

EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO BAJO DIFERENTES TIPOS DE CUBIERTA VEGETAL EN LA CUENCA DEL DUERO

J. Martínez-Fernández^{1,2}, A. Cano¹, V. Hernández-Santana¹, C. Morán¹

¹ Departamento de Geografía. Universidad de Salamanca. Cervantes, 3. 37002 Salamanca. jmf@usal.es

² Centro Hispano Luso de Investigaciones Agrarias (CIALE). Universidad de Salamanca. c/Río Duero, s/n. 37185. Villamayor (Salamanca).

RESUMEN. En este trabajo se hace un análisis de la evolución de la humedad del suelo y su disponibilidad para las plantas a lo largo de un periodo de casi cinco años en tres sectores representativos de condiciones mediterráneas en la Cuenca del Duero. Se ha comparado el comportamiento de la humedad del suelo en relación con diferentes usos de suelo y tipo de cubierta vegetal. Para ello se han analizado las series de humedad del suelo correspondientes a tres zonas (agrícola, dehesa y robledal) en las que se instalaron estaciones de medición bajo diferentes tipos de cubierta vegetal: agrícola (cereal), herbácea (pastizal) y arbórea (pinar, encinar y robledal). En todos los casos se comparó la evolución de la humedad a 5 cm y a 50 cm de profundidad, niveles de referencia para cada tipo de vegetación.

Los resultados han puesto de manifiesto las diferencias en la evolución del contenido de humedad del suelo y su disponibilidad dependiendo del tipo de uso y cubierta. En los casos en los que predomina una vegetación herbácea (pastizal) y agrícola (cereal), se ha observado un menor déficit hídrico, en intensidad y duración (a 50 cm entre 0.2 y 4.8 meses), en el conjunto del perfil. Aunque en el caso del cereal, la situación puede ser crítica en la capa más superficial. Los suelos ocupados por vegetación arbórea han mostrado un mayor déficit hídrico, tanto en intensidad como en duración (a 50 cm entre 3.8 y 7.2 meses). En el caso de la dehesa, esto ha ocurrido incluso en la capa más superficial del suelo. El tipo de vegetación, por tanto, ejerce una influencia en la evolución del contenido de agua del suelo que puede superar, incluso, a la de los factores climáticos.

ABSTRACT. In this work, the evolution of soil moisture and plant water availability has been analysed during almost five years in three representative areas of Mediterranean land uses located in the Duero basin (Spain). Soil water content has been compared depending on the different land uses and vegetation types. To do this, soil moisture measurement stations of three areas have been analysed, each one with a different land use (agricultural, open holm oak forest and dense oak forest). Soil moisture measurement stations were installed in plots corresponding to each of the land uses mentioned: agricultural (cereal), grassland (pasture) and woodland (pine wood, holm oak wood and oak wood). In all the cases the differences between observations to a depth of 5 cm and 50 cm were compared, because these have been

considered as reference depths for each type of vegetation.

The results show the differences in the evolution of soil water content and plant water availability depending on the land use and the vegetation type. In soils under grassland (pasture) and agricultural land use (cereal), an overall smaller water deficit in intensity and length (to a depth of 50 cm, between 0.2 and 4.8 months of water deficit period) has been observed. Nevertheless, the situation can be critical in the most superficial layer in the cultivated soil. Water deficit is higher in intensity and length in woodlands (to a depth of 50 cm, between 3.8 and 7.2 months of water deficit period). This happened even in the most superficial soil layer in the *dehesa* (open holm oak forest). From the results of this work it can be inferred that the vegetation type has an influence on the soil water dynamics that overlaps other important factors (i.e. climate) or even exceeds them.

1.- Introducción

En las últimas décadas se están produciendo cambios notables en el paisaje de extensos territorios en España. Uno de los más destacables y, desde luego, el de mayor magnitud espacial, es el de la cubierta vegetal. En la mayor parte de las regiones españolas se ha producido un gran incremento de la superficie forestal, tal y como han puesto de manifiesto los sucesivos Inventarios Forestales Nacionales (Ministerio de Agricultura, 1968–1974; Ministerio de Agricultura, 1990–1997). En otros países de nuestro entorno se están produciendo cambios similares, ya sea como consecuencia de procesos espontáneos, como es el caso de extensas regiones en Francia (Mottet et al. 2006) o intencionados, como ocurre en Inglaterra (Calder, 2002).

