

# FERTILIZACIÓN OTOÑAL DE ENCINA EN VIVERO: EFECTOS SOBRE LA MORFOLOGÍA, NUTRIENTES, POTENCIAL DE ENRAIZAMIENTO Y RESPUESTA POSTRASPLANTE

Juan A. Oliet Palá<sup>1\*</sup>, Eduardo Robredo García<sup>1</sup>, José M. Salazar Navarro<sup>1</sup> y Rafael Villar Montero<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Córdoba, Departamento de Ingeniería Forestal, ETSIAM, Avda. Menéndez Pidal s/n. 14071-CÓRDOBA (España). \*Correo electrónico: joliet@uco.es

<sup>2</sup> Universidad de Córdoba, Área de Ecología, Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal, Edificio Celestino Mutis. 14071-CÓRDOBA (España)

## Resumen

Se aplicaron tratamientos de fertilización tardía en encina consistentes en dos dosis de fertilizante NPK (20-20-20) (24 y 48 mg de N) durante dos épocas distintas (primera y segunda mitad de otoño), en un diseño factorial. A primeros de marzo de 2006 se plantaron en un terreno de la campiña cordobesa. La biomasa pre- trasplante no se vio afectada por la fertilización. Sin embargo, sí lo hizo el estado nutricional, aumentando significativamente la concentración de N y P en raíz y P en parte aérea, con una tendencia a incrementarse la concentración de P con la aplicación de fertilizante a primeros de otoño. El potencial de enraizamiento aumentó significativamente con la fertilización, y se encontró una correlación significativa y positiva entre el potencial de enraizamiento y la concentración de P en raíz. Una vez plantadas, las encinas no experimentaron diferencias significativas en altura o diámetro pre-estivales (junio), pero sí aumentó el área foliar y la biomasa aérea en los tratamientos fertilizados. Por tanto, existe un efecto positivo de la fertilización sobre el crecimiento posttrasplante de la encina, que puede explicarse por un adelanto fenológico y un inicio más temprano de la apertura de yemas, así como por el incremento del potencial de formación de raíces.

Palabras clave: *Fertilización tardía, Quercus ilex, Nutrición mineral, Fósforo, Repoblaciones*

## INTRODUCCIÓN

La removilización o translocación de nutrientes minerales desde tejidos de acumulación hacia órganos con necesidades nutricionales es una estrategia clave de los vegetales para compensar los desequilibrios oferta-demanda estacionales, ya que les permite, parcial y provisionalmente, ser independientes de la disponibilidad externa. En especies forestales, la translocación explica la mejor respuesta postras-

plante, particularmente en crecimiento, de las plantas con mayores reservas de nutrientes (SALIFU & TIMMER, 2003; CLOSE *et al.*, 2005). Esto sugiere la conveniencia de producir planta de vivero con elevadas reservas de nutrientes (sobrecargadas). En las especies mediterráneas más comúnmente empleadas en reforestaciones, existe poca información para cuantificar la importancia real de las reservas nutricionales y su removilización en el éxito posttrasplante. Los trabajos de SILLA Y ESCUDERO (2003) o de EL

OMARI *et al.* (2003) constatan el fenómeno de la removilización de N en encina (*Quercus ilex* L.), y muestran que promueve el crecimiento posterior. Sin embargo, los estudios realizados hasta ahora indican que, con los criterios convencionales de fertilización, no se modifica sensiblemente el estado nutricional de la encina (NAVARRO-CERRILLO *et al.*, 1998, VILLAR-SALVADOR *et al.*, 2004, FERNÁNDEZ *et al.*, 2005).

