



5º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL

# 5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

---

REF.: 5CFE01-092

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León  
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009  
ISBN: 978-84-936854-6-1  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Características hidráulicas de ramillas de *Quercus ilex* ssp. *ballota* y sus efectos sobre la producción de bellota en una dehesa de la provincia de Huelva, suroeste de España.

CAREVIC VERGARA, F.S<sup>1</sup>., FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, M<sup>1</sup>. y ALEJANO MONGE, R<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva. Campus de La Rábida 21819. Palos de la Frontera, Huelva, España.

\*Correo electrónico: [felipe.carevic@dcaf.uhu.es](mailto:felipe.carevic@dcaf.uhu.es)

### Resumen.

Durante tres años consecutivos, se estudiaron las características hidráulicas de ramillas de *Quercus ilex* ssp. *ballota* en una dehesa de la provincia de Huelva, suroeste de España, sometida a tratamientos de suelo (laboreo, laboreo-siembra y un testigo sin tratar). La producción de bellota de cada período se determinó mediante el método de contenedores dispuestos bajo la copa de los árboles. Cada 5-6 semanas, se determinó el potencial hídrico xilemático ( $\Psi$ ) mediante metodología estándar con cámara de presión. En el mismo momento se tomaron muestras para determinar en laboratorio la conductividad hidráulica en ramillas (K). Asimismo, se obtuvo el diámetro y densidad de vasos xilemáticos, realizando cortes histológicos de secciones transversales de los ramillas, variables que se correlacionaron positivamente con la producción de bellotas, aunque sin significación estadística. Los parámetros con resultados más concluyentes fueron la conductividad específica xilemática ( $K_s$ ) y la conductividad específica por área foliar ( $K_f$ ). La producción de bellota presentó gran variabilidad entre individuos y se correlacionó con los valores de los parámetros hidráulicos durante los períodos secos, situación que reflejó la estrecha relación entre óptimas condiciones hidráulicas en períodos de estrés hídrico y producción de semillas de la especie.

### Palabras clave

Conductividad hidráulica, tratamientos de suelo, estrés hídrico, producción de fruto.

### 1. Introducción

La encina (*Quercus ilex* ssp. *ballota*) es una especie ampliamente distribuida en la cuenca del Mediterráneo, junto al alcornoque (*Quercus suber*) constituyen las especies más representativas de los sistemas forestales denominados “dehesas”. Las dehesas forman parte de ecosistemas naturales hechos y mantenidos por el hombre principalmente para la crianza del cerdo ibérico y el desarrollo de prácticas agrosilvícolas (OLEA & SAN MIGUEL, 2006). Estos sistemas han sido foco de un gran número de investigaciones en términos ecológicos, puesto que son considerados ecosistemas vegetales con alta diversidad (PLIENINGER & WILBRAND, 2001).

Bajo el clima mediterráneo la sequía es un fenómeno recurrente durante la etapa estival, las escasas precipitaciones y altas temperaturas, que durante este período se producen, reducen la disponibilidad hídrica (OLIVERAS et al., 2003). Dadas estas condiciones los distintos mecanismos que las especies vegetales establecen rigen en gran parte sus patrones fisiológicos y su productividad (HERNÁNDEZ-SANTANA et al., 2008). En especies de clima mediterráneo, las variables de conductividad hidráulica y su relación con los factores climáticos durante períodos de estrés han sido reportados anteriormente por diversos autores, aunque sin realizar un seguimiento de estos parámetros a nivel anual (VILLAR-SALVADOR et al., 1997; TOGNETTI et al., 1998). No obstante, escasas son las investigaciones que han



estudiado la influencia que estas variables hidráulicas pudieran tener sobre la producción de bellota de las especies presentes en ecosistemas de dehesa, puesto que la producción de bellota juega un papel trascendental como fuente de alimentación del cerdo ibérico y la regeneración de las masas arbóreas de especies *Quercus* (RODRÍGUEZ-ESTÉVEZ et al. 2007).

