

## DINÁMICA DEL USO DEL AGUA EDÁFICA ENTRE ESTRATOS VEGETALES EN DEHESAS MATORRALIZADAS DEL SUROESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

G. Moreno, V. Rolo

Departamento Biología Vegetal, Ecología y Ciencias de la Tierra, Universidad de Extremadura, Centro Universitario, Plasencia 10600 (Cáceres), gmoreno@unex.es, rolo@unex.es

**RESUMEN.** El aclarado tradicional del arbolado en la dehesa incrementa la disponibilidad de agua para los árboles restantes, atenuando así la duración e intensidad de los efectos del déficit hídrico estival. Sin embargo, la creciente matorralización de la dehesa (y otros sistemas silvopastorales mediterráneos) podría modificar profundamente la dinámica del uso del agua edáfica entre estratos vegetales en éste sistema. El presente trabajo analiza la dinámica del agua edáfica durante 2 años en 2 dehesas extremeñas, diferenciadas por el tipo de matorral presente (*Cistus ladanifer*, de sistema radicular somero, y *Retama sphaerocarpa*, de sistema radicular profundo). En ambas dehesas se estudiaron 4 ambientes (árbol, matorral, combinación de ambos (árbol+matorral), y ausencia de ambos (pasto)), mediante sondas Diviner instaladas hasta 160 y 260 cm (dehesas de *Cistus* y *Retama*, respectivamente), con 4 réplicas por dehesa y ambiente. Las lecturas de humedad se realizaron mensualmente desde Abril 2009 a marzo 2011, en intervalos 10 cm de profundidad. En ambos casos, el arbolado redujo la humedad edáfica del suelo respecto a las zonas lejos de su influencia (pasto), observándose una incompleta rehumectación de las capas profundas del perfil durante el invierno del primer año. A pesar de su sistema radicular poco profundo la presencia de *Cistus* redujo significativamente la disponibilidad de agua en todo el perfil. En cambio, la presencia de *Retama*, con un sistema radicular similar al arbolado, incremento significativamente la disponibilidad de agua edáfica en todo el perfil, aunque en mayor medida en las capas superiores. Este efecto positivo de la *Retama* se observó tanto en el periodo estival como en la estación húmeda. Los efectos de la matorralización de la dehesa en la dinámica del agua edáfica parecen ser dependientes del tipo de especie presente y una densa matorralización con determinadas especies puede comprometer los beneficios de la baja densidad de arbolado para la productividad del sistema.

**ABSTRACT.** Tree clearing in Mediterranean silvopastoral systems, as Iberian dehesas, has been a traditional management practice to increase soil water availability for remnant trees in order to cope more easily with summer water deficit. However, in last decades an increasing shrub encroachment is taking place in this system and other open woodlands, what could modify thoroughly their water dynamic, functioning and productivity. Here we measure soil water dynamic during two consecutive years in two dehesas of northern Extremadura, one with *Cistus ladanifer* (extended shallow root system) and the other one with

*Retama sphaerocarpa* (deep root system) as shrub understory. Four habitats are compared in each site: beneath tree, shrub, or tree+shrub canopy, and in open pasture. Four replicate access tube were installed for each site and habitat, and soil moisture was measured monthly for two years (from April 2009 till march 2011) every 10 cm down to 160 y 260 cm (*Cistus* and *Retama* dehesas, respectively) with a Diviner probe. In both sites, soil moisture was higher in open pasture than beneath tree canopy, and soil profile did not wholly recharged water in depth at the end of wet season in the dry year. *Cistus* diminished significantly soil moisture respect to open pasture and also respect to trees. Differences were significant throughout the profile. By contrast, *Retama* increased significantly soil moisture along the whole profile respect to the other tree habitats, although the effect was more marked in the uppermost soil layers. This positive effect of *Retama* was observed both in dry and wet seasons. Trees with a *Cistus* understory had a reduced water reserve respect to control trees while with *Retama* showed a contrary pattern. Shrub effects on soil water reserve are species-dependent and a generalized shrub encroachment with certain species could compromise the successful structure of dehesas in water-limited regions.

### 1.- Introducción

El área de distribución de la dehesa Ibérica se caracteriza por presentar exceso de demanda atmosférica de humedad respecto a unas precipitaciones limitadas y con gran irregularidad intra- e inter-anual. De hecho el factor ecológico que más determina el funcionamiento y productividad de la dehesa es la disponibilidad hídrica para las plantas (Infante et al. 2003). Los sistemas de reducida densidad arbórea como la dehesa han sido mostrados como eficientes en términos de economía hídrica (Joffre y Rambal 1993). El arbolado disperso utiliza en gran medida el agua disponible en toda la superficie, gracias a su extenso sistema radicular (Moreno et al 2005). El aumento de la densidad arbórea por encima de cierto umbral (> 40%) aumenta significativamente el déficit hídrico experimentado por el arbolado en dehesas semiáridas (Moreno y Cubera 2008).

