



5º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL

5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

REF.: 5CFE01-270

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

Sobrecarga exponencial de nutrientes para la optimización de la fertilización en vivero de plantas de *Quercus ilex* L.

DOUGLASS F. JACOBS¹, K. FRANCIS SALIFU¹, y JUAN A. OLIET²

¹Hardwood Tree Improvement and Regeneration Center, Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University, West Lafayette, IN 47907-2061, EEUU.

²Departamento de Silvopascicultura. Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S. Ingenieros de Montes, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid.

Resumen

Existe poca información disponible sobre el estado nutricional de planta de vivero de encina (*Quercus ilex* L.) empleada en repoblaciones en ecosistemas mediterráneos. Nuestro estudio pretende optimizar los protocolos de fertilización para el cultivo de encina de vivero de alta calidad que aumente el éxito del establecimiento en los programas de forestación. Se han ensayado nueve tratamientos de fertilización que oscilaron entre 0 y 200 mg de N por planta en un ensayo de respuesta a la dosis. Las plantas fueron cultivadas de semilla recogida en La Alcarria, y fertirrigadas semanalmente empleando fertilizante soluble 20N-20P-20K. El crecimiento y la respuesta nutricional se incrementaron con la fertilidad. El estudio sugiere que la dosis de suficiencia para la producción de encina en las condiciones de cultivo ensayadas se alcanzó a los 150 mg de N por planta. En relación con las plantas no fertilizadas, dicha dosis incrementó la biomasa total (304%), la altura (285%), el volumen radical (285%), el contenido de N (888%), de P (546%) y de K (346%). La dosis 200 mg de N puede representar el valor óptimo objetivo para sobrecargar nutricionalmente las plantas de encina, ya que el contenido de N continuó creciendo para esta dosis en relación con las no fertilizadas (950%). No se ha observado toxicidad para la dosis más alta (200 mg N), por lo que es posible que puedan emplearse dosis más altas que las ensayadas en nuestro ensayo para maximizar la acumulación de nutrientes. El volumen radical descendió para la citada dosis máxima en un 28% en comparación con las encinas que recibieron 100 mg. Esto puede tener implicaciones con relación a la capacidad de la encina de evitar la sequía pos trasplante de la encina. Nuestros datos confirman la efectividad de la sobrecarga exponencial en esta especie, aunque son necesarios nuevos ensayos para refinar la aplicación de la sobrecarga exponencial de encina.

Palabras clave

Viveros, métodos de repoblación, calidad de planta, forestación

1. Introducción

La encina (*Quercus ilex* L.) es una especie esclerófila ampliamente utilizada para la reforestación en ecosistemas mediterráneos (RODÀ *et al.*, 1999; REY BENAYAS & CAMACHO-CRUZ, 2004). Sin embargo, los lentos crecimientos y/o altas mortalidades de las plantaciones son comunes en comparación con otras especies mediterráneas. El estrés posttrasplante debido a la sequía estival (RODÀ *et al.*, 1999), baja fertilidad edáfica (PARDOS *et al.*, 2005; VALDECANTOS *et al.*, 2006; SANZ-PEREZ *et al.*, 2007), y pobre calidad de planta (VILLAR-SALVADOR *et al.*, 2004a) son causa de estos fracasos.

Aunque la nutrición mineral es un aspecto crítico de la calidad de la planta, este tema ha recibido poca atención en el cultivo de la encina o de otras especies empleadas en las repoblaciones en ámbitos mediterráneos (OLIET *et al.*, 2006; VALDECANTOS *et al.*, 2006). Por tanto, las guías de recomendación para caracterizar y cuantificar los objetivos de fertilidad en muchas especies son relativamente escasas.

TIMMER (1997) propuso un modelo conceptual que puede usarse para cuantificar y caracterizar dichos niveles de fertilidad buscados. El modelo distingue puntos de deficiencia nutricional, suficiencia, consumo de lujo y toxicidad para las plantas en relación con el fertilizante aplicado. Aunque originalmente basado en la biomasa, este modelo se ha ampliado para incluir la absorción de nutrientes y su concentración para mejorar la capacidad de diagnóstico. El modelo ha sido recientemente validado empleando coníferas (SALIFU & TIMMER, 2003) y robles (BIRGE *et al.*, 2006; SALIFU & JACOBS, 2006) a lo largo de un amplio gradiente de dosis de N aplicadas en el vivero. Sin embargo, dicho modelo debe ser testado aún para el cultivo de plantas de encina.

