

REPERCUSIONES DE LA VARIABILIDAD PLUVIOMÉTRICA EN LA DINÁMICA XÉRICA DE LOS SUELOS DEL SUR DE ESPAÑA.

J. D. RUIZ SINOGA¹, J. A. SILLERO MEDINA¹, J. TESSOUKI² y J. MOLINA LUQUE³

¹Laboratorio de Geomorfología y Suelos. Geografía. Universidad de Málaga. Avda. Arquitecto Peñalosa. Edificio Ada Byron, B-1-5.

²Programa de Doctorado de Economía y Empresa de la Universidad de Málaga.

³Departamento de Economía Aplicada. Matemáticas. Universidad de Málaga. Facultad de Económicas.

sinoga@uma.es; jasillero@uma.es; jt@jmedison.com; Julian.molina@uma.es

RESUMEN

La variabilidad espacio temporal de la pluviometría en el sur de España, unido a la existencia de un claro gradiente pluviométrico longitudinal y, a los ya constatables indicadores de cambio climático, está incidiendo directamente en el contenido de humedad del suelo, lo que, dependiendo de la capacidad de retención de este, afectará a su contenido de agua útil, marcando diferentes escenarios de vulnerabilidad, puesto que no todos los ecosistemas poseen similar capacidad adaptativa.

El objetivo del presente estudio es analizar la evolución del contenido de agua útil del suelo durante los últimos 28 años en el sur de España, y a partir de ahí, determinar la dinámica de los periodos xéricos. Los resultados muestran una variabilidad de respuestas en la ampliación de los periodos xéricos del suelo, con un marco general de reducción de disponibilidad de agua útil para la vegetación y, por tanto, una incidencia en la fenología de las plantas.

Palabras clave: Cambio climático, Mediterráneo, Adaptación, Resiliencia, Hidrología de Suelos, Agua Útil.

ABSTRACT

The tempo-spatial rainfall variability in southern Spain, together with the existence of a clear longitudinal pluviometric gradient, and the already verifiable indicators of climate change, are directly influencing the soil moisture content, which, depending on his soil retention capacity, will affect its available water content, marking different vulnerability scenarios, since not all ecosystems have similar adaptive capacity.

The objective of this study is to analyze the evolution of the soil available water during the last 28 years in southern Spain, and from there, to determine the dynamics of the xeric periods. The results show a variability of responses in the extension of the xeric periods of the soil, with a general framework of reduced availability of the water for the vegetation and, therefore, an incidence on the phenology of the plants.

Key words: Climate Change, Mediterranean, Adaptation, Resilience, Soil Hydrology, Available water.

1.INTRODUCCIÓN

El clima mediterráneo se caracteriza por prolongados veranos secos; por lo tanto, la vegetación climática debe adaptarse cada vez más a condiciones frecuentes y recurrentes de estrés hídrico (Nardini et al. 2014). Algunos autores afirman que esta situación afecta a la vegetación (Abdalla et al. 2018), ya sea a la productividad de cultivos (Rodrigo-Comino et al. 2021), o a la mortalidad de plantas (Breda et al. 2006), incrementando el combustible para los incendios forestales (Fernández-Añez et al. 2021). El balance hídrico del suelo se ha utilizado tradicionalmente para estimar varios parámetros hidrológicos del suelo (Wang y Dickinson 2012) y puede ser fundamental para entender las relaciones suelo-planta-atmósfera (Gabarrón-Galeote et al. 2013).

Los escenarios de cambio climático estiman una modificación no sólo en el total de lluvia, sino también en la distribución de los patrones de variabilidad espacio-temporal (IPCC 2014, 2019). En el ámbito mediterráneo, incluyendo sur de España, este tema cada vez es más evidente (Martin-Vide y López-Bustins, 2006; Sillero-Medina et al. 2019a, 2019b, 2021), por lo que entender los cambios en el equilibrio hídrico del suelo y, por tanto, la disponibilidad de agua para las plantas es de gran relevancia para estos ecosistemas frágiles (e.g., Lemus-Cánovas y López-Bustins 2016; Olcina-Cantos 2017), en los que el agua constituye el principal factor limitante determinando la producción y estructura de las comunidades vegetales (Terradas, 2001).

