

# TELEDETECCIÓN HACIA UNA VISIÓN GLOBAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO



## EDITORES

Luis Ángel Ruiz Fernández  
Javier Estornell Cremades  
Abel Calle Montes  
Juan Carlos Antuña Sánchez



ASOCIACIÓN  
ESPAÑOLA  
DE TELEDETECCIÓN



Universidad de Valladolid

# **XVIII** CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TELEDETECCIÓN

# TELEDETECCIÓN

## HACIA UNA VISIÓN GLOBAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

LIBRO DE ACTAS

### EDITORES

Luis Ángel Ruiz Fernández  
Javier Estornell Cremades  
Abel Calle Montes  
Juan Carlos Antuña Sánchez



EDICIONES  
Universidad  
de  
Valladolid

## Teledetección

Hacia una visión global del cambio climático

### Editores científicos

Luis Ángel Ruiz Fernández  
Javier Estornell Cremades  
Abel Calle Montes  
Juan Carlos Antuña Sánchez

### Editorial

2019 Ediciones Universidad de Valladolid  
[www.publicaciones.uva.es](http://www.publicaciones.uva.es)

### Maquetación

Enrique Mateo, *Triskelion Diseño Editorial*

Serie: Ciencias, 32

ISBN: 978-84-1320-038-5.

Depósito Legal: VA 667-2019

*Imagen de portada: Imagen Sentinel-5P: Europe's air quality monitoring misión @ESA/ATG Medialab y fotografía de David Mateos del equipamiento del GOA (UVA) en la estación de NyAlesund (Noruega).*

*Composición de portada: Juan Carlos Antuña Sánchez.*

Ediciones Universidad de Valladolid autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial de la UVA, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo [ediciones@uva.es](mailto:ediciones@uva.es).

Impreso en España

Imprime: Safekat - Madrid

## Validación de los datos de humedad de suelo de la ESA CCI para la predicción del almacenamiento de agua en la región Norte de Portugal

Hernández, Z.<sup>(1)</sup>, Royer, A.C.<sup>(2,3)</sup>, de Figueiredo, T.<sup>(2)</sup>, Fonseca, F.<sup>(2)</sup>, Costa-Araujo-Schütz, F.<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidad de La Laguna, Facultad de Ciencias, La Laguna, España.

<sup>(2)</sup>Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Centro de investigación de Montaña (CIMO), Portugal. tomasfig@ipb.pt

<sup>(3)</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Medianeira, Brasil.

**Resumen:** En las regiones donde no existen series temporales históricas de datos pluviométricos, es muy difícil la previsión del balance hídrico del suelo. Entre las variables que lo conforman, el almacenamiento de agua en el suelo (o agua útil) es la cantidad de agua real disponible para las plantas (mm), una vez descontadas las pérdidas por evaporación, percolación o escorrentía. Los datos de humedad de suelo de la Agencia Espacial Europea (ESA), obtenidos con diferentes sensores radar (2-5 cm), proveen una secuencia histórica de datos diarios con una resolución espacial de 25 km. El objetivo de este trabajo consiste en validar la información de los datos obtenidos por satélite con los valores reales de las estaciones meteorológicas del balance hídrico del suelo. Se elige como área de estudio el noreste de Portugal (6.608 km<sup>2</sup>) donde existe una alta susceptibilidad a la desertificación, peligro de incendios o riesgo de degradación de suelos. Para esta región, se obtienen los datos combinados de la ESA, producto de sensores de radar activos y pasivos, para un periodo de 9 años (2003-2011). Así como los datos de agua en el suelo de la estación meteorológica de Santa Apolonia, Bragança, para el periodo mismo periodo. Se compararon los valores medios mensuales reales con los datos por satélite de la ESA en la serie temporal. Se obtuvieron buenas correlaciones ( $R^2$  de 0,66-0,83) entre los datos mensuales de ambas variables para los 9 años de estudio, lo que permitió testar el balance hídrico del suelo. Con todo, se comprueba la fortaleza de los datos de satélite de humedad de suelo de la ESA para el cálculo del balance hídrico mensual, lo que permitirá realizar predicciones mensuales de sequía más certeras en regiones donde no hay registro meteorológico o es escaso.