Este modelo puede ser empleado para ayudar a cuantificar las dosis objetivo para la producción de planta para repoblación en campo (TIMMER, 1997). El fertilizante se añade en dosis creciente para aportar nutrientes a un sustrato de muy baja fertilidad inherente desde la deficiencia hasta maximizar el crecimiento en el punto de suficiencia. A partir de allí, dosis extra de fertilizante (recarga o sobrecarga) inducen absorción en exceso en relación con las demandas derivadas del crecimiento, de forma que los nutrientes se almacenan en forma de reservas para su empleo posterior (SALIFU & TIMMER, 2003b; SALIFU *et al.*, 2008). La aplicación de fertilizante a dosis altas puede realizarse empleando fertilización exponencial, en la que la adición de nutriente se incrementa gradualmente durante el curso de la estación de crecimiento conforme la demanda aumenta. Este método de fertilización se ha mostrado efectivo en la mejora de la eficiencia absorbente y en la reducción de los lixiviados en comparación con la aplicación constante convencional (DUMROESE *et al.*, 2005). Un exceso de fertilización puede inducir toxicidad, manifestada por un descenso del crecimiento y contenido de N en la planta, pero también por elevadas concentraciones. Las altas reservas nutricionales adquiridas en un cultivo con sobrecarga se correlacionan bien con una mejor respuesta en campo de las jóvenes plantitas (SALIFU & TIMMER, 2003b; MALIK & TIMMER, 1996; OLIET *et al.*, 2009). Las investigaciones relacionadas con este método de recarga exponencial han derivado en recomendaciones comerciales de 64 mg de N para el cultivo de picea negra en contenedor (*Picea mariana* [Mill.] BSP) (SALIFU & TIMMER, 2003a), 100 mg de N para el de roble rojo americano también en contenedor (*Quercus rubra* L.) (SALIFU & JACOBS, 2006), y 1,68 g N para esta especie y para el roble blanco americano (*Quercus alba* L.) a raíz desnuda (BIRGE *et al.*, 2006).

Nuestro objetivo en este estudio fue ensayar un modelo de respuesta a la dosis para un rango muy amplio de aplicación de fertilizante, desde la deficiencia hasta la supuesta toxicidad, y caracterizar así el nivel objetivo (óptimo) para el crecimiento de plantas de encina en vivero. Esperamos que estos datos suministren una información preliminar que permita dar recomendaciones para mejorar el sistema de fertilización de la especie, lo cual debería contribuir seguidamente a mejorar los resultados en los trabajos de repoblación y restauración con ella.

2. Materiales y métodos

Bellotas pregerminadas de la procedencia Alcarria-Serranía de Cuenca (Guadalajara, España) se sembraron en contenedores de 656-cm³ de volumen (6,4 cm × 25 cm diámetro × longitud, D40 Deepot, Stuewe and Sons, Corvallis, OR, EEUU) llenos de sustrato Scotts Metro-Mix[®] 560 (The Scotts Company, Marysville, OH, EEUU). Este sustrato contiene un 35-54% de corteza de pino compostada, un 20-30% de fibra de coco procesada, 10-20% de turba rubia, 5-15% de ceniza de corteza y un 5-15% de perlita. Las bandejas fueron dispuestas dentro de una mesa en invernadero (temperatura media día/noche de 24/20 °C) bajo condiciones ambientales de luz en las instalaciones del Departamento de Horticultura y Arquitectura del Paisaje de la Universidad de Purdue, West Lafayette IN, EEUU (40°25'N, 86°55'W). Cada contenedor se regó a capacidad de campo, determinada gravimétricamente en el momento de la plantación.