Si bien los factores socioeconómicos responsables de dicho proceso están bien definidos, sus repercusiones en la dinámica y en los procesos naturales de las zonas afectadas están poco estudiados. Uno de los ámbitos que presumiblemente se puede ver más afectado es el de los recursos hídricos. A diferencia de otros países en los que se están estudiando desde hace años las consecuencias sobre aspectos tan sensibles como la recarga de los acuíferos (Finch, 2000) o sobre la generación de escorrentía (Zimmermann et al. 2006), en España son todavía escasos los trabajos que se han hecho hasta ahora (Gallart y Llorens, 2004; López Moreno et al. 2006). Apenas hay información sobre la influencia de dichos cambios en la dinámica del agua

del suelo.

Uno de los enfoques para intentar inferir las consecuencias sobre determinados procesos hidrológicos que se puedan derivar de los cambios que se están produciendo en la cubierta vegetal, es el análisis comparativo del comportamiento actual de suelos que sustentan diferentes tipos de vegetación, con el objetivo de determinar los patrones de funcionamiento en cada caso.

En este trabajo se ha optado por dicho enfoque, estudiando la evolución de la humedad del suelo bajo diferentes tipos de uso del suelo y cubierta. El objetivo principal ha sido el de analizar el comportamiento de suelos bajo diferente tipo de cubierta vegetal (cultivada, herbácea y arbórea), haciendo hincapié en los periodos críticos en términos de disponibilidad de agua. Se pretendía también estudiar la evolución de la humedad del suelo a dos profundidades (5 y 50 cm), referentes de cada uno de los dos tipos de cubierta vegetal (herbácea y arbórea), con el objeto de analizar los patrones de funcionamiento.

2.- Material y métodos

2.1. Caracterización de las zonas de estudio

Se han utilizado tres zonas de estudio, con diferente uso del suelo (agrícola, dehesa y robledal) en las que se instalaron estaciones de medición de la humedad del suelo. Las zonas se sitúan en el sector suroccidental de la cuenca del Duero (Provincias de Salamanca y Zamora).

En la zona agrícola (Villamor de los Escuderos, Zamora) hay instaladas tres estaciones de medición de la humedad, separadas 60 m entre sí, una de ellas en una parcela de cultivo abandonada y dedicada a pasto, otra en una parcela de pinar (*Pinus pinea*) y la tercera en una parcela dedicada a cereal (trigo). La textura del suelo de la primera es arcillosa franca y en las otras dos arenosa franca. Presentan un bajo contenido de materia orgánica (solo en la parcela abandonada se supera el 1%) y una elevada densidad aparente (entre 1.4 y 1.9 g cm⁻³). Las condiciones climáticas de esta zona son mediterráneas semiáridas continentalizadas (temperatura media anual, TMA, 12°C; precipitación media anual, PMA, 430 mm; evapotranspiración, ETP, 1030 mm).

En la dehesa (Morille, Salamanca) se han utilizado los datos de seis estaciones de medición, tres situadas en pastizal y tres bajo la proyección de la copa de las encinas (*Quercus ilex* ssp. *ballota*). Los suelos de todas ellas tienen una textura muy similar, entre franca y arenosa franca. La densidad aparente oscila entre 1.0-1.3 g cm⁻³ en superficie y 1.4-1.6 g cm⁻³ en profundidad. Estos suelos presentan un elevado contenido de materia orgánica en el horizonte más superficial (casi siempre superior al 5%), siendo a 50 cm siempre inferior al 1%. La densidad aparente oscila alrededor de 1 g cm⁻³ en el horizonte más superficial, siendo a 50 cm de 1.3-1.5 g

cm⁻³. Este sector se caracteriza por condiciones climáticas mediterráneas continentalizadas (TMA 11°C; PMA 500 mm; ETP 1058 mm).

En la zona ocupada por bosque caducifolio (robledal de *Quercus pyrenaica*) se han utilizado los datos procedentes de 15 estaciones de medición (12 bajo bosque, 3 en pastizal). La textura en los suelos de todas ellas está entre franca y limosa franca, a excepción de uno de los perfiles de pastizal en donde es arcillosa franca. El contenido de materia orgánica en los suelos de este robledal es alto de 0-15 cm (superior al 10%) y por debajo de 25 cm es siempre inferior al 1%. Dicho bosque está situado en un sector de las estribaciones del Sistema Central, en la sierra de Tamames (Rinconada de la Sierra, Salamanca) bajo condiciones mediterráneas subhúmedas (TMA 10°C; PMA 930 mm; ETP 855 mm).

