

Aspectos claves en el manejo del agua y el suelo en ecosistemas de dehesas

Aspectos clave en el manejo del agua y el suelo en ecosistemas de dehesa

Rafael Pérez Arellano y Sergio Andicoberry de los Reyes

1. Introducción

La dehesa es un sistema agrosilvopastoral característico y endémico de la Península Ibérica, de uso múltiple del territorio, originado por el hombre, fruto de la experiencia y del conocimiento local. Mediante el aclarado del bosque, el control de la presencia del matorral y el fomento de un estrato herbáceo diverso se ha conseguido un equilibrio que permite el aprovechamiento agrícola, ganadero y forestal en un entorno con suelos poco fértiles y en un clima de gran estacionalidad.

Al igual que en otros ecosistemas donde el principal factor limitante es el agua, su disponibilidad ejerce un importante control sobre la distribución y el estado de la vegetación en la dehesa. A su vez, la vegetación condiciona la dinámica del agua en el suelo y los principales procesos hidrológicos a escala de cuenca (González-Dugo y col., 2017). Este tipo de territorios son altamente vulnerables a los cambios previstos en el clima de la región Mediterránea, con sequías cada vez más extremas, mayor torrencialidad en las precipitaciones y una reducción de los recursos hídricos aprovechables (Kovats y col., 2014).

En los ecosistemas áridos y semiáridos, la actividad biológica está determinada por la disponibilidad de agua, que afecta además al contenido de materia orgánica, la mineralización de nutrientes y a la absorción de éstos por las plantas desde el suelo. La interacción suelo-agua-planta es importante dado que la humedad del suelo impulsa la producción primaria e influye en la dinámica de los nutrientes (Lloret y col., 2004).

Muchos autores han estudiado los factores que controlan la humedad del suelo y su importancia en los procesos del ecosistema, prediciendo la humedad del suelo a pequeña y gran escala (Bárdossy y Lehmann, 1998). El uso de la tierra juega un papel importante en el contenido de humedad del suelo al influir en las tasas de infiltración, escorrentía y evapotranspiración, particularmente durante la temporada de crecimiento (Mancilla Leytón y col., 2017). Además, la humedad del suelo juega un papel crítico en el crecimiento y la restauración de la planta en ambientes semiáridos, por lo que se necesita de una mejor comprensión de su variabilidad para mejorar los modelos hidrológicos, y ayudar a un mejor manejo de la tierra en relación con la escorrentía y el control de la erosión (Cubera y Moreno, 2007).

El contenido de agua en el suelo viene determinado por la diferencia entre los *inputs* (precipitación e infiltración, básicamente) y los *outputs* tales como la escorrentía, drenaje, evaporación y evapotranspiración (Wythers y col., 1999). Este balance depende a su vez de factores climáticos, litológicos, topográficos, edáficos y biogeográficos.

El conocimiento de los factores que afectan a las reservas de agua en el suelo resulta de vital importancia, y más aún si se tiene en cuenta el estado de degradación del suelo que frecuentemente existe en la dehesa. De todos ellos, los más importantes son aquellos que favorecen la escorrentía a expensas de la infiltración y, por consiguiente, la erosión del suelo (Ceballos y Martínez, 2002).

En el presente documento se revisa el conocimiento recopilado sobre los distintos factores que afectan a la dinámica del agua en el suelo de la dehesa. Junto a este documento se ha elaborado un manual práctico como herramienta de consulta para identificar los riesgos de erosión en explotaciones de dehesa, y recomendaciones para remediarlos en lo posible (Manejo del suelo frente a la erosión en dehesa, IFAPA)

2. Clima

El clima y el agua son factores esenciales para la producción agropecuaria de la dehesa. Su impacto exige contar con conocimientos y tecnologías que permitan adaptarse y anticiparse a sus condiciones cada vez más variables.