El contenido de agua disponible (AWC) para las plantas es aquella cantidad de agua retenida en el suelo, resultante de la diferencia entre la capacidad de campo (FC) y el punto de marchitez permanente (PWP) (Kirkham 2005). Esto varía según el suelo, su textura y estructura (Behnam et al. 2020), puesto que afectan la matriz de este, y a la capacidad de succión de agua por las plantas (Givi et al. 2004; Martínez-Fernández 1996), que también se ve afectada por la evapotranspiración potencial (Campos et al. 2013).

En ambientes áridos y semiáridos, existen grandes diferencias en el AWC del suelo debido a la variabilidad pluviométrica con continuos cambios entre demanda y oferta de agua (Gomes Marqués et al. 2019), lo que supone también que sólo una parte del exceso el agua se almacene para que las plantas utilicen en periodos deficitarios, mientras que el resto se infiltra en el perfil del suelo (Joffre y Rambal 1993). Estas diferencias favorecen reducción de cubierta vegetal a lo largo del gradiente pluviométrico mediterráneo. A medida que aumenta la aridez, el patrón de humedad en el perfil del suelo se vuelve más uniforme, con lo que se reducen los cambios significativos en la vegetación, que, debido a su hidrolabilidad, suele adaptarse mejor a una menor disponibilidad de agua (Ruiz Sinoga et al. 2011). Cuando el contenido de humedad del suelo es elevado y suficiente como para mantener los procesos fisiológicos de la planta (Laio et al. 2001), la tasa de transpiración del suelo dependerá del patrón de vegetación en sí y de las condiciones climáticas (Campos et al. 2016). Sin embargo, por debajo de este punto de humedad, las plantas comienzan a reducir la transpiración para evitar la pérdida de agua (Gabarrón-Galeote et al. 2013). A partir de este punto, la disponibilidad de agua del suelo se convierte en un factor clave que determina la evapotranspiración, y continuará reduciéndose lentamente hasta que la humedad del suelo alcance el PWP.

Estos puntos o umbrales dependen tanto del tipo de vegetación como de las características del suelo y son los que determinan el potencial matricial del mismo (Gabarrón-Galeote et al. 2013).

La FC es la cantidad de agua retenida en el suelo cuando el exceso de agua se ha drenado y el flujo subsuperficial dejó de ser utilizable por la vegetación (Ruiz Sinoga et al. 2011). En consecuencia, el PWP se puede definir como el contenido de humedad del suelo en la zona radicular por debajo del que una planta marchita no puede recuperar la turgencia, aunque volviese a recibir un aporte hídrico posterior. (Ruiz Sinoga et al. 2011; Campos et al. 2016). El contenido de agua útil (AWC) es la relación existente en un suelo dado entre el contenido de humedad en PWP y el que posee en FC (Martínez-Fernández 1996).

Área de estudio

El área de estudio se corresponde con las denominadas Cuencas Mediterráneas Andaluzas, que son representativas del ecosistema mediterráneo (Fig. 1). Esta zona se ubica a lo largo del litoral de las Cordilleras Béticas, donde en apenas 308 km hemos medido un gradiente pluviométrico que oscila entre los 1400 mm por año en el Parque Natural de Alcornocales (Cádiz) a 150 mm anuales en Cabo de Gata (Almería). Este gradiente refleja una variabilidad climática que oscila entre un clima mediterráneo húmedo en el parte occidental y uno árido en la oriental. Por lo tanto, algunos autores plantearon la hipótesis de que este gradiente tendría un impacto directo en el paisaje, en el ecosistema y sus procesos geomorfológicos (Ruiz-Sinoga y Romero Diaz, 2010).