**Palabras clave:** radar, Thornthwaite-Matter, balance hídrico, evapotranspiración, sequía, desertificación.

### *Validation of ESA CCI soil moisture data in order to estimate the water holding capacity in the north region of Portugal*

**Abstract:** In regions where there are not historical time series of rainfall data, it is very difficult to estimate the soil water balance. Among the variables that make it, the soil water holding capacity ( $w$ ) is the amount of water available to the plants (mm), once the losses due to percolation or runoff have been deducted. The soil moisture data of the European Space Agency (ESA), obtained with different radar sensors (2-5 cm), provide a historical sequence of daily information by a spatial resolution of 25 km. The aim of this work is to validate the information of the data obtained by satellite with the meteorological stations values of the soil water balance. The northeast area of Portugal is chosen as the study area (6,608 km<sup>2</sup>) where there is a high susceptibility to desertification, fire hazard or risk of soil degradation. The combined data of ESA soil moisture (SM), from active and passive radar sensors, are obtained for 9 years (2003-2011). As well as the data of water balance from meteorological stations for the same period. The mean monthly values of  $w$  were compared with the SM data of the ESA in the time series. High correlations ( $R^2$  of 0.66-0.83) were obtained between the monthly data of  $w$  and SM for 9 years of study, which allowed estimating  $w$ . The strength of the soil moisture satellite data of the ESA was confirmed for the calculation of  $w$ . This method will allow making monthly predictions of drought in regions where not historical meteorological series exist.

**Keywords:** radar, Thornthwaite-Matter, water balance, evapotranspiration, drought, desertification.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Los datos de humedad del suelo de la ESA

La humedad del suelo es un parámetro crucial para un gran número de aplicaciones, incluidas la predicción del clima, la previsión de inundaciones, la evaluación de la sequía o la gestión de los recursos hídricos. Existe una red internacional que proporciona una base de datos de medidas *in situ* de humedad de suelo. Esta base de datos es esencial para validar y mejorar las observaciones de satélites globales y los modelos de superficie terrestre (Dorigo et al., 2017). Para el norte de la Península Ibérica, sólo están disponibles los datos de la red de estaciones REMEDHUS (Dorigo et al., 2013).

Por otro lado, los datos de humedad del suelo de la ESA CCI (<https://www.esa-soilmoisture-cci.org/>) combinan varios productos de microondas activos y pasivos, con una resolución temporal diaria y espacial de 25 km. Un producto activo obtenido con dispersómetros de la banda C (ERS 1/2 y ASCAT), un producto pasivo cuyas temperaturas de brillo se pueden derivar de varios sensores de microondas con diferentes características radiométricas (SMMR de Nimbus, TRMM, TMI, MIRAS, SMOS, AMSR-E del satélite AQUA) y un producto combinado de microondas activo+pasivo: el SM-MW lanzado en junio de 2012 por la Universidad de Tecnología de Viena. EISM-MW se generó utilizando productos activos y pasivos de humedad del suelo,

derivados de los anteriores, además de contar con varios sensores satelitales nuevos (como SMOS y SMAP) que incorporan la frecuencia de banda L (1.4 GHz) con mejor capacidad para penetrar en la vegetación que las frecuencias de la banda C y X. Y extiende su cobertura temporal hasta el período 1978-2016.

## 1.2. Aplicaciones para detectar sequía

La falta de humedad del suelo, también conocida como sequía agrícola, puede ser impulsada por la falta de precipitación y/o aumento de la evapotranspiración. Antes de que los datos satelitales de humedad del suelo estuvieran disponibles, se empleaban los datos de las estaciones meteorológicas para el desarrollo de índices de monitoreo de sequía. Uno de los más conocidos, aunque principalmente es un indicador de sequía meteorológica y no de sequía agrícola, es el índice de precipitación estandarizado (SPI). En escalas de tiempo cortas, la SPI está estrechamente relacionada con la humedad del suelo, mientras que en escalas de tiempo más largas, puede relacionarse con el contenido de agua en el suelo.

La capacidad de almacenar agua en el suelo (A) se refiere al agua útil que es capaz de absorber el sistema radical de las plantas. Esto es, la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Se han expresado inquietudes acerca de la utilidad de estos índices como medida de la sequía. En este sentido, el balance hídrico, según Thornthwaite-Matter, no sólo incluye el agua almacenada en el suelo sino la pérdida potencial de agua por la diferencia entre evapotranspiración y precipitación, así como el déficit y el superávit de agua que podría perderse por infiltración a capas profundas o escorrentía superficial.