El clima característico de la dehesa es el mediterráneo semiárido, pluviometría entre 450 y 800 mm, con veranos secos y calurosos e inviernos algo fríos y húmedos. Las precipitaciones son escasas e irregulares, pero intensas y concentradas en periodos cortos. Esta forma de distribuirse las precipitaciones favorece la escorrentía en detrimento de la infiltración tal y como señalan numerosos estudios, los cuales encuentran una fuerte correlación entre la intensidad y la duración de las lluvias y la cantidad de escorrentía que se genera (Descheemaeker y col., 2006a). Además, el contenido de humedad del suelo también influye, siendo mayor la escorrentía cuanto más húmedo está el suelo (Ceballos y Martínez, 2002; Robinson y col., 2008).

Las áreas ocupadas por dehesas se caracterizan por una baja precipitación con una alta variabilidad dentro de un mismo año y entre años distintos, así como una alta demanda de evaporación durante el verano. Esto significa que la disponibilidad de agua es uno de los principales factores ecológicos que actúan sobre las dehesas. Varios autores que estudian la dinámica del agua en las dehesas, han demostrado la influencia positiva de los árboles en la capacidad de retención de agua del suelo, y las altas tasas de transpiración de los árboles en verano (Infante y col., 2003).

3. Características del suelo

Los suelos de la dehesa son generalmente franco-arenosos, ácidos, poco profundos y de escasa fertilidad (pobres en materia orgánica y acusada carencia de fósforo), habitualmente ubicados sobre terrenos ondulados con pendientes suaves. Las propiedades físicas del suelo, principalmente la textura, condicionan de manera muy importante la capacidad y la velocidad de infiltración y en consecuencia la cantidad de escorrentía que se genera. Otras propiedades como la cantidad de materia orgánica o la pedregosidad también pueden jugar un papel importante.

Los contenidos hídricos de estos suelos están muy influenciados por sus características edáficas texturales, principalmente por las arcillas y arenas, siendo menos importante el contenido de limos.

La dinámica del agua entre diferentes tipos de suelos es compleja, ya que en cada finca se da una situación distinta. Ceballos y col. (2005) encontraron que, a igualdad de condiciones climáticas, es la composición granulométrica, especialmente la porción fina, la principal variable que explica la distribución de la humedad en el suelo tanto espacial como temporalmente. Lozano Parra y col. (2011) muestran en sus estudios una correlación positiva entre la humedad del suelo y el contenido en arcilla, incluso a bajas proporciones de ésta.

Según estudios realizados en suelos con textura arenosa, el proceso de infiltración prevalece al de escorrentía debido a la macroporosidad del suelo, con lo que los riesgos de erosión disminuyen, favoreciéndose el drenaje y la recarga de acuíferos (Ceballos y col., 2002). Sin embargo, como aspecto negativo, la capacidad de retención del agua por el suelo es baja y por consiguiente también lo es el contenido de agua en el suelo disponible para las plantas, siendo más acuciado durante la estación seca.

En cuanto al contenido de materia orgánica en el suelo, se puede asumir que, en general, cuando éste es superior al 1%, se forman grandes agregados de suelo estable en agua a partir de microagregados

unidos por raicillas o hifas de hongos (Gartzia-Bengoetxea y col., 2016). Estos agregados suelen ser porosos y garantizan una mayor retención de agua, así como una buena oxigenación. Cuando la cantidad de agregados estables en agua es elevada, da lugar a una densidad de conjunto baja y frecuentemente una alta conductividad hidráulica (Alvear y col., 2007).

Otro factor para tener en cuenta es la pedregosidad. Martínez-Zavala y Jordán (2008) señalan que una cobertura pedregosa del suelo provee a éste de protección frente al sellado de superficie. El sellado de superficie en áreas mediterráneas ha sido identificado como un factor crucial en la reducción de la capacidad de infiltración y por tanto en el aumento de escorrentía y erosión del suelo (García Alvarado y col., 2014).

En general, la pedregosidad protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, reduce la tasa de evaporación y retrasa el tiempo necesario para que se genere encharcamiento y escorrentía. Este retraso favorece la infiltración durante eventos de tormenta (Cerdá, 2001; Martínez-Zavala y Jordán, 2008).

La repelencia al agua (Soil water repellency, SWR) es una propiedad de los suelos por la que se reduce la afinidad de los mismos por el agua y aumenta su resistencia a la humectación, pudiendo durar desde unos pocos segundos hasta semanas. Esta propiedad está asociada al uso del suelo y a los tipos de vegetación (Schnabel y col., 2013).

