

# RELACIONES ENTRE LA DINÁMICA HÍDRICA VEGETAL Y LA HUMEDAD DEL SUELO EN UN BOSQUE DE ROBLE MELOJO

Virginia Hernández Santana<sup>1</sup>, José Martínez Fernández<sup>1,2</sup> y Ana Cano Crespo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geografía. Universidad de Salamanca. Cervantes 3. 37002-SALAMANCA (España). Correo electrónico: virhs@usal.es

<sup>2</sup>Centro Hispano Luso de Investigaciones Agrarias (CIALE). Universidad de Salamanca. Río Duero s/n. 37185-VILLAMAYOR (Salamanca, España)

## Resumen

Se midieron diversos indicadores del estrés hídrico (potencial hídrico foliar, contenido de agua y potencial hídrico del tronco) en individuos de *Quercus pyrenaica*, en un bosque de la vertiente N del Sistema Central (Sierra de Tamames, Salamanca), durante el periodo vegetativo (Junio-Septiembre, 2006 y 2007). Estas variables se compararon con el contenido de agua del suelo medido a diferentes profundidades (0-50, 50-100 y 200-250 cm). Los objetivos eran comprobar si existía una situación de estrés hídrico en los árboles debido a la sequía estival y evaluar la importancia del contenido del agua profunda del suelo para el estado hídrico de los árboles. Se observó que el agua disponible para las plantas se agotó prácticamente a lo largo del verano, hasta una profundidad de 100 cm. A 250 cm el contenido hídrico del suelo fue sustancialmente mayor, aunque en 2006 llegó a situarse por debajo del nivel de disponibilidad al final del ciclo vegetativo. Los resultados mostraron valores del estado hídrico de los árboles óptimo al final de primavera seguido de una situación de estrés hídrico progresivo, en respuesta al descenso del contenido de agua en el suelo. Estos indicadores evidenciaron una situación de estrés no demasiado severa para los árboles estudiados, circunstancia que podría explicarse por la progresiva absorción de agua desde las capas más profundas del suelo. La mejor relación entre contenido de agua del tronco y del suelo se encontró para la máxima profundidad analizada.

Palabras clave: *Quercus pyrenaica*, Déficit hídrico, Estrés hídrico vegetal, Contenido hídrico del tronco, Potencial hídrico foliar y del tronco

## INTRODUCCIÓN

En el área mediterránea, la vegetación natural tiene que soportar una marcada estacionalidad con inviernos fríos y lluviosos y veranos secos y calurosos. La sequía se ha identificado como el principal factor que determina la distribución de la vegetación y controla las funciones de las plantas en los ecosistemas de tipo mediterráneo (RAMBAL et al., 2003). Los árboles de las

zonas templadas de Europa serán probablemente los más afectados por la sequía en el futuro, tanto por eventos excepcionales, como por cambios a largo plazo hacia condiciones más áridas, tal como ocurre actualmente en áreas mediterráneas (BRÉDA et al., 2006).

Bajo estas condiciones, los mecanismos por los que las diferentes especies responden a la sequía estival determinan de forma importante su productividad, distribución y relaciones compe-

titivas (MEDIAVILLA & ESCUDERO, 2003). En este trabajo se midieron el potencial hídrico foliar diario, el potencial hídrico del tronco así como su contenido hídrico, con el fin de estimar el estado hídrico de las plantas. Se eligieron estas variables ya que por un lado el potencial hídrico foliar es ampliamente utilizado en trabajos de ecofisiología a nivel de hoja para cuantificar la sequía (RAMBAL et al., 2003), el potencial hídrico del tronco da una buena idea del estado hídrico del árbol ya que es el resultado de la transpiración de la planta y de la conductividad hidráulica raíz/suelo (CHONÉ et al., 2001) y, por otra parte, el contenido hídrico del tronco se considera un indicador del estado hídrico vegetal, pues existen evidencias de que los troncos sufren variaciones estacionales sustanciales de su cantidad de agua como consecuencia de su utilización en la transpiración (WARING & RUNNING, 1978; WULLSCHLEGER et al., 1996).

