



5º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL

5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

REF.: 5CFE01-278

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

Ritmos de acumulación de biomasa en *Quercus ilex* durante el primer año de cultivo en contenedor: efectos maternos y ambientales

JAIME PUÉRTOLAS SIMÓN^{1,3*}, KAREN DISANTE BERTONE², DAVID FUENTES DELGADO³, ALEJANDRO VALDECANTOS DEMA³, JORGE MONERRIS LLOPIS², JORDI CORTINA I SEGARRA², LUIS F. BENITO MATÍAS¹, JUAN L. PEÑUELAS RUBIRA¹

1. Centro Nacional de Conservación Recursos Genéticos Forestales "El Serranillo". DG Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Apdo. 249. 19008-GUADALAJARA (España).

2. Departamento de Ecología e Instituto Multidisciplinar para el Estudio del Medio Ramón Margalef. Universidad de Alicante. Apartado 99. 03080-ALICANTE (España).

3. Fundación de la Generalitat Valenciana Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. Universidad de Alicante. Dpto. Ecología. Apdo. 99 03080-ALICANTE (España).

4. Departamento de Ecosistemas Agroforestales, Escuela Politécnica Superior de Gandía, Universidad Politécnica de Valencia, Ctra. Nazaret-Oliva s/n, 46730-GANDÍA (Valencia, España)

* Autor para correspondencia: Correo electrónico: jaime.puertolas@ua.es

Resumen

Se sabe poco sobre los ritmos de crecimiento de *Quercus ilex* en su primer año y cómo éstos pueden estar influidos por factores genéticos y ambientales. Profundizar en su conocimiento permitiría diseñar estrategias de cultivo, en especial de fertilización en vivero, más eficientes. En este estudio hemos evaluado la importancia de factores genéticos (procedencias, familias) y ambientales (vivero) sobre el crecimiento desde la germinación hasta el final del primer otoño. Para ello, se recogieron bellotas de 4 árboles madre (familias de medio-hermanos) procedentes de dos poblaciones distantes y contrastadas climáticamente (Guadalajara y Alicante). La mitad de los brinzales fue cultivada en Alicante y el resto en Guadalajara, siguiendo las mismas técnicas de cultivo y utilizando idéntica metodología de estudio. Se efectuaron cosechas cada dos semanas desde la emergencia (marzo) hasta diciembre de ese mismo año para determinar la biomasa de las diferentes partes de la planta. También se hizo un seguimiento de las brotaciones de una submuestra de plantas del vivero de Guadalajara. Las encinas del vivero de Guadalajara presentaron un mayor crecimiento que las del vivero de Alicante, independientemente de la población de procedencia de las bellotas, pero no se observaron diferencias en el patrón de crecimiento entre ambas localidades. La mayor fuente de variación fue el árbol madre, mientras que la población no tuvo efecto significativo. El momento de inicio y final de las brotaciones estuvo afectado por el árbol madre, y no por la población, lo que puede dificultar la identificación de patrones fenológicos del tallo que puedan usarse en la gestión del cultivo. Sin embargo, se observó interacción entre árbol madre y cosecha para la biomasa lo que evidencia cierto grado de sincronización en el ritmo de acumulación de biomasa. La acumulación de biomasa foliar se detuvo prácticamente a final de verano en ambos viveros, pero la raíz creció de forma lineal durante todo el experimento. En este trabajo analizamos las implicaciones de los patrones observados en la gestión viverística.

Palabras clave: árbol madre, población, cultivo en vivero, fenología, familia de medio hermanos, procedencia, plasticidad fenotípica.

1. Introducción

El cultivo de planta de encina de calidad presenta ciertas dificultades debidas a las características de la especie. Su baja plasticidad frente a la disponibilidad de recursos

(VALLADARES et al., 2000) hace que sea más difícil obtener en el vivero plantas objetivo de ciertas dimensiones. Un tamaño de planta adecuado ha demostrado ser un factor fundamental para la supervivencia y crecimiento en campo de esta especie (VILLAR-SALVADOR et al., 2004), pero su respuesta frente a aportes crecientes de nutrientes es pobre en comparación con otras especies (CUESTA et al., 2008). La obtención de protocolos de fertilización adecuados para la encina podría permitir mejorar los resultados de los cultivos de esta especie, redundando en una mayor supervivencia.