El concepto de repelencia es un concepto aún mal comprendido en el que parecen estar implicados distintos factores tanto bióticos como abióticos. Entre los factores bióticos están la presencia de compuestos orgánicos hidrófobos procedentes de raíces y de tejidos vegetales, la actividad fúngica y los procesos de mineralización/humificación (González Peñaloza, 2010). Temperatura y humedad del suelo, incendios, textura del suelo, mineralogía o el manejo agrícola, se consideran los factores abióticos principales que afectan a SWR (Doerr y col., 2000).

Al disminuir la tasa de infiltración en la superficie del suelo, la repelencia al agua contribuye a reducir el tiempo de generación de escorrentía y a intensificar el flujo superficial, lo que tiene a su vez otras consecuencias importantes como el aumento del riesgo de erosión, la irregularidad en el frente de mojado y el desarrollo de vías de flujo preferencial (Doerr y col., 2005). La importancia de estos efectos depende de la severidad y la variabilidad espacial de SWR (Jordán y col., 2010).

La pendiente del suelo puede ser considerado como un factor determinante para la existencia de un mayor contenido agua del suelo entre diferentes parcelas. Fu y col. (2000) informaron que el cultivo de tierras con pendiente conduce a una capa superficial del suelo porosa y friable, las cuales facilitan la infiltración de la lluvia. En áreas inclinadas con cubierta de vegetación escasa y arado de superficie, los valores de humedad del suelo aumentan más rápidamente con la profundidad que en áreas inclinadas con bosques o pastizales. Cuando las pendientes son bajas, la infiltración de agua no muestra ninguna dependencia respecto al arado del suelo (Cubera y Moreno, 2007).

4. Vegetación

La vegetación constituye un factor determinante en el comportamiento del agua en el suelo. Existen numerosos trabajos que estudian la dinámica del agua del suelo en función de la vegetación, tanto de la cobertura, como del tipo de vegetación y su distribución espacial.

La humedad del suelo es el recurso más importante que afecta a la estructura y organización de la vegetación, la cual tiene un papel activo en el uso del agua, condicionando fuertemente el equilibrio hídrico del sistema (Rodríguez-Iturbe y col., 2001). Existe abundante bibliografía sobre la relación entre la cobertura

arbórea de la dehesa y la dinámica del agua en el suelo de la misma, donde se observa que el estrato arbóreo típico de las dehesas tiene una influencia positiva en la capacidad de almacenaje de agua por el suelo (Infante y col., 2003).

La cobertura constituye un elemento clave en la degradación del suelo. En trabajos recientes en los que se estudia la influencia de la vegetación sobre el agua edáfica se concluye que, bajo la copa de los árboles, suele haber menor cantidad de agua que en los espacios adyacentes, lo que normalmente se atribuye a la interceptación de la cubierta vegetal (García Estríngana, 2011). Sin embargo, según Lozano Parra y col., (2011), se ha podido observar que este comportamiento es mucho más complejo, y que las cantidades de agua bajo los árboles y fuera de ellos son muy variables, dándose varias situaciones en una misma estación de humedad, lo que podría ser debido a una gran variabilidad de factores como la humedad antecedente del suelo o la cobertura y forma de la copa del árbol. Estudios demuestran que coberturas de vegetación por encima del 65% (Descheemaeker y col., 2006b; Girmay y col., 2009) reducen la escorrentía casi por completo en terrenos semiáridos, mientras que un porcentaje de cobertura vegetal por debajo del 40% es considerado como crítico (Belmonte Serrato y col., 2008).