Se suma a esto, el hecho que la relevancia fisiológica de los procesos de conductividad hidráulica es aún poco clara, debido principalmente a la alta variabilidad de respuestas de los conductos xilemáticos al comparar distintos taxones (TOGNETTI et al., 1998). Los estudios reallizados se han basado principalmente en la vulnerabilidad a los embolismos xilemáticos y la variación de estructuras del xilema en relación a variables climáticas (NARDINI & PITT, 1999; McELRONE et al., 2004), por lo tanto se hace necesario someter a análisis estas variables ante prácticas silvoculturales dentro del medio rural, tales como los tratamientos de suelo o podas .

## 2. Objetivos

Los objetivos generales del presente estudio, son (1) evaluar las variaciones estacionales en la conductividad hidráulica y las características anatómicas del xilema y (2) analizar la influencia de estas variables hidráulicas sobre la producción de bellota durante tres períodos de diseminación en una dehesa de encina sometida a tratamientos de suelo en el suroeste de España.

## 3. Metodología

El estudio fue realizado entre Junio de 2006 y Enero de 2009 en una parcela ubicada en Huerto Ramírez (T.M. Villanueva de los Castillejos, Huelva), en el suroeste de España. El área posee clima mediterráneo, con influencia atlántica, caracterizada por veranos secos y cálidos e inviernos suaves y húmedos. La precipitación anual es de 634 mm y la vegetación dominante en el sitio está representada exclusivamente por individuos de *Q. ilex* y *Cistus ladanifer*. Durante el otoño de 2005, se delimitó una superficie de 2,85 ha (parcela) que, dividida en nueve subparcelas, fue sometida a tres tratamientos de suelo: laboreo (L); laboreo + siembra (*Lupinus luteus*) (LS) y control (C).

En cada fecha de muestreo, cada 5-6 semanas, se tomaron muestras (seis ramillas por tratamiento, dos por árbol, de 15-20 cm) para las mediciones de variables hidráulicas y potencial hídrico xilemático ( $\Psi$ ). La conductividad hidráulica (K) fue determinada en tres ramillas por tratamiento según SPERRY et al. (1988) pesando el flujo de agua a través de los tallitos mediante balanza digital ( $\pm 0.1$  mg). Una vez obtenidos estos valores, se procedió a determinar el largo y diámetro de los tallitos utilizados en las mediciones, además del área foliar de las hojas contenidas en el ramillo por encima del punto de medición. Posteriormente, determinamos la conductividad hidráulica específica ( $K_s$ ) mediante el cociente entre K y la sección transversal del tallito (sin corteza); y la conductividad foliar específica ( $K_f$ ) mediante el cociente entre K y el área foliar.  $\Psi$  fue determinado siguiendo metodología estándar (SCHOLANDER et al., 1965), mediante cámara de presión (PMS, Corvalis, OR).

Las mediciones de histología fueron realizadas cada dos meses aproximadamente en los nueve tallitos utilizados para la determinación de las variables hidráulicas, correspondientes a dos periodos anuales de crecimiento completos, junio 2006 a abril 2008. Estos fueron fijados en parafina y cortados mediante microtomo en secciones de 10  $\mu\text{m}$  aproximadamente. Posteriormente las secciones transversales fueron teñidas en safranina y

observadas y fotografiadas en microscopio. Posteriormente, mediante software analizador de imágenes, procedimos a determinar el diámetro y la densidad de los vasos.