Una de las técnicas de fertilización empleadas para incrementar el nivel de reservas nutricionales es la aplicación de nutrientes durante la fase de vivero de endurecimiento otoñal, o fertilización tardía. En esta fase, que se produce en el último período de cultivo, lignifican y suberifican los tejidos, aumentan sus raíces, engrosan sus tallos, e incrementan su resistencia a factores de estrés (PEÑUELAS Y OCAÑA, 1996; COLOMBO, 1997; PARDOS *et al.*, 2003). En particular, algunos estudios muestran que durante esta fase se produce un crecimiento considerable de la raíz, lo que provoca un efecto de dilución y un descenso de la concentración de nutrientes en tejidos si no se aportan cantidades adicionales (BOIVIN *et al.*, 2002, 2004). Por tanto, la aplicación de fertilizante durante esta fase de endurecimiento otoñal pretende evitar la dilución de los nutrientes, conservando o aumentando el nivel de reservas adquirido por la planta y sin alterar significativamente su morfología (RIKALA *et al.*, 2004). Existen numerosos trabajos que muestran el efecto beneficioso de la fertilización tardía u otoñal en la formación de reservas (FOLK & GROSSNICKLE, 2000; BOIVIN *et al.*, 2002, 2004; SOUTH Y DONALD, 2002, PUÉRTOLAS *et al.*, 2003; RIKALA *et al.*, 2004), que en algunos mejora la respuesta postrasplante.

En este trabajo se estudia el efecto de la aplicación de dos dosis de fertilizante aplicadas a su vez en dos fases del otoño (inicial y final), con objeto de diseñar la fertilización tardía más adecuada para la encina producida en vivero. La calidad de la planta producida se evalúa mediante el estado nutricional, el potencial de enraizamiento y la respuesta postrasplante.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se cultivaron encinas (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) de la procedencia Alcarria-Serranía de

Cuenca sembradas en febrero de 2005 en envase Plasnor de 300 cm<sup>3</sup> rellenos con turba rubia fertilizada, que aportó 36 mg de N, 27 mg de P y 45 mg de K por planta. El 15 de octubre comenzaron a aplicarse los tratamientos de fertilización tardía consistentes en una combinación factorial de 2 dosis y 2 épocas de aplicación: 24 y 48 mg de N por planta en forma de fertilizante NPK de formulación 20-20-20 aplicadas del 15 octubre al 28 de noviembre y del 14 de noviembre al 26 de diciembre. A estos tratamientos se añade un testigo, sin aporte tardío. Durante la aplicación de los tratamientos, las encinas permanecieron bajo malla de sombreo. La temperatura media durante la aplicación de los tratamientos fue de 13°C, con una máxima de 34°C y una mínima de 0°C. El cultivo se muestreó en dos ocasiones (15 plantas por tratamiento): 28 de noviembre (muestreo intermedio) y 10 de enero (muestreo final). En ambos casos se caracterizó la biomasa y nutrientes de parte aérea y raíz. En febrero de 2006 se evaluó el potencial de enraizamiento en un test de 4 semanas de plantación en envases de 3 l rellenos con perlita. Las plantas se colocaron en invernadero, con una temperatura media durante el ensayo de 19°C. El potencial se evaluó mediante la biomasa seca de las nuevas raíces producidas por un total de 15 plantas por tratamiento. Por otra parte, a primeros de marzo de 2006 se realizó la plantación en un terreno agrícola de la campiña cordobesa, en el campus de Rabanales de la Universidad de Córdoba, empleando 60 plantas por tratamiento dispuestas al azar en un marco de 1,5 m. Se realizaron mediciones de altura, diámetro, área foliar y fenología, se muestrearon hojas jóvenes y viejas para analizar N, y se estimó la biomasa aérea, mediante el método de puntos, en varias ocasiones hasta septiembre de 2006. Los datos de cultivo en vivero se analizaron mediante ANOVA de una vía, y la separación de tratamientos en el caso de ANOVA significativo ( $P < 0,05$ ) se realizó mediante test de la mínima diferencia significativa empleando la corrección de Bonferroni para ajustar el nivel de significación al número de comparaciones.