La fertilización comenzó a la segunda semana, prolongándose por veinte semanas más. Las dosis oscilaron entre 0-200 mg N por planta, aplicadas en dosis exponencialmente crecientes. Las aplicaciones semanales se basaron en funciones exponenciales previamente descritas en SALIFU & JACOBS (2006), y están diseñadas para sincronizar el suministro de nutrientes con el crecimiento exponencial y con la demanda de las plantas. Se empleó un fertilizante comercial soluble en agua (Peters[®] 20N-20P₂O₅-20K₂O más otros macro y micro elementos) en cada fertirrigación. Asimismo se aplicaron riegos suplementarios dos veces en semana a demanda, mediante pesada, de forma que se aportaba la cantidad justa perdida para volver el contenedor a su capacidad de campo, evitando así posibles efectos de confusión entre el riego y la respuesta a los tratamientos. Los nueve tratamientos de fertilización (0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, y 200 mg N por planta) se aplicaron aleatoriamente a las bandejas, que se dispusieron en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los bloques se colocaron sobre mesas elevadas y se rotaron cada dos semanas para minimizar los efectos de borde.

Los datos sobre crecimiento y estado nutricional se obtuvieron en un muestreo a las 22 semanas, en la fase previa al endurecimiento. Se muestrearon destructivamente tres plantas por repetición, separando parte aérea de tallo; la altura y el diámetro del cuello de la raíz se midieron individualmente. El material vegetal se secó en estufa a 68° durante 72 h y se molió. Los análisis químicos se realizaron en los laboratorios de A&L Great Lakes Laboratories (Fort Wayne IN, EEUU) basándose en los métodos de la "Association of Official Analytical Chemist" (AOAC). El N total se determinó por el procedimiento de combustión ("Dumas") (AOAC 968.06) empleando un analizador de N LECO (LECO Corporation, St. Joseph, MI, EEUU). Adicionalmente las muestras fueron digeridas en ácido nítrico+perclórico (AOAC 935.13), y se determinó el P y el K mediante análisis plasma (ICAP) (AOAC 985.01). Los datos presentados en este trabajo corresponden a la media de las repeticiones. Dado que se presentan los resultados preliminares que serán posteriormente refinados para su presentación en una revista internacional, hemos excluido la presentación de un análisis estadístico formal, enfocándonos sobre las tendencias generales observadas en el experimento.

3. Resultados y discusión

Tanto el crecimiento como el estado nutricional generalmente se incrementaron con la dosis de fertilizante (Figuras 1-5), sugiriendo que esta especie puede ser recargada nutricionalmente de manera efectiva, tal y como lo recogen algunos trabajos previos (VILLAR-SALVADOR *et al.*,

2004a; SANZ-PEREZ *et al.*, 2007; OLIET *et al.*, 2009). La altura (Figura 2) y el peso seco (Figura 3) tienden a crecer linealmente hasta aproximadamente los 150 mg de N por planta, y a partir de entonces la línea se vuelve horizontal. El diámetro del cuello de la raíz (Figura 2) aumentó aproximadamente hasta los 50 mg, para estabilizarse a partir de entonces. El volumen radical se incrementa linealmente hasta los 100 mg de N, y a partir de entonces comienza a disminuir (Figura 3). La concentración de N aumentó linealmente con la dosis de fertilizante, alcanzando su máximo (1,6%) para la dosis más alta (Figura 4). A pesar de que esta concentración es más alta que las observadas en otros estudios con encina (VILLAR-SALVADOR *et al.*, 2004a; OLIET *et al.*, 2009), es relativamente baja comparada con los trabajos realizados en otras especies de su género (BIRGE *et al.*, 2006; SALIFU & JACOBS, 2006), lo cual puede relacionarse con la baja plasticidad de las plantas de encina ante los recursos disponibles (SARDANS *et al.*, 2006a). Las concentraciones de P y de K se estabilizaron aproximadamente después de aplicar 75 y 25 mg de N, respectivamente (Figura 4). Los contenidos de N, P, y K tendieron a crecer linealmente con la dosis de fertilizante aplicada (Figura 5).