Los datos de humedad de suelo de la ESA CCI (SM) se han utilizado en numerosos estudios para evaluar su potencial en modelos hidrológicos y de superficie a escala de parcela (Wagner et al., 2007; Todisco et al., 2015). Ante la carencia de secuencias históricas de datos meteorológicos fiables y la abundancia de datos satelitales, el objetivo de este trabajo consiste en validar la información de datos satelitales de SM de la ESA con los datos de almacenaje de agua en el suelo obtenidos mediante la aplicación del balance hídrico que se calcula con datos reales de las estaciones meteorológicas.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

Se elige como área de estudio el distrito de Bragança, localizado en la región del Nordeste de Portugal, entre 41-42°LN y 7-6°W, siendo la división administrativa de mayor representación de áreas susceptibles a la desertificación del norte del país, situación agravada por las sequías y el abandono de las tierras de cultivo, con el consecuente incremento del riesgo de incendios forestales. La región ocupa una superficie total de 6608 km<sup>2</sup>, con una altitud máxima de 1000 m (Montesino). Se localiza en la zona mediterránea continental, con un clima árido a semiárido. Las lluvias se concentran casi totalmente en los meses de primavera e invierno. Presenta abundancia

de suelos pobres o poco desarrollados sobre rocas graníticas, esquistos o ultrabásicas (Figueiredo et al, 2015; Cavalli et al, 2019) (Figura 1).



*Figura 1: Delimitación geográfica del área de estudio del distrito de Bragança, noreste de Portugal.*

### 2.2. Procesado de datos de satélite

Se utilizaron los datos combinados de la ESA: producto SM (<https://www.esa-soilmoisture-cci.org/>) que proveen datos de humedad de suelo (volumen de agua, m<sup>3</sup>·m<sup>-3</sup>) en píxeles de 25 km, para el periodo de estudio comprendido entre 2003-2011. Para cada mes en estudio, se calcularon valores medios mensuales de SM, siendo el criterio utilizado la media de tres valores diarios (principio, mitad y final de mes). Se utilizó el SNAP para el procesado de los datos de satélite.

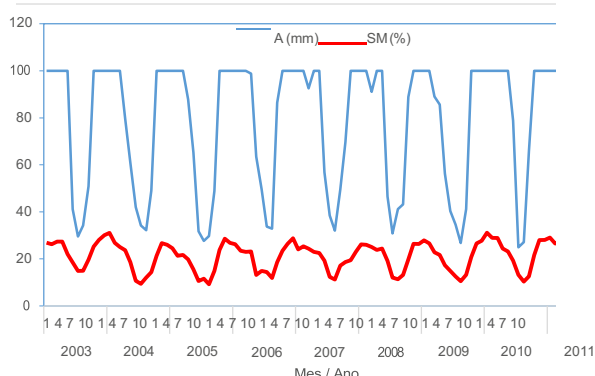
### 2.3. Análisis de datos meteorológicos

Como representativa de la región, y teniendo en cuenta la calidad de las series disponibles, se emplearon los datos meteorológicos mensuales (temperaturas medias y precipitaciones) de la estación meteorológica de Bragança-Santa Apolónia (Campus del IPB), ubicada en la región noreste de Portugal, para el periodo de 2013-2011. El almacenamiento de agua (A, con un máximo de 100 mm) se calculó a partir del balance hídrico mensual, aplicando los procedimientos de Thornthwaite y Matter (1955), con los datos de precipitación y evapotranspiración de referencia, estimada según Thornthwaite (1948). Se realizan correlaciones entre los datos de A del balance hídrico mensual y los datos satelitales de SM de la ESA para el mismo periodo de tiempo e para el píxel correspondiente. Se emplea el programa estadístico Staph 5.0.

## 3. RESULTADOS

Los valores mensuales de A y SM representados en la Figura 2 para el periodo de estudio de 2003-2011, muestran cómo los valores de humedad de suelo, SM (%) aumentan o disminuyen según lo haga la variable de almacenamiento de agua, A (mm). Siendo marzo-abril los meses donde se almacena más agua en el suelo y agosto-septiembre los meses más seco. El método de Thornthwaite-Matter considera que el almacenamiento de agua máximo en el suelo es

de 100 mm, y cuando los valores de A llegan a este valor, el suelo se satura (se encuentra a la capacidad de campo), momento a partir del cual se producen pérdidas de agua por escorrentía superficial y/o infiltración en profundidad.



**Figura 2.** Valores mensuales del almacenamiento de agua en el suelo (A) y la humedad de suelo (SM) obtenida por satélite en el periodo de estudio (Estación de Bragança - Santa Apolónia; Amax = 100 mm).

