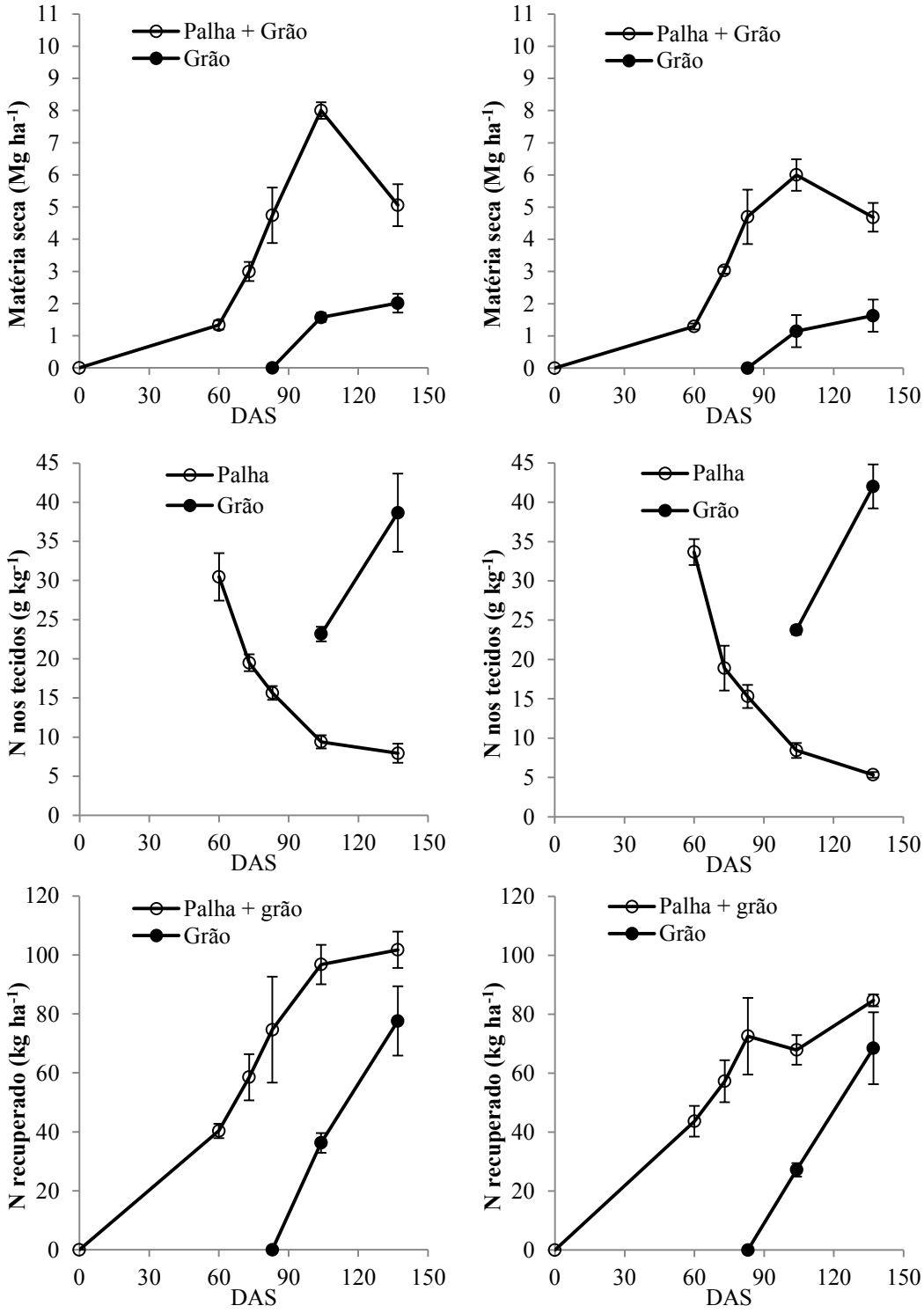


Figura 6. Produção de matéria seca (em cima), concentração de N nos tecidos (centro) e N exportado na biomassa aérea (em baixo) ao longo da estação de crescimento (DAS, dias após sementeira) em soja inoculada (esquerda) e não inoculada (direita) cultivada em regadio. As barras de erro representam o desvio padrão da média.

3. Discussão

Adubação verde teve um efeito positivo marcado na produção de biomassa e N exportado pelo milho. Os resíduos das leguminosas são muito ricos em N. Quando incorporados no solo são atacados pelos microrganismos heterotróficos originando mineralização líquida de N (Raun e Schepers, 2008; Havlin et al., 2014). Em diversos outros estudos têm sido verificados incrementos de produtividade e/ou recuperação de N em culturas que se seguem a leguminosas na rotação (Carranca et al., 2009b; Zotarelli et al., 2012; Monday et al., 2013).

As leguminosas cultivadas para grão em sequeiro e regadio apresentaram uma curva de produção de matéria seca e N exportado sigmoide, com uma fase inicial de crescimento lento (fase *lag*), a que se segue uma fase exponencial, depois linear e por fim uma fase de desaceleração e paragem de crescimento (Pessarakli, 2001). Nas fases avançadas de crescimento do grão, pode ocorrer perda de biomassa e N total na planta devido à senescência e perda de folhas e volatilização de N a partir da canópia (Rodrigues, 2000). Desde as primeiras amostragens verificou-se redução da concentração de N na rama. Numa fase inicial esta diminuição deve-se a fenómenos de diluição associados à expansão vegetativa das plantas. Na fase reprodutiva contribui também para a redução da concentração de N na rama a translocação dos fotoassimilados para o grão, passando estes a ser o destino (*sink*) prioritário para os produtos da fotossíntese.

Em sequeiro, no grão-de-bico, foi possível ultrapassar 1500 kg grão ha^{-1} e recuperar na parte aérea mais de 40 kg N ha^{-1}. Em regadio, no caso do feijão-frade, obtiveram-se mais de 3500 kg de grão ha^{-1} e foram recuperados 248 kg N ha^{-1} na planta. Tendo em conta que estas culturas não receberam fertilizante azotado, os valores parecem consideráveis. Na bibliografia da especialidade podem ser encontrados valores de recuperação de N em leguminosas ainda mais elevados que estes embora os valores mais usuais sejam inferiores aos registados neste trabalho nas culturas de regadio (Russelle, 2008; Cooper e Scherer, 2012). Deve notar-se também que os valores que se apresentam não representam N fixado a partir da atmosfera porque as plantas também absorvem N a partir do solo. Por outro lado, também não foi contabilizado o N contido no sistema radicular. De uma maneira geral, as leguminosas contêm nos seus tecidos 20 a 25 kg N por tonelada de matéria seca (Peoples et al., 2001; Carlsson e Huss-Danell, 2003; Chen et al., 2004; Goh e Bruce, 2005). Também neste estudo foram obtidos valores desta ordem de grandeza nas culturas de regadio e ligeiramente mais elevados nas culturas de sequeiro.

A soja inoculada produziu um pouco mais e recuperou um pouco mais de N que a soja não inoculada, embora o resultado da inoculação possa ser considerado modesto. A necessidade de inocular as sementes deve-se ao facto dos rizóbios nativos poderem não ser das estirpes mais adequadas a uma dada leguminosa. A especificidade entre o rizóbio e o hospedeiro é determinante na capacidade de fixação (Russelle, 2008; Cooper e Scherer, 2012). A necessidade de inocular é sobretudo importante para espécies exóticas que não são habitualmente cultivadas numa dada região em que não é espectável que existam nos solos as estirpes específicas dos rizóbios. A soja estaria nesta situação porque não é uma cultura habitual na região. Contudo, o efeito da inoculação foi modesto como se referiu. Também Carranca et al. (2009a) registaram pouco êxito quando inocularam tremoceiro-branco em comparação com o cultivo sem inoculação, embora neste caso o resultado fosse mais expetável devido ao facto dos tremoceiros serem habitualmente cultivados em Portugal.