Figura 1. Plantas de *Quercus ilex* a las 22 semanas de cultivo en vivero sujetas a tratamientos de fertilización que oscilan entre 0 y 200 mg de N por planta.

Los resultados de nuestro estudio sugieren que la suficiencia para la producción de encina en vivero se alcanza alrededor de los 150 mg de N por planta. En relación con las plantas no fertilizadas, esta dosis incrementó el peso seco (304%), altura de tallo (285%), volumen radical (182%), contenido de N (888%), de P (546%), y K (346%).

Asimismo, basándonos en los resultados de nuestro estudio, la dosis de 200 mg de N puede representar el objetivo óptimo (es decir, donde el contenido de nutrientes es máximo) para recargar la planta de encina bajo nuestras condiciones de cultivo, sin que se produzca toxicidad (es decir, un descenso en el peso seco y en el contenido de nutriente). Nuestro rango de tratamientos, sin embargo, no nos permitió identificar claramente el nivel óptimo de fertilización,

dato que no se observó aún toxicidad (Figuras 3, 5), a pesar del crecimiento lineal de la concentración de N (Figura 4).). Este resultado es sorprendente, dado que nuestro tratamiento de fertilización más alto fue de 200 mg de N por planta. Los experimentos previos han identificado toxicidad en la producción de planta en contenedor por encima de 64 mg N en picea negra (SALIFU & TIMMER, 2003a) y de 100 mg N en roble rojo americano (SALIFU & JACOBS, 2006). Por tanto, es posible que puedan emplearse dosis exponenciales mayores para maximizar las reservas almacenadas de nutrientes en esta especie.

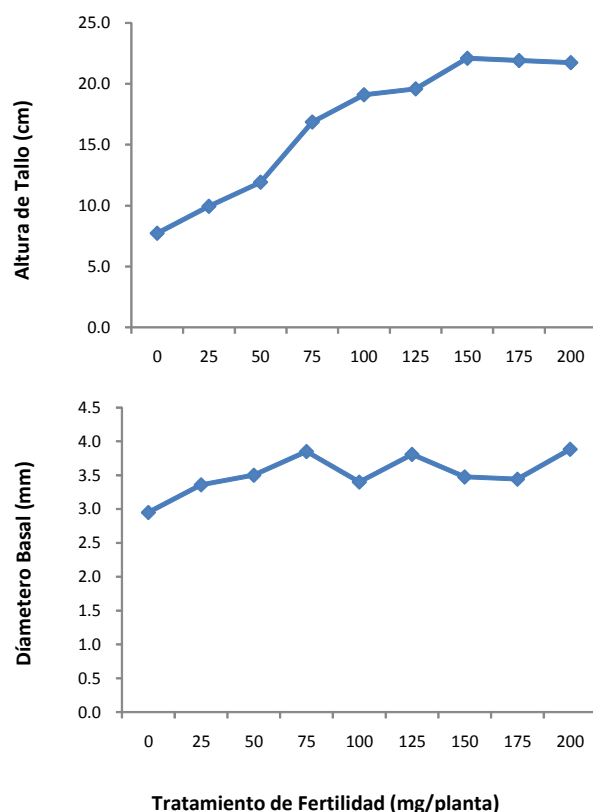


Figura 2. Respuesta en altura y diámetro de plantas de *Quercus ilex* tras 22 semanas de cultivo en vivero sujetas a tratamientos de fertilización que oscilaron entre 0 y 200 mg N por planta.

A pesar de que el contenido máximo de nutriente se obtiene para 200 mg de N, el volumen radical máximo sucedió a los 100 mg de N, siendo un 28% mayor. Esto puede tener implicaciones en relación con la capacidad de las especie de evitar la sequía en campo una vez plantada (VILLAR-SALVADOR *et al.*, 2004a, 2004b). Ensayos adicionales serán necesarios para validar esta hipótesis con objeto de depurar la aplicación de la recarga exponencial de la encina.