La máxima profundidad de la absorción de agua por los árboles es uno de los datos más importantes para entender como evitan la sequía determinadas especies y para el cálculo del balance hídrico, pero también es uno de los aspectos más difíciles de medir (BRÉDA et al., 2006). A pesar de la importancia del estudio conjunto del contenido de humedad del suelo y del estado hídrico de la planta, pocos autores han tenido este aspecto en cuenta y la mayoría de ellos solo han considerado la capa más superficial del suelo. En algunos trabajos se ha subrayado la importancia de una raíz profunda como un rasgo adaptativo en las especies del género *Quercus*, especialmente en *Quercus ilex* (DAVID et al., 2004; CUBERA & MORENO, 2007) pero no se ha probado hasta el momento en otras especies del género *Quercus*, como *Q. pyrenaica*. Esta especie caducifolia, roble melojo (*Q. pyrenaica*), se distribuye a lo largo de las zonas montañosas de clima mediterráneo subhúmedo del SW de Europa. Tienen un periodo de crecimiento corto que puede determinar su distribución y ocupa frecuentemente áreas de transición desde subhúmedas hasta semiáridas.

Los objetivos de este trabajo son: (i) determinar si existe una situación de estrés hídrico a causa de la sequía del suelo en un bosque denso de *Quercus pyrenaica* bajo condiciones de déficit hídrico, y (ii) evaluar la importancia del agua contenida en el suelo a diferentes profundidades

para suplir las necesidades hídricas de individuos de *Quercus pyrenaica* en situaciones de marcado déficit hídrico.

## METODOLOGÍA

### Zona de estudio

El trabajo se ha llevado a cabo en 4 parcelas distribuidas en la Cuenca Experimental de Rinconada (CER) con tamaño, edad y densidad de arbolado diferente. Esta cuenca se localiza en un bosque de la vertiente norte de la sierra de Tamames (Sistema Central), al sur de la provincia de Salamanca. Ocupa una extensión de 62 ha y su altitud oscila entre los 1140 y 1450 m. Tiene un clima con veranos cortos y no extremadamente cálidos e inviernos largos y bastante fríos. La temperatura media anual es 12,3°C y la oscilación anual es 17,3°C. El valor de la ETo anual es de 855 mm. La precipitación media anual es 939 mm. El clima es, por tanto, de tipo mediterráneo subhúmedo. La cuenca está ocupada en un 70% por un bosque monoespecífico denso (2300 pies. ha<sup>-1</sup>) de roble melojo (*Quercus pyrenaica* Willd.).

### Potencial hídrico foliar y del tronco

Las mediciones se realizaron con una cámara tipo Scholander (SKYE SKPM 1400, Skye Instruments Limited, Powys, UK) en distintos árboles situados en las 4 parcelas experimentales dentro del bosque de melojo de la CER. El muestreo se llevó a cabo durante el periodo vegetativo de los robles melojos, aproximadamente desde junio hasta septiembre (ambos inclusive), con una periodicidad de 2-3 semanas. Los datos que se muestran en este trabajo son de 2006 y 2007. Se realizó una medida del potencial hídrico foliar antes de amanecer (*predawn*) y a mediodía (*midday*). Se medían un total de 16 hojas cortadas hacia la mitad de la copa del árbol.

Se realizó, además, la medición del potencial hídrico del tronco. Las medidas se llevaron a cabo en dos árboles de una de las parcelas, a mediodía, mediante la técnica “*bagging*” (BEGG & TURNER, 1970). Esta metodología supone el cubrimiento previo de las hojas, con el objeto de evitar así la transpiración, por lo que se considera que su potencial hídrico se equilibra con el potencial hídrico existente en el tronco del árbol.

### Contenido hídrico del tronco

Para estudiar las variaciones en el contenido de agua del tronco se utilizó el método *Time Domain Reflectometry* (TDR). Se seleccionaron 4 árboles de cada una de las 4 parcelas, teniendo por tanto 16 individuos en total. Se instalaron horizontalmente dos sondas en el tronco a 20 cm y 120 cm, y perpendiculares entre sí. La morfología compleja de la sección del tronco puede originar una distribución radial de la humedad no uniforme por lo que es conveniente utilizar más de una sonda para obtener un conocimiento más detallado del perfil de humedad del tronco (WULLSCHLEGER et al. 1996). El muestreo se realizó cada 14 días con un ecómetro Tektronix 1502C (Tektronix, Beaverton, OR). Los resultados que se muestran en este trabajo son los correspondientes a junio-septiembre de 2006 y 2007. Para la estimación de la humedad del tronco se empleó la ecuación obtenida en un trabajo previo para *Quercus pyrenaica* (HERNÁNDEZ SANTANA, 2005).

