

# EL CRECIMIENTO DE LOS BRINZALES DE *QUERCUS COCCIFERA* Y *Q. FAGINEA* RESPONDE DE MANERA DIFERENTE A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO

Pedro Villar Salvador<sup>1</sup>, Juan L. Peñuelas Rubira<sup>2</sup>, Enrique Valencia Gómez<sup>1</sup> y Javier Cuadrado Corz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Alcalá. 28871-ALCALÁ DE HENARES (Madrid, España). Correo electrónico: pedro.villar@uah.es. Autor de contacto

<sup>2</sup> Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo", Dirección General para la Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente, Apdo. Correos 249. 19004-GUADALAJARA (España). Correo electrónico: jlpenuelas@dgc.nmma.es

## Resumen

El objetivo de este estudio es determinar el nivel de suficiencia para el nitrógeno de *Quercus coccifera* y *Q. faginea*, es decir, el nivel de fertilización nitrogenada a partir del cual el crecimiento de los brinzales se satura. Además, se analiza si las diferencias de capacidad de crecimiento radical (RGC) de plantas de tratamientos distintos difieren en función de las condiciones ambientales en las que se realiza el test de RGC. Se cultivaron brinzales a cinco niveles crecientes de N (0, 30, 75, 150, y 200 mg N.planta<sup>-1</sup>). RGC se estudió en *Q. coccifera* y se usaron las plantas producidas en los tratamientos de fertilización. La mitad de las plantas fueron emplazadas en un invernadero con temperaturas suaves, mientras que la otra mitad se emplazó al aire libre bajo condiciones bajas de temperatura. La masa de las plantas se incrementó con la fertilización N, pero el crecimiento de *Q. coccifera* se saturó (alcanzó el nivel de suficiencia) a 75 mg N.planta<sup>-1</sup> mientras que el de *Q. faginea* se saturó a 150 mg N.planta<sup>-1</sup>. La concentración de N en planta se incrementó en ambas especies con la fertilización N, no observándose una saturación en la respuesta. La RGC de *Q. coccifera* fue mayor en el invernadero que en el exterior. En ambos ambientes, RGC se incrementó de la misma manera con el incremento de fertilización N. Se concluye que *Q. coccifera* requiere menor fertilización nitrogenada que *Q. faginea* para alcanzar el nivel de suficiencia y que la diferencia de RGC entre tratamientos de fertilización es independiente de las condiciones ambientales en las que se determina.

Palabras clave: Calidad de planta, Crecimiento radical, Contenido de nitrógeno, Nivel de suficiencia, Vivero

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de N en el suelo tiene una gran influencia sobre el crecimiento y el funcionamiento de las plantas. Ello es debido a que el N es un elemento esencial de las proteínas y

enzimas de las plantas. Además, la morfología de las plantas y su respuesta frente a situaciones de estrés difiere en función de la disponibilidad de N (DAMATTA et al., 2002, VILLAR-SALVADOR et al., 2004). Ello convierte a la fertilización nitrogenada en una importante herramienta para

*moldear* las características funcionales de las plantas cultivadas en vivero y condicionar su supervivencia y crecimiento al ser transplantadas en campo (LANDIS et al. 1989; OLIET et al., 1997; VILLAR-SALVADOR et al., 2004). Así, normalmente las plantas pobremente fertilizadas con N tienen una menor supervivencia y crecimiento postransplante.

La variación del crecimiento de las plantas a niveles crecientes de N en el suelo es similar en todas las especies y sigue un patrón conocido, que se representa en la figura 1. Con bajos niveles de N un incremento de la disponibilidad de N se traduce en una mayor velocidad de crecimiento. En esta etapa, debido a que el ritmo de crecimiento suele ser superior a la tasa de absorción de N, la planta concentra poco N. Esta fase se denomina de deficiencia y termina al alcanzarse un nivel de N en el suelo denominado punto de suficiencia, a partir del cual la planta no es capaz de crecer más rápidamente. A partir del nivel de suficiencia, la planta responde al aumento de fertilización N acumulando gran cantidad de N debido a que la tasa de absorción de N es superior al crecimiento. Esta etapa se denomina fase de consumo de lujo. Si los niveles de N edáfico siguen aumentando se entra en una fase de toxicidad en la que el crecimiento se reduce por salinidad y/o toxicidad sobre la planta (LANDIS et al., 1989; TIMMER, 1997). Durante el cultivo en vivero es deseable fertilizar con niveles de N en el rango de consumo de lujo ya que se maximiza el crecimiento y la acumulación de N en los tejidos.