La vegetación modifica la dinámica del agua de varias maneras: puede interceptar parcialmente el agua de precipitación y, junto con el posterior escurrimiento desde el dosel vegetal (trascolución), modificar la intensidad de lluvia y el diámetro de gota del agua que cae al suelo (Pérez Arellano y col., 2016). En este proceso se reduce la intensidad de la lluvia y aumenta el diámetro de las gotas, permitiendo una mayor proporción de infiltración sobre el agua caída. A pesar de su mayor diámetro, las gotas tienen una menor cantidad de energía cinética al impactar desde menor altura, y producen una menor alteración en la capa superficial del suelo, limitándose el arranque de partículas y las formaciones de costras. Por otro lado, retarda y reduce la escorrentía, disminuyendo las aportaciones en superficie, y aumentando las subterráneas y las del suelo por infiltración. También incrementa el contenido en materia orgánica del suelo, interviene en la estabilidad de los agregados del suelo y en la conductividad hidráulica. Aumenta la macroporosidad del suelo, lo que, unido a la acción de las raíces de la cubierta, contribuye a crear conductos preferenciales al agua, lo que también aumenta la infiltración. Por último, el sistema radical contribuye a lograr la descompactación de las suelas de labor (Rubio-Delgado et al., 2018).

Diversos estudios confirman el control que ejerce la dinámica de la humedad del suelo sobre el funcionamiento de estos ecosistemas, ya que las variaciones en transpiración están directamente relacionadas con el crecimiento y la producción de la vegetación. En la mayoría de los años la vegetación consume toda el agua que recibe el sistema en forma de precipitación, sin embargo, en años muy húmedos en los que se producen lluvias intensas en cortos períodos de tiempo que saturan el suelo, la escorrentía se ve favorecida e impide su aprovechamiento por parte de la vegetación (González-Dugo y col., 2017). En términos de disponibilidad de agua, la incertidumbre tanto del momento, como de la cantidad de lluvia ha inducido a la vegetación a desarrollar diferentes estrategias para responder al estrés hídrico y optimizar la reproducción y la productividad.

Parece existir una alta relación entre la repelencia del suelo al agua y la presencia del estrato arbóreo. Estudios previos han descrito una estrecha relación entre una severa repelencia del suelo al agua y el género *Quercus* (Zavala y col., 2009), que parece estar influida por el alto contenido en carbono orgánico que presenta el suelo bajo sus copas y en los compuestos fenólicos que libera la hojarasca y ramillas. Otros autores sin embargo (Schnabel y col., 2013) encuentran que incluso en las condiciones más favorables para que se produzca repelencia del suelo al agua, ésta alcanza valores bajos, aunque eso sí, los valores más altos

se alcanzan bajo la copa de *Quercus ilex*.

El estrato arbustivo también favorece la infiltración. De hecho, se ha observado en dehesas que las mayores tasas de infiltración se dan en suelos bajo cobertura arbustiva, debido por un lado a la influencia positiva que ejerce este tipo de vegetación sobre el suelo y la microfauna, similar a la comentada anteriormente para el estrato arbóreo, y por otro a que frecuentemente el estrato arbustivo suele estar confinado a las zonas de mayor pedregosidad, que como ya se ha dicho también favorece la infiltración (Lozano Parra y col., 2011).

La distribución espacial del estrato arbustivo puede desempeñar un papel fundamental en el control de la escorrentía y por consiguiente de la erosión en terrenos semiáridos, siendo más importante cuanto más pendiente presente el terreno (Ludwig y col., 2005). Estos "parches arbustivos" creados en espacios abiertos de la dehesa, además de frenar los procesos de degradación del suelo, obstruyen el flujo de la escorrentía produciendo un aumento de la infiltración, un mayor almacenaje de agua y una acumulación de los sedimentos que arrastra el flujo de escorrentía. En esta situación hay más agua disponible para las plantas por lo que el aumento de biomasa en estos parches de vegetación es mayor. Los arbustos, además, favorecen la presencia de macroinvertebrados tales como hormigas y lombrices que a su vez favorecen la formación de agregados y la macroporosidad y, por consiguiente, la infiltración (Lozano Parra, 2015).

5. Uso del suelo

El uso del suelo juega un rol importante en la humedad del suelo y en su capacidad para almacenar agua ya que tiene gran influencia en las tasas de infiltración, escorrentía y evapotranspiración, particularmente durante los periodos vegetativos. Como resultado de los diferentes usos de la tierra que se producen dentro de las dehesas vamos a distinguir entre terreno cultivado, pasto autóctono y zonas arbustivas de sotobosque.