2.2. Medición de la humedad del suelo

En este trabajo se utilizaron en total 24 estaciones en las que se midió la humedad del suelo a 5 y a 50 cm de profundidad. Estas profundidades fueron elegidas como niveles de muestreo representativos en relación con la extracción de agua de las especies herbáceas y arbóreas, respectivamente, y por tratarse del horizonte de suelo (0-50 cm) en el que convive la biomasa radicular de ambos tipos de vegetación.

En cada estación se empleó el método TDR (*Time Domain Reflectometry*) con sondas de dos varillas instaladas horizontalmente a las profundidades indicadas. Para la estimación de la constante dieléctrica aparente se utilizó el ecómetro 1502C (Tektronix, Beaverton, OR) y para la de la humedad del suelo la fórmula de Topp et al. (1980). Previamente, los datos habían sido validados gravimétricamente (Martínez Fernández y Ceballos, 2001). Se realizaron mediciones quincenales del contenido de agua del suelo entre enero de 2002 y septiembre de 2006.

En cada una de las zonas, tanto la proximidad de las estaciones de medición de la humedad entre sí, como el análisis de las propiedades físicas de los respectivos suelos (Martínez Fernández et al. 2007), permiten asumir que las condiciones en las que se hacen las mediciones son comparables.

2.3. Índice de Déficit Hídrico

En cada uno de los puntos en los que se instalaron las sondas de humedad se estimó la curva de retención hídrica. Se empleó el método del recipiente de tensión hídrica (Martínez Fernández, 1995), combinado con la utilización de la membrana a presión. A partir de dicha curva se determinó el contenido de humedad a capacidad de campo, θ_{cc} y el contenido de humedad conocido como punto de marchitamiento, θ_{pm} , valores que delimitan el intervalo que define el agua disponible para las plantas (Romano y Santini, 2002). Ambos valores se hacen corresponder frecuentemente con un valor fijo de potencial matricial, normalmente a -33 kPa y -1500 kPa, respectivamente. Aunque se trata de límites

cuestionables, para un amplio segmento de vegetación tienen una verdadera significación fisiológica, pues aunque algunas plantas pueden ir más allá, la eficiencia hídrica de ese incremento energético es casi nula (Savage et al. 1996).

Todo ello permitió obtener los valores de humedad en términos de agua disponible para las plantas, y abundar aún más en su significación eco-hidrológica. Con los datos obtenidos se calculó el Índice de Déficit Hídrico (*IDH*), que expresa el contenido de humedad del suelo, θ , en relación con el intervalo entre θ_{cc} y θ_{pm} (Martínez-Fernández et al. 2005a):

$$IDH = \left(\frac{\theta - \theta_{cc}}{\theta_{cc} - \theta_{pm}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Valores de *IDH* superiores a 0% indican exceso de agua. Cuando el índice da valores negativos, el suelo presenta un contenido de humedad inferior a la capacidad de campo y, por lo tanto, situación de déficit hídrico. Si el valor alcanza -100%, el suelo carece de agua en condiciones de ser utilizada por las plantas y el déficit es absoluto, puesto que se sobrepasa el valor del punto de marchitamiento. La duración del periodo con déficit hídrico en el suelo viene definida por el intervalo en el que *IDH* es negativo.

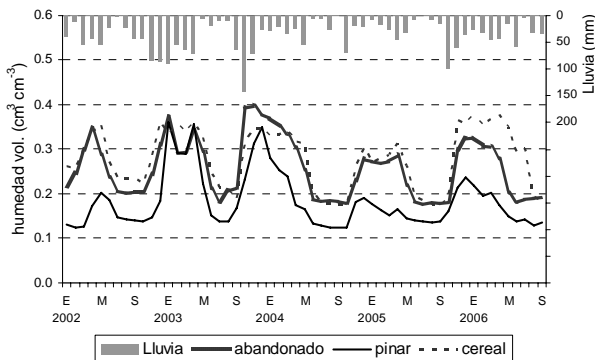


Fig. 1. Evolución de la humedad del suelo a 50 cm de profundidad en cada una de las parcelas estudiadas en la zona agrícola.

3.- Resultados y discusión

Tanto durante la estación húmeda (octubre a abril) como durante la estación seca (mayo a septiembre), a 5 cm se observa un mismo comportamiento en el contenido de humedad en las tres parcelas de la zona agrícola. Siempre hay más humedad en la parcela abandonada, en el pinar la situación es intermedia y en la parcela de cereal es donde menos agua se encuentra en el horizonte más superficial del suelo. A 50 cm de profundidad (Fig. 1) el comportamiento de los tres casos es bastante distinto. El suelo de cereal y el abandonado presentan un gran paralelismo y tienen un contenido de agua muy similar. Sin embargo, es en el suelo bajo el pinar donde hay

menor cantidad de agua, siendo esto especialmente notorio en la estación seca o en periodos especialmente secos, como ocurrió en 2005.

