

# ROA

Revista Científica Agropecuaria

Número Especial UMS 2019  
IX Congreso sobre  
Uso y Manejo del suelo.

Número 23 (1) 2019  
ISSN 0329-3602  
ORO VERDE - ENTRE RIOS - ARGENTINA



 Facultad de Ciencias  
Agropecuarias





REVISTA DE LA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



Universidad Nacional  
de **Entre Ríos**

**Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina**

Número 23(1) - 2019  
ISSN 0329-3602



# UMS 2019

## IX Congreso sobre Uso y Manejo del Suelo

“CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE SUELOS Y AGUA”

### COMITÉ ORGANIZADOR

- » Marcelo G. Wilson (INTA)
- » Rosana del C. Hämmerly (FICH UNL)
- » Antonio Paz González (UDC, España)
- » Eduardo L. Díaz (FCA UNER)
- » Silvana M. J. Sione (FCA UNER)
- » Roberto P. Marano (FCA UNL)
- » Graciela V. Zuccarelli (FICH UNL)
- » Luis M. Lenzi (INA)
- » María C. Sasal (INTA)
- » Dora C. Sosa (INA)
- » Emilia C. Romero (FCA UNER)
- » Oscar C. Duarte (FCA UNER)
- » Norma G. Boschetti (FCA UNER)
- » César E. Quintero (FCA UNER)
- » Edgardo Arévalo (FCA UNER)
- » Mariano F. Saluzzio (FCA UNER)

#### INSTITUCIONES ORGANIZADORAS

 Facultad de Ciencias  
UNER Agropecuarias



UNL • FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS HÍDRICAS



UNL • FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

#### AUSPICIANTE



CoPAER  
COLEGIO DE PROFESIONALES DE LA AGRONOMÍA DE ENTRE RÍOS

# AUTORIDADES

## UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RÍOS

Rector: Cdor. Andrés E. Sabella

## FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Decano: Ing. Agr. Dr. Pedro A. Barbagelata

Vicedecana: Ing. Agr. Dra. Silvia M. Benintende

---

## REVISTA CIENTÍFICA AGROPECUARIA

*Publicación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias*

*de la Universidad Nacional de Entre Ríos*

*Número 23 (1) – Noviembre 2019*

*ISSN 0329-3602*

### EDITOR

Dra. Silvana M.J. SIONE (UNER)

(Directora Científica)

### COMITE EDITOR

Dr. Octavio CAVIGLIA (UNER)

Dr. Víctor H. LALLANA (UNER)

Ing. Agr. MSc. Cecilia I. SÁNCHEZ (UNER)

Dra. Ana B. WINGEYER (INTA)

Ing. Agr. Rafael A. SABATTINI (UNER)

Dra. Eva VIDAL VÁZQUEZ (UDC)

Dr. Marcelo NOSETTO (UNER-CONICET)

Dra. Isabel B. TRUFFER (UNER)

Dr. Oscar VALENTINUZ (UNER-INTA)

Ing. Agr. MSc. Lucrecia LEZANA (UNER-INTA)

Lic. Adriana Margarita GIECO (UNER)

Ing. Agr. Marcelo PRAND (UNER)

Dr. Hernán J. ANDRADE CASTAÑEDA (UT)

---

*La Revista Científica Agropecuaria es el órgano de difusión de las obras técnico-científicas producidas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER, pudiendo dar cabida a las de otros organismos de similar nivel académico. Podrá incluir como Misceláneas, comunicaciones o notas breves de experimentaciones, revisiones bibliográficas, proposiciones para la enseñanza universitaria y toda otra contribución de interés agronómico.*

Esta Revista integra el LATINDEX (Directorio Latinoamericano de Revistas Periódicas) Folio 3348 y fue evaluada en Nivel 1 por el CAICYT-CONICET. Es indexada por el CAB Abstracts.

El presente volumen fue financiado con fondos del IX Congreso sobre Uso y Manejo del Suelo, desarrollado en las ciudades de Paraná y Santa Fe en Noviembre de 2019.

La correspondencia relacionada con la adquisición y/o canje de la RCA, debe enviarse a la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Ruta 11, km 10,5 – 3101 Oro Verde, Entre Ríos, República Argentina

### Memoria Descriptiva

En el logotipo se sintetiza el universo que contiene las ciencias agropecuarias simbolizando los cultivos o las plantas en general en la parte inferior de la letra C con color verde, las rayas oblicuas, el suelo sembrado y la parte superior, en azul, la atmósfera. De esta forma vinculando los factores abióticos y bióticos, con el aporte de la ciencia agropecuaria se generan día a día nuevos conocimientos que se difundirán a partir de la **Revista Científica Agropecuaria**.

---

## Nómina de Asesores que colaboraron con el Comité Editor de la RCA

Ing. En Rec. Hídr. MSc. Mabel E. AMARILLA (INTA)

Dr. Celio I. CHAGAS (FAUBA)

Dra. Rosane DIAS da SILVA (UDC, España)

Dr. Eduardo L. DÍAZ (FCA UNER)

Dr. Oscar C. DUARTE (FCA UNER-FICH UNL)

Dr. Enio FARÍAS de FRANCA e SILVA (UFRP, Brasil)

Dr. Aitor GARCÍA TOMILLO (UDC, España)

Dr. Jorge J. GVOZDENOVICH (INTA-FCA UNER)

Dra. Rosana del C. HÄMMERLY (FICH UNL)

Ing. Agr. Alejandro E. MAGGI (FAUBA)

Dr. Roberto P. MARANO (FCA UNL)

Dr. Leonardo E. NOVELLI (FCA UNER-CONICET)

Dr. José D. OSZUST (FCA UNER)

Dr. Antonio PAZ GONZÁLEZ (UDC, España)

Dr. Raúl A. PEDRAZA (FICH UNL)

Ing. Agr. Mariano F. SALUZZIO (FCA UNER)

Dra. Dora SOSA (INA)

Dr. Marcelo G. WILSON (INTA)

Dra. Graciela V. ZUCARELLI (FICH UNL)

### Revisión de idioma inglés

Mgtr. Gabriela Aruga

Ing. Agr. Daian Francia Laurenzo

---

DG: Matilde LALLANA

Diseño tapa: Luciana SPADILLERO

Fotos de tapa: "Parcelas de escorrentía del INTA EEA Paraná". María C. SASAL



Ruta 11, km 10,5 - 3101 Oro Verde, Entre Ríos - Argentina



[rca@fca.uner.edu.ar](mailto:rca@fca.uner.edu.ar)



[fca.uner.edu.ar/index.php/menuinvestigacion/publicaciones/revista-cientifica](http://fca.uner.edu.ar/index.php/menuinvestigacion/publicaciones/revista-cientifica)

# INDICE

Número 23 (1) Noviembre de 2019

Revista Científica Agropecuaria

ISSN 0329-3602

NÚMERO ESPECIAL CONGRESO UMS 2019

---

## Prólogo

Wilson, Marcelo G.