En las últimas décadas, el rápido aumento de la densidad ganadera de las dehesas ha llevado a un mayor riesgo de degradación del suelo (Shakesby y col., 2001; Schnabel y Ferreira, 2004). El ganado influye directa e indirectamente sobre el ecosistema reduciendo la proliferación de especies arbustivas en beneficio del pastizal. El pisoteo generalmente aumenta la densidad aparente del suelo, disminuye su porosidad y aumenta la compactación, reduciendo la capacidad de retención hídrica y la tasa de infiltración significativamente (Coelho y col., 2004).

La reducción de biomasa y de la cobertura del suelo debido al pastoreo, con el consiguiente aumento del porcentaje de suelo desnudo, proporciona una menor protección contra el impacto de las gotas de lluvia. De manera indirecta, la reducción de materia orgánica en el suelo provoca una degradación física del mismo, que afecta negativamente a la capacidad de infiltración y retención hídrica, y trae como consecuencia una mayor cantidad de escorrentía superficial (Mateos-Rodríguez y Schnabel, 2009).

En áreas donde se produce sobrepastoreo, las tasas de infiltración llegan a ser menos de la mitad de las que se dan en áreas poco pastoreadas con las mismas condiciones geomorfológicas (Cubera y Moreno, 2007). Cuando además del sobrepastoreo se dan condiciones de sequía, se produce un fuerte descenso de la cobertura vegetal, aumentando el porcentaje de suelo desnudo y favoreciéndose la formación de costras y el sellado de superficie (Cerdá, 2011). Actualmente el sobrepastoreo parece ser el principal problema para la conservación de los suelos de algunos espacios adhesionados, especialmente en las vaguadas (Schnabel y col., 2009). En dehesas con presencia de cárcavas, Gómez-Gutiérrez y col. (2009) señalan como causante del desarrollo de las mismas a la presencia de elevadas cargas ganaderas.

El laboreo es una práctica habitual de la dehesa para controlar la presencia de matorral y favorecer

el desarrollo de pastos. Inicialmente, el laboreo produce un aumento de la capacidad de infiltración, sobre todo en zonas con alta presión de pastoreo y por tanto con suelos compactados, este efecto sin embargo es sólo a corto plazo (Cubera y Montero, 2007); a largo plazo los valores de infiltración son inferiores a los de un suelo cubierto de vegetación. El laboreo, sobre todo cuando precede a tormentas, puede dar lugar a fenómenos erosivos muy importantes. Además, el empleo de maquinaria de manera inadecuada puede producir problemas de compactación y aumentar considerablemente el riesgo de erosión (Schnabel y col., 2009).

La fertilización de los cultivos aumenta significativamente la biomasa del cultivo (Moreno y Rolo, 2011), lo que implica menores valores de humedad en las parcelas fertilizadas en comparación con las parcelas no fertilizadas. El aumento de nitrógeno en parcelas fertilizadas mejora la tasa de fotosíntesis y la eficiencia del uso de agua (Montero y col., 2004).

La distribución de la densidad de la raíz es el principal factor de competencia entre árboles y cultivos. Huerta Olague y col. (2012) observaron un sistema de raíces más denso y profundo en los cultivos de avena con respecto a los pastos nativos, lo que podría inducir una competencia adicional por los recursos hídricos del suelo con los árboles en comparación con los pastos nativos. Sin embargo, estudios como los de Cubera y Moreno (2007) y Martín y col. (2003) observaron que los valores promedio del contenido del agua en el suelo fueron similares en las parcelas cultivadas y apacentadas, lo que parece indicar que los cultivos de cereales no consumen más agua que los pastos nativos.

En la capa superior del suelo, los árboles, pastos y arbustos obtienen los recursos hídricos del suelo de manera similar tanto debajo como más allá del dosel del árbol (Cubera y Moreno, 2007). Sin embargo, las parcelas arbustivas en general muestran unos valores promedio más bajos de contenido de agua en el suelo que las parcelas cultivadas o apacentadas. Esto se produce principalmente más allá del tronco del árbol en las capas más profundas del suelo, lo que indica que los arbustos utilizan agua en parte no accesible para los árboles.

Se puede afirmar que los cultivos no introducen una competencia adicional por el agua del suelo con árboles en comparación con los pastos naturales. La fertilización del suelo podría favorecer un aumento en la eficiencia del uso del agua de los árboles y una mejora de su estado hídrico. Finalmente, un correcto manejo del suelo en las zonas adehesadas podría favorecer su capacidad de infiltración y su productividad con una menor erosión.