Uno de los factores principales para diseñar protocolos de fertilización adecuados a cada especie es conocer su patrón de crecimiento (VALLEJO et al., 2008). Sin embargo, esto que en especies de crecimiento continuo como las coníferas es relativamente sencillo de conocer se complica en especies con varias de crecimiento intranuales como las especies de *Quercus* (BORCHERT, 1975; FARMER, 1975). El elongamiento del tallo de muchas especies entre las que se encuentra la encina no es continuo durante la temporada de crecimiento, sino que se realiza por medio de sucesivas brotaciones controladas por factores ambientales y genéticos.

Por tanto, cualquier mejora que pretendamos abordar en los regímenes de fertilización de la encina actualmente empleados debe estar basado en un profundo conocimiento de estos ritmos de acumulación de biomasa y los factores que los determinan. Uno de estos factores es el efecto materno. Se sabe que en encina, debido al gran tamaño de la semilla, ciertas características morfofuncionales tienen una gran variabilidad intrapoblacional, muy ligada a los efectos maternos (LEIVA & FERNÁNDEZ-ALÉS, 1998). Sin embargo, no se conocen las consecuencias que pueden tener estos efectos maternos sobre los ritmos de acumulación de biomasa, ni si diferentes poblaciones, crecidas en condiciones climáticas contrastadas pueden tener patrones diferentes de crecimiento. Conocer estos efectos es crucial para determinar y, si es posible, aplicar regímenes de fertilización genéricos que sean válidos para todo tipo de procedencias de encina.

Otro de los factores importantes que determina los ritmos de crecimiento es el ambiental (KOSIBA et al., 2005a). No se conoce si otros factores de cultivo ligados a la localización del vivero pueden influir en los ritmos de acumulación de biomasa, ni su interacción con los factores maternos descritos. Esta determinación es necesaria para poder generalizar posibles regímenes de fertilización a cualquier vivero.

En este estudio se ha analizado los ritmos de acumulación de biomasa de individuos procedentes de dos poblaciones de encinas contrastadas climáticamente. En ellas se han estudiado plantas procedentes de 4 árboles madre cultivadas simultáneamente en dos viveros cercanos a las dos poblaciones de origen. Durante el cultivo, mediante cosechas semanales se ha seguido la evolución del crecimiento en biomasa.

2. Objetivos

Las hipótesis que queríamos contrastar son 1) que la variación intrapoblacional de los patrones de asignación de biomasa es superior a la variación interpoblacional, 2) que esta variabilidad está ligada a las características del vivero donde se realiza el cultivo, y 3) que existe interacción entre las características genéticas (población y árbol madre) y las características ambientales de cultivo sobre el crecimiento y reparto de biomasa.

3. Metodología

En noviembre-diciembre de 2006 se recogieron bellotas de 4 individuos adultos de *Quercus ilex* en cada una de las dos poblaciones elegidas como fuente de semilla. La población GU está situada en el término municipal de Brihuega (Guadalajara) en la parte alta de una alcarria a unos 1050 m de altitud, asentada sobre sustrato calizo. La población A está

en el término municipal de Castell de Castell (Alicante) a 750 m de altitud, también sobre sustrato calizo. Los individuos elegidos (familias de medio-hermanos G1 a G4 y A1 a A4) están situados en un entorno de menos de 3 km para garantizar una cierta homogeneidad dentro de cada población, pero distan más de 500 m entre ellos para reducir la posibilidad de cruzamiento entre ellos.