La producción de bellota fue estimada durante los tres períodos de diseminación abarcados durante el estudio (2006-2007 hasta 2008-2009). Para ello se seleccionaron 18 árboles en el área de estudio, nueve de los cuales se utilizaron para realizar las mediciones hidráulicas y fisiológicas. Se colocaron 4 contenedores bajo los árboles, a  $\frac{3}{4}$  del radio de copa, en cada una de las orientaciones cardinales. Los períodos de recogida abarcaron los meses de septiembre a enero de cada período de diseminación. Posteriormente cada muestra de bellota fue transportada a laboratorio para la determinación de su peso, expresado en gramos de peso fresco de bellota por  $m^2$  de superficie de copa (gFM  $m^{-2}$ ), el cual es un eficiente estimador de la producción por pie.

Las diferencias entre las variables hidráulicas y fisiológicas entre árboles fueron estimadas mediante modelo lineal general, con los factores tratamiento de suelo y fecha como factores fijos. Cuando las diferencias entre subgrupos resultaron significativas, las diferencias entre medias individuales fueron evaluadas mediante el test HSD de Tukey. Para la determinación de relaciones entre las variables hidráulicas y la producción de bellotas utilizamos análisis de regresión y test de correlación de Pearson. La normalidad de los datos fue evaluada mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. Todos los análisis estadísticos fueron llevados a cabo mediante el programa estadístico SPSS 14.0.

### 3. Resultados

#### *Conductividad hidráulica y potencial hídrico xilemático*

Ningún parámetro fisiológico presentó diferencias significativas entre tratamientos de suelo ( $p > 0.05$ ), por el contrario sí lo fueron las diferencias entre fechas de medición para todos los parámetros analizados.  $K_s$  y  $K_l$  presentaron marcadas diferencias según la fecha de muestreo ( $p < 0.000$   $F=6,89$   $n=9$ ;  $p < 0.000$   $F= 2,62$   $n=9$ , respectivamente) (Figura 1).  $K_s$  y  $K_l$  evidenciaron asimismo una positiva relación entre sí ( $r^2= 0.39$ ;  $p < 0.004$ ), presentando sus valores más altos al final de invierno y primera mitad de la primavera.. Asimismo, hallamos una esperada evolución de  $\Psi$  durante nuestro estudio, con diferencias entre fechas ( $p < 0.000$ ;  $F=90,36$ ), puesto que detectamos los valores más bajos durante los meses de mayor estrés, alcanzando un mínimo durante el mes de Julio de 2008 ( $-3.38 \pm 0.06$  MPa).



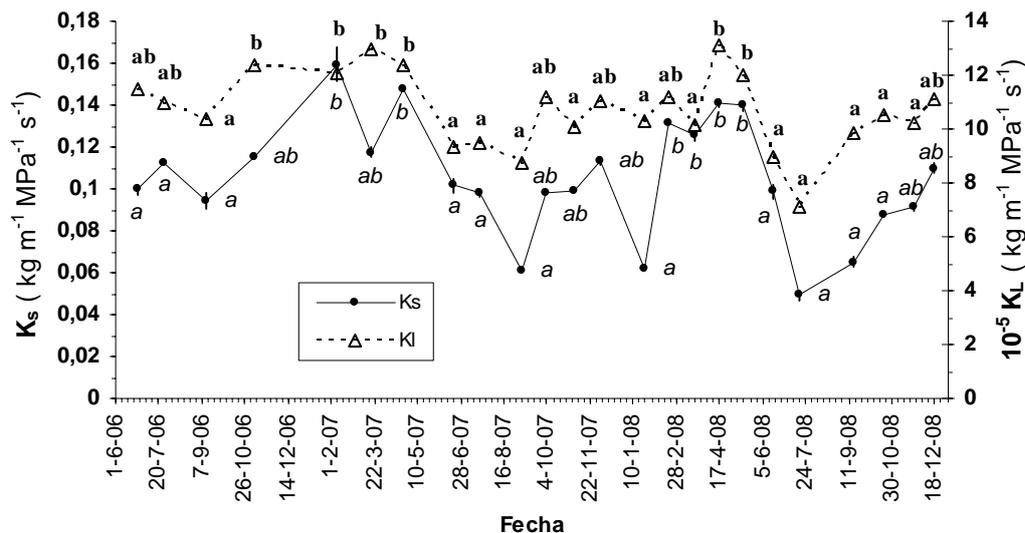


Figura 1. Patrones estacionales de los parámetros de conductividad hidráulica específica ( $K_s$ ) y conductividad hidráulica foliar ( $K_l$ ) en *Q. ilex ssp ballota*. Valores con letras distintas denotan diferencias estadísticas significativas al nivel 0.05. (media  $\pm$  error estándar).