Pág. 11-12

---

## Trabajos científicos

Impacto de escenarios climáticos sobre los derrames del Litoral argentino

Hämmerly, Rosana del C.; Zucarelli, Graciela V.; Paoli, Carlos U.

Pág. 15-26

---

Régimen de precipitaciones en el centro oeste de Entre Ríos

Oszust, José D.; Wilson, Marcelo G.; Wingeyer, Ana; Seehaus, Mariela S.; Sasal, María C.; Gabioud, Emmanuel A.; Van Opstal, Natalia V.

Pág. 27-34

---

Caracterización de la Cuenca del Arroyo Estacas y relación con el uso del suelo y la morfología del cauce.

Pighini, Ramiro J.; Wingeyer, Ana; Wilson, Marcelo G.; Gabioud, Emmanuel A.; Van Opstal, Natalia V.; Seehaus, Mariela S.; Sasal, María C.

Pág. 35-48

---

Exportación de nitrato soluble de la cuenca agroforestal del río Valiñas en A Coruña, España.

Da Silva Dias, Rosane; Pisani Veiga, Bruno; García-Rendueles, Acacia N.; García-Tomillo, Aitor; Lado, Marcos; Paz González, Antonio

Pág. 49-62

---

Gestión de cuenca: plan integral para el área de conservación de suelos de la Aldea Santa María.

Ramírez, Roxana G.; Wilson, Marcelo G.; Marizza, Marta S.; Duarte, Oscar C.; Gabioud, Emmanuel A.

Pág. 63-75

---

La gestión integrada del agua como aporte al trabajo articulado en la Cuenca del Arroyo Los Troncos (provincia de Santa Fe, Argentina).

Marano, Roberto P.; Sandoval, Patricia S.; Pilatti, Miguel A.; Mihura, Enrique R.; Pusineri, Graciela M.; Arbuét, María A.; Paris, Marta del C.; Canesini, María C.; Guerra, Salomé C.; Srayh, Sergio O.

Pág. 76-89

---

Erosión y sedimentación en un lote ondulado bajo siembra directa: su efecto sobre algunas propiedades edáficas superficiales.

Castiglioni, Mario G.; Reddel Bianco, Trinidad

Pág. 90-103

---

Perfiles de resistividad eléctrica del suelo en terrazas de viñedo.

García-Tomillo, Aitor; de Figueiredo, Tomás; Dafonte, Jorge; Bandeira, Douglas H.; Royer, Ana C.; Fonseca, Felícia; Paz González, Antonio

Pág. 104-115

---

---

Infiltración de agua en el suelo bajo siembra directa después de una modificación de manejo.

Segalla Prazeres, Marco; Bertol, Ildegardis; Padilha Macedo, Roberta; Diel Curvelo, Matheus; Kauling, Artur; Bagio, Barbara; Costa de Oliveira, Luciane

**Pág. 116-120**

---

Aplicación de técnicas de drenaje para el cultivo de alfalfa en la Cuenca Lechera Santafesina.

Camussi, Germán F.; Micheloud, Elisabeth N.; Bocco, Joaquín; Micheloud, Hugo A.; Marano, Roberto P.

**Pág. 121-134**

---

## **Nota**

Entre Ríos Entre Arroyos: modelo de ordenamiento y desarrollo territorial sustentable.

Armándola, María P.

**Pág. 137-148**

---

## **Instrucciones a los autores**

**Pág. 149-152**

---

## **Contents**

**Pág. 153-154**

---

## PERFILES DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO EN TERRAZAS DE VIÑEDO

Aitor GARCÍA-TOMILLO<sup>1</sup>, Tomás de FIGUEIREDO<sup>2</sup>, Jorge DAFONTE<sup>3</sup>, Douglas Henrique BANDEIRA<sup>1</sup>, Ana Caroline ROYER<sup>2</sup>, Felícia FONSECA<sup>2</sup>, Antonio PAZ GONZÁLEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade da Coruña, Centro de Investigaciones Científicas Avanzadas (CICA), Facultad de Ciencias, A Coruña, España.

<sup>2</sup>Instituto Politécnico de Bragança (ESA/IPB), Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Campus de Santa Apolonia, 5300-253 Bragança, Portugal.

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Santiago de Compostela – Benigno Ledo s/n. CP-27002, Lugo, España.

Autor para correspondencia: aitor.garcia.tomillo@udc.es

### RESUMEN

Los viñedos de la Región del Douro, con 460 km<sup>2</sup>, contribuyen de manera decisiva a la economía de la región, así como a la de Portugal. La región del Douro fue reconocida en 2001 por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad, haciendo que la conservación y sostenibilidad de los recursos, como el agua y suelo, sean de extrema importancia. La topografía de esta Región la hace especialmente vulnerable a la erosión, lo que ha llevado a la implantación de estructuras de conservación, las terrazas, cuya construcción altera la estructura interna del suelo y la circulación de agua, tanto dentro como fuera del perfil. El objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de agua en un viñedo en terrazas mediante el uso de la Tomografía Eléctrica Resistiva (TER). La TER ha sido ampliamente utilizada para evaluar el contenido de humedad del suelo, incorporando en este caso la variable topográfica al modelo para obtener un mapa más real. El estudio se desarrolló en los viñedos en terraza en Peso da Régua, (Portugal). Se realizaron 8 transectas de TER en las zonas cóncava y convexa de la ladera con terrazas, 4 paralelas (2 de ellos con una separación entre electrodos de 0,5 m y 2 de ellos con separación de 0,2 m) y 4 perpendiculares a la pendiente (0,5 m de separación entre electrodos). Se tomaron muestras de suelo para determinar el contenido de agua del suelo a 4 profundidades en el caso de los patamares (terraplenes) superior, intermedio e inferior (0,0 - 0,05 m; 0,05 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m; >0,20 m) y a dos profundidades para el caso de los taludes superior e inferior (0,0 - 0,05 m y 0,05 - 0,10 m). La zona convexa presentó en todas las profundidades estudiadas un mayor contenido de humedad (>2%-5%) que las mismas áreas en la zona cóncava. Los perfiles de TER obtenidos están en consonancia con los valores del contenido de agua del suelo obtenidos mediante el muestreo al comparar las dos subáreas (convexa y cóncava), tanto en la capa superficial como en profundidad; poniendo de manifiesto que incorporando la topografía como variable al cálculo de los perfiles de Resistividad Eléctrica, se obtienen perfiles que describen apropiadamente la distribución del agua del suelo en viñedos cultivados en terrazas.