## RESULTADOS

El análisis de los datos correspondientes al muestreo intermedio (28 de noviembre) refleja

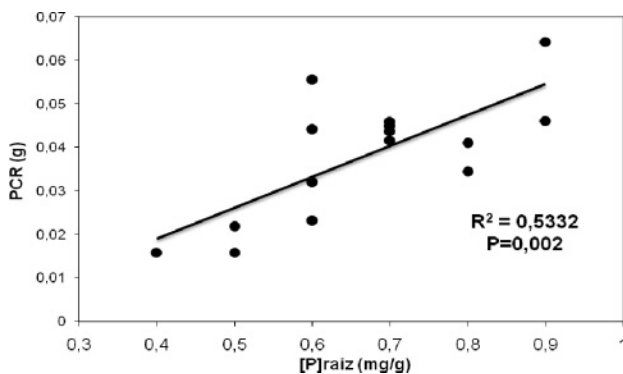
que la aplicación de fertilizante durante las 6 primeras semanas no afectó a la biomasa de la encina (datos no mostrados), así como tampoco a la concentración de N y K en parte aérea o radical (Tabla 1). Sin embargo, se observó un incremento en la concentración de P en parte aérea ( $P \leq 0,001$ ) de las fertilizadas al principio del otoño (Tabla 1). En el muestreo final se observó que ni la biomasa ni la altura se vieron afectados por la fertilización (datos no mostrados), siendo el crecimiento entre ambos muestreos relativamente pequeño: 0,12 g para la biomasa aérea (un 15% respecto al peso aéreo en muestreo intermedio), 0,32 g (24%) para la raíz, y tan solo 3,7 mm de altura. Sin embargo, con relación al estado nutricional al final del

cultivo, se aprecia un aumento significativo de la concentración de N y de P en raíz ( $P < 0,01$ ) y P en parte aérea ( $P < 0,01$ ). El patrón de respuesta fue diferente para N y P: el P parece responder a la dosis y al régimen, siendo las encinas fertilizadas al principio del otoño las que concentraron más P, mientras que para el N, la respuesta fue solamente a la dosis.

El potencial de enraizamiento se vio significativamente afectado por la fertilización ( $P < 0,05$ ), aunque sólo hubo diferencias entre el control no fertilizado y resto de los tratamientos fertilizados (datos no mostrados). Por otra parte, se halló una correlación significativa y positiva ( $r = 0,73$ ,  $P < 0,01$ , Figura 1) entre el potencial de enraizamiento y la concentración de P en raíces.

	Muestreo	No fert.	24 I	24 II	48 I	48 II	P
[N]	Intermedio	12,7±0,5	14,7±0,9	15,3±0,3	15,3±0,3	14,7±0,9	0,092
aéreo	Final	13,0±0,6	13,3±0,3	14,3±1,2	13,3±0,7	14,0±1,2	0,798
[N]	Intermedio	7,0±0,3	7,9±1,2	7,4±0,7	8,6±0,3	6,0±0,5	0,174
raíz	Final	6,4±0,7ab	7,4±0,5ab	5,6±0,2b	8,4±0,7a	9,1±0,4a	0,006
[P]	Intermedio	0,67±0,07b	1,17±0,07a	0,93±0,03ab	1,27±0,09a	0,93±0,07ab	0,001
aéreo	Final	0,70±0,06b	1,07±0,03a	1,00±0,00ab	1,13±0,12a	1,00±0,06ab	0,006
[P]	Intermedio	0,50±0,06	0,77±0,15	0,67±0,12	0,90±0,10	0,47±0,03	0,057
raíz	Final	0,50±0,06c	0,67±0,03bc	0,57±0,03bc	0,87±0,03a	0,73±0,03ab	0,001
[K]	Intermedio	3,1±0,2	3,6±0,2	3,8±0,2	3,6±0,2	3,5±0,3	0,183
aéreo	Final	2,7±0,1	3,2±0,2	3,3±0,3	3,3±0,0	3,2±0,0	0,431
[K]	Intermedio	7,4±0,8	7,1±0,8	6,8±0,8	7,4±0,7	6,7±0,4	0,963
raíz	Final	6,2±0,5	6,6±0,6	6,2±0,8	7,6±0,3	8,5±1,3	0,226

**Tabla 1.** Concentración de N, P y K (mg·g<sup>-1</sup>±EE) en parte aérea y raíz de encina cultivada mediante aplicación de 24 y 48 mg de N en fertilización a principios y a finales de otoño (Régimen I y II respectivamente). En una misma fila, valores seguidos de distinta letra difieren significativamente