4. Conclusões

As leguminosas usadas neste estudo mostraram elevada capacidade em fixar N atmosférico, tendo-se registado conteúdos em N nos tecidos próximos de 250 kg N ha^{-1} (feijão-frade). Devido ao elevado conteúdo em N nos tecidos, as leguminosas usadas como sideração sofrem um processo de mineralização muito rápido (ocorre mineralização líquida no curto prazo), tendo o milho cultivado de seguida beneficiado do N anteriormente fixado pelas leguminosas.

Nas culturas de sequeiro (grão-de-bico) ultrapassaram-se 1500 kg ha^{-1} de grão muito rico em proteína e nas de regadio (feijão-frade) ultrapassaram-se 3500 kg ha^{-1} de grão. Admitindo que estas culturas não foram fertilizadas com adubos azotados, não restam dúvidas que as leguminosas são espécies determinantes para se obter proteína a baixo custo e com menor impacte ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e ao FEDER, programa PT2020, pelo suporte financeiro ao CIMO (UID/AGR/00690/2013).

Referências

Carlsson, G., Huss-Danell, K. 2003. Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant and Soil* 253:353–72. doi:10.1023/A:1024847017371.

Carranca, C., Torres, M. O., Baeta, J. 2009a). White lupine as a beneficial crop in southern Europe I: Potential for N mineralization in lupine amended soil and yield and N_2 fixation by white lupine. *European Journal of Agronomy* 31:183–89. doi:10.1016/j.eja.2009.05.009.

Carranca, C., Torres, M. O. and Baeta, J. 2009b). White lupine as a beneficial crop in Southern Europe. II. Nitrogen recovery in a legume–oat rotation and a continuous oat-oat. *European Journal of Agronomy* 31: 190–194.

Chen, W., Mccaugheya, W. P., Granta, C. A. 2004. Pasture type and fertilization effects on N2 fixation, N budgets, and external energy inputs in western Canada. *Soil Biology and Biochemistry* 36:1205–12. doi:10.1016/j.soilbio.2004.04.003.

Cooper, J., Scherer, H. 2012. Nitrogen fixation. In: *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, 3th ed, P. Marschner (Ed.), 389–408. San Diego, CA: Academic Press.

Coyne, M.S. 2008. Biological denitrification. In: Schepers, J.S., Raun, W.R. (Eds.), *Nitrogen in Agricultural Systems*. Agronomy Monograph n◦49. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA, pp. 201–253

Ferreira, I.Q., Rodrigues, M.A., Claro, A.M., Arrobas, M. 2015. Management of nitrogen-rich legume cover crops as a mulching in traditional olive orchards. *Communications in Soil Science Plant Analysis* 46:1881-1894. (http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2015.1059847).

Francis, D. D., Vigil, M. F., Mosier, A. R. 2008. Gaseous losses of nitrogen other than through denitrification. In: Schepers, J.S., Raun, W.R. (Eds.), *Nitrogen in Agricultural Systems*. Agronomy Monograph n◦49. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA, pp. 255–279.

Goh, K. M., Bruce, G. E. 2005. Comparison of biomass production and biological nitrogen fixation of multispecies pastures (mixed herb leys) with perennial ryegrass white clover pasture with and without irrigation in Canterbury, New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 110:230–40. doi:10.1016/j.agee.2005.04.005.

Hardarson, G., Atkins, C. 2003. Optimising biological N_2 fixation by legumes in farming systems. *Plant and Soil* 252:41–54. doi:10.1023/A:1024103818971.

Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. 2014. *Soil Fertility and Fertilizers, an Introduction to Nutrient Management*. 8th edition, Pearson, Boston, USA.

Monday, T.A., Foshee, W.G., Blythe, E.K., Dozier, W.A., Wells, L.W., Sibley, J.L., Brown, J.E. 2013. Nitrogen requirements for sweetpotato following a crimson clover cover crop. *International Journal of Vegetable Science* 19:78–82.

Peoples, M.B., Bowman, A.M., Gault, R.R., Herridge, D.F.,Mccallum, M.H., Mccormick, K.M., Norton, R.M., Rochester, I.J., Scammell, G.J. , Schwenke, G.D. 2001. Factors regulating the contributions of fixed nitrogen by pasture and crop legumes to different farming systems of eastern Australia. *Plant and Soil* 228:29–41. doi:10.1023/A:1004799703040.

Pessarakli, M. 2001. Handbook of plant and crop physiology. Pessarakli, M. (Ed.) 2nd. ed. Marcel Dekker, Inc. ,New York.

Pirhofer-Walzl, K., Rasmussen, J., Høgh-Jensen, H., Eriksen, J., Søegaard, K., Rasmussen, J. 2012. Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighboring plants in a multi-species grassland. *Plant Soil* 350:71–84.

Raun, W.R., Schepers, J.S. 2008. Nitrogen management for improved use efficiency. . In: Schepers, J.S., Raun, W.R. (Eds.), *Nitrogen in Agricultural Systems*. Agronomy Monograph n◦49. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA, pp. 675-693

Rodrigues, 2000. Gestão do azoto na cultura da batata: estabelecimento de indicadores do estado nutritivo das plantas e da disponibilidade de azoto no solo. Dissertação de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Rodrigues, M.A., Dimande, P., Pereira, E., Ferreira, I.Q., Freitas, S., Correia, C.M., Moutinho-Pereira, J., Arrobas, M. 2015. Early-maturing annual legumes: an option for cover cropping in rainfed olive orchards. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 103:153–166. (DOI: 10.1007/s10705-015-9730-5).

Russelle, M. P. 2008. Biological dinitrogen fixation in agriculture. In: Schepers, J.S., Raun, W.R., editors. *Nitrogen in Agricultural Systems*. Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA. Agronomy Monograph. 49:281-359.

Smil, V. 2001. *Enriching the earth*. Haber, F. and Bosch, C.(Eds). Cambridge, MA: MIT Press.

Snoeck, D., Zapata, F., Domenach, A.M. 2000. Isotopic evidence of the transfer of nitrogen fixed by legumes to coffee trees. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 4(2):95–100.

Zotarelli, L., Zatorre, P., Boddey, M., Urquiaga, S., Jantalia, P., Franchin, C., Alves, R. 2012. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. *Field Crop Research* 132:185–195.

Resposta do trigo a sementes tratadas com zinco e aplicação de zinco ao solo

Margarida Arrobas[1], Sandra Afonso[1], José Norberto P. Coutinho[2], Fernando Lidon[3], Ana Sofia Almeida[2], Fernando Reboredo[3], Maria Fernanda Pessoa[3], Paula Scotti[2], José Semedo[2], Isabel Pais[2], Maria Manuela Silva[4], José Cochicho Ramalho[5], António Eduardo Leitão[5], M. Ângelo Rodrigues[1*]

[1]CIMO – Instituto Politécnico de Bragança *Email: angelor@ipb.pt

[2]UIRGEMP – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P.