**Palabras clave:** viñedos en pendiente, terrazas, humedad del suelo, Tomografía Eléctrica Resistiva

## SUMMARY

### Soil electrical resistivity profiles in terraced vineyards

The vineyards of the *Douro* Region, with its 460 km<sup>2</sup>, contribute in a decisive way to the economy of the region, as well as that of Portugal. The Douro Valley was granted UNESCO World Heritage Site status in 2001, making conservation and sustainability of resources like water and soil, of extreme importance. The topography of this region makes it especially vulnerable to erosion, which has led to the implementation of conservation structures called terraces, which alter the internal structure of the soil and water circulation, both within the soil profile as out of it. The objective of this study was to evaluate soil moisture in a terraced vineyard by using the Electrical Resistivity Tomography (ERT) method. The ERT method has been widely used to evaluate soil moisture, but in this case topography as a variable was included into the model to obtain a more effective map. The study was carried out in the terraced vineyards located in Peso da Régua, in Portugal. ERT measurements were carried out along eight transects in the concave and convex shape areas of the terraced hillside. Four transects were parallel to the main slope direction (two of them with an electrode distancing of 0.5 m and the other two with a 0.2 m distancing). The other four transects were perpendicular to the main slope direction with a 0.5 m electrode spacing. Soil samples to determine soil moisture were taken at 4 depths in the upper, intermediate and lower levels (0.0-0.05 m; 0.05-0.10 m; 0.10-0.20 m; > 0.20 m) and two depths in the upper and lower terrace risers (0.0-0.05 m and 0.05-0.10 m). In all the studied depths, the convex shaped area resulted in higher moisture contents (>2%-5%) than those in the concave shaped ones. When comparing the two subareas, the ERT profiles are in line with the soil moisture values obtained by sampling, both in the surface and in depth. Profiles appropriately describing the distribution of soil water in terraced vineyards are obtained, highlighting the importance of using topography as a variable for the calculation of electrical resistivity profiles.

**Keywords:** sloping vineyards, terraces, soil water content, Electrical Resistivity Tomography

## Introducción

La región vitícola del “Douro” tiene una extensión de 2500 km<sup>2</sup> de las cuales cerca de 460 km<sup>2</sup> son viñedos, produciendo diferentes tipos de vinos entre los que destaca el Oporto, uno de los vinos más célebres, cuyo nivel de exportación contribuye decisivamente a la economía, tanto de esta área en particular como de Portugal. Esta región fue reconocida en 2001 por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad, como paisaje cultural, evolutivo y vivo, con lo que es de extrema importancia la conservación y sostenibilidad de sus recursos, como son agua y suelo (Bianchi de Aguiar, 2001; Figueiredo, 2015). En contraste con otras zonas vitícolas llanas o ligeramente inclinadas, los viñedos de la

Región del Douro están sujetos a enormes pendientes (Damásio *et al.*, 2010). Esto hace que el suelo de cultivo se vea sometido a altos riesgos erosivos, lo que ha llevado a la implantación de estructuras de conservación del suelo, las terrazas, tan características de esta región. Las terrazas tradicionales, sujetas mediante paredes verticales de piedra seca construidas manualmente, han sido sustituidas por *patamares* (terraplenes) construidos mecánicamente, con taludes de tierra con inclinaciones de 100 - 175%. Este cambio responde a la necesidad de adaptarse a las nuevas tecnologías en la automatización del trabajo en viñedo (Fernandes *et al.*, 2017). La construcción de *patamares* y taludes para la sujeción de las terrazas causan alteraciones

tanto en la estructura interna del suelo como en la circulación de agua en el mismo (Figueiredo, 2015; Fernandes *et al.*, 2017). Por otra parte, tratándose de una región de clima mediterráneo, el agua es un recurso escaso esencial a la producción del cultivo, por lo cual es importante profundizar el conocimiento de la distribución del agua en el suelo de las terrazas vitícolas de esta región.

La Tomografía Eléctrica Resistiva (TER) es una técnica no invasiva utilizada en el análisis de la variabilidad espacial y temporal del suelo. La TER ha sido empleada en estudios de aguas subterráneas, transporte de solutos, manejo del suelo, exploración de áreas compactadas, así como en la evaluación de propiedades hidrológicas del suelo. La TER ha sido ampliamente utilizada para la estimación del contenido del agua en el suelo (Beff *et al.*, 2013; Samouëlian *et al.*, 2005). Friedman (2005) considera que la resistividad eléctrica (RE) se ve afectada por diferentes propiedades del suelo; como el contenido en agua, porosidad, capacidad de intercambio catiónico, estructura, forma, orientación y distribución del tamaño de partículas, temperatura, entre otras. La TER ha sido empleada con anterioridad por diversos autores en suelos de viñedo (Courjault-Rade *et al.*, 2010; Dafonte *et al.*, 2013; Brillante *et al.*, 2015), concluyendo Dafonte *et al.*, 2013, que es un método que permite evaluar de forma cualitativa la distribución de agua en el suelo. Sin embargo, si la TER se realiza en terrenos irregulares los efectos topográficos pueden producir anomalías engañosas (Fox *et al.*, 1980). Por lo tanto, es importante evaluar los posibles efectos topográficos y tratar de eliminarlos a la hora de realizar e interpretar el perfil de RE del suelo. Una manera de eliminar el efecto de topografía en la RE es incorporar la topografía a la estimación de la RE (Lu *et al.*, 2015).

Se plantea como hipótesis que las diferencias en la forma topográfica de la ladera (cóncava frente a convexa) se traducen en diferencias en el contenido de humedad del suelo en las dos subáreas. En este trabajo se propone aplicar la tecnología de TER para evaluar la

distribución del contenido del agua en el suelo en parcelas de topografía compleja, como es el caso de los viñedos en terrazas del Douro.