### Medidas histológicas

Prácticamente un 90% de los diámetros de vasos medidos durante el estudio estuvieron comprendidos entre 10 y 30  $\mu\text{m}$ , los valores mínimos estuvieron comprendidos entre el rango 1-9  $\mu\text{m}$  (<5%) y los máximos sobre los 30  $\mu\text{m}$  (2%). En cuanto a su evolución entre fechas y a las diferencias entre tratamientos de suelo no hallamos diferencias significativas ( $p=0,691$ ,  $F=0,741$ ;  $p=0,535$ ,  $F=0,640$ , respectivamente). Las diferencias entre fechas de muestreo sólo fueron significativas para la densidad de vasos ( $p < 0,000$ ;  $F=8,213$   $n=32$ ), los cuales denotan un ligero aumento detectados durante el otoño de 2006, señal de la existencia de un crecimiento de primavera tardío y otoño temprano (Figura 2).

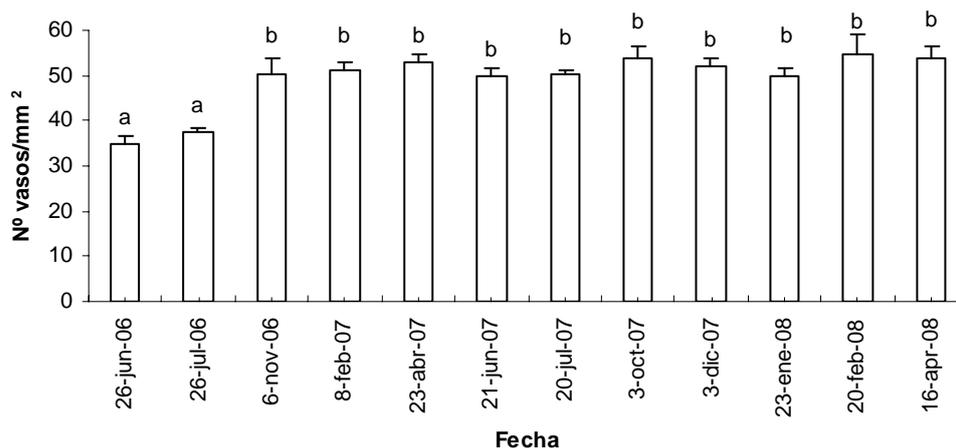


Figura 2. Evolución estacional de la densidad de vasos xilemáticos durante el período de estudio. Letras distintas señalan diferencias significativas al nivel 0.05 (media  $\pm$  error estándar).

### Producción de bellota

En general, las tendencias de producción media de bellota durante el período de estudio estuvo caracterizada por una notable variabilidad interanual. 2006 mostró el valor

medio más elevado ( $338.8 \pm 83.1 \text{ gFM m}^{-2}$ ) para posteriormente presentar un ligero descenso el año siguiente ( $313,66 \pm 60,87 \text{ gFM m}^{-2}$ ) y reportar durante 2008 el valor más bajo de producción de los tres ( $186.1 \pm 28.4 \text{ gFM m}^{-2}$ ). Asimismo, detectamos una positiva relación entre los parámetros de producción de bellotas y los valores de  $K_s$  de las mediciones de mitad del verano (final de julio), durante los tres períodos que contempló el estudio (Figura 3).