[3]DCT, GeoBioTec, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

[4]ESEAG, GeoBioTec, Escola Superior de Educação Almeida Garrett

[5]ISA, LEAF, Universidade de Lisboa

Resumo

De acordo com a Organização Mundial de Saúde diarreia e pneumonia são duas importantes causas de mortalidade infantil que podem estar associadas a deficiência em zinco (Zn). O Zn é um elemento essencial para as plantas, onde exerce papel estrutural e é co-factor de mais de 300 enzimas. Na perspetiva da biofortificação, interessa saber se é possível aumentar a concentração em Zn nas partes comestíveis das plantas. Neste trabalho reportam-se resultados de um ensaio de biofortificação agronómica em que se estudou o efeito de sementes previamente biofortificadas e da aplicação de Zn ao solo em três datas e três doses em adubação de cobertura, nas cultivares 'Jordão', 'Roxo' e 'Nabão'. Nas fases vegetativas os tratamentos não influenciaram o crescimento das plantas. Na colheita, os parâmetros massa do hectolitro de grão, peso de 1000 grãos, produção de grão, produção de palha, produção total e índice de colheita mostraram pouca sensibilidade ao uso de sementes tratadas com Zn e à aplicação de Zn ao solo. De igual forma, a concentração de Zn no grão não foi significativamente influenciada pelos tratamentos. As maiores aplicações de Zn ao solo originaram concentrações médias de Zn no grão mais elevadas mas sem diferenças significativas para o tratamento menos fertilizado (42,4 e 37,7 mg kg^{-1}, respetivamente). A aplicação de Zn ao solo aumentou de forma significativa a concentração de Zn na palha (14,7 e 25,5 mg kg^{-1}, nas modalidades menos e mais fertilizadas). Neste estudo, a tentativa de biofortificação com Zn através de sementes tratadas e da aplicação de Zn ao solo teve um resultado modesto. Contudo, o resultado não põe em questão o potencial da biofortificação agronómica. A fraca resposta à aplicação de Zn terá sido devida à boa disponibilidade natural do elemento no solo.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*; biofortificação; componentes da produção

Wheat response to zinc treated seeds and soil zinc application

Abstract

According to the World Health Organization diarrhea and pneumonia are two important causes of infant mortality that may be associated with zinc (Zn) deficiency. Zn is also an essential element for plant growth. In plants it has a structural role and is a co-factor of more than 300 enzymes. From the perspective of biofortification, it is important to know whether it is possible to increase the concentration of Zn in the edible plant parts. This work reports the results of an agronomic biofortification trial in which the effect of biofortified seeds and the application of Zn to the soil (3 application dates and 3 rates) were studied in three wheat varieties, 'Jordão', 'Roxo' and 'Nabão'. In the vegetative phases, plant growth was not affected by the Zn treatments. At the harvest, the evaluated production parameters (mass of the hectoliter of grain, weight of 1000 grains, grain yield, straw production, total production and harvest index) showed little sensitivity to the use of seeds treated with Zn and to the application of Zn to the soil. Likewise, the concentration of Zn in the grain was not significantly influenced by the treatments. The higher soil Zn applications resulted in higher mean grain Zn concentrations but without significant differences to the other treatments (37.7 and 42.4 mg kg^{-1} in the less and more fertilized treatments). The application of Zn to the soil significantly increased the

concentration of Zn in straw (14.7 and 25.5 mg kg^{-1}, in the less and more fertilized treatments). In this study, the attempt of Zn biofortification through treated seeds and the application of Zn to the soil had a modest result. However, the result does not question the potential of agronomic biofortification. The poor response to Zn application would have been due to the natural high availability of the element in this soil.

Key-words: *Triticum aestivum*; biofortification; grain yield components

1. Introdução

O zinco (Zn) é o segundo metal de transição mais abundante em organismos vivos. É um elemento essencial para plantas superiores e animais, sendo um elemento estrutural de proteínas e regulador da atividade de grande diversidade de enzimas, como oxidorredutases, transferases, hidrolases, liases, isomerases e ligases (Palmgren et al., 2008; Alloway, 2009; Broadley et al., 2012; Cakmak and Hoffland, 2012; Dimkpa e Bindraban, 2016). A carência em Zn foi considerada na conferência *Consensus* de Copenhaga de 2008 como um problema prioritário na dieta na humanidade, a par da carência em vitamina A (Ajiboye et al., 2015). Estima-se que um terço da população humana esteja exposto a ingestão insuficiente de Zn (Alloway, 2009), originando perturbações diversas na saúde em particular no desenvolvimento físico e mental das crianças (Cakmak, 2009; Ajiboye et al., 2015).

Os cereais são um dos alimentos base da humanidade, com trigo e arroz a representarem mais de 2/5 da energia contida na dieta da população humana. Os cereais são contudo inerentemente pobres em Zn, causando carência do nutriente em vastas regiões do globo onde a dieta das populações está baseada nos cereais (Cakmak, 2008; Alloway, 2009).

Uma das formas de mitigação do problema da carência de Zn na dieta das populações é obter cereais mais ricos neste nutriente, usando estratégias de biofortificação. A biofortificação pode seguir duas vias: a biofortificação pelo melhoramento vegetal (biofortificação genética), seja por via clássica ou manipulação genética; e/ou a biofortificação agronómica, recorrendo à aplicação do micronutriente como fertilizante ao solo ou diretamente à planta, tentando-se, por estas vias, aumentar a concentração e biodisponibilidade de Zn no grão (Bouis et al., 2011; Bouis e Welch, 2010; Velu et al., 2014). A biofortificação genética será uma estratégia mais demorada, de médio/longo prazo, enquanto a biofortificação agronómica tem a vantagem de poder ser implementada em curto prazo (Cakmak, 2009; Cakmak et al., 2010; Valença et al., 2017).

Neste trabalho ensaiou-se biofortificação agronómica recorrendo-se à utilização de sementes biofortificadas com Zn no ano anterior e à aplicação de Zn ao solo em adubação de cobertura. As hipóteses colocadas ou objetivos principais do trabalho consistem na avaliação do efeito dos tratamento no comportamento agronómica de três cultivares de trigo, designadamente na produção de grão, e na avaliação da distribuição de Zn na planta, em particular na concentração do elemento grão. Foram usadas cultivares de trigo obtidas pelo Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária designadas de 'Jordão', 'Roxo' e 'Nabão'.

2. Material e métodos

Local do ensaio

O estudo foi conduzido em Bragança, NE Portugal. A região apresenta um clima mediterrânico com alguma influência atlântica. A precipitação e temperatura médias anuais da normal climatológica do período 1971-2000 são 758 mm e 12,3°C, respetivamente. A precipitação e a temperatura média registadas durante o estudo na estação meteorológica da Qta de Santa Apolónia, localizada a 30 m do ensaio, são apresentadas na figura 1. A experiência foi instalada num Cambissolo êutrico de textura franca (66% de areia, 18% limo e 16% argila), pH 5,8, teor de matéria orgânica 1,1% e teores de fósforo e potássio, extraídos pelo método Egnér-Riehm, 160 e 143 mg kg^{-1}, respetivamente.

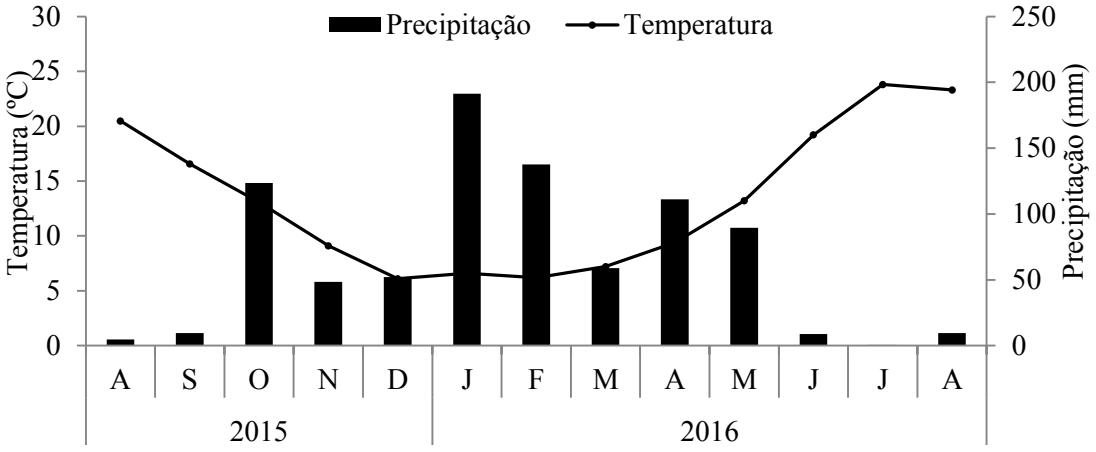


Figura 1. Valores de temperatura média do ar e precipitação mensais durante o período experimental registados na estação meteorológica da Qta de Santa Apolónia em Bragança.