En las últimas décadas muchos sistemas savanoides del mundo están experimentando un aumento progresivo del estrato arbustivo ('encroachment'; Barnes y Archer 1999; van Auken 2000), al igual que ocurre en diversos sistemas

silvopastorales mediterráneos (Papanastasis 2004), incluido la dehesa (Fernández-Alés et al. 1992; Pinto-Correia y Mascarenhas 1999). Además en los últimos años, diversos autores han recomendado la presencia de un estrato arbustivo en la dehesa para favorecer la regeneración natural del arbolado (Smit y Díaz 2007; Plieninger et al 2010; Pulido et al. 2010). Sin embargo, la presencia de un estrato arbustivo en estos sistemas savanoides afecta profundamente a la dinámica de sus recursos y a su funcionamiento (Cushman et al. 2010), afectando presumiblemente al funcionamiento, productividad y rentabilidad de los sistemas manejados como la dehesa.

Al transformar un sistema de 2 estratos vegetales (árbol – pasto) en otro de 3 estratos (-árbol – matorral – pasto), surgen interacciones planta-planta nuevas (arbusto-árbol y arbusto-pasto), presumiblemente de tipo competitivo, aunque mecanismos de facilitación también son posibles (Maestre et al. 2009). En este sentido, aunque se han descrito efectos positivos del arbolado de la dehesa sobre las propiedades físicas del suelo y capacidad de agua (e.g., Joffre y Rambal, 1993), los resultados sobre la humedad edáfica son contradictorios, habiendo descritos algunos autores valores superiores de humedad edáfica bajo la copa de los árboles (Joffre y Rambal 1993), y otros valores inferiores (Cubera y Moreno, 2007a) respecto a las zonas fuera de la influencia del arbolado de la dehesa.

La presencia de matorral en la dehesa es generalmente combatida por sus propietarios. Pero se desconoce las consecuencias reales de la presencia del matorral para su funcionamiento y productividad de la dehesa. Cubera y Moreno (2007b) han mostrado una disminución significativa de la reserva hídrica del suelo en dehesas matorralizadas mientras que algunos autores han mostrado un efecto positivo de algunas especies arbustivas mediterráneas en la humedad de los horizontes superiores del suelo (e.g., Retama, Moro et al. 1997). La dominancia de interacción competitiva o facilitadora presumiblemente dependerá de la disponibilidad de recursos y de las especies implicadas (Maestre et al. 2009). En este contexto es necesario estudiar la dinámica hídrica del suelo en dehesas matorralizadas y conocer las consecuencias del estrato arbustivo para la disponibilidad de agua del estrato arbóreo superior y herbáceo inferior.

El objetivo de este trabajo es analizar las consecuencias de la presencia de 2 tipos matorral, de ecología contrastada (*Cistus ladanifer*, de sistema radicular somero, y *Retama sphaerocarpa*, de sistema radicular profundo; Rolo et al. 2009; ver también Haase et al. 1996 y Silva et al. 2002) en la disponibilidad de agua para los estratos arbóreo y herbáceo de la dehesa. Como hipótesis, esperamos mostrar que *Cistus* utiliza fundamentalmente el agua de los horizontes superiores (competencia preferentemente con las herbáceas), mientras que la *Retama* utiliza mayoritariamente la humedad de horizontes profundos (competencia preferentemente con la encina), ejerciendo un papel positivo sobre la humedad de los horizontes superficiales, debido ascenso hidráulico (hydraulic lift) que ha sido descrito para *Retama sphaerocarpa* (Prieto et al. 2010).

## 2.- Material y métodos

El estudio se ha realizado en 2 dehesas del Norte de Extremadura (39.54N, 06.30 W), dominadas por un estrato arbóreo de encina (*Quercus ilex*; 20-30 pies ha<sup>-1</sup> de 44.8 ± 1.3 cm de diámetro normal) y estrato herbáceo dominado por especies anuales (*Agrostis curtisii*, *Ornithopus compressus*, *Bellis perennis*, *Helianthemum guttatum*), con clima típicamente mediterráneo (medias anuales de 568 mm y 15.7 °C), y suelos oligotróficos, ácidos (pH 5.0-5.5; Cambisol distríco). Una de las dehesas (suelo de textura franco-limosa, sobre pizarras, potencia 80 cm) presenta parcelas con presencia de jara (*Cistus ladanifer*; 76.1 ± 1.6 % de cobertura) y la segunda dehesa (suelo de textura franco-arenosa, sobre material sedimentario, gran potencia >200 cm) presenta parcelas con presencia de retama (*Retama sphaerocarpa*; 32.3 ± 1.6 % de cobertura). En ambos casos, la densidad o cobertura del matorral era representativa de la situación común de las dehesas ibéricas.