### Humedad del suelo

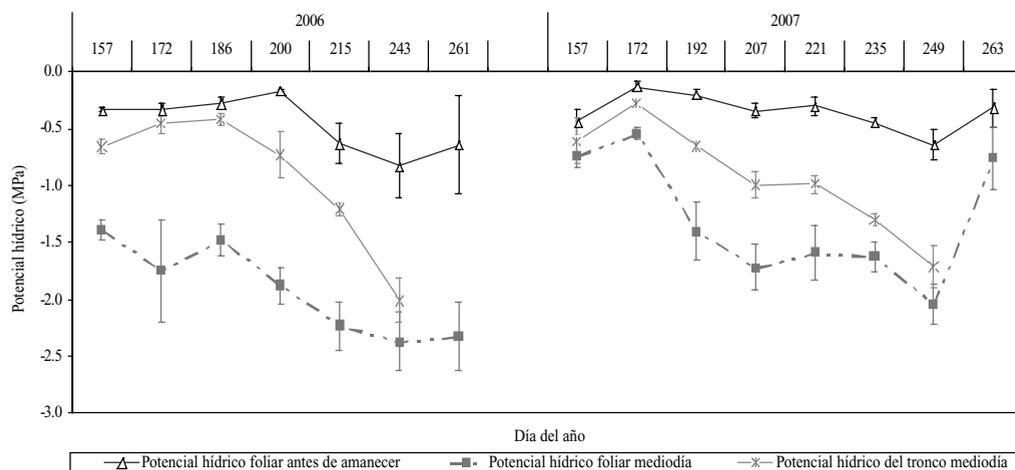
Para el estudio de esta variable se empleó también el método TDR. En el volumen de suelo ocupado por el aparato radical de los árboles en los que se mide el contenido hídrico del tronco se instalaron dos sondas verticales de 20 cm instaladas a distintas profundidades (a 0 y a 25 cm), con el objeto de medir el contenido de agua de

los primeros 50 cm del perfil. Se trata del volumen de suelo en el que de manera preferente se extienden las raíces del *Quercus pyrenaica* (GÓMEZ MANZANEQUE et al., 1998). También se han empleado los datos de 12 estaciones de medición de la humedad del suelo (0-100 cm de profundidad) distribuidas a lo largo de dos transectos en el bosque. Además, se instalaron 4 sondas (2 a 200 cm y 2 a 250 cm de profundidad) cerca de los árboles estudiados de una de las parcelas, con el objeto de conocer la influencia del agua profunda en las relaciones hídricas árbol-suelo. El muestreo se hizo cada 14 días y en este trabajo se han analizado las mediciones de junio-septiembre de 2006 y 2007. La humedad de los suelos se determinó con la ecuación de TOPP et al. (1980) y se mide con el mismo modelo de ecómetro mencionado anteriormente.

## RESULTADOS

### Evolución del potencial hídrico foliar y del tronco y contenido hídrico del tronco

Los cambios temporales de las variables medidas en los árboles mostraron una tendencia típica del clima mediterráneo, con valores de estado hídrico óptimo al final de primavera seguido de una situación de estrés hídrico progresivo, paralelo al incremento de la sequía esti-



**Figura 1.** Evolución del potencial hídrico foliar antes de amanecer (triángulos blancos), a mediodía (cuadrados grises oscuros), y del tronco (asteriscos grises claros), medidos entre junio-septiembre de 2006 y 2007

val, en respuesta al descenso del contenido de agua en el suelo. En el caso del potencial hídrico foliar medido antes de amanecer, los valores máximos se alcanzaron en junio en ambos años (Figura 1) exceptuando la medición del día 200 en el año 2006 que fue atípica ya que se realizó pasado poco tiempo después de una tormenta. Se observó en todas las mediciones cómo los árboles presentaban un peor estado hídrico en 2006 que en 2007, en consonancia con el carácter más húmedo de este último año. Análisis estadísticos (ANOVA de un factor) llevados a cabo determinaron que no había diferencias significativas ( $N = 8, \leq p = 0.05$ ) entre meses para ninguno de los años en el caso del potencial hídrico.

El mismo patrón se observó en el potencial hídrico del tronco, registrándose los valores más altos en junio de ambos años, mientras que los mínimos se alcanzaron a principios de agosto en 2006 y a finales del septiembre en 2007. El análisis estadístico reveló en este caso diferencias significativas para los meses de los dos años entre junio y agosto/septiembre.