La predicción de la supervivencia post-transplante de los brinzales producidos en los viveros, es decir la predicción de la calidad de la planta, ha sido una de las áreas principales de investigación de la Selvicultura. Una de las pruebas que más frecuentemente se emplean para medir el vigor de la planta y, por tanto, su potencial respuesta post-transplante, es la capacidad de producción de nuevas raíces (RGC) (RITCHIE & DUNLAP, 1980). Tanto en trabajos operativos como en los de investigación, RGC se determina creciendo las plantas en condiciones óptimas de temperatura. Sin embargo, FOLK & GROSSNICKLE (1997) concluyeron que la determinación de RGC bajo condiciones de estrés hídrico o creciendo las plantas a bajas temperaturas, reflejaba mejor el vigor de las

plantas y, por tanto, predecía mejor la supervivencia de las plantas que la RGC determinada en condiciones óptimas.

El objetivo de este trabajo es determinar el nivel de suficiencia, es decir, el nivel de fertilización nitrogenada a partir del cual el crecimiento de los brinzales de ambas especies se satura. Además, se analiza si las diferencias de RGC de plantas de características funcionales muy contrastadas difieren en función de las condiciones ambientales de crecimiento de las plantas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Cultivo de planta y tratamientos ensayados

Se cultivaron brinzales de una savia de *Quercus coccifera* y *Q. faginea* en contenedores ®Forest Pot 300 (Nuevos Sistemas de Cultivo S.L., Girona, España) con turba rubia sin fertilizar (Kekkila ST-400 Finnpeat, Kekkila Ltd., Finalndia). Las bellotas se sembraron el 1 de febrero de 2002 y las plantas permanecieron en un invernadero hasta finales de mayo, momento en el que se sacaron al exterior, permaneciendo el resto del cultivo a pleno sol. La procedencia y el peso medio de las bellotas fueron Guadalajara (RIU 21) y 3,63 g en *Q. coccifera* y ES10 (Alcarria) y 2,53 g en *Q. faginea*. Se diferenciaron 5 tratamientos (niveles) de fertilización nitrogenada en función del aporte dado a cada planta durante todo el cultivo: 0, 30, 75, 150 y 200 mg N.planta<sup>-1</sup> (F<sub>0</sub>, F<sub>30</sub>, F<sub>75</sub>, F<sub>150</sub>, F<sub>200</sub>). El N fue aportado como nitrato amónico (riqueza N = 33,5%, Fertiberia, Madrid, España). La cantidad de P, K en la solución fertilizante se mantuvo constante para los 5 niveles de fertilización nitrogenada, siendo el total aportado al final del cultivo 40 y 75 mg.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. El resto de micronutrientes se suministró también en la misma cantidad en los cinco niveles de fertilización usándose un preparado comercial (Kanieltra, Hydro Agri, Oslo, Noruega). Las plantas se fertilizaron individualmente con la ayuda de una jeringa. La fertilización comenzó a principios de junio y se realizó semanalmente hasta finales de octubre. El riego se aplicó procurando mantener el sustrato húmedo en todo momento. Debido a las diferencias de tamaño de las plantas de los distintos tratamientos, los tra-

tamientos  $F_{150}$  y  $F_{200}$  en ambas especies recibieron riegos extra durante el verano. Las bandejas de plantas se dispusieron en cuatro bloques completos al azar. En cada bloque, cada tratamiento estaba formado por 1 bandeja.

### Medición de morfología, concentración de N y capacidad de crecimiento radical (RGC)

Al final del cultivo, de cada tratamiento se cosecharon al azar 5 plantas por bloque. Las plantas fueron despiezadas, procesadas y molidas como se describe en VILLAR-SALVADOR *et al.* (2004). Para realizar el análisis de nutrientes de las plantas los cinco individuos muestreados en cada bloque y tratamiento se fusionaron en una muestra compuesta. Así, de cada tratamiento se dispuso de 4 replicas para realizar los análisis de N, el cual se determinó la concentración de N por el método estándar de Kjeldahl.