En cada una de las dehesas se seleccionaron 4 bloques, cada uno con 2 parcelas adyacentes, una sin estrato arbustivo (parcela control) y otra con estrato arbustivo (parcela matorralizada). En la primera se identificaron 2 ambientes, bajo copa (Árbol) y lejos de la copa (Pasto) de las encinas, y en la segunda otros 2 ambientes, bajo copa (Árbol+Matorral) y lejos de copa (Matorral). En cada ambiente se instaló en el suelo un tubo de acceso hasta 160 y 260 cm de profundidad (finca con jara y retama, respectivamente) en Enero 2009. Se instaló un total de 32 tubos (2 fincas x 4 bloques x 4 ambientes). La humedad del suelo se midió mensualmente mediante sonda Diviner 2000 (Sentek, Stepney, Australia) en intervalos de 10 cm de profundidad, desde Abril de 2009 hasta Marzo 2011. Los valores medios se analizaron mediante GLM (General Lineal Model) con un modelo tipo ANOVA de medidas repetidas, con Ambiente y Profundidad (valores agrupados en intervalos de 50 cm de profundidad) como variables independientes. Las lecturas de los 24 meses (variables dependientes) se analizaron considerando 3 niveles de medidas repetidas Año (2) y Estación (4) y Mes (3). El modelo incluye las interacciones entre los 5 factores, aunque en este artículo sólo nos referiremos al factor Ambiente y a las interacciones en las que este factor este implicado. Se realizaron 2 ANOVAs (uno por finca) mediante el programa Statistica 7.0.

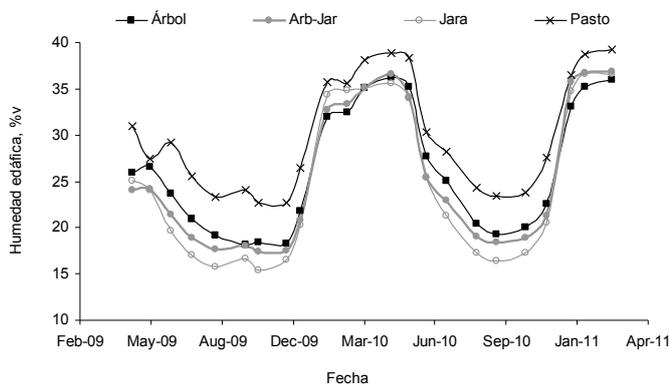
## 3.- Resultados

Las Figs. 1 y 2 representan los valores mensuales de humedad edáfica promediados los datos de 4 perfiles completos para cada ambiente y finca. Aunque con algunos matices, todos los ambientes de las 2 fincas mostraron un patrón temporal similar: (i) rápida rehumectación en otoño, (ii) más progresiva desecación en primavera, alcanzando (iii) valores máximos similares en los 2 inviernos, y (iv) valores mínimos similares hacia final de verano. Máximos y mínimos se alcanzaron en

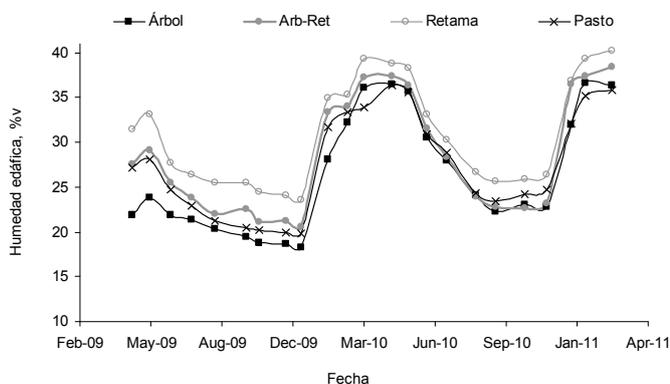
fechas similares para todos los ambientes estudiados, a inicio de primavera y de otoño, respectivamente. Aunque con diferencias en valores absolutos entre los diferentes ambientes y fincas, los perfiles de humedad fueron bastante similares entre si (Fig. 3 y 4).