Bibliografía

Alvear, M., Reyes, F., Morales, A., Arriagada, C., & Reyes, M. (2007). Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-Sur de Chile con perturbación antrópica. *Ecología Austral*, 17(1), 113-122.

Bárdossy, A., & Lehmann, W. (1998). Spatial distribution of soil moisture in a small catchment. Part 1: Geostatistical analysis. *Journal of Hydrology*, 206(1-2), 1-15. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00152-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00152-2)

Belmonte Serrato, F., López Bermúdez, F., & Romero Díaz, A. (2008). Reducción De La Biomasa Del Pino Carrasco (*Pinus halepensis*) En Un Área Del Sureste Semiárido Peninsular Como Estrategia Para Evitar El Estrés Hídrico. *Papeles de Geografía*, 47-48, 25-34.

Ceballos, A., Martínez-Fernández, J., Santos, F., & Alonso, P. (2002). Soil-water behavior of sandy soils under

- semi-arid conditions in the Duero basin (Spain). *Journal of Arid Environments*, 51(4), 501-519. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(02\)90973-0](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(02)90973-0)
- Ceballos, A., & Martínez Fernández, J. (2002). Dinámica de la humedad de las formaciones superficiales en unidades espaciales representativas de ecosistemas adehesados. *Cuaternario y Geomorfología*, 16 (1-4), 33-42. Retrieved from <http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/>
- Ceballos, A., Martínez Fernández, J., Hernández Santana, V., Morán Tejeda, C., & Casado Ledesma, S. (2005). Variabilidad espacio-temporal de la humedad del suelo en el sector semiárido de la cuenca del Duero (España). *Rev. C. & G.*, 19(3-4), 63-77.
- Cerdá, A. (2001). Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion. *European journal of soil science*, 52: 59-68.
- Coelho, C.O.A., Ferreira, A.J.D., Laouina, A., Hamza, A., Chaker, M., Naafa, R., Regaya, K., Boulet, A.K., Keizer, J.J., & Carvalho, T.M.M. (2004). Changes in land use and land management practices affecting land degradation within forest and grazing ecosystems in the Western Mediterranean. In: Schnabel, S., Ferreira, A. (Eds.), *Advances in GeoEcology 37: Sustainability of Agrosilvopastoral Systems - Dehesas, Montados*. Catena Verlag, Reiskirchen, pp. 137-153.
- Cubera, E., & Moreno, G. (2007). Effect of land-use on soil water dynamic in dehesas of Central-Western Spain. *Catena*, 71(2), 298-308. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.01.005>
- Descheemaeker, K., Nyssen, J., Rossi, J., Poesen, J., Haile, M., Raes, D., & Deckers, S. (2006a). Sediment deposition and pedogenesis in exclosures in the Tigray highlands, Ethiopia. *Geoderma*, 132(3-4), 291-314. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.04.027>
- Descheemaeker, K., Nyssen, J., Poesen, J., Raes, D., Haile, M., Muys, B., & Deckers, S. (2006b). Runoff on slopes with restoring vegetation: A case study from the Tigray highlands, Ethiopia. *Journal of hidrology* 331: 219-241.
- Doerr, S.H., Shakesby R.A., & Walsh, R.P.D. (2000). Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphologic significance. *Earth Sci Rev.*, 51, pp. 33-65
- Doerr, S.H., Llewellyn, C.T., Douglas, P., Morley, C.P., Mainwaring, K.A., Haskins, C., Johnsey, L., Ritsema, C.J., Stagnitti, F., Allinson, G., Ferreira, D., Keizer, J.J., Ziogas, A.K., & Diamantis, J. (2005). Extraction of compounds associated with water repellency in sandy soils of different origin. *Soil Res.*, 43, pp. 225-237
- Fu, B., Chen, L., Ma, K., Zho, H., & Wang, J., (2000). The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China. *Catena* 39, 69-78.
- García Alvarado, J. M., Pérez González, M. E., & García Rodríguez, M. P. (2014). Revisión del concepto de sellado de suelos y propuesta de tipología urbana. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 34(1), 87-103. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n1.45193
- García Estríngana, P. (2011). Efectos de diferentes tipos de vegetación mediterránea sobre la hidrología y la pérdida de suelo. Universidad de Alcalá.
- Gartzia-Bengoetxea, N., Kandeler, E., Martínez de Arano, I., & Arias-González, A. (2016). Soil microbial functional activity is governed by a combination of tree species composition and soil properties in temperate forests. *Applied Soil Ecology*, 100, 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.11.013>