## Materiales y métodos

### Área de Estudio

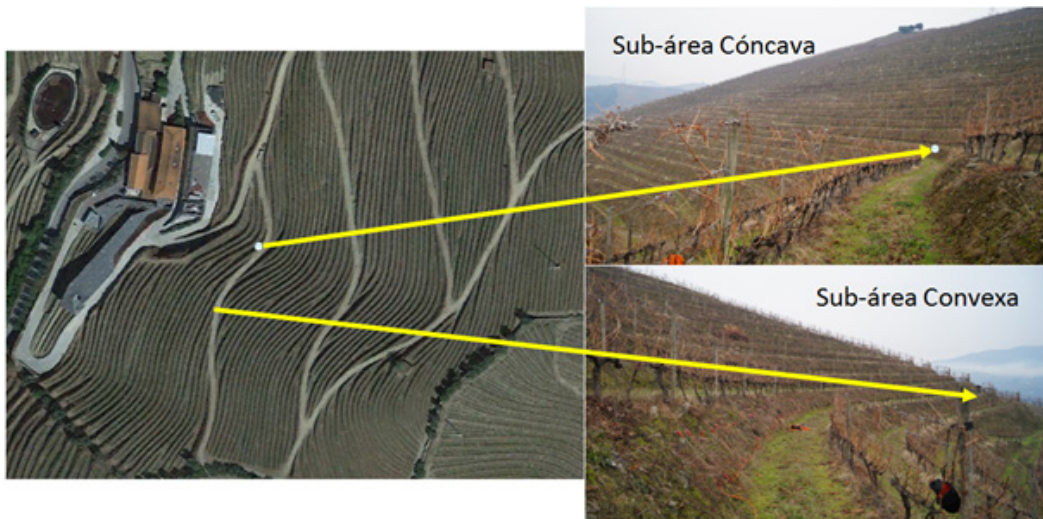
El estudio se desarrolló en la Región del Douro en los viñedos en terrazas de la Vinícola Quinta do Vallado (41° 09,5 N, 7° 45,9 O, 150 m de altitud) en Peso da Régua, Portugal, (Figura 1). Los suelos, desarrollados sobre esquistos, son calificados como Dystric Anthrosols (Agroconsultores e Coba, 1991) de acuerdo con la leyenda FAO/UNESCO (1988). Presentan un perfil altamente perturbado por las operaciones de instalación de las terrazas y plantación del viñedo, con elevada pedregosidad en todo el perfil, desde el horizonte superficial. Presentan además, un alto contenido en arena fina y limo (franco-limosos) y bajo a muy bajo contenido en materia orgánica.

La inclinación natural del terreno en el área de estudio es del 98%. Las terrazas, instaladas según la curva de nivel, tienen terraplenes horizontales con 2 m de ancho, como promedio de la parcela estudiada y con una altura media del talud de 1,35 m. Las viñas están plantadas en el *patamar*, junto al borde superior del talud. Estos son de tierra, cubiertos por vegetación herbácea espontánea muy esparcida. Es un cultivo sin laboreo, con control mecánico de malas hierbas.

Con el fin de evaluar el contenido de humedad en las terrazas se eligieron dentro del viñedo dos sub-áreas diferenciadas en cuanto a la forma original del terreno: zona convexa, correspondiendo a una línea de cresta, y zona cóncava, correspondiendo a un *talweg* (vaguada) (Figura 1).

### Tomografía Eléctrica Resistiva (TER)

Se llevaron a cabo en total 8 transectos de TER: 4 transectos paralelos a la pendiente, 2 en la zona más convexa de las terrazas y 2 en la zona cóncava de la misma (2 de ellos con una separación de electrodos de 0,5 m y 2 de

**B- Sub-áreas muestreadas****Figura 1.** Localización del área de estudio (A) y sub-áreas de muestreo en el viñedo en terrazas (B)

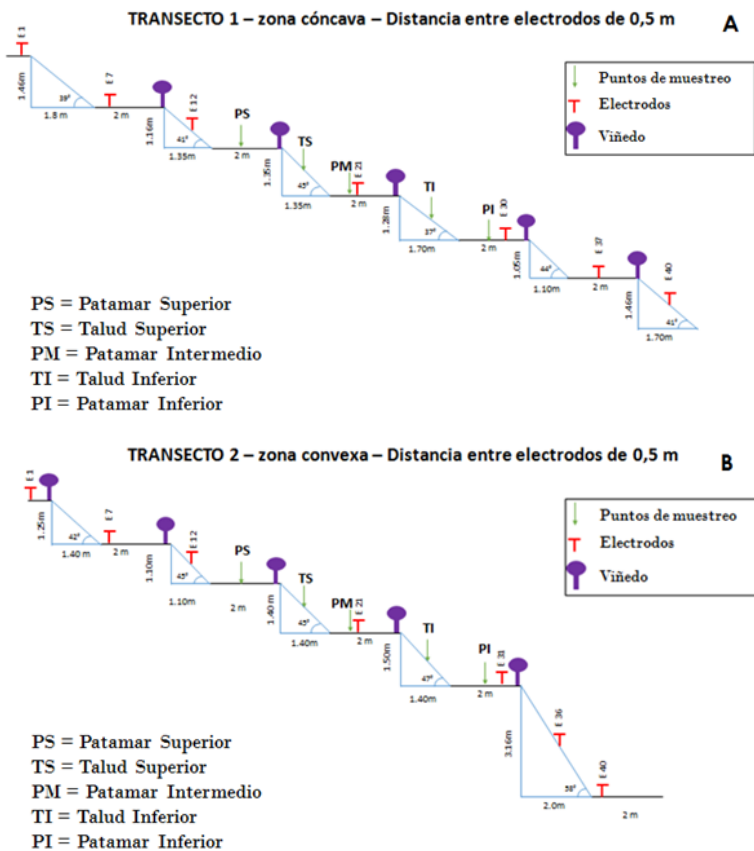
ellos 0,2 m) y 4 transectos perpendiculares a la pendiente (0,5 m separación entre electrodos), uno en el *patamar* de la zona convexa y otro en el talud superior; e igualmente en la zona cóncava.

En resumen (Tabla1): T1 - zona cóncava y 0,5 m distancia entre electrodos, T2 - zona convexa y 0,5 m distancia entre electrodos, T3 - zona cóncava y 0,2 m distancia entre electrodos, T4 - zona convexa y 0,2 m distancia entre electrodos, T5 - zona cóncava

*patamar* intermedio cóncava y 0,5 m distancia entre electrodos, T6 - zona cóncava talud superior cóncava y 0,5 m distancia entre electrodos, T7 - zona convexa *patamar* Intermedio cóncava y 0,5 m distancia entre electrodos y T8 - zona convexa talud superior cóncava y 0,5 m distancia entre electrodos (Figura 2). En T3 y el T4 se ha utilizado una distancia entre electrodos (0,2 m) diferente al resto de transectos con el fin de obtener una mayor resolución de la RE en la zona más

**Tabla 1.** Transectos TER en el viñedo en Terraza en Peso da Régua según su posición en el viñedo, relación con la pendiente y distancia entre electrodos.