Hay que destacar que la primavera de 2009 fue netamente menos lluviosa, a inicio de la misma el suelo presentaba valores medios de humedad de alrededor 10 puntos porcentuales por debajo de los valores medios de las primaveras 2010 y 2011. Las diferencias entre la primavera 2009 y las 2 siguientes fueron notables en todos los ambientes estudiados, pero fueron más acusadas en presencia del estrato arbóreo o de *Cistus*, y menos acusadas en presencia de sólo pasto o *Retama* (Fig. 1 y 2). La menor recarga hídrica en el invierno-primavera del 2009, provocó que en verano se alcanzaran valores mínimos más bajos que los encontrados en el verano siguiente, siendo en este caso las diferencias más acusadas en la finca con retamas, de suelos más profundos.

También es destacable que en el otoño 2009, la rehumectación del suelo en todos los casos no se inició hasta diciembre, mientras que en el año siguiente ya en octubre se había iniciado. Además, mientras que en la finca de jara, de suelo poco profundo, la humedad del suelo apenas varió durante el otoño seco del 2009, el suelo si continuó desecándose durante los meses de otoño en la finca de retama, de suelo profundo (Fig. 1 y 2).



**Fig. 1.** Patrón estacional de humedad edáfica en dehesas con jaras. Se presentan los valores medios de 4 perfiles para cada tipo de ambiente: bajo árbol, bajo jara, bajo la combinación de ambos, y en zona de pasto sin vegetación leñosa.



**Fig. 2.** Patrón estacional de humedad edáfica en dehesas con retamas. Se presentan los valores medios de 4 perfiles para cada tipo de ambiente: bajo árbol, bajo retama, bajo la combinación de ambos, y en zona de pasto sin vegetación leñosa.

Para ambas fincas los ANOVAs detectaron la existencia de diferencias significativas para todas las variables analizadas, así como la mayoría de las correspondientes interacciones ( $p < 0.01$ ), con pocas excepciones que se comentan más abajo.

En la finca de jara, la humedad varió significativamente entre ambientes ( $F_{3,160} = 20.6$ ;  $p < 0.001$ ), siendo el valor medio significativamente superior en el Pasto e inferior en Matorral, con valores intermedios y similares entre si en Árbol y Árbol-Matorral intermedios (Fig. 1). Estas diferencias fueron consistentes para el primer metro del suelo, pero entre 100-150 cm de profundidad, la humedad en Árbol fue inferior a la encontrada en Matorral (Fig. 3; Interacción Ambiente x Profundidad significativa;  $F_{6,160} = 3.54$ ;  $p = 0.003$ ). La menor humedad encontrada bajo la copa de los árboles en capas profundas del suelo se debió fundamentalmente a la más lenta recarga hídrica del suelo bajo la copa de los mismos. Aunque en verano la humedad llega a ser inferior bajo la jara a cualquier profundidad, durante el invierno el suelo en profundidad permanece más seco bajo los árboles (Interacción Ambiente x Profundidad x Estación significativa;  $F_{18,480} = 4.69$ ;  $p < 0.001$ ). Esta interacción también nos desvela que las mayores diferencias entre Pasto y el resto de ambientes se producen a partir de 100 cm de profundidad durante la primavera, el verano y el otoño (Fig. 3). Sólo en el invierno tienden el resto de ambientes a igualarse con Pasto en profundidad. El patrón descrito fue independiente del año estudiado, a pesar del fuerte contraste entre años antes señalada (Interacción Ambiente x Profundidad x Estación x Año no significativa;  $F_{18,480} = 1.16$ ;  $p = 0.29$ ).

En la finca de retama también se produjeron diferencias muy significativas entre ambientes ( $F_{18,480} = 1.16$ ;  $p = 0.29$ ), pero ahora los valores de humedad más altos se produjeron bajo la retama, y los valores más bajos junto a los árboles (Fig. 2). La humedad bajo los árboles en la parcela matorralizada fue superior a los encontrados en los árboles control, igualándose los valores a los encontrados en el pasto abierto. Estas diferencias se produjeron a lo largo de todo el perfil (Fig. 4; interacción Ambiente x Profundidad no significativa;  $F_{18,480} = 1.16$ ;  $p = 0.29$ ) y en las cuatro estaciones (Interacción Ambiente x Profundidad x Estación no significativa;  $F_{36,480384} = 1.16$ ;  $p = 0.238$ ). No obstante, la interacción Ambiente x Estación si fue significativa ( $F_{9,864} = 5.87$ ;  $p < 0.001$ ), debido a que la humedad bajo árbol igualó a la de pasto durante del invierno, y la de humedad bajo árbol-retama superó a la de pasto. Las diferencias más acusadas entre ambientes se observaron el verano y primavera del primer año, el mas seco (Interacción Ambiente x Profundidad x Estación x Año significativa;  $F_{36,480} = 1.66$ ;  $p = 0.009$ ).