El ensayo de RGC se realizó con los plántones de *Q. coccifera*. Se realizó en un invernadero sin calefacción y al exterior a pleno sol y a baja temperatura. El ensayo empezó el 7 de febrero de 2003 en ambos ambientes. Se transplantaron 16 brinzales por tratamiento, especie y ambiente a contenedores de 3 L (®Forest Pot, Nuevos Sistemas de Cultivo S.L., Girona, España), empleándose perlita como sustrato. Las plantas se mantuvieron bien hidratadas con riegos periódicos. En el invernadero el ensayo de RGC finalizó el 7 de marzo de 2003, mientras que en el exterior finalizó el 25 de marzo de 2003. Una vez terminado el ensayo, las raíces nuevas crecidas a partir del antiguo cepellón fueron cortadas y su masa estimada después de

secarse en una estufa a 50°C durante 48h. La temperatura media dentro del invernadero fue 15-16°C (media de las mínimas y de las máximas 5°C y 26°C, respectivamente) mientras que en el exterior la media fue 9°C (media de las mínimas y de las máximas 0,1°C y 19,4°C, respectivamente). Para poder comparar la RGC de los dos ambientes se dividió la producción de raíces por el tiempo de duración del ensayo en cada ambiente.

Para analizar estadísticamente los datos se realizaron ANOVAS bifactoriales en los que el tratamiento y el bloque (o el ambiente del ensayo de RGC) fueron los factores. El test de LSD de Fisher se empleó para la comparación múltiple de medias.

### RESULTADOS

La masa de las plantas de las dos especies se incrementó significativamente con la fertilización N ( $P < 0,001$ ). En ambas especies se produjo un incremento notable de masa al incrementarse la fertilización de 30 mg N.planta<sup>-1</sup> a 75 mg N.planta<sup>-1</sup>, si bien en el caso del quejigo las diferencias no son estadísticamente significativas. En ambas especies no se apreciaron diferencias de masa entre las plantas no fertilizadas y las que recibieron 30 mg N.planta<sup>-1</sup> (Figura 2). En *Q. coccifera*, los niveles de fertilización superiores a 75 mg N.planta<sup>-1</sup> no se tradujeron en aumentos significativos de masa. En cambio, en *Q. faginea* sí se observaron diferencias significativas de masa entre 75 mg N.plan-

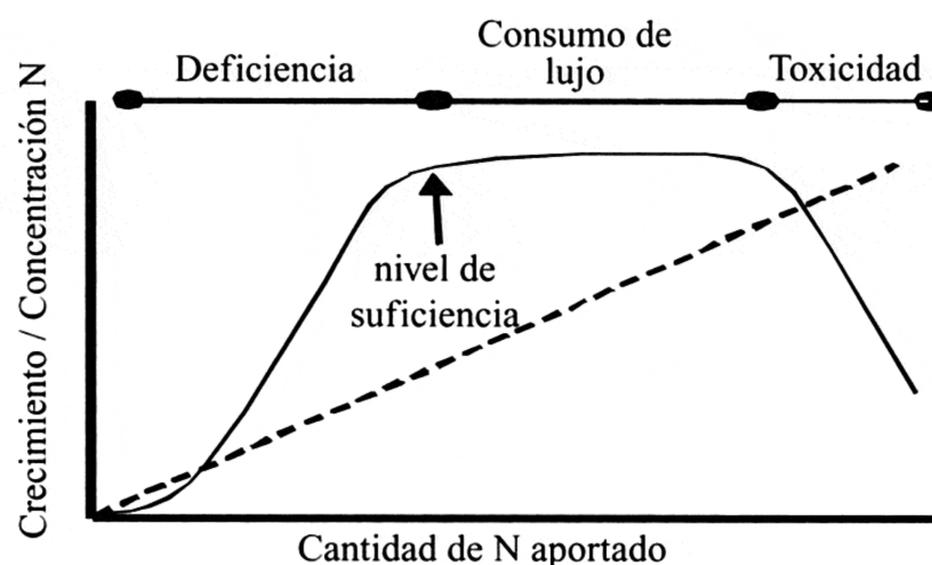
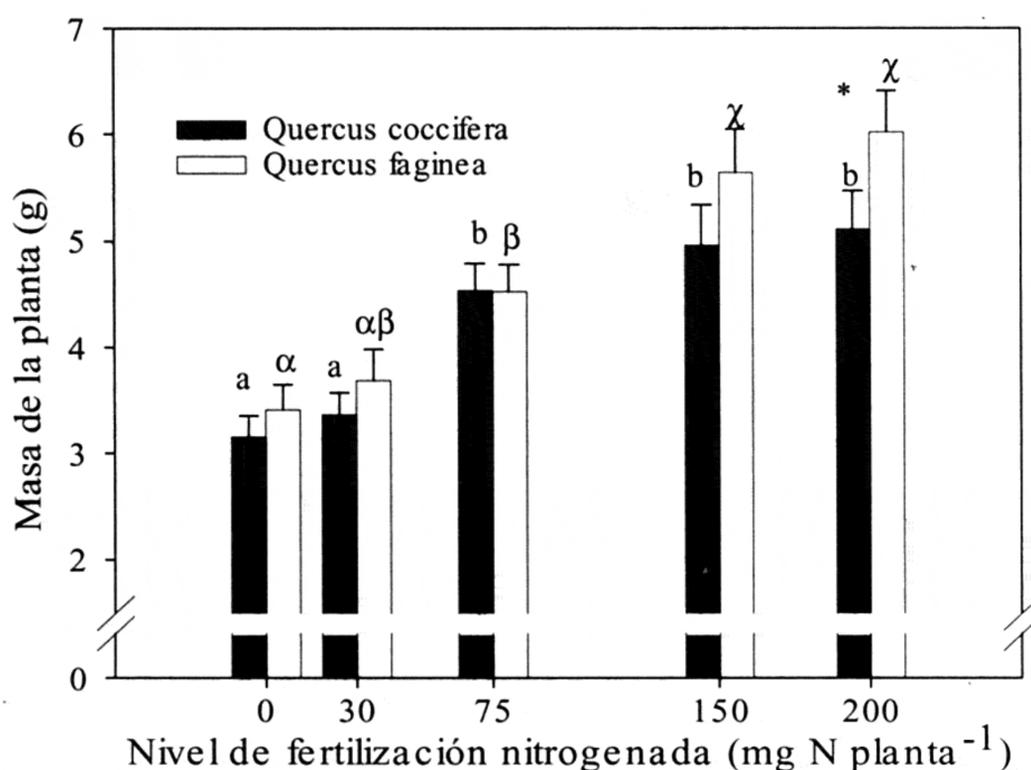