**Figura 1.** Relación de asociación significativa entre la concentración de P en raíz y el potencial de formación de nuevas raíces, medido en peso seco

Después de tres meses desde el trasplante, no se encontraron diferencias significativas en altura y diámetro basal del tallo entre los tratamientos de fertilización. Sin embargo, si se encontraron diferencias en la superficie foliar y peso foliar entre tratamientos, presentando unos valores más bajos el tratamiento control (datos no mostrados). Además, las plantas fertilizadas presentaron mayor superficie de hoja nueva (un 30 % más que las no fertilizadas). La biomasa de tallo y ramas también mostró unos valores más altos en los tratamientos fertilizados con respecto al control. En cuanto a la concentración de N en hojas no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, aunque los tratamientos con mayor fertilización mostraron mayores concentraciones de N en hoja.

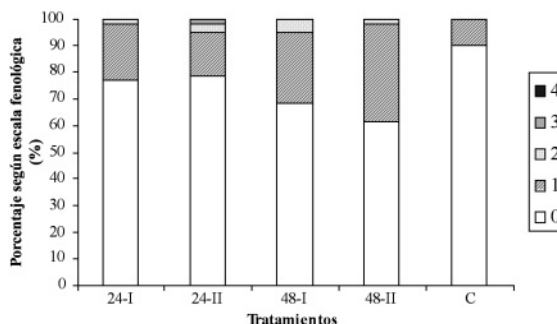
Con respecto a la fenología, en el mes de marzo, se observa que en el tratamiento de no fertilización hubo un mayor porcentaje de plantas con yemas sin desarrollar (estado 0, 90%) (Figura 2). El tratamiento 48-II destacó por presentar un porcentaje menor de plantas con yemas en estado 0, con un 61,7%, seguido del 48-I (68,3%). Además, en los tratamientos de fertilización se encontraron plantas en el estado 2, mientras que en el control, ninguna planta se encontraba en dicho estado.

## DISCUSIÓN

La absorción de P parece más activa a principios del otoño ya que, a pesar de que la con-

centración de este elemento desciende algo entre ambos muestreos, las plantas fertilizadas con P al principio del otoño siguen manteniendo concentraciones más elevadas que sus homólogas en dosis pero fertilizadas a finales de otoño. Esta tendencia no se aprecia para el caso del N cuya respuesta más evidente es a la dosis aportada, independientemente del momento de aplicación en el otoño. En cualquier caso, estos resultados reflejan actividad en los procesos de absorción, transporte y acumulación de nutrientes en la encina durante el otoño, al mismo tiempo que el crecimiento (principalmente el de la parte aérea) está ralentizado. Otros trabajos como SOUTH & DONALD (2002) o BOIVIN et al. (2004) muestran un efecto nulo de la fertilización otoñal en la morfología, pero significativo en el estado nutricional.

Por otra parte, el estado nutricional afecta a la producción de nuevas raíces, lo cual ha sido un efecto observado en trabajos previos con encina (VILLAR-SALVADOR et al., 2004; OLIET et al., 2006). Además, el primero de dichos trabajos muestra una relación significativa tanto entre P en raíces como entre potencial de enraizamiento y supervivencia postrasplante. Esta vez se ha observado además una relación significativa entre la concentración de P en raíces y el potencial de enraizamiento, lo que refuerza la hipótesis del papel del P radical en la supervivencia postrasplante vía promoción de la extensión radical en campo, tal y como algunos trabajos con otras especies (PLANELLES, 2004; OLIET et al., 2005) también sugieren.