- Girmay, G., Singh, B.R., Nyssen, J., & Borrosen, T. (2009). Runoff and sediment-associated nutrient losses under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia. *Journal of Hydrology* 376: 70-80.
- Gómez-Gutiérrez, A., Schnabel, S. & Blasco, S. (2009). Variación temporal de la erosión por cárcavas en los fondos de valle bajo explotación de dehesa. *Cuadernos de investigación geográfica* Nº 35, ISSN 0211-6820, págs.. 289-304.
- González-Dugo, M. P., Chen, X., Andreu, A., Carpintero, E., Gómez-Giráldez, P., & Su, Z. (2017). Evolución de la evapotranspiración y el estrés hídrico de la vegetación de dehesa en la Península Ibérica (2001-2015). *Revista de Teledetección*, 27-36.
- González Peñalosa, F. Á. (2010). Repelencia al agua en suelos mediterráneos: factores, causas e implicaciones hidrológicas. Universidad de Sevilla.
- Huerta Olague, J.J, Ríos Berber, J.D., Oropeza Mota, J.L., Martínez Menes, M.R., Guevara Gutiérrez, R.D., Ramírez Ayala, C., & Velázquez Mendoza, J. (2012). Efecto del sistema radical de cuatro cultivos en la erosión del suelo. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 271-278.
- Infante, J. M., Domingo, F., Fernández Alés, R., Joffre, R., & Rambal, S. (2003). *Quercus ilex* Transpiration as Affected by a Prolonged Drought Period. *Biología Plantarum*, 46(1), 49-55.
- Jordán, A., González, F. A., & Zavala, L. M. (2010). Re-establishment of soil water repellency after destruction by intense burning in a Mediterranean heathland (SW Spain). *Hydrological Processes*, 24(6), 736-748. <https://doi.org/10.1002/hyp.7519>
- Kovats, R.S., Valentini, R., Bouwer, L.M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., Rounsevell, M., & Soussana, J.-F. (2014). Europe. 2014. En: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, y L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, USA, pp. 1267-1326.
- Lloret, F., Peñuelas, J., & Ogaya, R. (2004). Establishment of co-existing Mediterranean tree species under a varying soil moisture regime. *Journal of Vegetation Science*, 15(2), 237-244. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02258.x>
- Lozano Parra, F. J. (2015). Dinámica del agua edáfica en dehesas y su relación con el clima y la vegetación. Universidad de Extremadura.
- Lozano Parra, F. J., Ceballos, A., & Schnabel, S. (2011). Dinámica del agua del suelo en dehesas bajo diferentes cubiertas vegetales. Resultados preliminares. *Estudios En La Zona No Saturada Del Suelo. Vol X, X*, 53-58. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2120615>
- Ludwig, J.A., Wilcox, B.P., Breshears, D.D., Tongway, D.J., & Imeson, A.C. 2005. Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. *Ecology* 86: 288-297.
- Mancilla Leytón, J. M., Puerto Marchena, A., & Martín Vicente, Á. (2017). Land use and land cover dynamics in the dehesa of Sierra Morena Biosphere Reserve (Sierra Norte de Sevilla Natural Park, Spain), 1956-2007. *Madera y Bosques*, 23(2), 133. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.232552>
- Martín, J.L., Valle, C.J., Blanco de Pablos, A., Sánchez, M.E., 2003. La dehesa y los recursos forrajeros:

- fertilización, laboreo y siembra de forrajes. I, Influencia en el medio natural (suelo y vegetación). *Span. J. Agric. Res.* 1 (1), 23-33.
- Martínez-Zavala, L., & Jordán, A. (2008). Effect of rock fragment cover on interrill soil erosion from bare soils in Western Andalusia, Spain. *Soil Use and Management*, 24(1), 108-117. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00139.x>
- Mateos-Rodríguez, A.B. & Schnabel, S. (2009). Influencia de la poda del arbolado en el volumen y distribución de la lluvia sobre el suelo en el ecosistema dehesa. *Avances en estudios sobre desertificación: aportaciones al Congreso Internacional sobre Desertificación en memoria del profesor John B. Thornes. Topic 4: Water-Soil-Vegetation*, 579-582.
- Montero, M.J., Obrador, J.J., Cubera, E., & Moreno, G., (2004). The role of Dehesa land use on tree water status in Central-Western Spain. In: Schnabel, S., Ferreira, A. (Eds.), *Advances in Geoecology 37: Sustainability of Agrosilvopastoral Systems-Dehesas, Montados*. Catena Verlag, Reiskirchen, pp. 125-136.
- Moreno, G., & Rolo, V. (2011). Dinámica del uso del agua edáfica entre estratos vegetales en dehesas matorralizadas del suroeste de la península Ibérica. *Estudios En La Zona No Saturada Del Suelo*, X, 53-58. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2120615>
- Pérez Arellano, R., Moreno Pérez, M. F., & Roldán Cañas, J. (2016). Comparación de modelos de interceptación de agua de lluvia en individuos aislados de *Pinus pinea* y *Cistus ladanifer*. *Ingeniería Del Agua*.
- Robinson, D. A., Campbell, C. S., Hopmans, J. W., Hornbuckle, B. K., Jones, S. B., Knight, R., & Wendroth, O. (2008). Soil Moisture Measurement for Ecological and Hydrological Watershed-Scale Observatories: A Review. *Vadose Zone Journal*, 7(1), 358. <https://doi.org/10.2136/vzj2007.0143>
- Rodríguez-Iturbe, I., Porporato, A., Laio, F., & Ridolfi, L. (2001). Plants in water-controlled ecosystems: active role in hydrologic processes and response to water stress. *Advances in Water Resources*, 24, 695-705. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(01\)00006-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(01)00006-9)
- Rubio-Delgado, J., Schnabel, S., Gómez-Gutiérrez, Á., & Sánchez-Fernández, M. (2018). Estimation of soil erosion rates in dehesas using the inflection point of holm oaks. *Catena*, 166, 56-67. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.03.017>
- Schnabel, S., & Ferreira, A. (2004). Prolog. In: Schnabel, S., Ferreira, A. (Eds.), *Advances in GeoEcology 37: Sustainability of Agrosilvopastoral Systems-Dehesas, Montados*. Catena Verlag, Reiskirchen. 2 pp.
- Schnabel S., Gómez-Gutiérrez, Á., & Lavado-Contador, J.F. (2009) Grazing and soil erosion in dehesas of SW Spain. In: Romero Díaz A, Belmonte Serrato F, Alonso-Sarriá F, López Bermúdez F (eds) *Advances in studies on desertification*, Editum, Murcia, pp 725-728
- Schnabel, S., Pulido-Fernández, M., & Lavado-Contador, J.F. (2013). Soil water repellency in rangelands of Extremadura (Spain) and its relationship with land management. *Catena* 103: 53-61.
- Shakesby, R.A., Coelho, C.O.A., Schnabel, S., Keizer, J.J., Clarke, M.A., Lavado, J.F., Walsh, R.P.D., Ferreira, A.J.D., & Doerr, S.H. (2001). Are the dehesa/montado agro-forestry practices of Spain and Portugal low erosion-risk land-use options? In: Helming, K. (Ed.), *Multidisciplinary Approaches to Soil Conservation Strategies*. ZALF-Berichte Müncheberg, vol. 47, pp. 127-132.
- Wythers, K. R., Lauenroth, W. K., & Paruelo, J. M. (1999). Bare soil evaporation under semi-arid field conditions.

Soil Science Society of America Journal, 63(5), 1341-1349.

Zavala, L.M., González, F.A., & Jordán, A. (2009). Intensity and persistence of water repellency in relation to vegetation types and soil parameters in Mediterranean SW Spain. *Geoderma* 152: 361-374.