Figura 1. Esquema de variación del crecimiento (línea continua) y la concentración de N en la planta (línea discontinua) en función del aporte de N (modificado a partir de LANDIS *et al.*, 1989 y SALIFU & JACOBS, 2006)



**Figura 2.** Masa de plantas (medias  $\pm$  1 EE) de 10 meses de edad de *Quercus coccifera* y *Q. faginea* cultivados con niveles crecientes de N. En *Q. coccifera* las medias significativamente distintas ( $P \leq 0.05$ ) se indican con letras latinas, mientras que en *Q. faginea* se indican con letras griegas. El asterisco indica diferencias significativas entre especies

ta<sup>-1</sup> y 150 mg N.planta<sup>-1</sup>, pero no entre 150 mg N.planta<sup>-1</sup> y 200 mg N.planta<sup>-1</sup>. Los brinzales de quejigo fueron mayores que los de coscoja, siendo esta diferencia más marcada con los niveles de fertilización elevada.

El aumento en la fertilización N incrementó la concentración de N en ambas especies ( $P < 0.001$ ) sin existir saturación en la respuesta (Figura 3). La concentración de N fue significativamente mayor en *Q. faginea* que en *Q. coccifera* ( $P < 0.001$ ), salvo en las plantas sin fertilizar.

RGC (mg.día<sup>-1</sup>) fue mayor dentro del invernadero que en el exterior ( $P = 0.006$ ). La fertilización incrementó RGC ( $P < 0.001$ ), pero no se observó interacción entre el ambiente y la fertilización ( $P = 0.69$ ), es decir el orden de los tratamientos se mantuvo (Tabla 1).