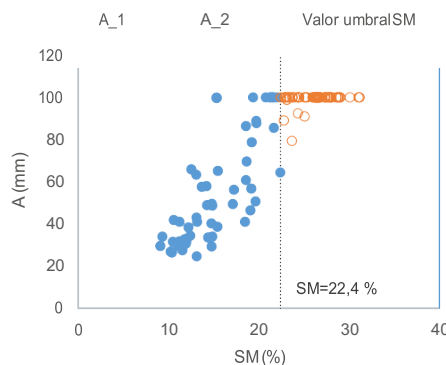
La Tabla 1 presenta los resultados de la correlación lineal entre la variable real (A) y los datos de satélite (SM) para cada uno de los años en estudio, así como el valor agregado de los 9 años. Se observa que la correlación es mayor ( $R^2$  de 0,91 en el año 2009) si se compara el modelo lineal con el modelo logístico. El límite superior de A de 100 mm, típico de los meses más húmedos, sugiere el ajuste a una función logística o, en alternativa, a una función lineal dividida en dos tramos, por lo tanto condicionada al valor de SM en el eje de las abscisas. El valor adoptado fue  $SM=22,4\%$ , para lo cual la suma de los percentiles respectivos en los dos grupos de meses es igual a 100 (Figura 3). La correlación es alta si el modelo de regresión lineal es condicionado para valores de  $SM < 22,4\%$ , momento a partir del cual A se mantiene constante.

**Tabla 1.** Parámetros de regresión entre los datos de humedad de suelo (SM, %) y el almacenamiento de agua en el suelo (A, mm) de 2003-2011, según dos modelos.

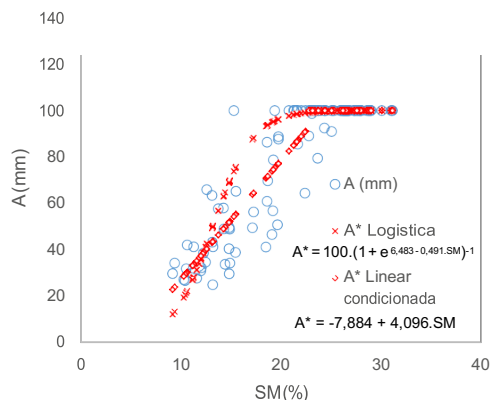
Año	Modelo logístico $A = 100 \cdot (1 + e^{a+b \cdot SM})^{-1}$			Modelo lineal $A = a + b \cdot SM$		
	$R^2$	b	a	$R^2$	b	A
2003	0,835	-0,631	10,318	0,861	5,366	-45,94
2004	0,768	-0,439	5,513	0,888	3,749	-1,860
2005	0,860	-0,525	6,512	0,886	4,527	-11,72
2006	0,890	-0,556	7,554	0,816	4,308	-8,280
2007	0,605	-0,590	8,134	0,830	5,370	-29,07
2008	0,785	-0,522	7,320	0,881	4,523	-16,96
2009	0,814	-0,502	7,114	0,915	4,536	-18,69
2010	0,830	-0,442	5,310	0,763	3,509	4,361
2011	0,635	-0,426	5,047	0,663	3,319	8,415
2003	0,762	-0,491	6,483	0,802	4,096	-7,884
a	Para meses con $SM < 22,4\%$ (N=53)					
2011	-	-	-	0,64	5,14	-24,39

Por otro lado, la Figura 4 representa el ajuste de los valores de la ecuación de calibración del parámetro A, calculado a partir de los datos satelitales de SM, en función de si se emplea un modelo logístico o lineal condicionado

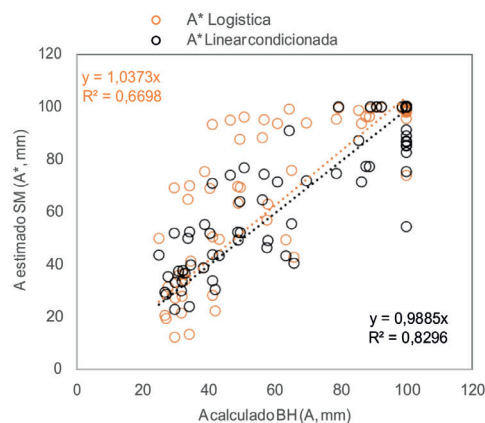
(para  $SM < 22,4\%$  se obtiene A de la ecuación en la Tabla 1; para  $SM > 22,4\%$ ,  $A=100$  mm). Mientras la correlación lineal no sea elevada para los datos de  $SM < 22,4\%$ , los resultados globales del ajuste entre los valores de A reales y los valores de A\* estimados a partir de modelo de calibración con datos satelitales de SM, son mejores cuando se emplea el modelo lineal condicionado frente al modelo logístico ( $R^2$  0,83 vs. 0,67) (Figura 5). El error estándar de estimación es menor en el modelo lineal condicionado (12,5 mm) comparativamente al logístico (15,6 mm).



**Figura 3.** Relación entre SM y A, separando dos grupos de meses (A1 y A2) por el valor de  $SM=22,4\%$ .



**Figura 4.** Comparación de valores de A reales y estimados con datos SM aplicando dos modelos: función logística y lineal condicionada.