A finales de enero de 2007, las bellotas de ambas poblaciones fueron colocadas en turba húmeda dentro de una cámara de germinación a 20°C en las instalaciones del Centro Nacional de Conservación de Recursos Genéticos Forestales “El Serranillo”, en Guadalajara. Previamente se seleccionó una muestra de 30 bellotas de cada familia para determinar el peso seco medio de cada una. Durante la segunda quincena de febrero fueron escogidas las bellotas con 1-2 cm de radícula. Las bellotas de cada árbol madre fueron transplantadas dentro de un invernadero en 8 bandejas de 35 contenedores Super-Leach de 305 cm³ rellenos de turba rubia fertilizada (Këkkila B6; Finlandia; 0,9 Kg/m³ de un fertilizante N-P-K 16-4-17). La heterogeneidad en la germinación hizo que en algunos árboles madre se retrasase la finalización del llenado de las bandejas hasta mediados de marzo, y en dos de Alicante (A1 y A4) sólo se pudieran llenar 2 y 6 bandejas respectivamente.

A finales de marzo, la mitad de las plantas procedentes de cada árbol madre fueron trasladadas al vivero de Santa Faz en Alicante (30 m de altitud), perteneciente a la Conselleria de Medi Ambient, Aigües, Urbanisme i Habitatge de la Generalitat Valenciana. Las restantes quedaron dentro del invernadero del centro El Serranillo (630 m de altitud). En Alicante todo el cultivo se produjo al exterior, mientras que en Guadalajara las plantas permanecieron dentro del invernadero hasta mediados de mayo para evitar daños por heladas. En ambos viveros, durante el cultivo, se realizó un fertirriego mensual desde primeros de junio a primeros de octubre. En cada uno se aportó a cada alveolo mediante dosificador 60 ml de una solución preparada con un fertilizante comercial N-P-K (20-20-20; Peters, Scott, EEUU). Al final del cultivo, sumando las cantidades de nutrientes contenidos en la turba fertilizada y el fertilizante soluble cada planta recibió 58 mg de N.

El diseño experimental se sincronizó en ambos viveros. Las 4 bandejas de cada árbol madre (2 en la familia A1 y 3 en la A4) fueron distribuidas al azar. A partir del 11 de abril y hasta el 19 de diciembre se realizaron 19 cosechas aproximadamente quincenales de 4 plantas seleccionadas al azar de cada una de los árboles madre. En A1, debido al escaso número de individuos sólo fue posible realizar 5 cosechas, mientras que en A4 sólo se pudo cosechar mensualmente (10 cosechas).

Los cepellones fueron limpiados y las distintas partes, hojas, tallo y raíces fueron separados y secados en estufa a 70°C durante 48 h. Posteriormente se pesó cada fracción y se calculó la relación entre parte aérea (tallo+hojas) y la raíz y la fracción de masa de hojas (FMH) como el cociente de la biomasa de hojas y el peso total de la planta.

Además, y con el fin de estudiar la sincronización de los brotes con la acumulación de biomasa, en el vivero de El Serranillo se seleccionaron 12 individuos al azar para el seguimiento de las brotaciones durante el cultivo. Esos individuos fueron revisados cada 2-3 días, anotándose la fecha de inicio y final de cada una de sus elongaciones del tallo principal, así como el crecimiento de cada una de ellas.

Para las cinco cosechas en las que se tuvieron datos completos de todas las familias, los datos de biomasa se analizaron mediante un modelo general lineal con un factor aleatorio (Árbol madre) anidado en el factor Población y otros dos factores fijos: Cosecha y Vivero. Los datos completos de las 19 cosechas se evaluaron con un modelo similar pero sin incluir el factor árbol madre. Las fechas de inicio y fin de cada una de las brotaciones fueron analizadas mediante el mismo modelo que para la biomasa pero sin los factores fijos Cosecha y Vivero. Los datos analizados en este caso fueron el día juliano anotado como inicio de cada brote y los días de duración de cada brote. Los pesos iniciales de las bellotas también se analizaron



mediante este modelo. Salvo indicación en contra, en el apartado siguiente se muestran las medias y error estándar de cada variable.