Transectos Paralelos a la Pendiente (1-4)				
	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4
Zona del viñedo	Cóncava	Convexa	Cóncava	Convexa
Distancia ente electrodos	0,5 m	0,5 m	0,2 m	0,2 m
Transectos Perpendiculares a la Pendiente (5-8)				
	Transecto 5	Transecto 6	Transecto 7	Transecto 8
Zona del viñedo	Cóncava	Cóncava	Convexa	Convexa
Posición en las Terrazas	Patamar Intermedio	Talud superior	Patamar Intermedio	Talud superior
Distancia entre electrodos	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m



**Figura 2a.** Diseño Experimental en el viñedo en Terrazas. A - Transecto 1, B - Transecto 2

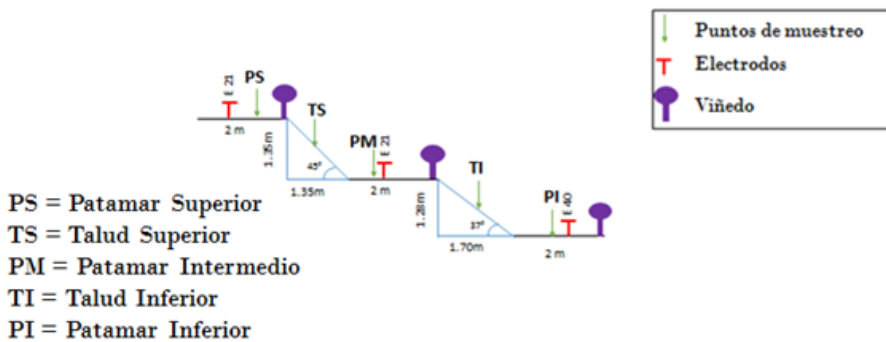
superficial, aunque para ello la longitud del transecto se vea reducida.

El equipo para llevar a cabo la TER fue un Terrameter SAS 1000 (ABEM). El método para obtener los modelos de resistividad del terreno se basa en la inyección de una corriente eléctrica en el subsuelo de intensidad conocida y en la medición de la diferencia de potencial generada por la misma en dos puntos, existiendo la posibilidad de usar diferentes protocolos de medidas en función del objetivo del estudio (Wenner, Schlumberger, Dipolo-Dipolo,...Loke, 2011). Este procedimiento se repite en todo el transecto, y una vez obtenidas las medidas se dispone de una distribución de resistividades aparentes a lo largo del sub-suelo. Dado que

el terreno es heterogéneo, este conjunto de resistividades no corresponde a la distribución real de resistividades. El cálculo para obtener el modelo real de resistividades se realiza a partir de la resistividad aparente registrada en campo, utilizando técnicas de inversión, como las que utiliza el software RES2DINV (Loke, 2011) usado en este trabajo. Por consiguiente, los datos obtenidos (resistividad eléctrica aparente) fueron invertidos utilizando el software RES2DINV para conseguir un modelo 2D de los datos de resistividad real, teniendo en cuenta además la corrección debido a los efectos de la topografía en el modelo geoelectrico de los transectos T1,T2,T3 y T4. El protocolo escogido para la toma de muestras fue el

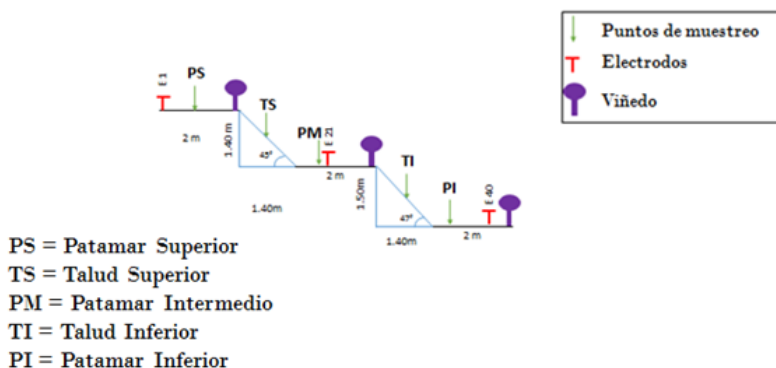
### TRANSECTO 3 – zona cóncava – Distancia entre electrodos de 0,2 cm

C



### TRANSECTO 4 – zona convexa – Distancia entre electrodos de 0,2 m

D



**Figura 2b.** . Diseño Experimental en el viñedo en Terrazas. C - Transecto 3, D - Transecto 4

PERFILES LONGITUDINALES

E

TRANSECTOS horizontales (T5 a T8) – Patamares y Taludes– Distancia entre electrodos de 0,5 m

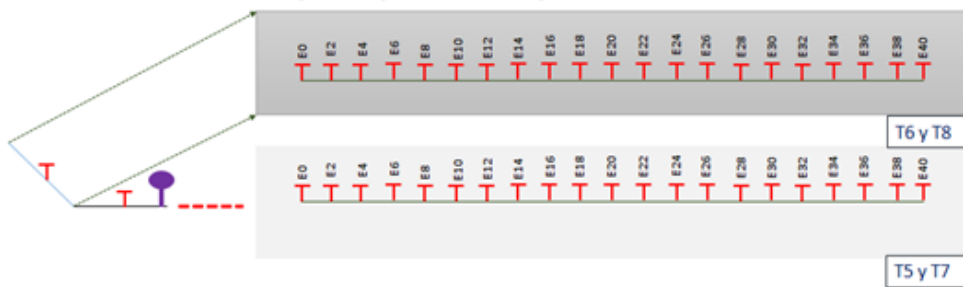


Figura 2c. . Diseño Experimental en el viñedo en Terrazas. E - Transectos 5-8 (Longitudinales)

Wenner (Wenner 32SX) puesto que es el que se considera más apropiado para el estudio de estructuras horizontales, y tiene una mayor fortaleza de la señal (Loke, 2011; Samouëlian *et al.*, 2005), que en este caso de este estudio es lo deseado.

Muestreo de suelo

Se tomaron muestras para determinar el contenido de agua del suelo a 4 profundidades en el caso de los *patamares* superior, intermedio e inferior (0,0 - 0,05 m; 0,05 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m; >0,20 m) y a dos profundidades para el caso de los taludes superior e inferior (0,0 - 0,05 m y 0,05 - 0,10 m) (Figura 2a, 2b y 2c). La inestabilidad del suelo superficial de los taludes no permite un muestreo adecuado a profundidad superior a 0,10 m.