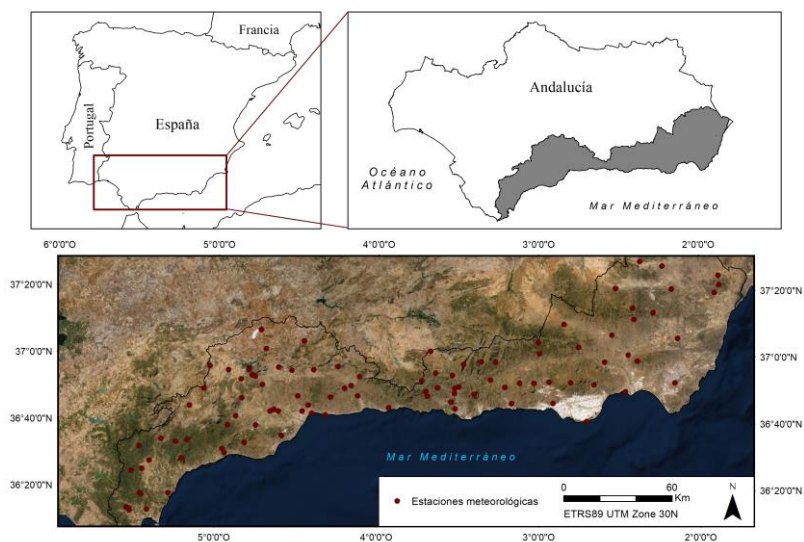


Fig. 1: Localización del área de estudio. Fuente: elaboración propia a partir de IECA y Red SAIH.

2. MÉTODOS

En primer lugar, se han utilizado todos los datos de precipitación horaria obtenidos del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de la Cuencas Mediterráneas Andaluzas correspondientes a los 130 observatorios para el período (1997-2022) para evaluar las variaciones climáticas asociado con las condiciones de humedad del suelo (1997-2022). Las estaciones fueron agrupadas en 15 zonas, que, de W a E, son las siguientes: Poniente, Antequera, Guadalhorce, Málaga, Axarquía, Costa Axarquía, Alpujarra, Costa Granada, Gualchos, Centro Almería, Norte Almería, Contraviesa, Este, Costa Occidental y Gádor, tal y como aparecen en la Figura 1.

Se seleccionaron los eventos horarios capaces de alcanzar cantidades de lluvia superiores a la tasa de infiltración -determinada previamente para cada tipo de suelo- para calcular la escorrentía superficial. Finalmente, la evapotranspiración potencial se estimó mediante la fórmula de Hargreaves adaptada a información horaria de temperatura (Hargreaves y Samani, 1985).

En segundo lugar, desde el año 1999 hasta ahora se han ido recogiendo hasta un total de 2370 muestras de suelo en la zona objeto de análisis, correspondientes a 1185 puntos de muestreo, en el marco de diversos proyectos de investigación. En ellos se han realizado tanto pruebas de humectación como de secado en condiciones de laboratorio e in situ mediante la utilización de sondas TDR. Los muestreos pertenecen a áreas con una similar litología (filitas, esquistos), pendiente (entre 10 y 16%), y grado y tipología de cobertura vegetal. Tras el muestreo (muestras perturbadas y en cilindros de muestreo), analizamos el porcentaje de cobertura vegetal, el número de especies en el entorno de la muestra (100 m²), densidad aparente (BD), la textura del suelo, la materia orgánica (MO), el carbono orgánico (CO), la estructural estabilidad (AS), la permeabilidad, así como FC y PWP.

Las muestras se agruparon también de acuerdo con las 15 zonas definidas de oeste a este, atendiendo especialmente a sus variables hidrológicas, con objeto de determinar su capacidad de infiltración y de retención de agua. Obtuvimos así una base de datos integrada de precipitación horaria y de humedad del suelo a 50 cm, durante los últimos 25 años.

Para analizar la magnitud de las tendencias temporales de cada una de las series utilizamos el Tau de Kendall, cuyo valor oscila entre -1 y 1, donde 1 quiere decir que la serie es estrictamente creciente, -1 significa que la serie es estrictamente decreciente y los valores intermedios representan situaciones en las que el crecimiento o decrecimiento de la serie presenta más o menos discordancias (excepciones). Por último, a cada observatorio se le asignó la muestra de suelo de referencia mediante el criterio de proximidad y uso dominante.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

En términos generales observamos como a lo largo del periodo considerado y para todo el sur de España, el número de días en los que el suelo está en punto de marchitez se incrementa, mientras que los que está con agua útil se reduce. Es decir, los suelos cada vez estarían un mayor tiempo en periodo xérico, hasta el punto de que fácilmente alguna estación suele superar los 200 días.

Esto no supone la existencia de un patrón manifiesto de humedad del suelo, porque tanto el número de días consecutivos por debajo de punto de marchitez como de agua útil se va reduciendo.