Delineamento experimental

O ensaio foi organizado num fatorial (2 fatores) em blocos casualizados. Um dos fatores consistiu numa combinação de cultivares de trigo com semente tratada com Zn e sem tratamento, num total de cinco níveis de fator, designadamente cv. Nabão com semente tratada (NB1) e sem tratamento (NB0), cv. Roxo com semente tratada (RX1) e sem tratamento (RX0) e cv. Jordão sem tratamento à semente (J0). As sementes tratadas foram provenientes de searas fertilizadas com Zn no ano anterior. Um segundo tratamento consistiu na aplicação ao solo de três doses diferentes de Zn fracionadas em três datas, designadamente Zn45 (45, 15+15+15), Zn90 (90, 30+30+30) e Zn135 (135, 45+45+45) kg ha^{-1} de $ZnSO_4.7H_2O$. As três aplicações foram efetuadas ao afilhamento (22-02-2016), espigamento (03-05-2016) e grão leitoso (15-06-2016). De cada tratamento foram incluídas três repetições (3 blocos). Cada unidade experimental consistiu em 6 linhas de plantas de 5 m de comprimento e uma distância na entrelinha de 20 cm. Todos os talhões ficaram separados lateralmente e no topo por corredores de passagem respetivamente de 50 cm e 100 cm.

Instalação e condução do ensaio

A instalação do ensaio iniciou-se com a preparação do solo, que consistiu na passagem de uma charrua de aivecas de 2 ferros, seguida de escarificação. Uma segunda escarificação com uma grade lisa acoplada melhorou o destorroamento superficial e deixou o terreno nivelado para a sementeira. Após a lavoura e antes da primeira escarificação foi aplicada a adubação de fundo, que consistiu na aplicação de 40, 80 e 80 kg ha^{-1} de azoto, fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O), respetivamente. O azoto foi aplicado na forma de nitrato de amónio (34,5% N), o fósforo na forma de superfosfato (18% P_2O_5) e o potássio na forma de cloreto de potássio (60% K_2O).

Em 10 de novembro de 2015 procedeu-se à sementeira. Os regos foram abertos manualmente com sacho, sendo alinhados com uma estrutura de madeira e fio fixado de 20 em 20 cm de acordo com a distância na entrelinha previamente estabelecida. As sementes foram enterradas manualmente com sacho a 2 a 4 cm de profundidade.

Em 13 de novembro de 2015 foi aplicado o herbicida pré-emergência. Utilizou-se um produto à base de clortolurão [35,5 % (p/p)] e diflufenicão [2,2 % (p/p)]. Em 2 de maio de 2016 aplicou-se um fungicida à base tebuconazol (250 g/l), após se ter observado que as plantas apresentavam sintomas de ferrugem amarela (*Puccinia striiformis*) e oídio (*Erysiphe graminis*). Foram ainda aplicadas duas adubações de cobertura durante a estação de crescimento, em 19 de fevereiro e 22 de abril. Utilizou-se nitrato de amónio (34,5% de azoto) na dose de 40 kg N ha^{-1} em cada aplicação.

Determinações

Nos estados vegetativos foram efetuados dois cortes para avaliação da biomassa e composição química elementar dos tecidos. Estes cortes foram efetuados em 19 de fevereiro e 22 de abril de 2016. Foi cortada uma área equivalente a 0,25 m^2. As amostras foram posteriormente conduzidos ao laboratório e secas em estufa de ventilação forçada, regulada a 70 °C.

Em 13 de julho de 2016 efetuou-se a colheita utilizando as quatro linhas internas dos talhões em área equivalente a 3,2 (0,8 m x 4,0 m) m^2. Após o corte procedeu-se à debulha, tendo sido pesados grão e palha após limpeza do grão. Em subamostras de grão foi determinada a relação massa/volume e a massa de 1000 grãos. Com base na massa do grão e da palha determinou-se o índice de colheita [massa do grão/(massa do grão + massa da palha)]. Subamostras de grão e de palha foram secas em estufa de ventilação forçada regulada a 70 °C para determinação da percentagem de humidade e para as análises químicas elementares.

Nas análises químicas elementares foram usados os métodos Kjeldahl (azoto), colorimetria (fósforo e boro), espectrometria de emissão de chama (potássio) e espectrofotometria de absorção atómica (cálcio, magnésio, cobre, ferro, Zn e manganês).

Análise de dados

Os resultados foram submetidos a análise de variância. Quando se observaram diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

3. Resultados

Na primeira data de amostragem, em 19 de fevereiro de 2016, as jovens plantas mostraram diferenças significativas na produção de biomassa (Figura 2). Contudo, o resultado parece ser devido às caraterísticas da cultivar e menos ao efeito do tratamento à semente com Zn, uma vez que as médias de RX0 e RX1 e também de NB0 e NB1 não diferiram significativamente.

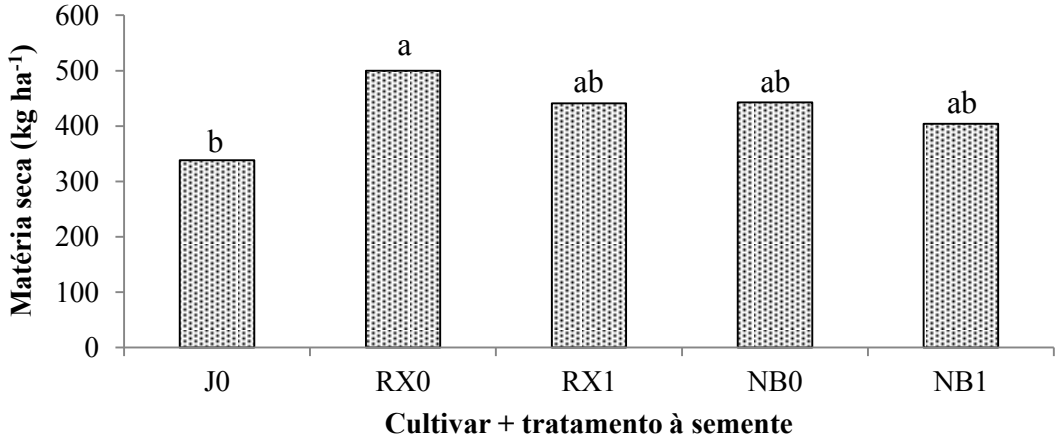


Figura 2. Produção de matéria seca na primeira amostragem em 19 de fevereiro de 2016 em função da cultivar + tratamento à semente. Letras diferentes nas colunas representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD (α=0,05).

A concentração de alguns nutrientes nos tecidos na primeira data de amostragem apresenta diferenças significativas entre tratamentos, como é o caso do Zn (quadro 1). Também aqui fica claro que as diferenças surgem devido às diferenças genéticas entre cultivares e não ao efeito do tratamento prévio às sementes. Esta observação resulta da comparação das modalidades RX0 com RX1 e NB0 com NB1 entre as quais não há diferenças significativas.

Quadro 1. Concentração de nutrientes nos tecidos na primeira amostragem em 19 de fevereiro de 2016 em função da cultivar + tratamento à semente. Letras diferentes nas linhas representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD (α=0,05).