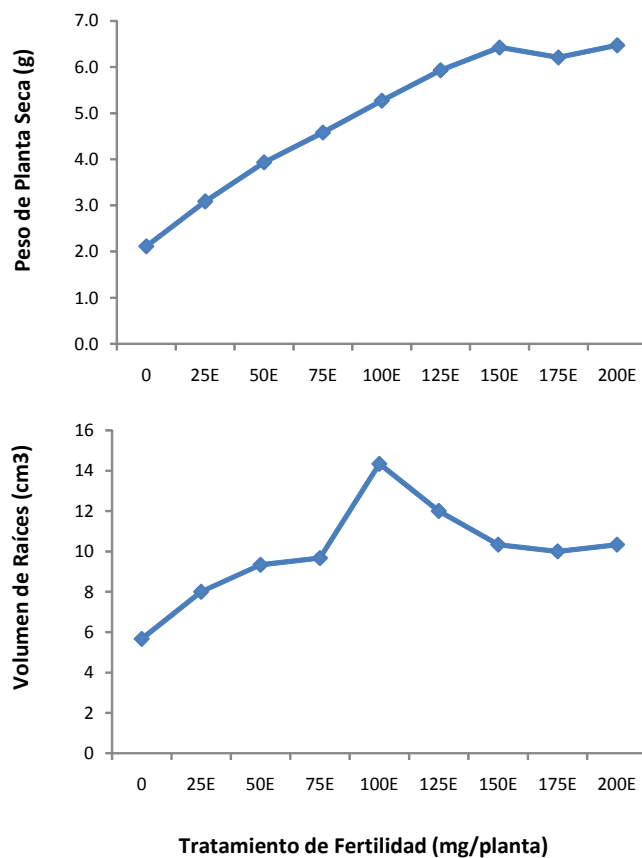


Figura 3. Respuesta en peso seco de planta y volumen de raíces de *Quercus ilex* tras 22 semanas de cultivo en vivero sujetas a tratamientos de fertilización que oscilaron entre 0 y 200 mg N por planta.

Es difícil identificar claramente sobre los mecanismos potenciales por los que la encina parece ser más tolerante a altas dosis de fertilizante que otras especies. Mientras que la toxicidad iónica directa es un factor que afecta negativamente la respuesta en crecimiento a dosis altas de fertilizante, la sequía fisiológica asociada con altos valores de conductividad eléctrica es también a menudo responsable de las respuestas de toxicidad a la fertilización (JACOBS & TIMMER, 2005). De hecho, es relativamente difícil separar ambos mecanismos causales (JACOBS & TIMMER, 2005). La tolerancia de la encina a la sequía (ROMANE & TERRADAS, 1992; TERRADAS & SAVE, 1992) sugiere que esta especie debe de tolerar también relativamente bien niveles altos de conductividad eléctrica asociados a dosis elevadas que promuevan la recarga nutricional en vivero.