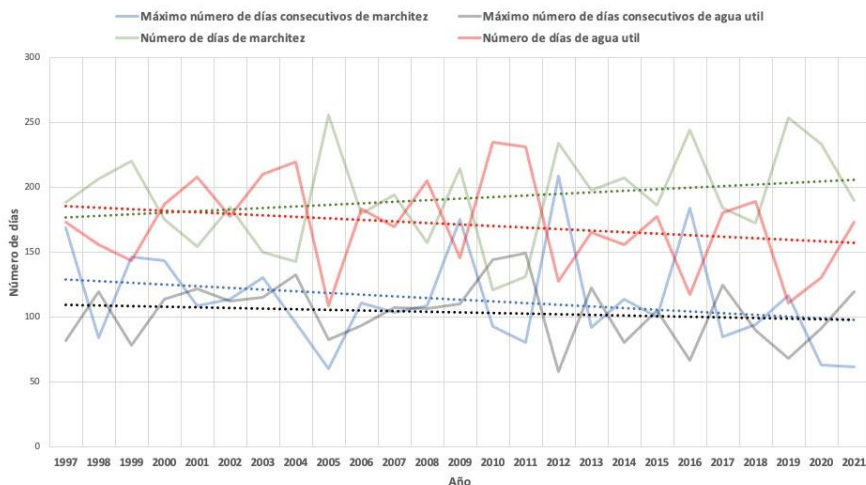


Fig. 2. Hidrodinámica de suelos (1997-2022)

Sin embargo, el número de periodos (más de 3 días consecutivos) de marchitez se incrementa levemente, mientras que el de agua útil se reduce de forma más acusada. Estos valores generales pueden estar acusando y/o enmascarando diversas realidades zonales.

Para analizar las diferentes variables a nivel zonal realizamos la Tau de Kendall y su significación estadística, (Kendall y Gibbons, 1990) siendo (1) Número de días por debajo de punto de marchitez, (2) Número de días con agua útil, (3) Máximo número de días consecutivos en punto de marchitez, (4) Máximo número de días consecutivos con agua útil, (5) Numero de periodos anuales en punto de marchitez, y (6) Numero de periodos anuales con agua útil. (Tabla 1)

Se puede observar en estas tablas que el p-valor es en general elevado, es decir, la significancia del valor del Tau de Kendall es baja. Sin embargo, si podemos ver que, siendo la significancia débil, hay un cierto patrón en los valores de la Tau de Kendall, que pueden indicar un patrón en las variables que representan. Por ejemplo, el 73,3% de los valores del Tau de Kendall para la variable Distancia al punto de marchitez son negativos, o para los días de agua útil, en donde el 66.7% de los valores de Tau son negativos, en 11 de las 15 zonas consideradas (Tabla 1). Tan solo en la Axarquía, Costa granadina, y zona norte y este de Almería, se incrementa y con valores muy débiles. Es decir, los suelos están gestionando menos agua, sin embargo, todo dentro de los matices en cuanto a patrones de comportamiento que introduce la variabilidad mediterránea, así que, siendo no significativos los valores, sí que se aprecia un sesgo significativo que podría anticipar una tendencia significativa en el futuro.

Zona	1		2		3		4		5		6	
	p-valor	tau	p-valor	tau	p-valor	tau	p-valor	tau	p-valor	tau	p-valor	tau
Poniente	0,19	-0,19	0,82	0,04	0,32	0,15	0,32	-0,15	0,00	-0,38	0,00	-0,35
Antequera	0,62	0,07	0,57	-0,08	0,00	0,38	0,00	-0,39	0,12	0,23	0,25	0,17
Guadalhorce	0,39	-0,13	0,61	0,08	0,56	0,09	0,48	-0,10	0,73	-0,05	0,21	-0,19
Málaga	0,00	0,40	0,37	-0,13	0,22	0,18	0,23	-0,17	0,17	0,21	0,57	0,08
Axarquía	0,39	-0,13	0,18	-0,19	1,00	0,00	1,00	0,00	0,49	-0,10	0,66	-0,07
Costa Axarquía	0,67	0,06	0,98	0,01	0,29	0,15	0,35	-0,14	0,12	-0,24	0,00	-0,34
Alpujarra	0,82	0,04	0,54	0,09	0,41	0,12	0,43	-0,12	0,89	-0,02	0,18	-0,20
Costa Granada	0,20	-0,19	1,00	0,00	0,80	-0,04	0,76	0,05	0,87	-0,03	0,41	0,13
Gualchos	0,34	-0,14	0,56	0,09	0,87	-0,03	0,93	0,02	0,66	-0,07	0,10	-0,24
Centro Almería	0,21	-0,18	0,45	-0,11	0,44	0,11	0,44	-0,11	0,17	-0,20	0,37	-0,14
Norte Almería	0,48	-0,10	0,93	0,02	0,22	-0,18	0,24	0,17	0,05	-0,29	0,06	-0,28
Contraviesa	1,00	0,00	0,74	-0,05	0,59	0,08	0,76	-0,05	1,00	0,00	0,13	-0,22
Este	0,43	-0,12	0,78	-0,04	0,69	-0,06	0,66	0,07	0,24	-0,18	0,45	-0,12
Costa occidental	0,26	-0,16	0,74	-0,05	0,00	0,33	0,00	-0,33	0,15	-0,22	0,06	-0,28
Gádor	0,62	0,07	0,98	-0,01	0,80	0,04	0,83	-0,03	0,81	0,04	0,94	0,01