4. Resultados

El peso de las bellotas se vio afectado por el árbol madre ($F=10,03$; $p<0,001$). Las bellotas de la población de Guadalajara ($1,55\pm 0,05$ g) tendieron a ser más grandes que las de la población de Alicante ($1,16\pm 0,05$ g) pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($F=4,49$; $p=0,08$).

Tanto la biomasa total como la de las distintas partes estudiadas se vieron estadísticamente influenciadas por la localización del vivero (Tabla 1; Figura 1). Las encinas crecidas en Santa Faz crecieron menos, aunque el patrón fue diferente para las diferentes partes. La biomasa de hojas se diferenció entre viveros desde la segunda medición, a mediados de primavera, hasta aproximadamente principios de verano, manteniéndose las diferencias luego durante el resto del cultivo. Por el contrario, la raíz y el tallo se diferenciaron durante el verano, aunque en menor medida que las hojas. La evolución de la relación entre biomasa de tallo y de raíz difirió drásticamente entre viveros. En ambas aumentó durante abril y mayo, pero en El Serranillo se observó un aumento mucho mayor hasta mediados de mayo con una posterior bajada hasta quedar en el mismo nivel que en Santa Faz ya a mediados de junio. Durante el resto del cultivo se mantuvo en valores cercanos a 1 en ambos viveros. La fracción de masa de hojas tuvo un patrón similar al de la relación tallo-raíz, pero en este caso tanto el aumento como el posterior descenso se produjeron antes en Serranillo que en Alicante, para llegar a valores similares a final del período de cultivo.

Tabla 1. Resultado del ANOVA aplicado sobre las diferentes variables medidas durante el cultivo (PA/PR: Cociente entre biomasa de la parte aérea y la de la raíz; FMH: Fracción de biomasa de hojas respecto al total de la planta). En negrita, efectos estadísticamente significativos ($p<0,05$)

| Fuente de variación | Biomasa hojas | | Biomasa raíces | | PA/PR | | FMH | |
|---------------------|---------------|------------------|----------------|------------------|------------|------------------|-------------|------------------|
| | F | p | F | p | F | p | F | p |
| Vivero (V) | 278 | <0,001 | 157 | <0,001 | 7,0 | 0,008 | 5,6 | 0,02 |
| Cosecha (C) | 53,2 | <0,001 | 59,8 | <0,001 | 7,4 | <0,001 | 19,8 | <0,001 |
| Población (P) | 0,0 | 0,88 | 2,7 | 0,10 | 0,0 | 0,98 | 4,2 | 0,04 |
| VxC | 3,5 | <0,001 | 4,5 | <0,001 | 3,3 | <0,001 | 4,9 | <0,001 |
| VxP | 9,6 | 0,002 | 0,5 | 0,42 | 0,2 | 0,66 | 0,5 | 0,50 |
| PxC | 0,8 | 0,68 | 1,6 | 0,06 | 0,8 | 0,68 | 1,4 | 0,11 |
| VxPxC | 1,4 | 0,10 | 0,7 | 0,78 | 0,8 | 0,71 | 0,8 | 0,59 |

El factor población no fue estadísticamente significativo para la biomasa (Tabla 1). Sólo se observó una interacción entre la población y el vivero para la biomasa de hojas, resultado de que las diferencias entre viveros fueron menores para la población de Guadalajara que la de Alicante.

Los resultados del análisis reducido a las fechas en las que se cosecharon todos los árboles madre revelaron que el árbol madre tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre todas las variables medidas, mientras que confirman que la población no lo tuvo. No se observó interacción entre árbol madre y fecha de cosecha, pero sí entre árbol madre y vivero, de tal modo que las diferencias entre madres fueron mayores en términos absolutos en el vivero donde crecieron más, el de El Serranillo (Tabla 2; Figura 2).