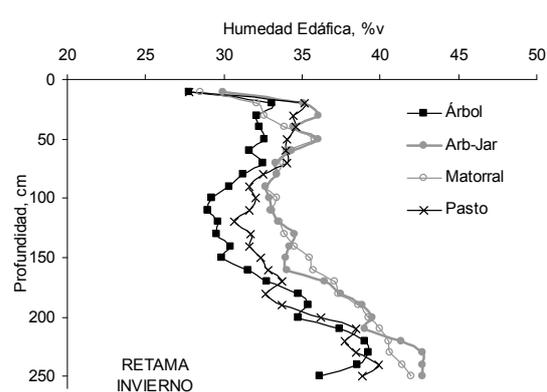
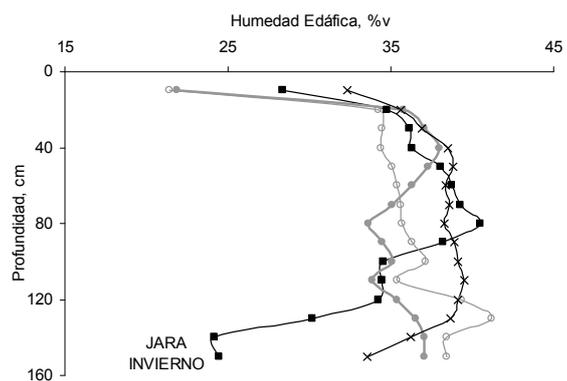
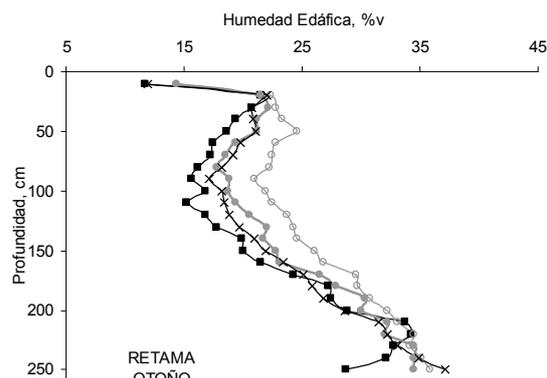
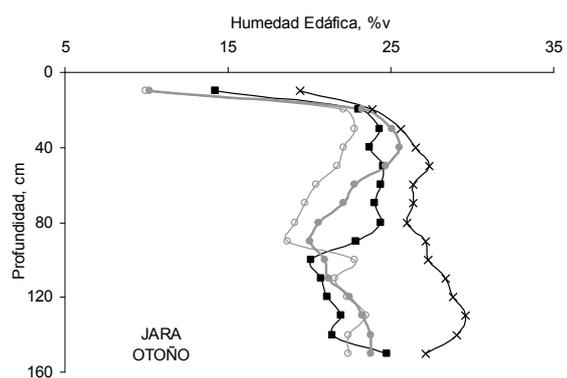
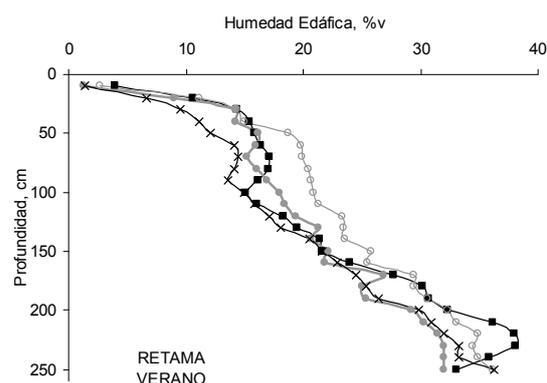
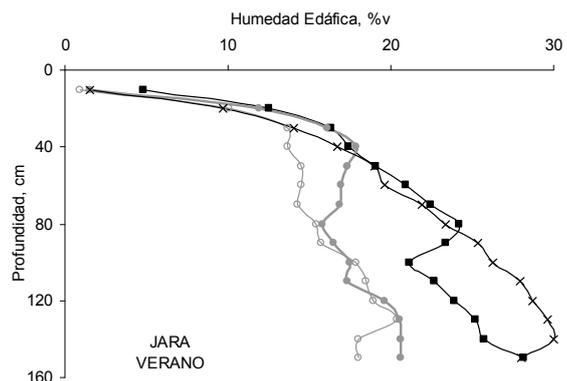
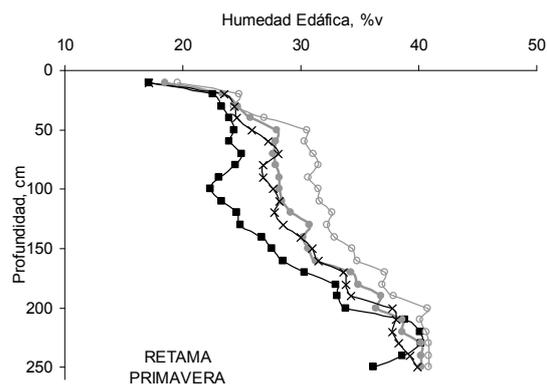
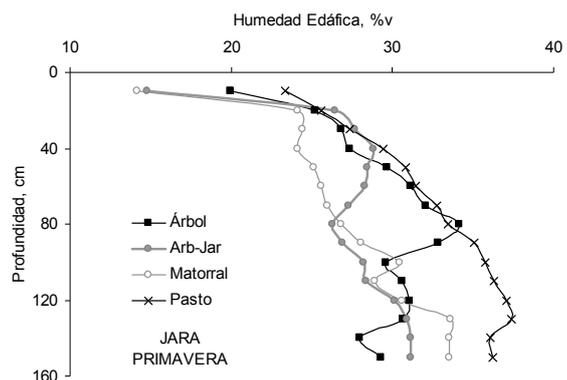