Tabla 1. Indicadores hidrodinámicos para las distintas zonas (Tau de Kendal).

El número de días por debajo de punto de marchitez, en lo que podríamos denominar periodo xérico del suelo, se incrementa en 11 zonas, por lo que se trata de un patrón generalizado, que solo se ve perturbado y levemente en la costa occidental granadina, y zonas este y norte de Almería.

El número de días con agua útil es muy variable, a pesar de que en términos generales se vaya reduciendo, de tal forma que no existe un patrón definido, probablemente por el papel que juegan las propiedades edáficas y su capacidad de retención, así como por la vegetación, menos consumidora de agua. Sin embargo, lo que tiene especial significación desde el punto de vista ecosistémico es la distribución de los días consecutivos con agua útil en el suelo, directamente relacionado con el stress hídrico de la vegetación, lo que le obligaría a adaptarse a nuevas situaciones. Para el periodo considerado, la comparación entre los primeros años y los últimos, muestra una reducción generalizada que es más intensa en la mitad occidental, con pérdidas de hasta 48 días consecutivos. Este es ámbito de los cultivos en regadío, como cítricos, y especialmente los subtropicales, lo que nos obliga a reflexionar sobre el concepto de déficit hídrico.

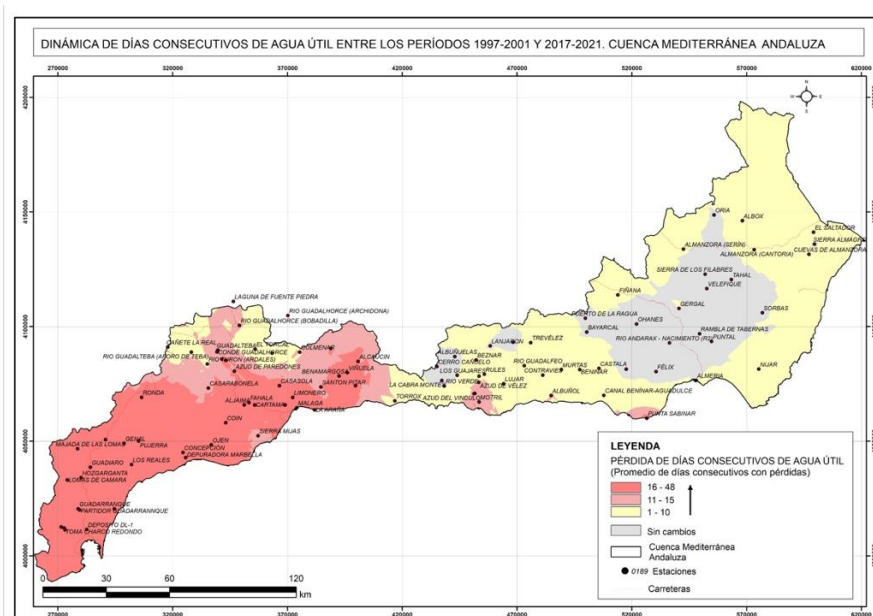


Fig 3. Dinámica de días consecutivos de agua útil entre 1997-2001 y 2017-2021

Esa misma dinámica puede observarse al analizar el máximo número de días consecutivos por debajo de punto de marchitez, sin un patrón definido, siquiera zonal, siendo este muy variable, dado que tiende a incrementarse en la provincias de Málaga, en donde la afeción es generalizada, excepto en Sierra de las Nieves, único ámbito provincial en el que a lo largo del periodo considerado no se han producido cambios significativos.