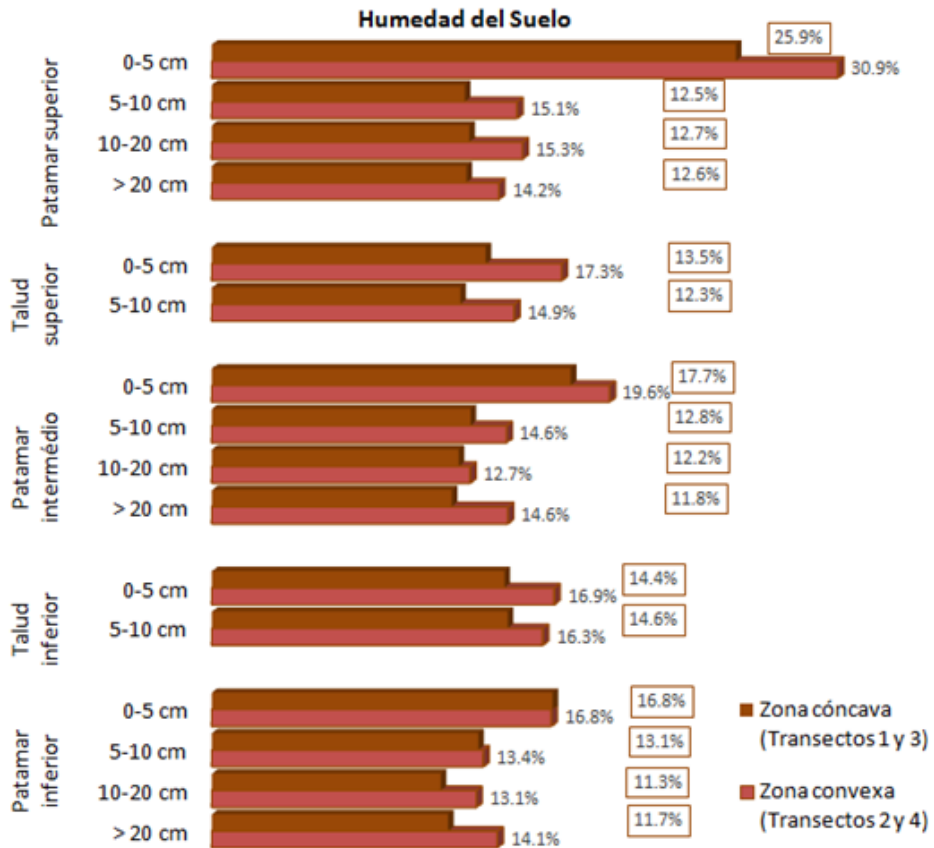
Se eligieran 5 puntos de muestreo a lo largo de cada transecto de TER. En los transectos T1 a T4, las muestras se tomaron en los *patamares* superior, intermedio (central) e inferior, y en los respectivos taludes (Figura 2a y 2b), mientras que en los T5 a T8 se recogieron en *patamar* y su respectivo talud superior, en el centro del transecto, en los extremos y entre el centro y extremo (Figura 2c).

Las muestras fueron recogidas en cilindros metálicos de 100 cm<sup>3</sup>, transportadas al laboratorio, secadas en estufa a 105°C durante 24h, determinándose el peso inicial y final, con lo que se calculó el contenido de humedad del suelo.

Resultados y discusión

El mayor contenido en humedad, de acuerdo al muestreo realizado se concentra en la profundidad 0-0,05 m de los *patamares*: Superior 25,9%, Intermedio 17,7% e Inferior 16,8% para la zona cóncava y Superior 30,9%, Intermedio 19,6% e Inferior 16,8% para la zona convexa (Figura 3).

En todas las capas de los *patamares* y taludes de la zona convexa se observa un mayor contenido en humedad que en sus complementarios de la zona cóncava, aunque las diferencias sean del orden del 2%, excepto a la profundidad 0 – 0,05 m en el *patamar* superior (5%) (Figura 3). En realidad, la localización del muestreo en zona cóncava o convexa no ha revelado un efecto estadísticamente significativo para los resultados de humedad del suelo (p = 0,142, ANOVA a un factor). El bajo contenido de agua en el suelo y la consecuente baja



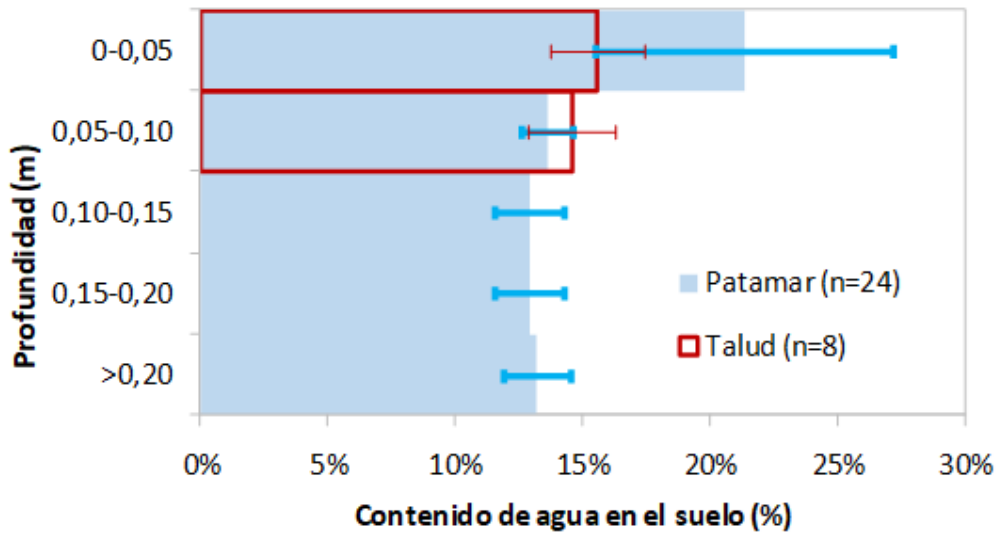
**Figura 3.** Contenido de agua en el suelo del viñedo.

conductividad hidráulica del suelo podrían explicar una dinámica lenta de los flujos de agua sub-superficial y subterránea a escala de ladera. Con esto se limitarían las transferencias de agua del suelo en la dirección de la pendiente y, por lo tanto, la acumulación preferencial esperada en la zona cóncava.

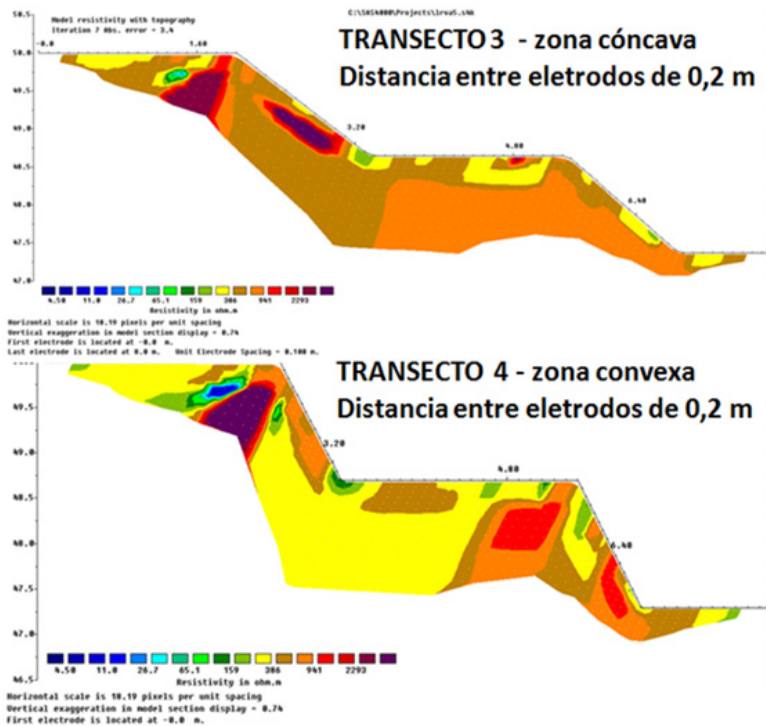
Los perfiles de humedad mediante el muestreo a profundidad  $>0,05$  m muestran valores relativamente más bajos de los esperado en un invierno húmedo (Figura 3); estando el suelo del viñedo en terrazas con contenidos de agua alejados de la saturación (Agroconsultores e Coba, 1991; Figueiredo, 2015). Por lo tanto, los flujos de agua sub-superficiales y subterráneos serán