	Cultivar + tratamento à semente				
	J0	RX0	RX1	NB0	NB1
N (g kg^{-1})	41.9 a	40.0 a	42.3 a	39.4 a	42.7 a
P (g kg^{-1})	3,6 a	2,9 b	3,0 b	2,9 b	3,0 b
K (g kg^{-1})	32.2 a	32.4 a	31.3 a	32.9 a	29.8 a
Ca (g kg^{-1})	4,7 ab	4,5 ab	5,1 ab	4,2 b	5,5 a
Mg (g kg^{-1})	2.6 a	2.5 a	2.5 a	2.3 a	2.7 a
B (mg kg^{-1})	3.2 a	2.5 a	3.0 a	2.7 a	2.8 a
Fe (mg kg^{-1})	806.8 a	770.4 a	831.5 a	775.5 a	868.4 a
Mn (mg kg^{-1})	35.1 a	37.4 a	33.9 a	38.8 a	30.5 a
Cu (mg kg^{-1})	9.6 a	9.3 a	10.2 a	9.1 a	10.0 a
Zn (mg kg^{-1})	25,4 b	27,1 ab	26,3 ab	28,5 a	27,2 ab

Na segunda data de amostragem, em abril de 2016, já tinha sido feita a primeira aplicação de Zn ao solo. Os resultados mostraram não haver diferenças significativas entre as modalidades de tratamento à semente nem entre a aplicação das diferentes doses de Zn ao solo (figura 3).

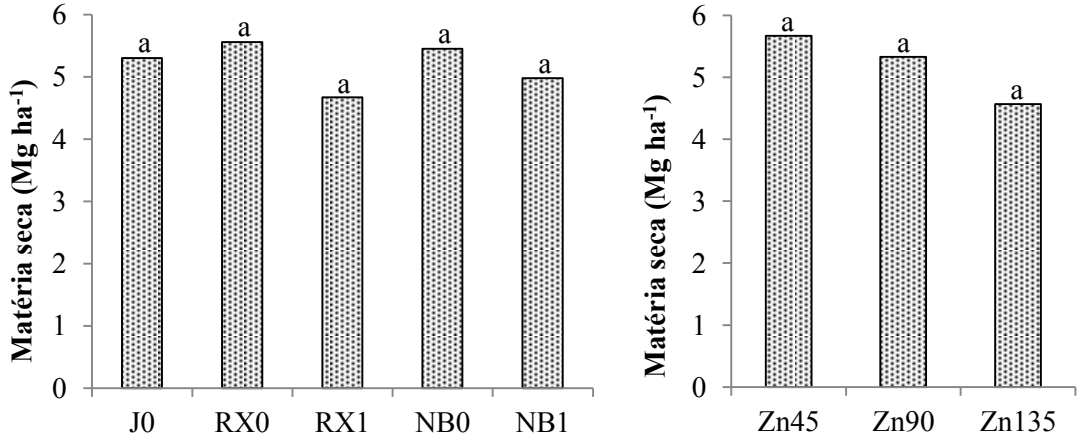


Figura 3. Produção de matéria seca na segunda amostragem em 22 de abril de 2016 em função da cultivar + tratamento à semente (esquerda) e da aplicação de Zn ao solo (direita). Letras diferentes nas colunas, separadamente no grupo da esquerda e da direita, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD (α=0,05).

A concentração de nutrientes nos tecidos em 22 de abril de 2016 raramente apresentou diferenças significativas entre tratamentos, quer quando comparado o efeito do tratamento à semente + cultivares quando comparado o efeito das doses de Zn (quadro 2). A concentração de Zn também não diferiu significativamente entre tratamentos.

Quadro 2. Concentração de nutrientes nos tecidos na amostragem em 22 de abril de 2016 em função da cultivar + tratamento à semente. Letras diferentes nas linhas, para cada um dos fatores em estudo, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD (α=0,05).

	Cultivares + tratamento à semente					Dose de zinco		
	J0	RX0	RX1	NB0	NB1	Zn45	Zn90	Zn135
N (g kg^{-1})	20,4 a	20,7 a	21,5 a	20,3 a	22.1 a	21,3 a	21,8 a	20,0 a
P (g kg^{-1})	2,8 a	2,6 ab	2,5 ab	2,4 b	2,5 ab	2,7 a	2,5 a	2,5 a
K (g kg^{-1})	29,1 a	26,9 a	30,2 a	26,2 a	30,8 a	28,6 a	28,0 a	29,4 a
Ca (g kg^{-1})	2,8 a	3,0 a	3,2 a	3,0 a	3,5 a	3,1 a	3,1 a	3,1 a
Mg (g kg^{-1})	1,5 a	1,6 a	1,7 a	1,7 a	1,7 a	1,6 a	1,7 a	1,6 a
B (mg kg^{-1})	2,6 a	2,4 a	2,7 a	2,5 a	2,5 a	2,5 a	2,6 a	2,5 a
Fe (mg kg^{-1})	143,2 a	174,3 a	178,3 a	217,7 a	167,7 a	162,3 a	197,6 a	168,6 a
Mn (mg kg^{-1})	27,1 b	32,1 a	28,9 ab	32,7 a	30,1 ab	29,9 ab	29,0 b	31,7 a
Cu (mg kg^{-1})	6,0 a	6,8 a	6,9 a	7,2 a	6,6 a	6,4 a	6,9 a	6,8 a
Zn (mg kg^{-1})	31,8 a	40,4 a	34,8 a	38,0 a	30,8 a	38,7 a	33,4 a	33,4 a

Na colheita, nem a semente tratada nem a aplicação de Zn ao solo influenciaram significativamente a massa específica do grão, um parâmetro importante associado à qualidade geral do grão (figura 4).

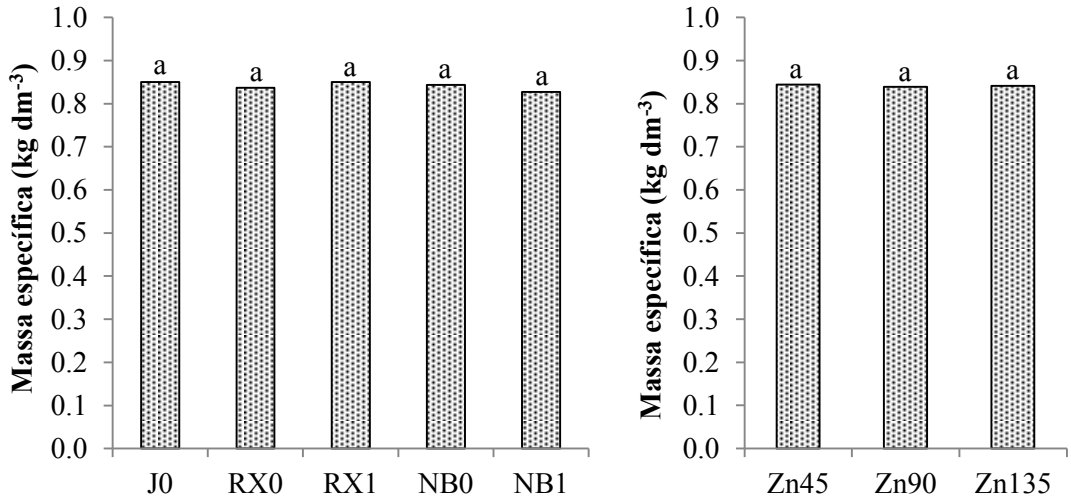


Figura 4. Massa específica do grão em função da cultivar + tratamento à semente (esquerda) e da aplicação de Zn ao solo (direita). Letras diferentes nas colunas, separadamente no grupo da esquerda e da direita, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD (α=0,05).

A massa de 1000 grãos revelou a existência de diferenças significativas entre tratamentos à semente e cultivares (figura 5). Fica a ideia de que a semente tratada no ano anterior com Zn reduziu a massa de 1000 grãos. Entre doses de Zn aplicadas ao solo não ocorreram diferenças significativas.