El inicio y duración de las brotaciones se vieron influenciados por el efecto materno pero no se observaron diferencias entre poblaciones (Tabla 3). La aparición del epicotilo se produjo de media el día 24 de marzo, aunque osciló entre el 18 de marzo (A1) y el 15 de abril (A4). Este

último árbol madre (A4) tuvo la menor duración del primer brote (22 días frente los 32 días de media). La aparición del segundo brote se situó de media en el 28 de mayo, aunque las plantas más tardías (A4) iniciaron este proceso el 14 de junio. Este segundo brote tuvo menor duración, entre los 16 días de GU1 y los 9 días de GU2 y A4. Se observó una tercera brotación en el 59% de las plantas, que se situó entre el 24 de junio en A3 y el 12 de agosto en A1. Sólo el 9% de las plantas presentaron 4 brotaciones, de las cuales la mitad pertenecían a A3.

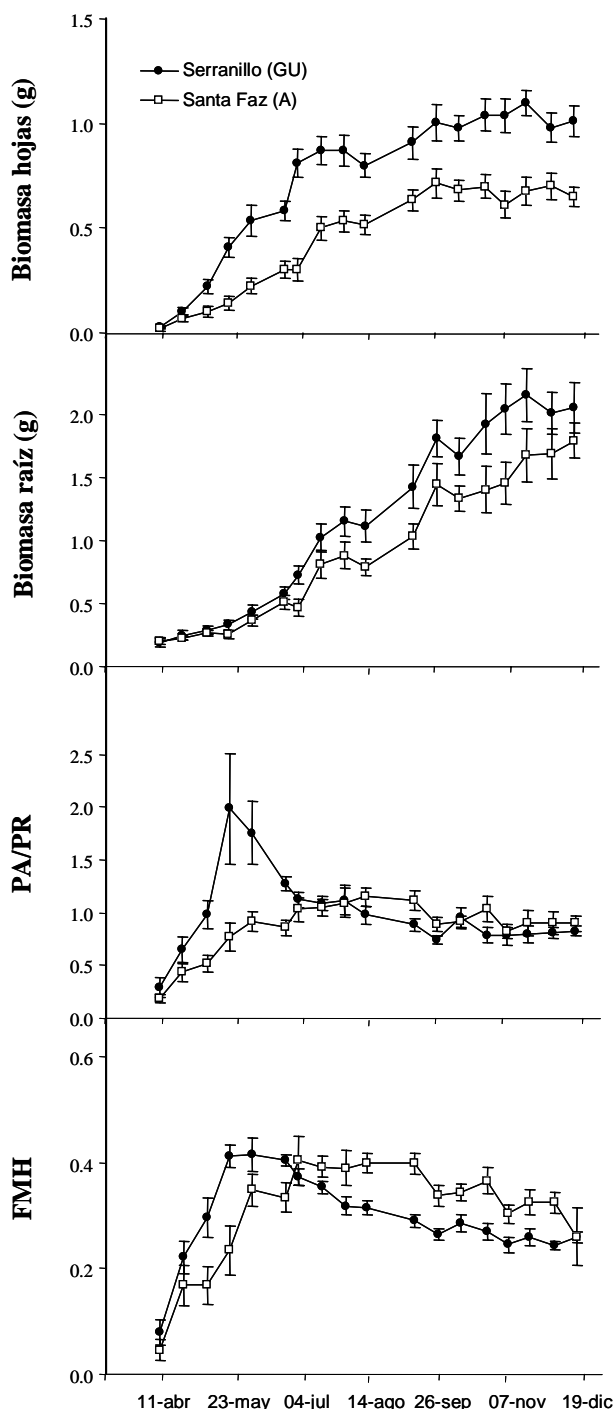


Figura 1. Evolución a lo largo del cultivo de la biomasa de diferentes partes de la planta y algunas relaciones entre ellas en los dos viveros. (Media \pm desviación estándar; $n=32$). PA/PR: Relación entre la biomasa de la parte aérea y de la raíz. FMH: Fracción de biomasa de hojas respecto al total de la planta.