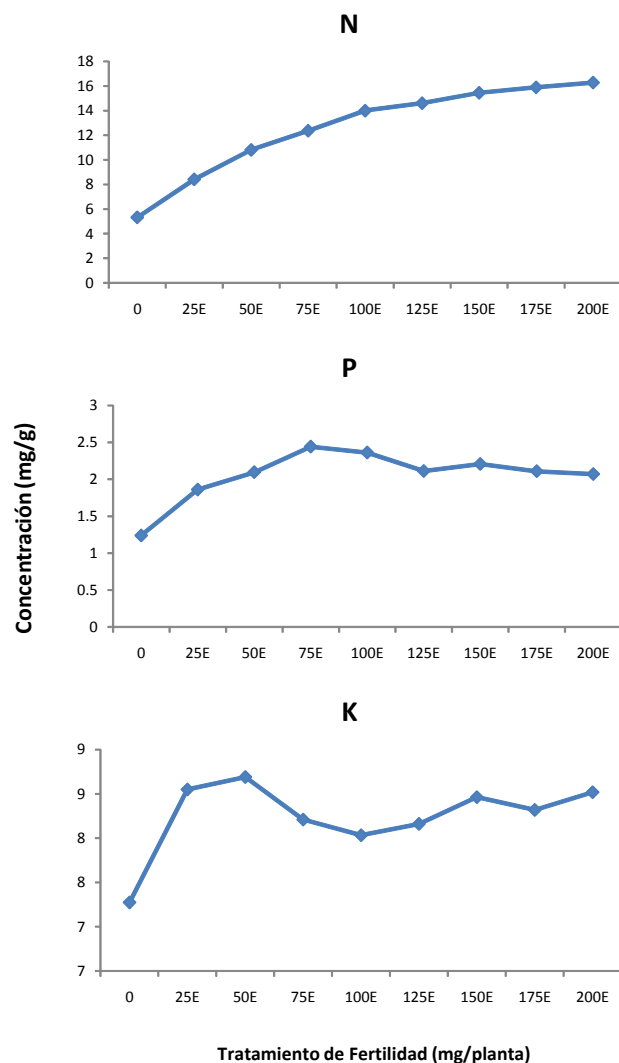


Figura 4. Concentración de N, P y K (mg/g) en plantas de *Quercus ilex* tras 22 semanas de cultivo en vivero sujetas a tratamientos de fertilización que oscilaron entre 0 y 200 mg N por planta.

Nuestro experimento suministra datos para un adecuado diseño de protocolos de fertilización que produzcan planta de encina de alta calidad con elevadas concentraciones de nutrientes, lo cual debería conducir a una mejora de la respuesta en campo. Existe una necesidad aparente de estudios adicionales que empleen dosis más elevadas de las aquí utilizadas, con objeto de situar localizar el objetivo (máximas reservas nutricionales). Asimismo deben ensayarse diferentes regímenes y calendarios de aporte que se ajusten mejor a los ritmos de crecimiento de la encina. Por último, la importancia de los nutrientes almacenados en la promoción de una respuesta efectiva en campo, así como las interacciones potenciales con la calidad del sistema radical necesitan ser mejor evaluadas en esta especie.

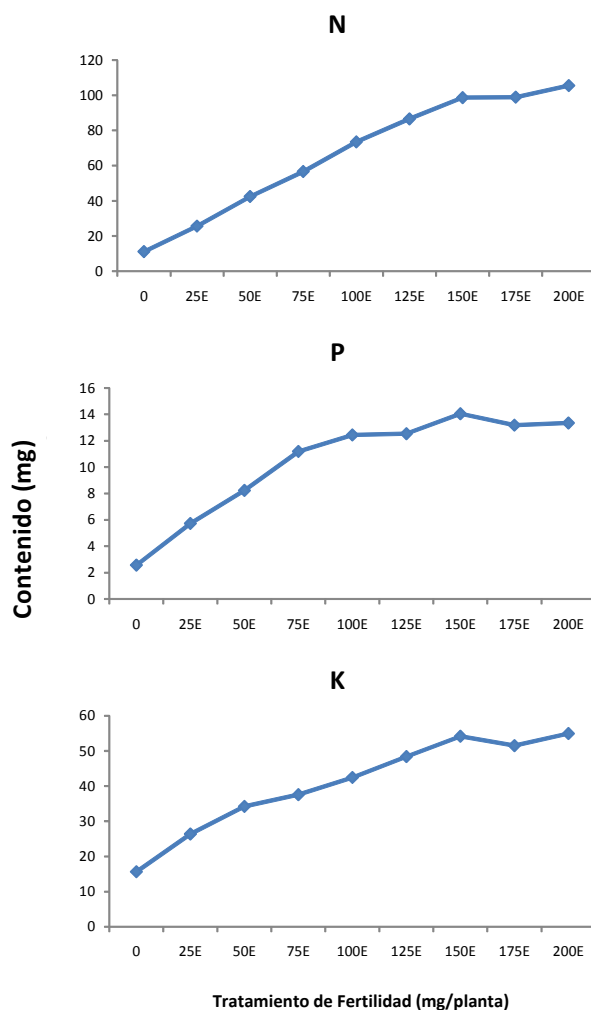


Figura 5. Contenido (mg) de N, P y K en plantas de *Quercus ilex* tras 22 semanas de cultivo en vivero sujetas a tratamientos de fertilización que oscilaron entre 0 y 200 mg N por planta.