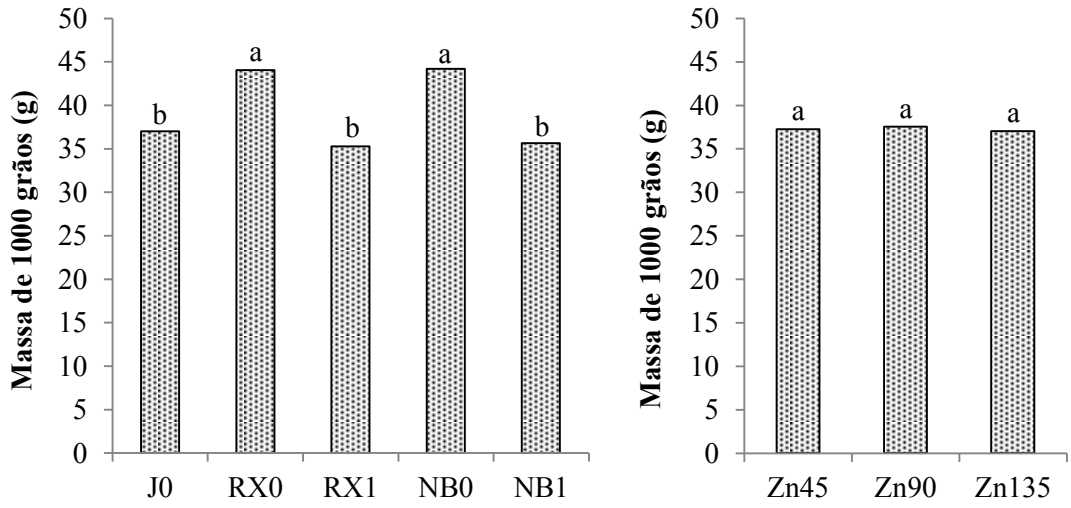


Figura 5. Massa de 1000 grãos em função da cultivar + tratamento à semente (esquerda) e da aplicação de Zn ao solo (direita). Letras diferentes nas colunas, separadamente no grupo da esquerda e da direita, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD (α=0,05).

O índice de colheita variou de forma significativa entre cultivares e tratamento à semente. As sementes tratadas com Zn no ano anterior parecem ter influenciado de forma positiva o índice de colheita (figura 6). Uma vez mais a aplicação de Zn ao solo não influenciou significativamente o parâmetro em análise.

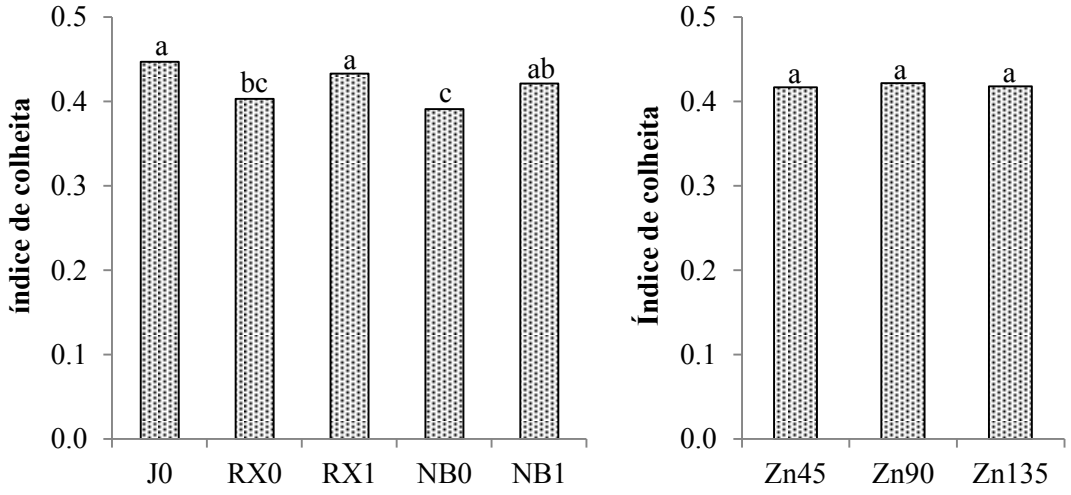


Figura 6. Índice de colheita em função da cultivar + tratamento à semente (esquerda) e da aplicação de Zn ao solo (direita). Letras diferentes nas colunas, separadamente no grupo da esquerda e da direita, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD (α=0,05).

A produção de grão variou de forma significativa com a cultivar e tratamento à semente, embora o efeito pareça ser devido à cultivar, e terá sido marcado pelo bom desempenho da cultivar 'Jordão' (figura 7). A produção de palha e a produção total (grão + palha) não foram significativamente influenciados pela cultivar e tratamento à semente. A aplicação de Zn ao solo não influenciou a produção de grão, nem a produção de palha nem a produção total de biomassa (grão + palha).

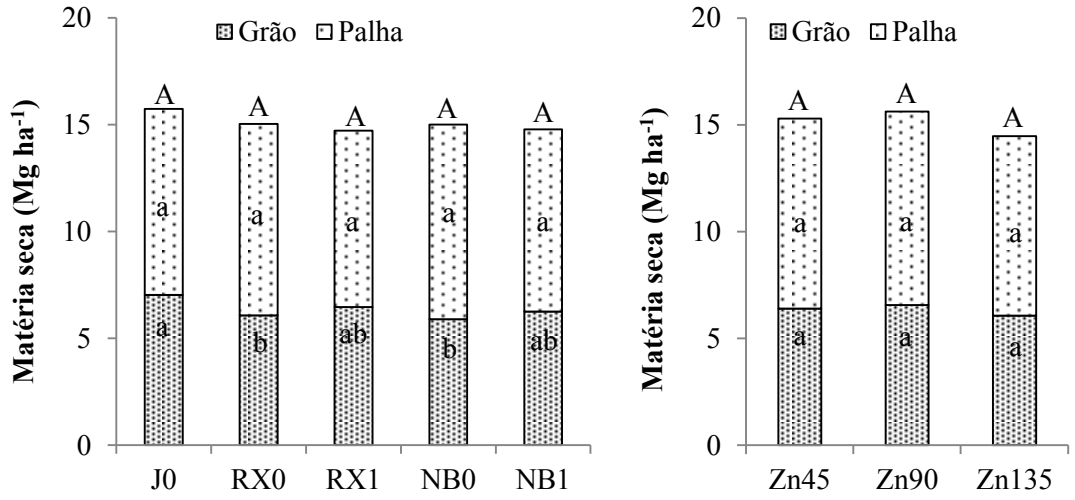


Figura 7. Produção de grão e palha em função da cultivar e tratamento à semente (esquerda) e da aplicação de Zn ao solo (direita). Letras minúsculas diferentes no interior das colunas, separadamente no grupo da esquerda e da direita, representam diferenças significativas no respetivo componente da produção pelo teste Tukey HSD (α=0,05). Letras maiúsculas no topo das colunas são o resultado do teste Tukey HSD (α=0,05) para a matéria seca total (grão + palha).

A concentração de azoto no grão variou de forma significativa com a cultivar e tratamento à semente, embora o resultado tenha sido marcado pelos valores baixos da cultivar 'Jordão' (quadro 3). A cultivar e tratamento à semente influenciaram também de forma significativa a concentração de Zn no grão, parecendo também aqui o efeito ter sido marcado pelos valores baixos da cultivar 'Jordão'. A aplicação de Zn ao solo não influenciou de forma significativa a concentração no grão dos nutrientes avaliados. No caso do Zn, os valores médios aumentaram com a dose de Zn aplicada mas as diferenças não atingiram significado estatístico para α=0,05.