Fig. 3. Valores medios de humedad edáfica por estación (promediados valores años 2009 y 2010) en dehesas con presencia de 4 ambientes: bajo encina, bajo retama, bajo encina+jara, y en pasto.

Fig. 4. Valores medios de humedad edáfica por estación (promediados valores años 2009 y 2010) en dehesas con presencia de 4 ambientes: bajo encina, bajo retama, bajo encina+retama, y en pasto.

#### 4.- Discusión

La disponibilidad de humedad edáfica es un factor determinante de la productividad de la dehesa, aunque algunos estudios han mostrado cierta independencia del volumen anual de las precipitaciones. La producción de pasto depende fundamentalmente del volumen de lluvia primaveral (Gea-Izquierdo et al 2007), y la productividad del arbolado depende fundamentalmente del distanciamiento que les permite explorar/utilizar un gran volumen de suelo (Moreno y cubera 2008). No obstante, la concatenación de estaciones secas, como ocurrió con la primavera, verano y otoño del 2009, puede causar un consumo exhaustivo del agua edáfica incluso en suelos profundos de sistemas de arbolado abierto como la dehesa. En estos episodios secos, la estructura de la vegetación de la dehesa llega a ser clave para la dinámica estaminal del agua edáfica.

La humedad del suelo fue menor bajo el árbol que en el pasto abierto en las 2 fincas estudiadas, en consonancia con los resultados encontrados por Cubera y Moreno (2007a), pero en contra del supuesto efecto positivo mucha veces descrito para la encina en la dehesa (Joffre y Rambal 1993), y otros árboles de ambientes semiáridos (Casper y Jackson 1997). La mejora de las propiedades físicas del suelo bajo la copa de los árboles (Joffre y Rambal 1988) no parece suficiente para asegurar una reserva hídrica mayor respecto a las zonas de pasto abierto. El consumo de agua por parte del arbolado (transpiración; Infante et al 2003) y la interceptación del agua de lluvia (Mateos y Schnabel 2002) durante la estación húmeda parece dificultar la recarga completa del suelo al menos los años secos.

La presencia de jara en la dehesa redujo de forma muy significativa la reserva de agua del suelo. Aunque no afectó mucho a la recarga invernal y en profundidad alcanzó valores similares al pasto, en le resto de estaciones la humedad es mucho menor bajo jara, indicando que ésta realiza una extracción mucho más exhaustiva del agua del suelo que el pasto. En primavera, periodo de máximo crecimiento del pasto, el suelo presenta mucha menor humedad en presencia de jara. La reducción de la humedad edáfica, junto con la disminución del N edáfico (Rolo et al. 2011a) explican la supresión casi completa del crecimiento del pasto que produce la jara en la dehesa (Rivest et al. 2011), al margen del posible papel que jueguen las sustancias alelopáticas descritas por Chaves et al. (2002).

Menos previsible era encontrar que la jara, de sistema radicular aparentemente superficial (Silva et al. 2002), reduce también la reserva hídrica en capas profundas, hasta el punto de alcanzar valores inferiores a la observada bajo la copa de los árboles, al menos en las estaciones de mayor actividad vegetal. Este resultado desvela la fuerte competencia competitiva que puede ejercer la jara también para el estrato arbóreo. Rolo y Moreno (2011) indicaron que la jara disminuye el potencial hídrico estival de la encina y Rivest et al. (2011) muestran una disminución de su crecimiento y producción de bellotas.