Tabla 2. Resultado del ANOVA aplicado sobre las diferentes variables medidas durante el cultivo en las 5 mediciones con todas los árboles madre (PA/PR: Cociente entre biomasa de la parte aérea y la de la raíz; FMH: Fracción de biomasa de hojas respecto al total de la planta). En negrita, efectos estadísticamente significativos ($p < 0,05$)

| Fuente de variación | Biomasa hojas | | Biomasa raíces | | PA/PR | | FMH | |
|---------------------|---------------|------------------|----------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|
| | F | <i>p</i> | F | <i>p</i> | F | <i>p</i> | F | <i>p</i> |
| Vivero (V) | 88,4 | <0,001 | 24,1 | <0,001 | 12,9 | <0,001 | 3,8 | <0,001 |
| Cosecha (C) | 125 | <0,001 | 124 | <0,001 | 34,3 | <0,001 | 60,9 | <0,001 |
| Madre (M(P)) | 6,4 | <0,001 | 44 | <0,001 | 7,5 | <0,001 | 5,6 | <0,001 |
| Población (P) | 0,2 | 0,71 | 0,0 | 0,89 | 0,4 | 0,54 | 0,8 | 0,39 |
| VxC | 11,7 | <0,001 | 3,9 | 0,004 | 2,8 | 0,03 | 6,3 | <0,001 |
| VxP | 8,7 | 0,003 | 1,4 | 0,25 | 1,2 | 0,27 | 0,4 | 0,52 |
| PxC | 1,6 | 0,43 | 1,7 | 0,16 | 1,2 | 0,39 | 1,0 | 0,42 |
| M(P)xC | 1,2 | 0,26 | 1,2 | 0,28 | 1,5 | 0,07 | 0,5 | 0,81 |
| M(P)xV | 2,2 | 0,04 | 2,8 | 0,007 | 2,2 | 0,04 | 1,3 | 0,13 |

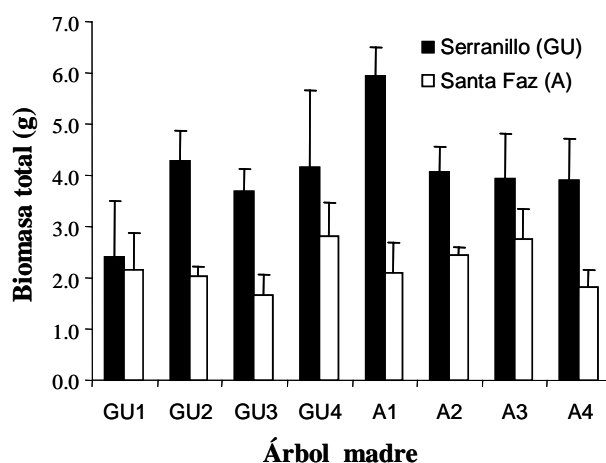


Figura 2. Biomasa total de planta por árbol madre en cada uno de los dos viveros en la última cosecha (media±desviación estándar; $n=4$)

Tabla 3. Resultado del ANOVA aplicado sobre el día juliano de inicio y la duración en días de los diferentes brotes observados durante el cultivo en los individuos. En negrita, efectos estadísticamente significativos ($p < 0,05$)

| Fuente de variación | Población | | Madre(Población) | |
|--------------------------------|-----------|----------|------------------|------------------|
| | F | <i>p</i> | F | <i>p</i> |
| Aparición epicotilo | 0,1 | 0,83 | 4,8 | <0,001 |
| Duración 1 ^{er} brote | 1,5 | 0,21 | 2,2 | 0,042 |
| Inicio 2 ^o brote | 0,6 | 0,43 | 2,4 | 0,038 |
| Duración 2 ^o brote | 2,1 | 0,15 | 2,6 | 0,020 |
| Inicio 3 ^{er} brote | 0,6 | 0,43 | 4,5 | 0,001 |