Quadro 3. Concentração de nutrientes no grão na colheita em função da cultivar e tratamento à semente. Letras diferentes nas linhas, para cada um dos fatores em estudo, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD (α=0,05).

	Cultivar + tratamento à semente					Dose de zinco		
	J0	RX0	RX1	NB0	NB1	Zn45	Zn90	Zn135
N (g kg^{-1})	19,0 d	20,9 ab	19,6 cd	22,1 a	20,3 bc	20,7 a	20,5 a	20,0 a
P (g kg^{-1})	2,7 a	2,6 a	2,5 a	2,6 a	2,6 a	2.,5 a	2,8 a	2,6 a
K (g kg^{-1})	6,9 a	5,2 b	5,3 b	5,7 ab	6,0 ab	6,0 a	5,9 a	5,5 a
Ca (g kg^{-1})	0,6 a	0,4 a	0,6 a	0,5 a	0,6 a	0,5 a	0,6 a	0,5 a
Mg (g kg^{-1})	1,8 a	1,4 a	1,4 a	1,6 a	1,5 a	1,5 a	1,6 a	1,5 a
B (mg kg^{-1})	23,5 a	23,7 a	20,7 a	25,6 a	24,9 a	24,1 a	23,3 a	23,7 a
Fe (mg kg^{-1})	41,8 a	42,2 a	43,0 a	48,4 a	43,2 a	43,1 a	44,3 a	43,7 a
Mn (mg kg^{-1})	28,3 a	26,9 a	28,4 a	31,5 a	28,7 a	28,3 a	29,7 a	28,2 a
Cu (mg kg^{-1})	9,9 a	8,7 a	9,3 a	10,2 a	9,2 a	9,5 a	9,4 a	9,5 a
Zn (mg kg^{-1})	36,4 b	41,4 ab	38,7 ab	46,4 a	40,5 ab	37,7 a	41,4 a	42,4 a

Poucos nutrientes variaram de forma significativa a sua concentração na palha em função da cultivar e tratamento à semente. Quando aconteceu, o efeito pareceu dever-se à cultivar (quadro 4). A aplicação de Zn ao solo não influenciou a concentração de nenhum outro nutriente na palha com

exceção da concentração do próprio nutriente. Neste caso, a concentração de Zn na palha aumentou de forma significativa com a aplicação de Zn ao solo.

Quadro 4. Concentração de nutrientes na palha na colheita em função da cultivar e tratamento à semente. Letras diferentes nas linhas, para cada um dos fatores em estudo, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD (α=0,05).

	Cultivar + tratamento à semente					Dose de zinco		
	J0	RX0	RX1	NB0	NB1	Zn45	Zn90	Zn135
N (g kg^{-1})	3,5 b	3,8 ab	4,2 ab	4,2 ab	4,5 a	4,2 a	3,9 a	4,1 a
P (g kg^{-1})	0,5 b	0,5 b	0,6 ab	0,5 ab	0,6 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a
K (g kg^{-1})	14,0 a	15,8 a	16,9 a	16,1 a	16,2a	16,4 a	15,0 a	16,0 a
Ca (g kg^{-1})	1,3 a	1,3 a	1,5 a	1,0 a	1,4 a	1,4 a	1,2 a	1,4 a
Mg (g kg^{-1})	0,9 a	0,8 a	0,9 a	0,7 a	1,0 a	0,8 a	0,8 a	1,0 a
B (mg kg^{-1})	1,8 a	1,4 a	1,4 a	1,6 a	1,9 a	1,7 a	1,5 a	1,7 a
Fe (mg kg^{-1})	73,8 a	79,4 a	76,6 a	79,5 a	97,1 a	78,6 a	78,4 a	86,9 a
Mn (mg kg^{-1})	13,7 b	20,3 ab	19,2 ab	21,8 ab	23,5 a	19,8 a	17,2 a	21,9 a
Cu (mg kg^{-1})	13,5 a	9,8 a	12,3 a	7,9 a	9,5 a	8,5 a	8,6 a	14,7 a
Zn (mg kg^{-1})	16,3 a	19,5 a	20,8 a	18,6 a	20,2 a	14,7 b	17,0 b	25,5 a

O efeito da cultivar e tratamento à semente sobre a exportação de Zn no total da biomassa aérea (grão + palha) não foi significativo para nenhum dos nutrientes (quadro 5). A aplicação de Zn ao solo influenciou de forma significativa a exportação de Zn na biomassa aérea, tendo sido os valores mais elevados registados nas modalidades mais fertilizadas.

Quadro 5. Exportação total de nutrientes (grão+palha) em função da cultivar e tratamento à semente. Letras diferentes nas linhas, para cada um dos fatores em estudo, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD (α=0,05).

	Cultivar e tratamento à semente					Dose de zinco		
	J0	RX0	RX1	NB0	NB1	Zn45	Zn90	Zn135
N (kg ha^{-1})	164,5 a	161,8 a	163,2 a	168,8 a	165,7 a	168,8 a	170,3 a	155,2 a
P (kg ha^{-1})	22,9 a	19,9 a	21,3 a	20,4 a	21,9 a	20,5 a	23,2 a	20,1 a
K (kg ha^{-1})	170,6 a	183,1 a	172,8 a	177,2 a	175,8 a	184,8 a	174,8 a	168,1 a
Ca (kg ha^{-1})	4,4 a	3,7 a	3,8 a	3,2 a	3,7 a	3,5 a	4,2 a	3,0 a
Mg (kg ha^{-1})	20,4 a	16,1 a	16,0 a	15,4 a	22,8 a	17,0 a	17,4 a	22,4 a
B (g ha^{-1})	31,9 a	26,8 a	25,8 a	30,2 a	32,2 a	30,7 a	29,2 a	28,3 a
Fe (g ha^{-1})	932,7 a	962,5 a	933,7 a	998,2 a	998,3 a	967,1 a	994,6 a	993,6 a
Mn (g ha^{-1})	319,4 a	344,9 a	353,4 a	379,9 a	379,9 a	355,8 a	354,7 a	356,0 a
Cu (g ha^{-1})	182,8 a	139,8 a	166,1 a	129,2 a	138,8 a	135,1 a	138,6 a	180,2 a
Zn (g ha^{-1})	395,1 a	425,6 a	432,4 a	430,1 a	426,3 a	370,6 b	425,2 ab	469,9 a

4. Discussão

A produção de biomassa nas fases vegetativas (19 de fevereiro e 2 de abril) diferiu entre variedades mas não em função dos tratamentos à semente e da aplicação de Zn ao solo. Nestas fases vegetativas, também a concentração de Zn nos tecidos diferiu entre cultivares mas não entre tratamentos com Zn. Na primeira data de amostragem não tinha sido efetuada ainda nenhuma

aplicação de Zn ao solo e na segunda data de amostragem tinha sido feita apenas uma aplicação com Zn ao solo de um total de três que se aplicaram durante a estação de crescimento. É necessário ter em conta que o Zn é um elemento essencial às plantas mas também um elemento tóxico se disponível em quantidades excessivas (Palmgren et al., 2008; Broadley et al., 2012). É provável que nesta experiência o Zn não se encontre nem numa nem noutra situação. Os teores de Zn nos tecidos na segunda data de amostragem estiveram compreendidos entre 31,8 e 40,4 mg kg^{-1}, sendo que as concentrações adequadas para trigo de inverno nesta fase estão definidas entre 20 e 70 mg kg^{-1} (Bryson et al., 2014).