La retama aumentó de forma muy acusada la cantidad de

agua disponible en el suelo. Este resultado se explica al menos en parte por su capacidad para bombear agua profunda y liberarla en las capas superficiales del suelo (ascenso hidráulico; Prieto et al. 2010). Este mecanismo explicaría el aumento de la humedad en el horizonte superior del suelo, durante los meses estivales. De hecho, en nuestro estudio se produjo un efecto positivo más neto el año más seco. No obstante, en este estudio el aumento de la humedad edáfica bajo las retamas se observó para todas las profundidades y estaciones del año. Esta mejora tan generalizada de la humedad debe explicarse, además, por una mejora sustancial de las propiedades físicas del suelo.

El aumento de la humedad en los horizontes superiores explica, junto al efecto positivo de la retama en la nutrición nitrogenada y magnésica del pasto (Rolo et al 2011), deben explicar el aumento de la producción de pasto en la proximidad de las retamas (Rivest et al. 2011). El papel positivo de la retama compensó parcialmente el efecto negativo que tiene el arbolado sobre la reserva hídrica del suelo, de modo que los árboles acompañados de retama presentan valores de humedad edáfica superiores a la que presentan los árboles control. Este resultado, sin embargo, se contradice con el hecho de que los árboles de las parcelas matorralizadas presenten valores de potencial hídrico foliar ligeramente inferiores a los encontrados en las parcelas control. David et al (2007) demostraron la capacidad de la encina para utilizar agua libre localizada a profundidades superiores a 10 m de profundidad, profundidad fácilmente alcanzable para la retama (Haase et al 1996).

#### 5.- Conclusiones

Los efectos de la matorralización de la dehesa en la dinámica del agua edáfica parecen ser dependientes del tipo de especie presente y una densa matorralización con determinadas especies, como la jara, puede comprometer los beneficios de la baja densidad de arbolado para la productividad del sistema. De los resultados aquí presentados se puede concluir que además de competir con el estrato herbáceo, también parece competir con el arbolado. En cambio, la retama aumenta significativamente la humedad del suelo, incluso de capas relativamente profundas (> 100 cm profundidad), indicando un bombeo eficiente de agua posiblemente freática, pudiendo así favorecer la productividad del pasto, pero pudiendo competir con el arbolado por esta agua.

*Agradecimientos.* Programa Nacional de Investigación (AGL 2006-09435) y Plan Regional de Investigación of Extremadura (III PRI + D + I, PRI07C044). V. Rolo ha disfrutado una Beca Predoctoral de la Consejería de Economía, Comercio e Innovación (Junta de Extremadura) y del Fondo Social Europeo.