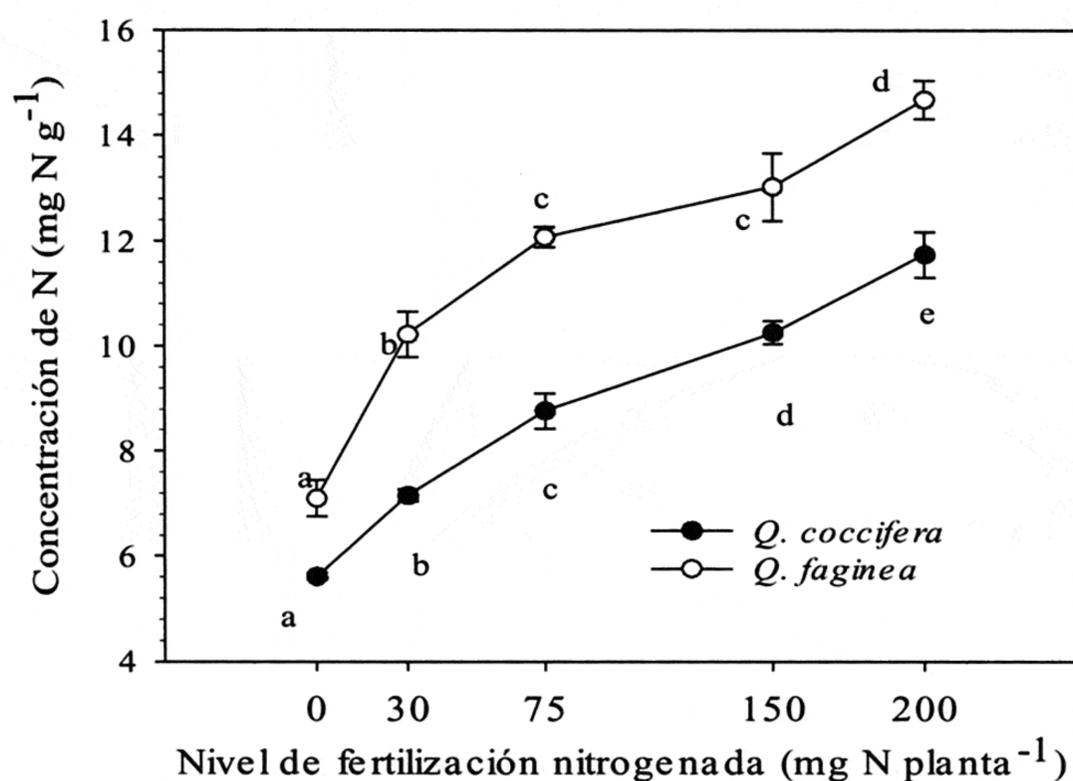
## DISCUSIÓN

La respuesta del crecimiento y concentración de N de ambas especies siguió el patrón estable-

cido en la Figura 1 (LANDIS et al., 1989; TIMMER, 1997). Sin embargo, no hemos observado una fase de toxicidad y en el quejigo sólo se atisba el comienzo de una fase de consumo de lujo a partir de 150 mg N. A pesar de ser especies filogenéticamente emparentadas, la coscoja presentó un nivel de suficiencia menor que la del quejigo, es decir, que la capacidad de incrementar su crecimiento en respuesta a dosis crecientes de N es menor en la especie perennifolia que en la caducifolia. En el quejigo se aprecia una saturación del crecimiento a 150 mg N.planta<sup>-1</sup>, mientras que en la coscoja dicha saturación ocurre a 75 mg N.planta<sup>-1</sup>. El menor nivel de suficiencia de *Q. coccifera* coincide con la baja plasticidad fenotípica de las quercíneas perennifolias frente a la radiación y el N (VALLADARES et al., 2000). Nuestros datos sugieren que la coscoja tiene una menor eficiencia de uso del N que el quejigo, lo cual puede deberse a diferencias en la capacidad radical de absorción de N, en la intensidad de los sumideros de N en la planta, en la capacidad de la nitrato reductasa, la diferente preferencia por

Ambiente	0 mg N	30 mg N	75 mg N	150 mg N	200 mg N
Exterior	0.06 $\pm$ 0.02 a	0.34 $\pm$ 0.11 b	0.65 $\pm$ 0.14 b	0.91 $\pm$ 0.18 c	1.42 $\pm$ 0.25 d
Invernadero	0.21 $\pm$ 0.05 a	0.72 $\pm$ 0.15 b	0.78 $\pm$ 0.18 b	1.56 $\pm$ 0.29 c	2.04 $\pm$ 0.31 c

**Tabla 1.** Velocidad de crecimiento radical (mg día<sup>-1</sup>  $\pm$  1 EE) de plántulas de *Q. coccifera* cultivados con niveles crecientes de N (mg N.planta<sup>-1</sup>) y transplantados después a un invernadero de temperaturas suaves (15-16°C) y al aire libre a bajas temperaturas (9°C). En cada ambiente, las medias con letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ )



**Figura 3.** Concentración de N en la planta (medias  $\pm$  1 EE) de *Q. coccifera* y *Q. faginea* cultivados con niveles crecientes de N. Las medias con letras distintas en cada especie indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

el nitrato y el amonio de ambas especies, y/o los costes de construcción de sus tejidos.