Alguns importantes componentes de produção como massa específica do grão, massa de 1000 grãos e índice de colheita mostraram pouca sensibilidade ao uso de sementes tratadas com Zn e à aplicação de Zn ao solo. A produção de grão variou significativamente com a cultivar mas também não diferiu entre tratamentos com Zn à semente e ao solo. Yilmaz et al. (1997) mostraram que diferentes tratamentos de Zn às sementes, ao solo e foliar aumentaram significativamente a produção de grão de quatro cultivares de trigo cultivadas num solo calcário severamente deficiente em Zn. Nos estudos de Yilmaz et al. (1997), as modalidades com aplicação de Zn ao solo foram as que originaram as produções mais elevadas. A produção de palha e a produção total de biomassa aérea também não diferiram com os tratamentos com Zn. Tal como no grão, Yilmaz et al. (1997) registaram aumentos de biomassa total na parte aérea com aplicações de Zn, tendo sido registados os valores mais elevados também com aplicações ao solo, comparativamente com tratamentos à semente e aplicações foliares.

A concentração de alguns importantes nutrientes no grão variou com a cultivar mas não com os tratamentos com Zn. Assim, a aplicação de Zn parece interferir pouco com a absorção de outros elementos. De igual forma, a concentração de Zn no grão foi significativamente influenciada pela cultivar mas não pelos tratamentos de Zn à semente e ao solo. As maiores aplicações de Zn ao solo originaram concentrações médias de Zn no grão mais elevadas mas as diferenças não tiveram significado estatístico (37,7 e 42,4 mg kg^{-1}, respetivamente nas modalidades menos e mais fertilizadas). Em solos com deficiência em Zn, Yielmaz et al. (1997) registaram valores de Zn no grão a variar entre 10 mg kg^{-1} (testemunha) e 38 mg kg^{-1} (modalidade com aplicação de Zn ao solo). Também em solos pobres em Zn, Cakmak et al. (2010) registaram valores médios de Zn de 11, 22 e 27 mg kg^{-1}, respetivamente nas modalidades testemunha, aplicação foliar e aplicação ao solo + foliar. Em solos não deficientes, duas aplicações foliares de Zn elevaram as concentrações foliares de 28 mg kg^{-1} (testemunha) para 58 mg kg^{-1}. Ajiboye et al. (2015) registaram valores de Zn a variar entre 32 e 65 mg kg^{-1} entre uma modalidade testemunha e outra com duas aplicações foliares de Zn, uma ao alongamento do caule e outra no estado leitoso do grão, na cultivar Adrana e 23 e 56 mg kg^{-1} na cultivar Samsun. Assim, os valores elevados de Zn observados no estudo que se apresenta neste trabalho na modalidade menos fertilizada (37,7 mg kg^{-1}), explicam a fraca resposta do trigo ao Zn nas condições desta experiência.

A aplicação de Zn ao solo aumentou de forma significativa a concentração de Zn na palha. Os valores médios variaram entre 14,7 e 25,5 mg kg^{-1} nas modalidades menos e mais fertilizadas. Yilmaz et al. (1997) registaram valores de concentração de Zn na palha a variar entre 10 e 82 mg kg^{-1}, respetivamente na modalidade testemunha e numa modalidade com aplicação de Zn ao solo e por via foliar.

Nas condições e cultivares usadas nesta experiência, as concentrações de Zn no grão foram mais elevadas que na palha, embora a palha tenha apresentado maior variação à aplicação de Zn. O Zn apresenta mobilidade no floema (Broadley et al., 2012; Ajiboye et al., 2015), o que facilita a sua restranslocação das folhas para o grão. Contudo, desde a raiz até ao grão surgem várias barreiras fisiológicas ao transporte do elemento o que pode reduzir a eficiência fisiológica de acumulação no grão. Desde que é absorbido até chegar ao grão, o Zn tem de sair duas vezes do simplasto, primeiro quando é carregado no xilema para ser transportado para as folhas e depois durante a senescência

das folhas e enchimento do grão quando é descarregado no floema para ser conduzido ao grão (Cakmak et al., 2010).

5. Conclusões

Nas condições desta experiência a aplicação de Zn não influenciou o desempenho da cultura. O efeito das cultivares foi sempre mais importante que o efeito dos tratamentos. O uso de sementes provenientes de plantas previamente enriquecidas em Zn não teve qualquer efeito nos resultados incluindo na concentração do nutriente no grão ou na palha, talvez porque quantitativamente seja pouco relevante. A aplicação de Zn ao solo aumentou os teores médios de Zn no grão mas sem diferenças significativas e aumentou de forma significativa os teores de Zn na palha. Os resultados mostraram que a tentativa de biofortificação com Zn através de sementes tratadas e da aplicação de Zn ao solo teve um resultado modesto. Contudo, o resultado não põe em questão o potencial da biofortificação agronómica. A fraca resposta à aplicação de Zn terá sido devida à boa disponibilidade natural de Zn neste solo. Deste trabalho ficou também uma pista para a biofortificação genética. Um dos aspetos importantes do melhoramento será a melhoria da eficiência fisiológica de uso do Zn pela planta, de forma a que este se acumule preferencialmente no grão e não na palha.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e ao FEDER, programa PT2020, pelo suporte financeiro ao CIMO (UID/AGR/00690/2013).

Referências

Ajiboye, B., Cakmak, I., Paterson, D., de Jonge, M.D., Howard, D.L., Stacey, S.P., Torum, A.A., Aydin, N., McLaughlin, M.J. 2015. X-ray flourescence microscopy of zinc localization in wheat grains biofortified through zinc applications at different growth stages under field conditions. *Plant Soil* 392: 357-370.

Alloway, B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environ Geochem Health* 31: 537-548.

Bouis, H. E., Welch, R.M. 2010. Biofortification – A sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. *Crop Sci* 50:S-20-S32.

Bouis, H.E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J.V., Pfeiffer, W.H. 2011. Biofortification: a new toot to reduce micronutrient malnutrition. *Food and nutrition Bulletin*, 32 (1): S31-S40.

Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., Zhao, F. 2012. Functions of nutrients: micronutrients. In: Marschner P (ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, UK, pp 191–248

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil* 302: 11-17.

Cakmak, I. 2009. Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. *J Trace Elements in Medicine and Biology* 23: 281-289.

Cakmak, I., Hoffland, E. 2012. Zinc for the improvement of crop production and human health. *Plant Soi*l 361:1–2

Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A.A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A., Gokmen, O., Ozturk, L., Horst, W.J. 2010. *J Agric Food Chem* 58: 9092-9102.

Dimkpa, C. O., Bindraban, P. S. 2016. Forfification of micronutrients for eficient agronomic production: a Review. *Agron Sustain Dev* 36: 7

Bryson, G.M.; Mills, H.A.; Sasseville, D.N.; Jones, J.B.Jr.; Barker, A.V. 2014. *Plant Analysis Handbook III. A guide to sampling, preparation, analysis, interpretation and use of agronomic and horticultural crop plant tissue*. Micro-Macro Publishing, Inc., Athens, GA.

Palmgren, M.G., Clemens, S., Williams, L.E., Kramer, U., Borg, S., Schjørring, J.K., Sanders, D. 2008. Zinc biofortification of cereals: problems and solutions. *Trends in Plant Science* 13: 464-473.

Valença, A.W., Bake, A, Brouwer, I.D., Giller, K.E. 2017. Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa. *Global Food Security* !2: 8-14.

Velu, G., Ortiz-Monasterio, I., Cakmak, I., Hao, Y. Singh, R.P. 2014. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. *J Cereal Sci* 59: 365-372.

Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlik, S., Bagci, S.A., Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*, 20(4&5): 461-471.

IX congresso ibérico de
AGROENGENHARIA
IX congreso ibérico de
AGROINGENIERÍA

patrocinadores

EurAgEng

CIMO Centro de Investigação de Montanha

TERMOLAN
ISOLAMENTOS TERMO-ACÚSTICOS, S.A.

ROCTERM

vórtice
Equipamentos Científicos, Lda.

Bragança

Caixa CA
Fundação