#### 6.- Referencias

Barnes, P.W. y Arche, S. 1999. Tree-shrub interactions in a subtropical

- savanna parkland: competition or facilitation? *J Veg Sci* 10: 525-536.
- Casper, B.B. y Jackson, B.J. 1997 Plant competition underground. *Annu Rev Ecol Syst* 28 : 545-570.
- Chaves-Lobón, N., Alias-Gallego, J.C., Sosa-Díaz T, Escudero-García JC. 2002. Allelopathic potential of *Cistus ladanifer* chemicals in response to variations of light and temperature. *Chemoecology* 12: 139-145.
- Cubera, E. y Moreno, G. 2007a. Effect of single *Quercus ilex* trees upon spatial and seasonal changes in soil water content in dehesas of central western Spain. *Ann For Sci* 64: 355-364.
- Cubera, E. y Moreno, G. 2007b. Effect of land use on soil water dynamic in dehesas of central-western Spain. *Catena* 71: 298-308.
- Cushman, J., Waller, J.C. y Hoak, D.R. 2010. Shrubs as ecosystem engineers in a coastal dune: influences on plant populations, communities and ecosystems. *J Veg Sci* 21:821-831.
- David, T.S., Henriques, M.O., Kurz-Besson, C, Nunes, J., Valente, F., Vaz, M., Pereira, J.S., Siegwolf, R., Chaves, M.M., Gazarini, L.C. y David, J.S. 2007. Water-use strategies in two co-occurring Mediterranean evergreen oaks: surviving the summer drought. *Tree Physiology* 27: 793-803.
- Fernández-Alés, R., Martín, A., Ortega, F. y Alés, E.E. (1992) Recent changes in landscape structure and function in a Mediterranean region of SW Spain (1950-1984). *Landscape Ecol* 7: 3-18.
- Gea-Izquierdo, G., Cañellas, I. y Montero, G. 2007. Es constante el patrón espacial y temporal de la interacción árbol-pasto en dehesas. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 22: 45-50.
- Haase, P., Pugnaire, F., Fernández, E., Puigdefábregas, J., Clarck, S. y Incoll, L. (1996) An investigation of rooting depth of the semi-arid shrub *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. by labelling of ground water with a chemical tracer. *Journal of Hydrology* 177: 23-31.
- Infante, J.M., Domingo, F., Fernández-Alés, R., Joffre, R. y Rambal S. 2003. *Quercus ilex* transpiration as affected by a prolonged drought period. *Biol. Plant.* 46: 49-55.
- Joffre R, Rambal S. 1993. How tree cover influences the water balance of Mediterranean rangelands. *Ecology* 74: 570-582.
- Maestre, F., Bowker, M., Puche, D., Hinojosa, M., Martínez, I., García-Palacios, P., Castillo, A., Soliveres, S., Luzuriaga, A., Sánchez, A., Carreira, J., Gallardo, A. y Escudero, A. 2009. Shrub encroachment can reverse desertification in semi-arid Mediterranean grasslands. *Ecology Letters* 12:930-941.
- Mateos, B. y Schnabel, S. (2002) Rainfall interception by holm oaks in Mediterranean open woodland. En: García-Ruiz JM, Jones JAA, Arnaez J (eds.) Environmental change and water sustainability. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, and the University of La Rioja Press, Logroño, Spain, pp31-42.
- Moreno, G., Obrador, J.J., Cubera, E. y Dupraz C. 2005. Fine root distribution in dehesas of Central-Western Spain. *Plant and Soil* 277: 153-162.
- Moreno, G. y Cubera, E. 2008. Impact of stand density on water status and leaf gas Exchange in *Quercus ilex*. *Forest Ecology and Management*, 254: 74-84
- Moreno G, Obrador J, Cubera E, Dupraz C (2005) Fine root distribution in dehesas of Central-Western Spain. *Plant and Soil* 277:153-162
- Moro, M., Puignaire, F., Haase, P. y Puigdefábregas, J. (1997). Effect of the canopy *Retama sphaerocarpa* on its understorey in a semiarid environment. *Funct Ecol* 11:425-431
- Papanastasis, V.P. 2004. Vegetation degradation and land use changes in agrosilvopastoral systems. In: Schnabel S, Ferreira A (eds.) Sustainability of agrosilvopastoral systems. *Advances in Geo- Ecology*, vol 37. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, pp1-12.
- Pinto-Correia, T. y Mascarenhas, J. 1999. Contribution to the extensification/intensification debate: new trends in the Portuguese montado. *Landscape Urban Plan* 46, 125-131.
- Plieninger, T, Rolo, V. y Moreno, G. 2010. Large-scale patterns of *Quercus ilex*, *Quercus suber*, and *Quercus pyrenaica* regeneration in central-western Spain. *Ecosystems* 13: 644-660.
- Prieto, I., Kikvidze, Z. y Pugnaire F. 2010. Hydraulic lift: soil processes and transpiration in the Mediterranean leguminous shrub *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. *Plant and Soil* 329:447-456.
- Pulido, F., García, E., Obrador, J.J. y Moreno G. 2010. Multiple pathways for tree regeneration in anthropogenic savannas: incorporating biotic and abiotic drivers into management schemes. *J Appl Ecol* 47: 1272-1281.
- Rivest, D., Rolo, V., López-Díaz, L. y Moreno, G. 2011. Shrub encroachment in Mediterranean silvopastoral systems: *Retama sphaerocarpa* and *Cistus ladanifer* induce contrasting effects on pasture and *Quercus ilex* production. *Agr Ecosyst Env* (en revisión).
- Rolo, V., López-Díaz, L. y Moreno, G. 2011. Shrubs affect soil nutrient availability with contrasting consequences for pasture understorey and tree overstorey in Mediterranean dehesas. *Plant and Soil* (en revisión).
- Rolo, V. y Moreno, G. 2011. Shrub species affect distinctively the functioning of scattered *Quercus ilex* trees in Mediterranean open woodlands. *For Ecol Manag* (en prensa: 10.1016/j.foreco.2011.01.028).
- Rolo Romero, V., Moreno Marcos, G. y López Díaz, L. 2009. Perfil radicular de árbol, matorral y herbáceas en dehesas. Actas del 5º Congreso Forestal Nacional, Ávila, septiembre 2009. 12 pp.
- Silva, S., Rego, F., Martins-Loução, M. (2002) Belowground traits of Mediterranean woody plants in a portuguese shrubland. *Ecologia mediterranea* 28:5-13
- Smit, C, den Ouden, J. y Díaz, M. 2007. Facilitation of Holm oak recruitment by shrubs in Mediterranean open woodlands. *J. Veg. Sci.*
- van Auken O (2000) Shrub invasion of North American Semi-arid grasslands. *Ann Rev Ecol Syst* 31:197-215.