Es interesante destacar que los niveles de suficiencia obtenidos en nuestro estudio son considerablemente más elevados que los observados en *Q. rubra*, que fueron del orden de 25 mg N.planta<sup>-1</sup> (SALIFU & JACOBS, 2006). Estas diferencias pueden atribuirse a varias razones. En primer lugar a la especie. *Quercus rubra* es un árbol de ambientes mésicos de la costa este de Norteamérica por lo que es posible que su tolerancia a la salinidad y su eficiencia de uso del N sean menores que los de las quercúneas mediterráneas. También las diferencias metodológicas entre ambos estudios pueden explicar las discrepancias. En nuestro caso, los envases fueron mucho más pequeños (0,3 l vs. 2,8 l) y la fertilización fue constante a lo largo del período de estudio, mientras que en su caso la fertilización fue exponencial y emplearon un sistema cerrado, que no dejaba escapar nada del fertilizante aplicado. Esto pudo hacer que se incrementara la concentración en el sustrato.

El quejigo presentó una mayor concentración de N en sus tejidos que la coscoja, lo que coincide con el patrón general de que las especies leñosas caducifolias concentran más N que las perennifolias (CORNELISSEN et al., 1997), lo que explica en parte la mayor capacidad fotosintética y velocidad de crecimiento de las leñosas caducifolias que de las perennifolias. Sin

embargo, la diferencia de N entre ambas especies no se observa en plantas no fertilizadas. Esto indica que las bellotas de *Q. faginea* concentran una cantidad parecida de N que las bellotas de *Q. coccifera* y que son las diferencias innatas de absorción de N lo que explica las diferencias de N de ambas especies cuando el N está presente en el suelo.

La fertilización incrementó la RGC de coscoja. Un resultado similar se ha descrito en *Q. ilex* (VILLAR-SALVADOR et al., 2004). Sin embargo, en contra de lo observado por FOLK & GROSSNICKLE (1997), las condiciones ambientales en las que se hicieron los test de RGC no influyeron en el ordenamiento final de los tratamientos de fertilización. Por tanto, en caso de que RGC prediga las diferencias de supervivencia entre los tratamientos de fertilización, los resultados de RGC obtenidos en ambos ambientes tendrían una similar capacidad de predicción.

### Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado con fondos del Ministerio de Medio Ambiente y con los de los proyectos CGL2004-00355/BOS, AGL2006-12609-C02-01/FOR y CGL2007-60533 del Ministerio de Educación y Ciencia y la red REMEDINAL S-0505/AMB/0335 de la C.A. de Madrid.

## BIBLIOGRAFÍA

- CORNELISSEN, J.; WERGER, M.; CASTRO-DÍEZ, P.; VAN RHEENEN, J. & ROWLAND, A.; 1997. Foliar nutrients in relation to growth, allocation and leaf traits in seedlings of a wide range of woody plants species and types. *Oecologia* 111: 460-469.
- DAMATTA, F.M.; LOOS, R.A.; SILVA, E.A.; LOUREIRO, M.E. & DUCATTI, C.; 2002. Effects of soil water deficit and nitrogen nutrition on water relations and photosynthesis of pot-grown *Coffea canephora* Pierre. *Trees* 16: 555-558.
- FOLK R.S. & GROSSNICKLE, S.C.; 1997. Determining field performance potential with the use of limiting environmental conditions. *New Forests* 13:121-138.
- LANDIS, T.; TINUS, R.; MCDONALD, A.J.S. & BARNETT, J.P.; 1989. Seedling nutrition and irrigation. In: *The container tree nursery manual*. 4. USDA, Forest Service.
- OLIET, J.A.; PLANELLES, R.; LÓPEZ, M. Y ARTERO, F.; 1997. Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 4: 69-79.
- RITCHIE, G.A. & DUNLAP, J.R.; 1980. Root growth potential: its development and expression in forest tree seedlings. *N. Z. J. For. Sci.* 10: 218-248.
- SALIFU, K.F. & JACOBS, D.F.; 2006. Characterizing fertility targets and multi-element interactions in nursery culture of *Quercus rubra* seedlings. *Ann. For. Sci.* 63:231-237.
- TIMMER, V.R.; 1997. Exponential nutrient loading: a new fertilisation technique to improve seedling performance on competitive sites. *New Forests* 13: 279-299.
- VALLADARES, F.; MARTÍNEZ-FERRI, E.; 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.
- 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. *Forest. Ecol. Manage.* 196: 257-266.