lentos debido a la drástica disminución de la conductividad hidráulica en suelo no saturado, limitando por lo tanto las transferencias de agua de la capa 0 – 0,05 m, donde los contenidos de agua son significativamente superiores a los de las capas sub-superficiales (Figura 4). De hecho, considerando únicamente los datos de contenido de agua del suelo en los *patamares*, los resultados de la ANOVA a dos factores muestran diferencias significativas entre las capas muestreadas ( $p < 0,001$ ) y diferencias no significativas entre muestras obtenidas en las zonas cóncava y convexa ( $p = 0,163$ ), sin interacción significativa ( $p = 0,995$ ).

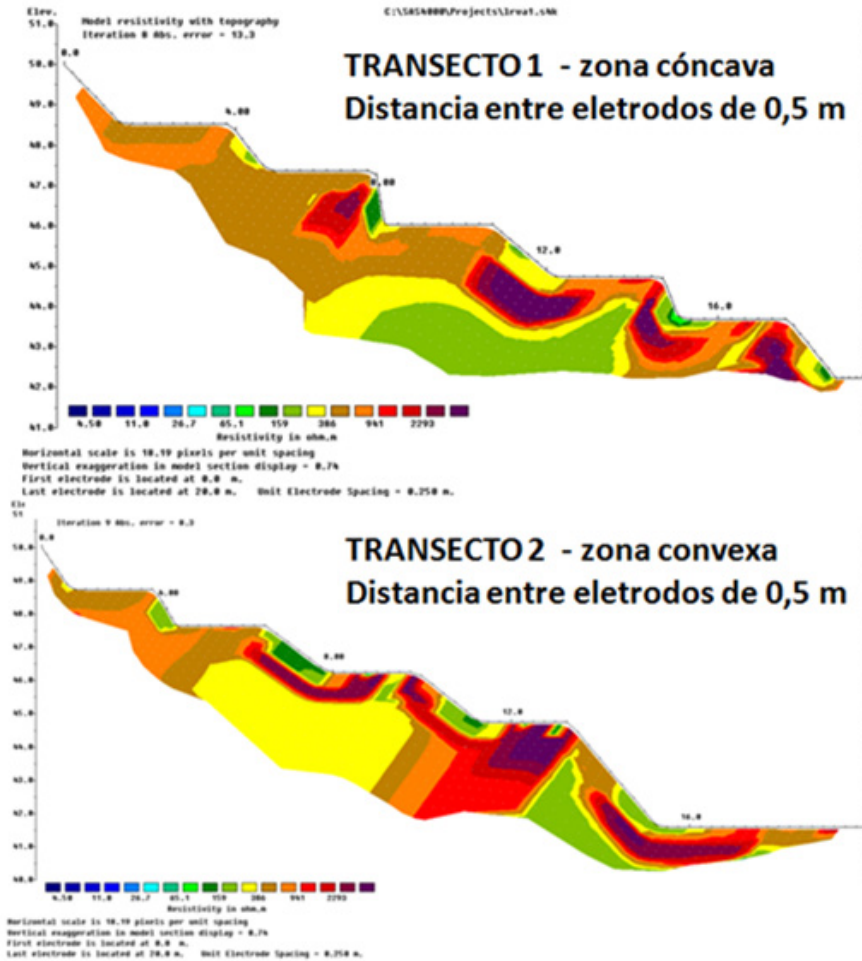
Las capas muestreadas en el talud no corresponden necesariamente a las del



**Figura 4.** Perfiles de contenido de agua del suelo en patamares y taludes de las terrazas del viñedo: promedio y desviación típica (n = número de muestras).



**Figura 5.** Perfiles invertidos de TER en la zona cóncava y convexa del viñedo en terrazas (0,2 m separación electrodos).

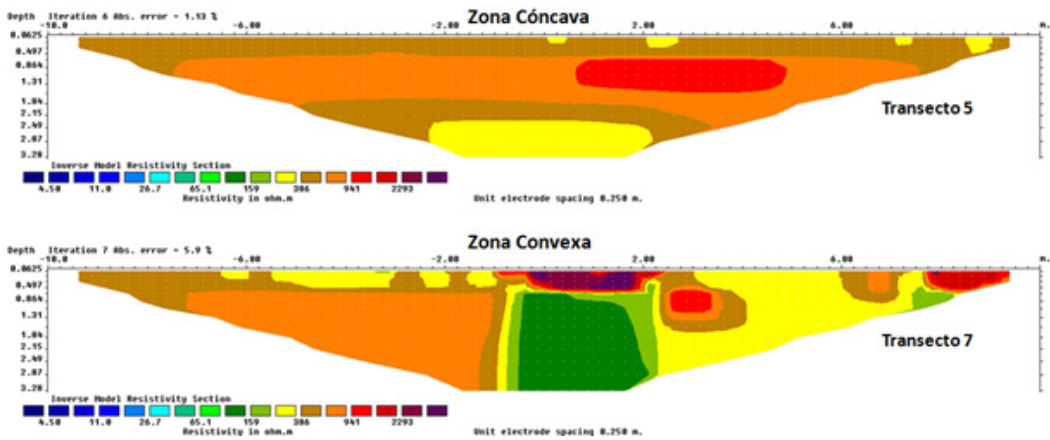


**Figura 6.** Perfiles invertidos de TER en la zona cóncava y convexa del viñedo en terrazas (0,5 m separación electrodos).

*patamar*, tratándose de una discontinuidad en el perfil topográfico de la ladera, y podrán todavía corresponder a la exposición de las capas sub-superficiales del *patamar*. El contenido de humedad de las muestras tomadas en el talud son similares al de las capas >0,05 m del *patamar* (Figura 4), pero un poco más altos cuando son comparados con el *patamar* respectivo al talud inferior (Figura 3). Esto podrá indicar que, a pesar de la baja conductividad hidráulica comentada, considerando la proximidad *patamar* – talud, el drenaje interno el macizo persiste en la

dirección de la pendiente, alimentando las capas superficiales del talud.