En la figura 2 se muestra el tiempo en promedio en el que el suelo se encuentra en situación de déficit hídrico, es decir con valores de *IDH* inferiores a cero. Se observa claramente que en la parcela de cereal el suelo está casi todo el tiempo (escala mensual de análisis) en situación deficitaria a 5 cm. Entre el campo abandonado y el pinar las diferencias no son muy acusadas a esa profundidad (6.9 y 7.8 meses, respectivamente). En los tres casos el periodo deficitario supera los 6 meses, evidenciando claramente las condiciones mediterráneas semiáridas de la zona.

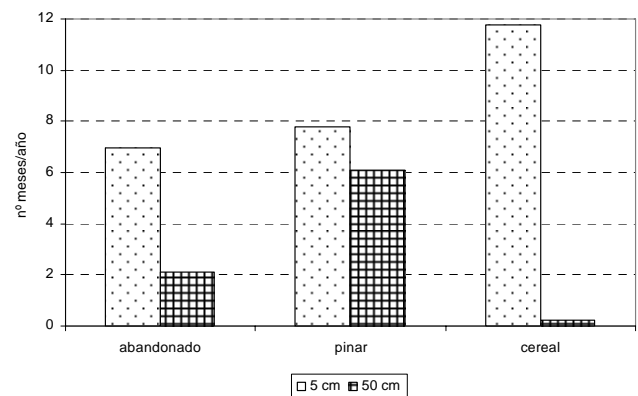


Fig. 2. Promedio de tiempo en el que el suelo se encuentra en situación de déficit hídrico ($IDH < 0\%$) en cada uno de los usos del suelo y a dos profundidades (5 y 50 cm) en la zona agrícola estudiada.

Pero quizá donde se encuentra el comportamiento más reseñable en el análisis comparativo de los tres usos es a 50 cm de profundidad. Las condiciones más deficitarias se dan en este caso en el pinar (6.1 meses de promedio). En la parcela abandonada se reduce a dos meses y en el suelo dedicado a cereal el periodo deficitario es prácticamente nulo (0.2 meses de promedio). Por tanto, es importante destacar que, en conjunto, es la estación situada en el pinar (Fig. 2) la que presenta un mayor déficit hídrico. La menor entrada de agua en el suelo debida a la interceptación de la lluvia y la diferente estrategia en la extracción de agua, en cuanto al volumen de suelo afectado y a la duración del ciclo vegetativo, con respecto a los otros tipos de vegetación, podrían explicar los resultados obtenidos.

En la zona de dehesa se han estudiado las dos situaciones que definen a este ecosistema forestal típicamente mediterráneo: el pastizal y el encinar. En los primeros 5 cm de suelo el contenido de agua es ligeramente inferior bajo las encinas que en el pastizal. Esto es así, tanto en la estación húmeda como en la seca. A 50 cm de profundidad el paralelismo en la evolución del contenido de humedad es menor (Fig. 3). En general, hay menos agua bajo los árboles, durante la mayor parte del tiempo y las diferencias con el suelo bajo el pastizal son más grandes. Sin embargo, durante los meses estivales se ha registrado menor cantidad de humedad en las estaciones alejadas de los árboles a esa

profundidad.

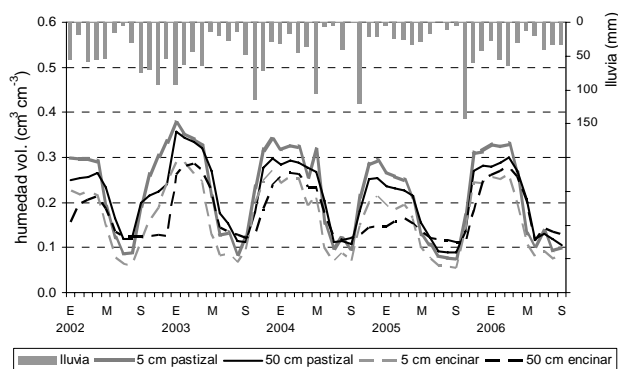


Fig. 3. Evolución de la humedad del suelo a 5 cm y 50 cm de profundidad bajo el pastizal y bajo el encinar en la zona dedicada a dehesa.