5. Discusión

La escasa influencia de la población en comparación con la del árbol madre en la evolución de la biomasa y el patrón fenológico del tallo está de acuerdo con la gran variabilidad intrapoblacional propia de la especie comparada con la baja variabilidad entre poblaciones (MICHAUD et al., 1992). El efecto materno en esta y otras especies del género

Quercus ha sido ligado al tamaño de la bellota (MIAO, 1995; LEIVA & FERNÁNDEZ-ALÉS, 1998). Sin embargo en este experimento, a pesar de que existía variación tanto en el tamaño inicial de la semilla como en la biomasa final en ambos viveros entre árboles madre, no se ha encontrado esta relación (datos no mostrados). Esto indica que existe un efecto materno más allá del originado por el tamaño de la semilla que induce variabilidad en el tamaño de las progenies. Los resultados demuestran también una interacción efecto materno x ambiente. Las condiciones de crecimiento más favorables del vivero de Guadalajara incrementaron las diferencias finales entre árboles madre. Esto pone de manifiesto que unas condiciones poco favorables durante el cultivo pueden aumentar la homogeneidad y eliminar la variabilidad debida a los efectos maternos.

La falta de interacción entre árbol madre y cosecha revela que, a pesar de que el árbol madre tuvo una gran influencia en el crecimiento en biomasa de las plantas, los ritmos de acumulación de la misma no se vieron alterados por dicho efecto. Esto evidencia que el efecto materno no impide cierto grado de sincronización entre individuos en el tiempo que puede ser aprovechado a la hora de diseñar programas de fertilización en cultivos de encina. No obstante, las diferencias encontradas en la aparición del epicotilo y en el inicio y aparición de los sucesivos brotes del tallo evidencian que la sincronización no es total (KOSIBA et al., 2005b). A efectos prácticos, esto puede dificultar la identificación de momentos fenológicos homogéneos que sirvan de referencia en la aplicación de diferentes protocolos de cultivo como la fertilización.

A pesar de existir interacción entre el vivero y la cosecha, debido a una paulatina separación de las curvas de crecimiento especialmente de las hojas en ambos viveros, el ritmo de acumulación de biomasa no se vio alterado por el lugar de crecimiento. En ambos se pudo observar un patrón diferente entre el crecimiento de la raíz y el de las hojas. La raíz tuvo un crecimiento prácticamente constante (excepto un periodo de parada durante el verano), lo que concuerda con resultados de otros autores con especies del género *Quercus* (HARMER, 1990; PAGÉS & SERRA, 1993) mientras que la biomasa de hojas deja de crecer a partir del final del verano. Esto sugiere que el periodo otoñal durante el cultivo es de suma importancia a la hora de modelar la asignación de carbono de las plantas de encina antes de la plantación. Una elevada disponibilidad de agua y nutrientes en la época de cese de crecimiento de las hojas puede garantizar un buen balance entre la biomasa foliar y de raíz, ya que en esa época sólo existe crecimiento de esta última.

La variable que mostró diferencias más drásticas entre viveros fue la relación entre parte aérea y raíz. El mayor aumento inicial en el vivero de Guadalajara de esta variable hasta mediados de mayo coincide con el periodo de mayor diferenciación de crecimiento de la biomasa de hojas entre ambos viveros. Esto parece estar ligado a las condiciones de invernadero donde crecieron las encinas en Guadalajara durante ese periodo. Esta separación inicial marcó las diferencias de tamaño entre ambos viveros durante todo el cultivo, lo que sugiere que incluso en climas templados donde no existe riesgo de heladas, el efecto del invernadero durante el final del invierno y el inicio de primavera permitiría conseguir plantas de mayor porte.

6. Conclusiones

El efecto materno fue determinante en el crecimiento en vivero de plantas de una savia de *Quercus ilex*, mientras que las poblaciones estudiadas no difirieron entre sí, a pesar de su distancia geográfica. No obstante, la variación entre árboles madre fue mucho menor en el vivero de menor crecimiento, lo que evidencia que una restricción en el crecimiento puede homogeneizar el cultivo eliminando los efectos maternos.