En cuanto a los perfiles de TER obtenidos, puede observarse que están en consonancia con los valores de contenido de agua del suelo obtenidos mediante el muestreo cuando son comparadas las dos sub-áreas (zona convexa y zona cóncava), tanto en la capa superficial como en profundidad (Figura 5). En la Figura 6 se muestran los perfiles invertidos de TER con una separación de electrodos de 0,5 m donde se sigue apreciando la diferencia en el contenido de humedad ya comentada.



**Figura 7.** Perfiles invertidos TER de los transectos longitudinales – Patamares – Distancia entre electrodos de 0,5 m.

En realidad, en ambas figuras se observa que las clases representadas en la capa más superficial de los perfiles transversales de resistividad eléctrica son similares en las dos sub-áreas, si bien su distribución en profundidad (no muestreada) es diferente y con un mayor número de clases de menor resistividad en la zona convexa. Además, en los taludes aparecen clases de menor RE que tienen una menor representación en la capa superficial del suelo correspondiente a los *patamares*, corroborando la interpretación de los resultados del muestreo. También se aprecian zonas de alta resistividad (en localizaciones similares en ambos transectos) que son achacables a materiales resultantes de la rotura del sustrato rocoso y su mezcla con el suelo original en las operaciones de levantamiento de las terrazas.

Los perfiles invertidos de TER de los transectos longitudinales en los *patamares* de la zona cóncava y convexa se muestran en la Figura 7. La RE de las capas más superficiales es poco menor en la zona convexa que en la cóncava, lo que está de acuerdo con los resultados del muestreo del contenido de humedad del suelo. También se pone de manifiesto que en ambos perfiles

se aprecia una mayor uniformidad respecto a los transecto en pendiente. A pesar del alto grado de perturbación del perfil original observado en el Anthroisol, el eje central del *patamar* corresponde a la zona menos perturbada por las operaciones mecánicas de construcción de las terrazas, realizadas según la curva de nivel. Los transectos trasversales de TER ponen en evidencia la heterogeneidad del macizo resultante de la fragmentación del material de la roca madre y mistura con el suelo original poco profundo.

**Conclusiones**

El estudio puso de manifiesto que al incorporar la Topografía como variable al cálculo de los perfiles invertidos de Resistividad Eléctrica, se obtienen perfiles que plasman de forma adecuada la distribución del agua del suelo en viñedos en fuerte pendiente instalados en terrazas. Está previsto realizar un muestreo de los mismos perfiles en la estación seca (Junio-Julio-Agosto), con el objeto de poder comparar las diferencias en las distribución del agua en el suelo de las terrazas entre estaciones.

## Bibliografía

- AGROCONSULTORES E COBA, (1991). Carta dos Solos, Carta do Uso Atual da Terra e Carta da Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- BEFF, L.; GÜNTHER, T.; VANDOORNE, B.; COUVREUR, V.; JAVAUX, M. (2013) Three-dimensional monitoring of soil water content in a maize field using Electrical Resistivity Tomography, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17: 595–609.
- BIANCHI DE AGUIAR, F. (2002). O Alto Douro Vinhateiro, uma Paisagem Cultural, Evolutiva e Viva; Douro – Estudos & Documentos, VII (13), (3º):143-152.
- BRILLANTE, L.; MATHIEU, O.; BOIS, B.; VAN LEEUWEN, C.; LÉVÊQUE, J. (2015). The use of soil electrical resistivity to monitor plant and soil water relationships in vineyards. *Soil*, 1:273–286.
- COURJAULT-RADÉ, P.; LLUBES, M.; DARROZES, J.; MUNOZ, M.; MAIREE.; HIRISSOU, N. (2010). A 2D electrical resistivity tomography survey of a vineyard plot of the Gaillac appellation (France): interpretation with respect to possible implications on vine water supply. *OENO One*, 44(2): 51-60.
- DAFONTE, J.; RAPOSO, J.R.; VALCÁRCE, L. M.; FANDIÑO, M.; MARTÍNEZ, E.M.; REY, B.J.; CANCELA, J.J. (2013). Utilización de la tomografía eléctrica resistiva para estimar el contenido de agua en el suelo en viña bajo diferentes sistemas de riego 57-62. IN: DAFONTE, J.; CANCELA BARRIO, J.J.; LÓPEZ FABAL, A.; LÓPEZ LÓPEZ, N.; MARTÍNEZ PÉREZ E.M., VALCÁRCEL ARMESTO, M. (Eds.). *Estudios en la Zona No Saturada del Suelo Vol. XI - ZNS'13*. Universidad de Santiago de Compostela, Lugo, España.
- DAMÁSIO, M.; CARDOSO, A.; QUEIRO. (2010). Two European viticultures - 1st Mountain and Steep Slope – DOURO; 2nd Plain TRAPANI. Producers of similar 341 liqueur wines. (Port Wine - Il Marsala) Deployment Models Conduction Systems. In: *Proceedings of the Third International Congress of Mountain Viticulture (Posters)*, Castiglione di Sicilia – Catania – Italia, 12-14/05/2010: 29-34.
- FAO/UNESCO, (1988). *Soil Map of the World. Revised Legend*. FAO, Rome.
- FERNANDES, J.; BATEIRA, C.; SOARES, L.; FARIA, A.; OLIVEIRA, A.; HERMENEGILDO, C.; MOURA, R.; GONÇALVES, J. (2017). SIMWE model application on susceptibility analysis to bank gully erosion in Alto Douro Wine Region agricultural terraces, *Catena*, 153:39-49.
- FIGUEIREDO, TOMÁS 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. ISBN 978-989-98368-5-3.
- FOX, R.C.; HOHMAN, G.W.; KILLPACK, T.J.; RIJO, L. (1980). Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys, *Geophysics*, 45(1) :75.
- FRIEDMAN, S.P. (2005). Soil properties influencing apparent electrical conductivity: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46:45-70.
- LOKE, M.H. (2011). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Disponible en: [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com).
- LU, D.; ZHOU, Q.; JUNEJO, S.A.; XIAO, A. (2015). A Systematic Study of Topography Effect of ERT Based on 3-D Modeling and Inversion. *Pure Appl. Geophys.* 172, 1531:1546.
- SAMOUËLIAN, A.; COUSIN, I.; TABBAGH, A.; BRUAND, A.; RICHARD G. (2005) Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil and Tillage Research*, 83:1

Original recibido (15/05/2020)  
Original aceptado (31/08/2020)