En la figura 4 se muestra el tiempo promedio en el que el suelo se encuentra en situación de déficit hídrico en los dos ambientes que se han estudiado en la zona de dehesa. Es muy reseñable que en los dos casos el periodo deficitario sea mayor a 50 cm que a 5 cm. En un trabajo reciente, Cubera González (2006) encontró que en dehesas del norte de la provincia de Cáceres, también a 50 cm, la humedad del suelo seguía disminuyendo durante el verano, incluso después de agostarse el pastizal. Este comportamiento, aparentemente anómalo, puede ser la evidencia del enorme peso que tiene la extracción radicular de la encina, con respecto al otro tipo de vegetación. En las zonas de pastizal, fuera de la influencia directa del dosel de las encinas, las herbáceas tienen un dominio de extracción de agua limitado al horizonte más superficial y además presentan un claro ciclo estacional. Sin embargo, los datos obtenidos en este estudio parecen indicar que la zona de influencia de las encinas puede extenderse más allá del ámbito estricto del de la proyección de la copa sobre el suelo y afectar también a las áreas descubiertas en las que, *a priori*, podría pensarse que son dominio exclusivo de las herbáceas. En el trabajo de Cubera González (2006) se puso de manifiesto, por un lado, que la biomasa radicular de las herbáceas en la dehesa se concentra en los primeros 30 cm de profundidad y, por otro, que la extensión superficial de las raíces de las encinas superaban los 30 m, de tal manera que el dominio explorado por éstas era hasta 7 veces el área de proyección de la copa.

Es claro (Fig. 4), por tanto, que bajo los árboles de la dehesa se da una situación más deficitaria que en los suelos desprovistos de vegetación arbórea. Además del consumo de agua por los árboles hay que señalar a la interceptación de la lluvia como otro factor que puede contribuir decisivamente a esta circunstancia. Mateos Rodríguez (2003) estimó, en una dehesa extremeña, que el coeficiente de interceptación de las encinas alcanza hasta el 30% de la lluvia.

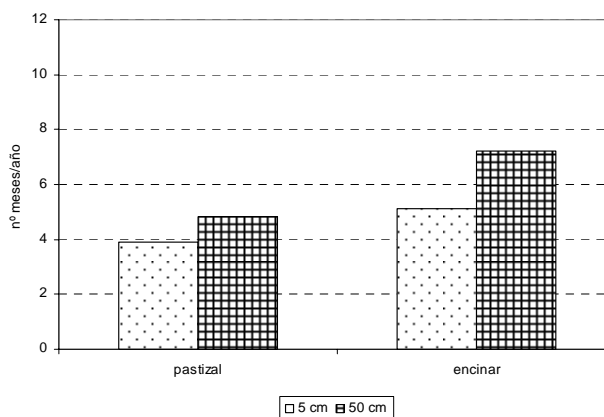


Fig. 4. Promedio de tiempo en el que el suelo se encuentra en situación de déficit hídrico (IDH<0%) en los suelos bajo el pastizal y bajo las encinas (a dos profundidades, 5 y 50 cm) en la zona dedicada a dehesa.

En la tercera zona estudiada, la de montaña, ocupada en un 70% por un bosque denso de roble melojo (*Quercus pyrenaica*) se ha utilizado la información proveniente de 15 estaciones de medición, doce de ellas bajo el bosque y tres fuera de él. En esta zona se comprobó en trabajos anteriores (Martínez Fernández et al. 2005b) que, a pesar de encontrarse bajo condiciones mediterráneas subhúmedas y de registrar una precipitación muy abundante, la mediterraneidad impone un ciclo claro de sequía edáfica estival, paralela, además, al periodo de máxima actividad vegetativa del melojo.

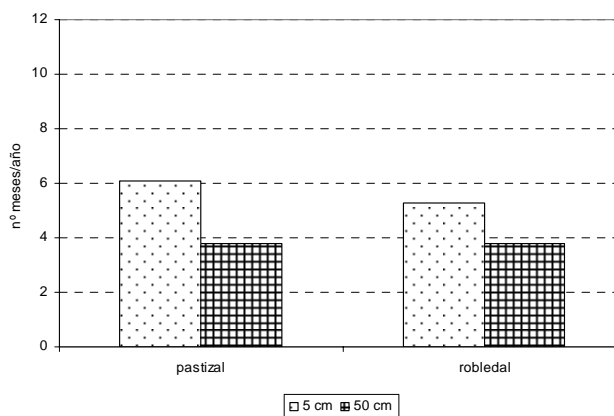


Fig. 5. Promedio de tiempo en el que el suelo se encuentra en situación de déficit hídrico (IDH<0%) en las estaciones situadas en el pastizal y bajo los robles (a dos profundidades, 5 y 50 cm) en la zona de estudio ocupada por bosque caducifolio.