Sin embargo, el número de periodos en los que los suelos están por debajo de punto de marchitez solo se incrementa en Málaga y Antequera, mientras que, en las restantes zonas, o se mantiene, o se reduce, ampliándose lo que podríamos denominar el periodo xérico.

4.- CONCLUSIONES

Consideramos dignas de mención que (1) en el sur de España se está produciendo un incremento del número de días en los que los suelos se encuentran por debajo de punto de marchitez, (2) unida a una reducción del número de periodos de agua útil en el suelo, con una (3) importante variabilidad en el número de días en los que el suelo tiene un contenido de agua útil para la vegetación, a pesar de la existencia de un contratado gradiente pluviométrico entre la zona occidental y la oriental.

Esto supone que (4) las propiedades físicas químicas e hidrológicas de los suelos, juegan un importante papel en la capacidad de retención e infiltración de los suelos, unido (5) a la hidrolabilidad de la vegetación para adaptarse a condiciones xéricas, mediante reducción en el consumo de agua.

Los suelos reflejan la estacionalidad climática a través de su estado hidrológico. Esto es de particular importancia cuando se consideran los principales usos del suelo en el ámbito mediterráneo. Si tenemos en cuenta que el menor contenido de humedad del suelo coincide cuando la vegetación se encuentra en un periodo inactivo, la ampliación de los periodos xéricos del suelo obligará a modificaciones en la fenología de esta, o a forzar riegos adicionales en un ámbito no excedentario en recursos hídricos.

El efecto de la dinámica pluviométrica sobre los diferentes usos del suelo debe ser comprendido y analizado mejor, dado que la vegetación es uno de los principales consumidores de agua, permitiendo establecer umbrales fisiológicos para la vegetación, y constituir una importante herramienta en el contexto del cambio climático.

Por tanto, el reto debe ser la determinación de la dinámica de AWC desde una perspectiva fenológica, lo que podría brindar información fundamental para comprender la evolución o pérdida de especies de plantas en cada área y la biodiversidad, y el cartografiado de dicha dinámica, conectándolo con las evaluaciones paisajísticas y la determinación de las especies más vulnerables.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de dos proyectos de investigación, por un lado, “Crisis Climática en el Mediterráneo Andaluz: incidencia en la Agricultura y el Desplazamiento. Vulnerabilidad, riesgos y estrategias de adaptación (CCLIMAAD)” (UMA20-FEDERJA-141) financiado por el Marco del Programa Operativo FEDER Andalucía 2014-2020 (Fase II); y, por otro lado, “Efecto de los cambios de uso del suelo en la dinámica eco-geomorfológica en ambientes mediterráneos, a diferentes escalas, en el contexto del Cambio Global (ECUDES)” (PID2019-104046RB-100) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO).

REFERENCIAS

- Abdalla M, Hastings A, Chadwick DR, Jones DL, Evans CD, Jones MB, Rees RM, Smith P (2018) Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. *Agric Ecosyst Environ* 253:62–81. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.023>
- Behnam A, Mohammad Reza M, Shamsollah A, Elham C, Majid R (2020) Estimation of near-saturated soil hydraulic properties using hybrid genetic algorithm-artificial neural network. *Ecohydrol Hydrobiol* 20(3):437–449. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.09.001>
- Breda N, Huc R, Granier A, Dreyer E (2006) Temperate Forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Ann For Sci* 63(6):625–644
- Campos I, Villodre J, Carrara A, Calera A (2016) Remote sensing-based soil water balance to estimate Mediterranean holm oak savanna (Dehesa) evapotranspiration under water stress conditions. *J Hydrol* 494:1–9
- Fernandez-Anez N, Krasovskiy A, Müller M, Vacik H, Baetens J, Hukić E, Solomun MK et al (2021) Current wildland fire patterns and challenges in Europe: a synthesis of national perspectives. *Air, Soil Water Res* 14

<https://doi.org/10.1177/11786221211028185>

Gabarrón-Galeote MA, Ruiz-Sinoga JD, Quesada MA (2013) Influence of aspect in soil and vegetation water dynamics in dry Mediterranean conditions: functional adjustment of evergreen and semi-deciduous growth forms. *Ecohydrology* 6:241–255. <https://doi.org/10.1002/eco.1262>

Givi J, Prasher SO, Patel RM (2004) Evaluation of pedotransfer functions in predicting the soil water contents at field capacity and wilting point. *Agric Water Manag* 70(2):83–96