Los patrones temporales de acumulación de biomasa no difirieron entre árboles madre, poblaciones ni viveros lo que puede facilitar la uniformización de los protocolos de cultivo de

esta especie. Sin embargo, las diferencias intrapoblacionales encontradas en los ritmos de elongación del tallo pueden dificultar la identificación de patrones fenológicos homogéneos útiles para separar distintas fases del cultivo. Por otra parte, unas condiciones óptimas durante la primera fase del cultivo (hasta finales de primavera), parece ser determinante para promover el crecimiento sin aumentar la relación PA/PR.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (proyecto ENCINUT; AGL2006-12609-C02-01/FOR) y por el Programa Consolider-Ingenio 2010 (proyecto GRACCIE). J. Puértolas está subvencionado por el Fondo Social Europeo (Programa Torres Quevedo). La Fundación CEAM está financiada por la Generalitat Valenciana y Bancaja.

8. Bibliografía

BORCHERT, R.; 1975. Endogenous shoot growth rhythms and indeterminate shoot growth in oaks. *Physiol. Plant.* 35: 152-157.

CUESTA, B.; VILLAR-SALVADOR, P.; PUÉRTOLAS, J.; PEÑUELAS, J.L.; REY-BENAYAS, J.M.; 2008. Establecimiento de plantones de *Quercus ilex* y *Pinus halepensis* de morfología y estado nutricional contrastados en un escenario de fuerte competencia herbácea. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 28: 55-60.

FARMER Jr., R.E.; 1975. Growth and assimilation rate of juvenile northern red oak: effects of light and temperature. *Forest Sci.* 31: 373-381.

HARMER, R.; 1990. Relation of shoot growth phases in oak seedlings growth to development of the tap root, lateral roots and fine roots tips. *New Phytol.* 115: 23-27.

KOSIBA, A.; NOTHNAGL, N.; ALSANIUS, B.W.; LARSEN, R.U.; 2005a. Influence of photosynthetic photon flux and air temperature on vegetative growth and side shoot formation in greenhouse grown holly (*Ilex x meservae* 'Blue Princess' S.Y.Hu). *Eur. J. Hort. Sci.* 70: 53-59.

KOSIBA, A.; NOTHNAGL, N.; ALSANIUS, B.W.; LARSEN, R.U.; 2005b. Analysis of rhythmic growth in holly (*Ilex x meservae*) grown in controlled conditions. *Sci. Hort.* 104: 325-337.

LEIVA, M.J.; FERNÁNDEZ-ALÉS, R.; 1998. Variability in seedling water status during drought within a *Quercus ilex* subsp *ballota* population and its relationship to seedling morphology. *For. Ecol. Manage.* 111: 147-156.

MIAO, S.; 1995. Acorn mass and seedling growth in *Quercus rubra* in response to elevated CO₂. *J. Veg. Sci.* 6: 670-700.

MICHAUD, H.; LUMARET, R.; ROMANE, F.; 1992. Variation in genetic structure and reproductive biology of holm oak populations. *Vegetatio* 99-100: 107-113.



PAGÉS, L.; SERRA, V.; 1994. Growth and branching of the taproot of young oak trees: a dynamic study. *J. Exp. Bot.* 45: 1327-1334.

VALLADARES, F.; MARTÍNEZ-FERRI, L.; BALAGUER, L.; PÉREZ-CORONA, E.; MANRIQUE, E. 2000. Low leaf-level response to light and nutrients in Mediterranean evergreen oaks: a conservative resource-use strategy? *New Phytol.* 148: 79-91.

VALLEJO, P.; ORTEGA, U.; HEVIA, A.; ÁLVAREZ, E.; DUÑABEITIA, M.K.; AFIF, E.; MAJADA, J.P.; 2008. Gestión del cultivo de planta en contenedor con PLANTEC. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 28: 157-162.

VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; ENRÍQUEZ, E.; PEÑUELAS RUBIRA, J.; 2004. Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *For. Ecol. Manage.* 196: 257-266.