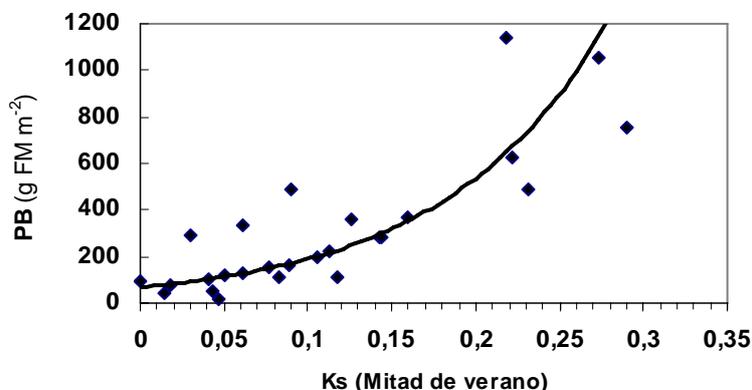


Figura 3. Correlación para el periodo 2006-2008 entre conductividad hidráulica específica ( $K_s$ ;  $\text{kg m}^{-1} \text{MPa}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) obtenida en mitad de verano (final de julio) y producción de bellota (PB) ( $r^2 = 0.61$ ,  $P < 0.0001$ ,  $n = 27$ )

## 5. Discusión

Las tendencias estacionales en cuanto a parámetros hidráulicos halladas en nuestro estudio mostraron, en general, patrones esperados y establecidos por otros autores para especies del género *Quercus* (LO GULLO et al., 2003; TOGNETTI et al., 2005), las cuales denotan un incremento de flujo durante las estaciones más favorables de temperatura y humedad, y una reducción en meses de verano asociados, principalmente, a cavitaciones de los conductos xilemáticos por estrés hídrico (SPERRY et al., 1988). Sin embargo, en el presente estudio detectamos bajos valores de  $K_s$  durante la mitad del Invierno de 2008 (enero), comparables a los obtenidos en verano, que pueden estar asociados a bajas temperaturas o heladas. Asimismo, nuestros resultados denotaron la existencia de una influencia de  $K_s$  sobre la producción de bellota durante la época de mayor estrés hídrico (mitad del verano). El mantenimiento de la conductividad hidráulica en la época más limitante, unido a otras características hídricas como relativamente altos valores de  $\Psi$ , actuarían como uno de los principales mecanismos en la capacidad de la encina para el desarrollo y engorde de la bellota (PULIDO et al., 2001; ALEJANO et al., 2008). Los valores significativamente más altos para  $K_1$  fueron detectados durante la etapa temprana de crecimiento, hecho que respalda notablemente la necesidad del árbol de generar y expandir sus hojas nuevas mediante flujos adecuados de savia. Al comparar los tres períodos secos entre sí, hemos observado valores más altos de  $K_1$  durante el período de junio-julio 2006, lo cual puede ser explicado por una actividad de crecimiento primaveral tardío. Recientes estudios, reportan una positiva influencia de las precipitaciones de Verano en el crecimiento y morfología de *Q. pubescens* (SASS-KLAASSEN, 2007) y *Q. ilex* (CORCUERA et al., 2004) durante el período de crecimiento, hechos que pueden considerarse como una estrategia para reducir los impactos de las cavitaciones del xilema, ya que un crecimiento primaveral tardío tiene gran influencia en el almacenamiento de recursos hídricos y de nutrientes (TYREE & DIXON, 1986).

Consistente con la teoría de la proporción a la cuarta potencia del radio del conducto (ZIMMERMANN, 1983), la mayor distribución de frecuencias en el diámetro de los vasos estuvo compuesta por tamaños medios entre 10 y 20  $\mu\text{m}$ , puesto que las tendencias en

especies de anillos porosos como *Q. ilex* es presentar conductos estrechos, que resultan menos eficientes en lo referido a transporte de flujo, pero más resistentes ante eventos de sequía que caracterizan ambientes de clima mediterráneo. Sin embargo, no hallamos evidencias de la existencia de diferencias interanuales, hecho que parece estar más atribuido a la intensidad de los períodos secos (CORCUERA et al., 2004).