### **Variación temporal del contenido de humedad del suelo**

La humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del roble melojo también presenta valores máximos en junio, tras unos meses en los que la precipitación es abundante en comparación con el período estival. En 2007 se partió desde unas condiciones de mayor contenido de agua, ya que la primavera de este año fue más lluviosa. Este fenómeno se observa a todas las profundidades a las que se mide esta variable, si bien es verdad que siempre se midió más agua a mayor profundidad. Sin embargo, aunque el agua del suelo registrada a mayor profundidad disminuye más tarde, al final del verano se observa que llega también a valores exigüos, sobrepasando, incluso, el umbral de disponibilidad (punto de marchitamiento) durante septiembre de 2006. El primer medio metro del suelo alcanza prácticamente su punto de marchitamiento ( $0,097 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) a principios de agosto en ambos años, mientras que la cantidad de agua medida de 50 a 100 cm, llega a valores próximos al punto de marchitamiento un par de semanas después. En cambio, el agua medida a mayor profundidad (200-250 cm) no alcanza valores tan bajos, aun-

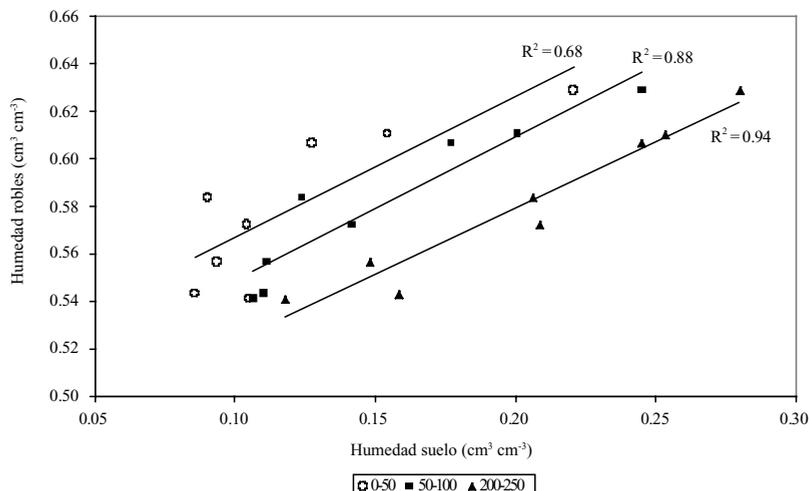
que se aproxima bastante a finales de septiembre. Las diferencias del agua en el suelo entre unos meses y otros fueron iguales para los dos años. Se encontró que las diferencias eran significativas para una profundidad de 0-50 cm entre junio y el resto de los meses, mientras que para las profundidades de 50-100 cm y 200-250 cm, las diferencias significativas se daban entre junio y agosto/septiembre, de forma similar a lo que pasaba con el contenido hídrico del tronco.

El análisis de regresión llevado a cabo entre los datos de humedad del suelo y el resto de las variables medidas en los árboles reveló que había una mayor dependencia del estado hídrico de los árboles con el contenido de humedad del suelo medido a mayor profundidad (Figura 2). En el caso del contenido hídrico del tronco, el coeficiente de determinación fue notablemente alto para 200-250 cm (0,94), muy alto para la humedad registrada a 50-100 cm (0,88), mientras que fue más bajo para la humedad medida más superficialmente, 0-50 cm (0,68). En el caso de las mediciones de potencial hídrico, los coeficientes fueron mucho más bajos. En todos los casos el mayor grado de relación con el suelo se dio con la humedad medida a mayor profundidad (200-250 cm), siendo  $R^2 = 0.41$  para el potencial hídrico foliar medido antes de amanecer,  $R^2 = 0,35$  para el medido a mediodía, y  $R^2 = 0,76$  para el medido también a mediodía pero en el tronco.

### **DISCUSIÓN**

En ambos años se observa una disminución progresiva del contenido de humedad del suelo derivada de una escasa precipitación, unida al máximo de actividad vegetativa de los árboles, a una alta evaporación y a una elevada interceptación. Estos factores provocan que el agua del primer metro del suelo se agote prácticamente en su totalidad durante el verano. Este hecho fue más destacado en 2006 que 2007, que fue más húmedo.

En el caso del agua del primer metro del suelo, la reserva hídrica se agota a principios de agosto, mientras que en el caso del contenido de humedad a 50-100 cm eso sucede a finales del mismo mes. Sin embargo, esto no significa que los árboles no consuman agua, ya que las raíces podrían explorar un mayor volumen de suelo,