Esta circunstancia se comprueba de nuevo cuando se compara lo que ocurre entre el pastizal y el robledal (Fig. 5). En superficie el periodo de déficit hídrico oscila entre 5 y 6 meses y a 50 cm de profundidad es de casi cuatro. Bajo el bosque, el periodo de déficit en la capa más superficial del suelo es más corto que en el pastizal. La menor evaporación propiciada por la menor entrada de radiación y la escasa presencia de plantas en el sotobosque, podrían explicar dicha

diferencia, por encima, incluso, de la menor entrada de agua como consecuencia de la interceptación. En un trabajo reciente (Morán Tejada, 2006) se ha estimado que el coeficiente de interceptación en este bosque de roble melojo es, en promedio, del 15%.

Probablemente, lo más llamativo de los resultados obtenidos en el análisis del *IDH* en esta zona, sea que el periodo de déficit hídrico del suelo a 50 cm de profundidad es idéntico en el pastizal que en el bosque, tratándose de dos situaciones tan diferentes. En este caso, la abundancia de precipitación de esta zona ejerce un control más efectivo en relación con el comienzo y el final del periodo deficitario. Son, sobre todo, los episodios de lluvia tras el verano, los que definen la duración de dicho intervalo, pues suelen ser suficientemente abundantes para conseguir la recarga completa del suelo.

La coincidencia en el valor de la duración del periodo deficitario a 50 cm de profundidad esconde una dinámica completamente distinta en ambos casos. En la figura 6 se muestra la evolución de la humedad media mensual a esa profundidad durante el periodo estudiado. Se observa claramente que el contenido de agua es siempre inferior bajo el bosque que bajo el pastizal y que la diferencia es muy notable. Este aspecto es todavía más significativo, si cabe, durante el periodo estival, cuando el balance energético, más desfavorable para el pastizal en relación con la evaporación, debería dar lugar a una situación completamente contraria.

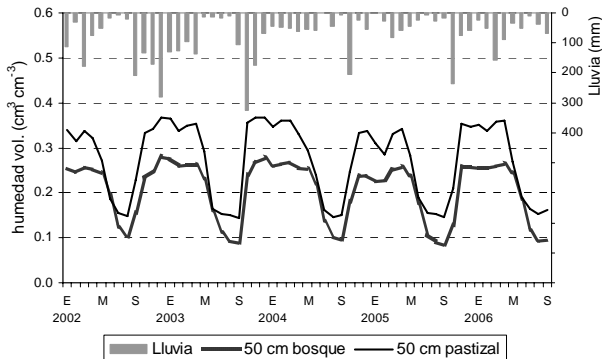


Fig. 6. Evolución de la humedad media mensual en las estaciones situadas en el pastizal y bajo los robles, a 50 cm de profundidad en la zona de estudio ocupada por bosque caducifolio.

Podría atribuirse esa diferencia en el contenido de humedad a la posible presencia de distintas propiedades físicas del suelo en un caso y otro. Bajo los robles se encuentra una abundante biomasa radicular a esa profundidad, que es inexistente bajo el pastizal, donde todas las raíces se concentran en los primeros 10-20 cm. Esa abundancia de raíces en el caso del roble podría determinar unas condiciones estructurales, sobre todo en relación con la porosidad, que determinarían una mayor conductividad hidráulica y, además, una menor capacidad de retención. Sin embargo, el análisis de la densidad

aparente, variable indicadora de las condiciones estructurales del suelo, en todas las estaciones de medición de la humedad, no ha determinado diferencias significativas en ambos casos (bosque 1.45 g cm^{-3} , pastizal 1.43 g cm^{-3} , en promedio).

Entre 2002 y 2006, en el periodo deficitario el valor medio del *IDH* ha sido de -82.8% bajo el bosque y -52.8% en el pastizal, a medio metro bajo la superficie del suelo. Además, todos los años se ha alcanzado en el suelo del robledal el valor de -100% de *IDH*, es decir, el agotamiento absoluto del agua disponible para las plantas a esa profundidad, durante uno o dos meses. Esta circunstancia no se ha observado nunca bajo el pastizal. Por tanto, si bien la duración del periodo crítico ha sido similar en los dos casos, su intensidad ha sido mucho mayor bajo el bosque.