Gomes Marques I, Nascimento J, Cardoso RM, Miguéns F, Condesso de Melo MT, Soares PMM, Gouveia CM, Kurz Besson C (2019) Mapping the suitability of groundwater-dependent vegetation in a semi-arid Mediterranean area. *Hydrol Earth Syst Sci* 23:3525–3552. <https://doi.org/10.5194/hess-23-3525-2019>

Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. in Agric.*, 1(2): 96-99.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014) Fifth assessment report. IPCC, <http://ipcc.ch/report/ar5/>. Accessed 27 May 2019.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2019) 2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Accessed 27 May 2019.

Joffre R, Rambal S (1993) How tree cover influences the water balance of Mediterranean rangelands. *Ecology* 74(2):570–582

Kendall, Maurice; Gibbons, Jean Dickinson (1990). *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin Book Series (5th edición). Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0195208375

Kirkham MB (2005) Field capacity, wilting point, available water, and the non-limiting water range. In: Kirkham MB(ed) *Principles of soil and plant water relations*. Academic Press, Burlington, pp 101–115. <https://doi.org/10.1016/B978-012409751-3/50008-6>

Laio F, Porporato A, Ridolfi L, Rodriguez-Iturbe I (2001) Plants in water controlled ecosystems: active role in hydrologic processes and response to water stress: II. Probabilistic soil moisture dynamics. *Adv Water Resour* 24(7):707–723

Lemus-Canovas M, Lopez-Bustins J (2016) Variabilidad espaciotemporal de la precipitación en el sur de Cataluña y su relación con la oscilación del mediterráneo occidental (WEMO). In: *Actas del X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Alicante.

<https://doi.org/10.14198/XCongresoAECALicante2016-21>

Martínez-Fernández J (1996) Variabilidad espacial de las propiedades físicas e hídricas de los suelos en medio semiárido mediterráneo. Universidad de Murcia, Murcia

Martin-Vide J, Lopez-Bustins JA (2006) The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *Int J Climatol* 26:1455–1475

Nardini A, Lo Gullo MA, Trifilò P, Salleo S (2014) The challenge of the Mediterranean climate to plant hydraulics: responses and adaptations. *Environ Exp Bot* 103:68–79. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.09.018>

- Olcina-Cantos J (2017) Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante. *Sémata Ciencias Sociais e Humanidades* 29:143–163
- Rodrigo-Comino J, Senciales-González JM, Yu Y, Salvati L, Giménez-Morera A, Cerdà A (2021) Long-term changes in rainfed olive production, rainfall and farmer's income in Bailén (Jaén, Spain). *Euro-Mediterr J Environ Integr* 6:58.
<https://doi.org/10.1007/s41207-021-00268-1>
- Ruiz Sinoga JD, Gabarrón-Galeote MA, Martínez-Murillo JF, García-Marín R (2011) Vegetation strategies for soil water consumption along a pluviometric gradient in southern Spain. *Catena* 84:12–20. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.08.011>
- Ruiz-Sinoga JD, Romero Diaz A (2010) Soil degradation factors along a Mediterranean pluviometric gradient in Southern Spain. *Geomorphology* 118(3-118):359–368. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.02.003>
- Sillero-Medina, J.A.; Rodrigo-Comino, J.; Ruiz-Sinoga, J.D. (2021). Factors determining the soil available water during the last two decades (1997–2019) in southern Spain. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1971. Doi: 10.1007/s12517-021-08265-y
- Sillero-Medina JA, Hueso-González P, Ruiz-Sinoga JD (2019a) Caracterización de los procesos hidrogeomorfológicos en el Mediterráneo. In: Romojaro R (ed) *Las Humanidades en el mundo digital/El mundo digital en las Humanidades*. Tirant Humanidades, Valencia, pp 59–73
- Sillero-Medina JA, Hueso-González P, Ruiz-Sinoga JD (2019b) La precipitación geomorfológica como elemento clave en el modelado del paisaje mediterráneo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 82(2780):1–40.
<https://doi.org/10.21138/bage.2780>
- Terradas J (2001) *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisaje*. Omega, Barcelona
- Wang K, Dickinson RE (2012) A review of global terrestrial evapotranspiration: observation, modeling, climatology, and climatic variability. *Rev Geophys* 50:54