4. Bibliografía

BIRGE, Z.D.K., SALIFU, K.F., & JACOBS, D.F. 2006. Modified exponential nitrogen loading to promote morphological quality and nutrient storage of bareroot-cultured *Quercus rubra* and *Quercus alba* seedlings. *Scan. J. For. Res.* 21: 306-31

DUMROESE, R.K., PAGE-DUMROESE, D.S., SALIFU, K.F., & JACOBS, D.F. 2005. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance. *Can. J. For. Res.* 35: 2961-2967

JACOBS, D.F. & TIMMER, V.R. 2005. Fertilizer-induced changes in rhizosphere electrical conductivity: relation to forest tree seedling root system growth and function. *New Forests* 30:147-166.

MALIK, V. & TIMMER, V.R. 1996. Growth, nutrient dynamics, and interspecific competition of nutrient-loaded black spruce seedlings on a boreal mixedwood site. *Can. J. For. Res.* 26: 1651-1659

OLIET, J.A., VALDECANTOS, A., PUÉRTOLAS, J., & TRUBAT, R. 2006. Influencia del estado nutricional y el contenido en carbohidratos en el establecimiento de los plantones. In: Cortina, J, Peñuelas JL, Puértolas J, Savé J, Vilagrosa A. (Coords.). Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos degradados. Estado actual de conocimientos. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp 89-117.

OLIET, J.A., TEJADA, M., SALIFU, K.F., COLLAZOS, A., & JACOBS, D.F. 2009. Growth and nutrient allocation in *Quercus ilex* seedlings in relation to nursery nutrient loading and post trans-plant fertility. *European Journal of Forest Research*. (In press).

PARDOS, M., ROYO, A., PARDOS, J.A. 2005. Growth, nutrient, water relations, and gas exchange in a holm oak plantation in response to irrigation and fertilization. *New Forests* 30:75-94

REY BENAYAS, J.M. & CAMACHO-CRUZ, A. 2004. Performance of *Q. ilex* saplings planted in abandoned Mediterranean cropland after long-term interruption of their management. *For. Ecol. Manage.* 194: 223-233

RODÀ, F., RETANA, J., GRACIA, C., BELLOE, J (eds.) (1999) Ecology of Mediterranean evergreen oak forests. Ecological studies, Springer, Berlin

ROMANE, F., TERRADAS, J. 1992. *Quercus ilex* L. ecosystems: functions, dynamics and management. Advances in vegetation science 13. Kluwer Acad Publ., Dordrecht, Boston, London

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

SALIFU, K.F. & TIMMER, V.R. 2003a. Optimizing nitrogen loading in *Picea mariana* seedlings during nursery culture. *Can. J. For. Res.* 33: 1287-1294

SALIFU, K.F. & TIMMER, V.R. 2003b. Nitrogen retranslocation response of young *Picea mariana* to nitrogen-15 supply. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 309-317

SALIFU, K.F., APOSTOL, K.G., JACOBS D.F., & ISLAM, M.A. 2008. Growth, physiology, and nutrient retranslocation in nitrogen-15 fertilized *Quercus rubra* seedlings. *Annals of Forest Science* 65:101.

SANZ-PEREZ, V., CASTRO-DIEZ, P., & VALLADARES, F. 2007. Growth versus storage: responses of Mediterranean oak seedlings to changes in nutrient and water availabilities. *Ann. For. Sci.* 64: 201-210

TERRADAS, J. & SAVÈ, R. 1992. The influence of summer and winter stress and water relations on the distribution of *Quercus ilex* L. *Vegetatio* 99 -100: 137-145

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

VALDECANTOS, A., CORTINA, J., & VALLEJO, V.R. 2006. Nutrient status and field performance of tree seedlings planted in Mediterranean degraded areas. *Ann. For. Sci.* 63: 249-256

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

VILLAR-SALVADOR, P., PLANELLES, R., OLIET, J., PEÑUELAS-RUBIRA, J.L., JACOBS, D.F., & GONZALEZ, M., (2004b) Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (*Quercus ilex*) seedlings after drought hardening in the nursery. *Tree Physiol.* 24: 1147-1155