**Figura 5.** Estimación de A calculado según Balance hídrico (BH) e estimado (A\*) con datos de satélite de SM aplicando dos modelos: función logística o lineal condicionada.

#### 4. CONCLUSIONES

La utilización de los datos de humedad de suelo (SM) de la ESA CCI para el periodo de estudio (2003-2011) permitió estimar el valor de agua almacenada en el suelo (A, en mm). Se obtuvieron altas correlaciones entre los datos de satélite y los de la estación meteorológica de Bragança-Santa Apolónia, que se estiman transferibles para locales climáticamente similares en la región noreste de Portugal. Estos resultados son de interés para establecer una metodología de monitorización del almacenamiento de agua en el suelo, puesto que está expresado en altura equivalente o volumen de agua por unidad de área superficial, con consecuencias importantes para el seguimiento del déficit hídrico de cultivos agrícolas y de índices de sequía, relevantes en regiones susceptibles a la desertificación.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Cavalli, A., Figueiredo, T., Fonseca, F., Hernandez, Z. 2019. Incêndios e áreas ardidadas nos últimos 25 anos no Distrito de Bragança, Portugal: análise e estimativa de consequências para o recurso solo. *Territorium*, 26 (I), 123–132.
- Dorigo W.A., Wagner W., Albergel, C., et al. 2017. ESA CCI Soil Moisture for improved Earth system understanding: State-of-the art and future directions. *Remote Sensing of Environment*, 203, 185–215.
- Dorigo, W.A., Xaver, A., Vreugdenhil, M., Gruber, A., Hegyiová, A., Sanchis-Dufau, A.D., Zamojski, D., Cordes, C., Wagner, W. 2013. Global Automated Quality Control of In Situ Soil Moisture Data from the International Soil Moisture Network. *Vadose Zone Journal*, 12 (3), vj2012.0097.
- Figueiredo, T., Fonseca, F., Nunes, L. 2015. Os solos e a suscetibilidade à desertificação no NE de Portugal. In *Proteção do Solo e Combate à Desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças*, pp.87–100. Ed. by T. Figueiredo, F. Fonseca y L. Nunes, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal.
- Thorntwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, New York, n. 1, p. 55–94.
- Thorntwaite, C.W., Mather, J.R. 1955. The water balance. Publication in *Climatology*, Laboratory of Climatology, Centerton, v. 8, n.1.
- Todisco, F., Brocca, L., Termite, L.F., Wagner, W. 2015. Use of satellite and modeled soil moisture data for predicting event soil loss at plot scale. *Hydrology Earth Systems Sciences*, 19, 3845–3856.
- Wagner, W., Naeimi, V., Scipal, K., de Jeu, R., Martínez-Fernández, J. 2007. Soil moisture from operational meteorological satellites. *Hydrogeology Journal*, 15, 121–131.



ASOCIACIÓN  
ESPAÑOLA  
DE TELEDETECCIÓN



Universidad de Valladolid

Este libro recoge las contribuciones científicas presentadas en el XVIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, celebrado en Valladolid entre el 25 y el 27 de septiembre de 2019, bajo el lema: "Hacia una visión global del cambio climático". El Congreso fue organizado por El Grupo de Óptica Atmosférica (GOA) de la Universidad de Valladolid, bajo el marco institucional de la Asociación Española de Teledetección (AET).

La totalidad de los trabajos científicos que se presentan en este libro, han sido sometidos a una revisión por pares, por parte de los 59 miembros del Comité científico, que han contribuido a mejorar y organizar la calidad de las aportaciones presentadas. Dicho Comité ha estado formado por científicos y profesionales de reconocido prestigio, cuya dedicación y disponibilidad altruista para colaborar en este evento, pone de manifiesto el ambiente entusiasta en el que se desarrolla la AET.

Los trabajos científicos aparecen clasificados en las siguientes áreas temáticas: Agricultura, Bosques, Incendios forestales, Atmósfera, Meteorología y Clima, Metodología, Procesado de datos y Algoritmos, Cartografía y Fotogrametría, Oceanografía y recursos marinos, Espectrorradiometría, LiDAR y Medio ambiente y recursos hídricos.



INSTITUTO  
TECNOLÓGICO  
AGRARIO

**Cámara**  
Valladolid



Junta de  
Castilla y León



Ayuntamiento de  
**Valladolid**



VALLADOLID  
ciudad amiga del turismo



**HEXAGON**  
GEOSPATIAL



THE SCIENCE OF WHERE™



universidad  
de León



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