En los tres casos que se han estudiado (zona agrícola, dehesa y melojar) se ha comprobado, por un lado, la gran diferencia en el comportamiento hídrico de los suelos en función del tipo de cubierta vegetal (herbácea vs arbórea) y, por otro, la especial incidencia que tiene sobre la permanencia del agua en el suelo la presencia de árboles sobre el mismo. Siempre, y especialmente durante la estación seca, hay menos agua, el periodo deficitario es mayor y el déficit hídrico es más acusado en el suelo bajo bosque que allí donde predomina la vegetación herbácea. Esto, además, ha sido comprobado en este trabajo para tres especies arbóreas distintas (pino, encina y roble melojo), con fenología y estrategias eco-hidroclógicas bien diferentes.

Este comportamiento diferencial ha sido puesto de manifiesto en distintos trabajos en los últimos años. En una investigación sobre el impacto de las comunidades forestales en la recarga de los acuíferos de una extensa región inglesa, Calder et al. (2000) encontraron que la diferencia más evidente entre los distintos casos estudiados era la existencia de condiciones uniformemente más secas bajo los árboles, especialmente en profundidad. Robert y Rosier (2005) en un trabajo sobre el impacto de los bosques caducifolios ingleses sobre los recursos hídricos, encontraron notables diferencias en la dinámica del agua del suelo entre el pastizal y el bosque. El secado del suelo era más rápido bajo las herbáceas hasta finales de la primavera y principios del verano cuando, coincidiendo con la aparición de las hojas en los robles y el inicio del ciclo vegetativo, la situación se invertía. Un par de décadas antes, McGowan y Williams (1980) obtuvieron resultados similares al comprobar que la evaporación acumulada desde el pastizal era superior a la generada desde el bosque solo hasta mediados de junio, momento en que comenzaba a ocurrir lo contrario.

En un trabajo muy reciente, de comparación entre suelos bajo pastizales y robledales en las tierras bajas inglesas, Green et al. (2006) encontraron que, a partir del momento en que el roble (*Quercus robur*) cuenta con hoja, la tasa de secado del suelo es mucho mayor bajo ese tipo de vegetación, y que la recarga del suelo se retrasaba en otoño con respecto al pastizal. En dicho trabajo estimaron que, en el periodo de mayor déficit hídrico, el contenido de agua bajo el robledal era entre 47 y 58 mm inferior al del pastizal, en un suelo de dos metros de profundidad.

Peco et al. (2006), en un trabajo sobre las consecuencias de la transformación de los pastizales por abandono del pastoreo

en zonas montañosas del Sistema Central español, encontraron que en los suelos de las parcelas no abandonadas (pastizal) el agua disponible para las plantas era mayor que en aquellas en las que el abandono había permitido la instalación de otro tipo de vegetación (matorral).

4.- Conclusiones

La presencia de un determinado tipo uso del suelo (cubierta vegetal) u otro, no es un factor indiferente en relación con los procesos hidrológicos que se desarrollen en un territorio. Aspectos como la fenología, la duración del ciclo vital o las estrategias para la obtención de agua, propias de cada especie, van a condicionar de manera significativa el comportamiento hídrico de los suelos y, sin duda, influirán decisivamente en la dinámica hidrológica en general.

En este trabajo se ha puesto de manifiesto que en aquellos suelos en los que predomina la vegetación arbórea, la presencia de agua es menor y, por ello, el déficit hídrico es más prolongado e intenso. A las restricciones que impone el clima mediterráneo, ya limitantes *per se*, hay que añadir el consumo de agua de los árboles, allí donde son el tipo de vegetación predominante.

Las investigaciones que se vienen llevando a cabo en éste y en otros ambientes bio-climáticos, están poniendo en evidencia la necesidad de profundizar en esta temática. Los resultados están demostrando que se trata de un factor de mucha relevancia.

Los cambios de uso del suelo y cubierta vegetal que están afectando de manera notable a extensos territorios, y sus consecuencias potenciales en ámbitos tan sensibles como el de los recursos hídricos, motivan sobradamente la necesidad de más investigación.

Agradecimientos. Los autores quieren expresar su agradecimiento al Ministerio de Medio Ambiente (Proyecto RESEL) y al Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto REN2003-00381), sin cuya financiación no habría sido posible la realización de este trabajo.