**Figura 2.** Análisis de regresión entre el contenido de agua del tronco del roble melojo y el del suelo a tres profundidades (0-50 cm, 50-100 cm y 200-250 cm), medidos entre junio-septiembre de 2006 y 2007

accediendo a agua localizada a mayor profundidad (DAVID *et al.*, 2004). Esta hipótesis es corroborada por los resultados obtenidos en este estudio, ya que aunque los árboles sufren una disminución provocada principalmente por esta menor cantidad de agua en el suelo, no indican situaciones severas de estrés. Así, el potencial hídrico foliar medido de madrugada no llegó a valores tan bajos como los observados en la misma especie (-3.2 MPa) por MEDIAVILLA Y ESCUDERO (2003). Además, el agua del suelo medida a 200-250 cm presenta valores más elevados y su disminución comienza más tarde que la alojada más superficialmente. Esto podría indicar que los árboles toman el agua de las capas más superficiales del suelo cuando la hay, mientras que cuando ésta se agota, la fuente principal es el agua a mayor profundidad. Aunque la densidad mayor de raíces en esta especie se encuentra en los primeros 50 cm (GÓMEZ MANZANEQUE *et al.*, 1998) un sistema de raíz pivotante profundo permite mantener un buen estado hídrico durante todo el verano (MORENO *et al.*, 1996).

## CONCLUSIONES

Aunque no se han detectado situaciones severas de estrés hídrico, la especie estudiada es

bastante sensible a las variaciones ambientales. Todos los indicadores medidos en los árboles muestran una tendencia a variar con la disminución del agua del suelo. Se ha observado, además, que los árboles estudiados muestran una fuerte dependencia del agua almacenada en profundidad. La no disminución significativa del potencial hídrico unida a una disminución progresiva de agua en el suelo indica que los árboles absorben progresivamente el agua de capas más profundas. Esto está en consonancia con las mediciones del agua del suelo a distintas profundidades y el análisis de regresión entre las variables medidas en los árboles y la humedad del suelo a distintas profundidades. Los resultados sugieren, por tanto, que los árboles estudiados están bien adaptados a sobrevivir a déficits hídricos estivales desarrollando un profundo aparato radical capaz de explorar gran volumen de suelo.

## 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

- BEGG, J.E. & TURNER, N.C.; 1970. Water potential gradients in field tobacco. *Plant Physiol.* 46: 343-346
- BRÉDA, N.; HUC, R.; GRANIER, A. & DREYER, E.; 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Ann. For. Sci.* 63: 625-644
- CHONÉ, X.; VAN LEEUWEN, C.; DUBOURDIEU, D. & GAUDILLÉRE, J.P.; 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Ann. Bot.* 87: 477-483
- CUBERA, E. & MORENO, G.; 2007. Effect of single *Quercus ilex* trees upon spatial and seasonal changes in soil water content in dehesa of central western Spain. *Ann. For. Sci.* 64: 355-364
- DAVID, T.S.; FERREIRA, M.I.; COHEN, S.; PEREIRA, J.S. & DAVID, J.S.; 2004. Constraints on transpiration from an evergreen oak tree in southern Portugal. *Agric. Forest Meteorol.* 122: 193-205
- GÓMEZ MANZANEQUE, F. (COORD.); 1998. *Bosques ibéricos: una interpretación geobotánica*. Editorial Planeta. Barcelona
- HERNÁNDEZ SANTANA, V.; 2005. *Estimación del contenido de agua en árboles mediante TDR para el estudio del estrés hídrico: aplicación a *Quercus pyrenaica* Willd.* Tesis de Licenciatura. Universidad de Salamanca. Salamanca
- MEDIAVILLA, S. & ESCUDERO, A.; 2003. Stomatal responses to drought at a Mediterranean site: a comparative study of co-occurring woody species differing in leaf longevity. *Tree Physiol.* 23: 987-996
- MORENO, G.; GALLARDO, J.F.; INGELMO, F.; CUADRADO, S. & HERNÁNDEZ, J.; 1996. Soil water budget in 4 *Quercus pyrenaica* forests across a rainfall gradient. *Arid Soil Res. Rehabil.* 10: 65-84
- RAMBAL, S.; OURCIVAL, J.M.; JOFFRE, R.; MOUILLOT, F.; NOUVELLON, Y.; REICHSTEIN, M. & ROCHETEAU, A.; 2003. Drought controls over conductance and assimilation of a Mediterranean evergreen ecosystem: scaling from leaf to canopy. *Global Change Biol.* 9: 1813-1824
- TOPP, G.C.; DAVIS, J.L. & ANAN, A.P.; 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines” *Water Resources Research.* 16: 574-582
- WARING, R.H. & RUNNING, S.W.; 1978. Sapwood water storage: its contribution to transpiration and effect upon water conductance through the stems of old-growth Douglas-fir. *Plant, Cell Environ.* 1: 131-140
- WULLSCHLEGER, S.D.; HANSON, P.J. & TODD, D.E.; 1996. Measuring stem water content in four deciduous hardwood with a time domain reflectometry *Tree Physiol.* 16: 809-815.