La producción de bellota dentro del género *Quercus* suele caracterizarse por amplias variaciones entre años, alternando períodos de altas y bajas producciones (CAÑELLAS et al., 2007). Algunos factores que generalmente son atribuidos a estos picos pueden ser la disponibilidad de recursos ambientales (SISCART et al., 1999), plagas (SORIA et al., 2005) o saciación de predadores (KOENIG et al., 1994). En nuestro estudio, estas alternancias se evidenciaron con un decrecimiento notable en la producción interanual desde el primer año de estudio hasta el último, donde la producción de bellota presentó un valor cercano a 200 g FM m<sup>-2</sup>. A pesar de la nula influencia de los tratamientos de suelo en nuestro estudio, los cuales parecen afectar de mayor manera a la vegetación superficial debido a la menor profundidad de sus sistemas radiculares (MORENO et al., 2007), la investigación de las relaciones entre las prácticas selvícolas y los parámetros ecofisiológicos en dehesas a nivel de árbol deben seguir contemplándose, debido a la gran significancia ecológica que representan estos sistemas agroforestales.

## 6. Conclusiones

Los resultados expuestos en esta investigación ponen en evidencia la necesidad de *Q. ilex* de mantener altos valores de conductividad hidráulica durante el período de estrés hídrico en ambiente mediterráneo, para asegurar la reproducción de la especie. Ello puede constituir un aliciente para la continuación de investigaciones relacionadas con las especies arbóreas de las dehesas y su adaptación fisiológica a las variables climáticas y selvícolas.

## 7. Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por medio de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa del Gobierno Regional de Andalucía (ref: C03-192) y por MEC-INIA (ref: SUM2006-00026-00-00).

## 8. Bibliografía

ALEJANO, R.; TAPIAS, R.; FERNÁNDEZ, M.; TORRES, E.; ALAEJOS, J.; DOMINGO, J.; 2008. The influence of pruning and climatic conditions on acorn production in holm oak (*Quercus ilex* L.) dehesas in SW Spain. *Ann. For. Sci.* 65(2): 209-215.

CAÑELLAS, I.; ROIG, S.; POBLACIONES, M.; GEA-IZQUIERDO, G.; OLEA, L.; 2007. An approach to acorn production in Iberian dehesas. *Agrofor. Syst.* 70(1): 3-9

CORCUERA, L.; CAMARERO, J.; SISÓ, S.; GIL-PELEGRÍN, E.; 2004. Effects of a severe drought on *Quercus ilex* radial growth and xylem anatomy. *Trees.* 18(1): 83-92.

CUBERA, E.; MORENO, G.; 2007. 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.

HERNÁNDEZ-SANTANA, V.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; MORÁN, C.; CANO, A.; 2008. Response of *Quercus pyrenaica* (melojo oak) to soil water deficit: a case study in Spain. *Eur. J. For. Res.* 127: 369-378.

KOENIG, W.; MUMME, R.; CARMEN, W.; STANBACK, M.; 1994. Acorn Production by Oaks in Central Coastal California: Variation within and among Years. *Ecology.* 75 (1) 99-109.

LO GULLO, M.; SALLESO, S.; ROSSO, R.; TRIFILÒ P.; 2003. Drought resistance of 2-year-old saplings of Mediterranean forest trees in the field: relations between water relations, hydraulics and productivity. *Plant Soil.* 250 (2):259-272

McELRONE, A.; POCKMAN, W.; MARTINEZ-VILALTA, J.; JACKSON, R.; 2004. Variation in xylem structure and function in stems and roots of trees to 20 m depth. *New Phytol.* 163: 507-517.