Bibliografía

- Calder, I.R. 2002. Forests and Hydrological Services: Reconciling public and science perceptions. *Land Use and Water Resour. Res.* 2:1-12.
- Calder, I.R., Reid, I., Nisbet, T., Brainard, J., Green, J.C. y Walker, D. 2000. Impact of lowland community forests on groundwater resources. *British Hydrological Society, 7th National Hydrology Symposium*, Newcastle upon Tyne, pp. 2.83-2.88.
- Cubera González, E. 2006. *Dinámica del agua edáfica y distribución radicular en dehesas de Quercus ilex L.* Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura. Plasencia. 197 pp.
- Finch, J.W. 2000. Modelling the soil moisture deficits developed under grass and deciduous woodland: the implications for water resources. *J. of the Chartered Inst. of Water and Environ. Manag.* 14:371-376.
- Gallart, F. y Llorens, P. 2004. Observations on land cover changes and water resources in the headwaters of the Ebro catchments, Iberian Peninsula. *Phys. Chem. Earth.* 29: 769-773.
- Green, J.C., Reid, I., Calder, I.R. y Nisbet, T.R. 2006. Four-year comparison of water contents beneath a grass ley and a deciduous oak wood overlying Triassic sandstone in lowland England. *J. Hydrol.*, 329:16-25.
- López-Moreno, J.I., Beguería, S. y García-Ruiz, J.M. 2006. Trends in high flows in the central Spanish Pyrenees: response to climatic factors or to land-use change? *Hidrolog. Sci. J.*, 51:1039-1050.
- Martínez Fernández, J. 1995. Medida de curvas de retención de humedad en laboratorio y su estimación. En *Avances en la Investigación en Zona No Saturada*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz. pp. 193-201.
- Martínez Fernández, J. y Ceballos Barbancho, A. 2001. Diseño y validación de una sonda TDR para la medición de la humedad del suelo. En (J.J. López, M. Quemada Eds.) *Zona no saturada. Investigaciones*. Universidad Pública de Navarra. Pamplona. pp. 37-43.
- Martínez-Fernández, J., Ceballos, A., Casado, S., Morán, C. y Hernández, V. 2005a. Runoff and soil moisture relationships in a small forested basin in the Sistema Central ranges (Spain). In (R.J. Batalla and C. García Eds.) *Geomorphological Processes and Human Impacts in River Basins*. IAHS Publ. 299:31-36.
- Martínez Fernández, J., Ceballos Barbancho, A., Hernández Santana, V., Casado Ledesma, S. y Morán Tejada, C. 2005b. Procesos hidrológicos en una cuenca forestal del Sistema Central: Cuenca Experimental de Rinconada. *C. de Invest. Geog.* 31:7-25.
- Martínez Fernández, J., Ceballos Barbancho, A., Casado Ledesma, S., Morán Tejada, C. y Hernández Santana, V. 2007. Disponibilidad de agua y cambios ambientales a lo largo de un gradiente pluviométrico en la cuenca del Duero. En *La red de estaciones experimentales de seguimiento y evaluación de la desertificación RESEL: Actividades y resultados 1995-2004*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid (en prensa)
- Mateos Rodríguez, A.B. 2003. *Intercepción de la lluvia por la encina en espacios adhesados*. Univ. Extremadura. Cáceres 152 pp.
- McGowan, M. y Williams, J.B. 1980. The water balance of an agricultural catchment. II. Crop evaporation: seasonal and soil factors. *J. Soil Sci.* 31: 231-244.
- Ministerio de Agricultura. 1968-1974. *Primer inventario forestal de España*. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, Madrid. 50 vols.
- Ministerio de Agricultura. 1990-1997. *Segundo inventario forestal nacional: 1986-1995*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Madrid.
- Morán Tejada, C. 2006. *Trascolación en un bosque de roble melojo (Quercus pyrenaica Willd.) en la sierra de Tamames (Salamanca)*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Salamanca. Salamanca. 115 pp.
- Mottet, A., Ladet, S., Coque, N. y Gibon, A. 2006. Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. *Agr. Ecosyst. Environ.* 114: 296-310.
- Peco, B., Sánchez, A.M. y Azcárate, F.M. 2006. Abandonment in grazing systems: Consequences for vegetation and soil. *Agr. Ecosyst. Environ.* 113:284-294.
- Roberts, J. y Rosier, J. 2005. The impact if broadleaved woodland on water resources in lowland UK: I. Soil water changes below beech woodland and grass on chalk sites in Hampshire. *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, 9:596-606.
- Romano, N. y Santini, A. 2002. Water retention and storage. Field. In J.H. Dane, G.C. Topp, Eds. *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. SSSA Book Series. 5. 721-738.
- Savage, M.J., Ritchie, J.T., Bland, W.L. y Dugas, W.A. 1996. Lower limit of soil water availability. *Agron. J.* 88: 644-651.
- Topp G.C., Davis J.L. y Anan A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.* 16:574-582.
- Zimmermann, B., Elsenbeer, H. y De Moraes, J.M. 2006. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: Implications for runoff generation. *Forest Ecol. Manag.* 222: 29-38.