MORENO, G.; OBRADOR, J.; GARCÍA, E.; CUBERA, E.; MONTERO, M.; PULIDO, F.; DUPRAZ, C.; 2007. Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas through management practices. *Agrofor. Syst.* 70 (1): 25-40.

NARDINI, A.; PITT, F.; 1999. Drought resistance of *Quercus pubescens* as a function of root hydraulic conductance, xylem embolism and hydraulic architecture. *New Phytol.* 143: 485-493.

OLEA, L.; SAN MIGUEL-AYANZ, A.; 2006. The Spanish dehesa. A traditional Mediterranean silvopastoral system linking production and nature conservation. *Grassland Science in Europe.* 11: 3-13.

OLIVERAS, I.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; JIMENEZ-ORTIZ, T.; LLEDÓ, M.; ESCARRÉ, A.; PIÑOL J.; 2003. Hydraulic properties of *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* and *Tetraclinis articulata* in a dune ecosystem of Eastern Spain. *Vegetatio.* 169: 131-141.

PLIENINGER, T.; WILBRAND, C.; 2001. Land use, biodiversity conservation, and rural development in the dehesas of Cuatro Lugares, Spain. *Agrofor. Syst.* 51:23-34.

PULIDO, F.; DÍAZ, M.; HIDALGO, S.; 2001. Size structure and regeneration of Spanish holm oak *Quercus ilex* forests and dehesas: effects of agroforestry use on their long-term sustainability. *For. Ecol. Manag.* 146, 1-13.

RODRÍGUEZ-ESTÉVEZ, V.; GARCÍA, A.; PEREA, J.; MATA, C.; GÓMEZ, A.; 2007. Producción de bellota en la dehesa: factores influyentes. *Arch. Zootec.* 56:25-43.

SASS-KLAASSEN, U.; CHOWDHURY, Q.; STERCK, F.; ZWEIFEL, R.; 2007. Effects of water availability on the growth and tree morphology of *Quercus pubescens* Willd. and *Pinus sylvestris* L. in the Valais, Switzerland. In: TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Vol. 5 Proceedings of the Dendrosymposium, p. 206 - 217.

SCHOLANDER, P.; HAMMEL, H.; BRADSTREET, E.; HEMMINGSEN, E.; 1965. Sap pressure in vascular plants. Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148: 339-346.

SISCART, D.; DIEGO, V.; LLORET, F.; 1999. Acorn ecology. In: The Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests. F. Rodá, C. Gracia, J. Retana y J. Bellot (eds.), pp. 75-87. Springer-Verlag. Berlin.

SORIA, F.; JIMÉNEZ, A.; VILLAGRÁN, M.; OCETE, M.; 2005. Relación entre la colonización de la encina por *Curculio elephas* Gyllenhal (Coleoptera Curculionidae) y el período de caída natural de frutos. Boletín de Sanidad Vegetal de Plagas. 31:365-375

SPERRY, J.; DONNELLY, J.; TYREE, M.; 1988. A method for measuring hydraulic conductivity and embolism in xylem. Plant Cell Environ. 11: 35-40.

TYREE, M.; DIXON, M.; 1986. Water stress induced cavitation and embolism in some woody plants. Physiol. Plantarum. 66: 397-405

TOGNETTI, R.; LONGOBUCCO, A.; RASCHI, A.; 1998. Vulnerability of xylem to embolism in relation to plant hydraulic resistance in *Quercus pubescens* and *Quercus ilex* co-occurring in a mediterranean coppice stand in central italy. New phytol. 139: 437-447.

VILLAR-SALVADOR, P.; CASTRO-DIEZ, P.; PEREZ-RONTOME, C.; MONTSERRAT-MARTI, G.; 1997. Stem xylem features in three *Quercus* (Fagaceae) species along a climatic gradient in NE Spain. Trees 12: 90-96.

ZIMMERMANN, M.; 1983. Xylem structure and the ascent of sap. New York, USA: Springer-Verlag.