**Figura 2.-** Porcentaje de cada estado fenológico (%) en el mes de marzo de plantas de *Quercus ilex* según el tratamiento de fertilizante aportado en vivero (% referido a plantas vivas). Estado 0: plantas con yemas; Estado 1: yemas hinchadas; Estado 2: brotes creciendo y diferenciándose; Estado 3: hojas formadas aunque no completamente expandidas; Estado 4: hojas completamente expandidas

La ausencia de diferencias en altura y diámetro de base de tallo entre los tratamientos fertilizados y el control contrasta con lo encontrado por otros autores, donde la fertilización determina un aumento de la altura, aunque en otros trabajos no se haya encontrado diferencias. Este hecho podría ser explicado por no ser suficiente la cantidad de nitrógeno aportado a las plantas como para generar tales diferencias de altura. Sin embargo, sí se produce un incremento del área foliar, la biomasa foliar y biomasa de tallo en los tratamientos fertilizados, que concuerda con los resultados de otros trabajos (VILLAR-SALVADOR et al., 2004; BOIVIN et al., 2004). Por tanto, parece que la estrategia de la planta no ha sido la de asignar el N aportado por la fertilización en un incremento de altura y diámetro del tallo, sino en incrementar la superficie y biomasa foliar y la biomasa de tallos y ramas.

En cuanto a la fenología, las plantas fertilizadas mostraron un claro adelanto en el inicio del desarrollo de las yemas en relación a las plantas no fertilizadas. Este adelanto podría explicarse porque en las plantas fertilizadas, sus necesidades nutritivas estaban garantizadas, o que disponían de nutrientes ya almacenados para poder comenzar antes a desarrollar sus yemas.

En resumen, cabe destacar que la fertilización tardía u otoñal, a falta de más ensayos que confirmen esta estrategia, favorece un aumento del área foliar en plantas de encina.

## CONCLUSIONES

La fertilización otoñal incrementa el potencial de formación de raíces, produce un adelanto en la fenología con un inicio más temprano de la apertura de yemas e incrementa la biomasa foliar y de tallo. Por tanto, la técnica de fertilización otoñal puede considerarse como una técnica que puede mejorar el éxito de las repoblaciones de encina. Serían necesarios más estudios con distintas dosis y a más largo plazo.

## Agradecimientos

Parte del estudio ha sido financiado con el proyecto del MEC "DINAMED" (CGL2005-

05830-C03-02) y con el programa propio de la Universidad de Córdoba. Agradecemos la ayuda prestada por Francisco Conde en la plantación de las encinas.

## BIBLIOGRAFÍA

- BOIVIN, J.R.; MILLER, B.D. & TIMMER, V.R.; 2002. Late-season fertilization of *Picea mariana* seedlings under greenhouse culture: biomass and nutrient dynamics. *Ann. For. Sci.* 59: 255-264.
- BOIVIN, J.R.; SALIFU, F. & TIMMER, V.R.; 2004. Late-season fertilization of *Picea mariana* seedlings: intensive loading and outplanting response on greenhouse bioassays. *Ann. For. Sci.* 61: 737-745.
- CLOSE, D.C.; BAILC, I.; HUNTERD, S. & BEADLEB, C.L.; 2005 Effects of exponential nutrient-loading on morphological and nitrogen characteristics and on after-planting performance of *Eucalyptus globulus* seedlings. *Forest Ecol. Manage.* 205: 397-403.
- COLOMBO, S.J.; 1997. Frost hardening spruce container stock for overwintering in Ontario. *New Forests* 13: 449-467.
- EL OMARI, B.; ARANDA, X.; VERDAGUER, D.; PASCUAL, G. & FLECK, I.; 2003. Resource remobilization in *Quercus ilex* L. sprouts. *Plant Soil* 252: 349-357.
- FERNÁNDEZ, M.; CARVAJAL, F.; ALEJANO, R.; DOMÍNGUEZ, L.; TAPIAS, R. Y ALESSO, S.P.; 2005. Evolución temporal del grado de endurecimiento de plantas de vivero de cuatro especies forestales españolas cultivadas en localidades con condiciones climáticas distintas. En: S.E.C.F.-Gobierno de Aragón (eds.), *Actas del IV Congreso Forestal Español*. CD-Rom. Gráficas Repes, S.C. Zaragoza.
- FOLK, R.S. & GROSSNICKLE, S.; 2000. Stock-type patterns of phosphorus uptake, retranslocation, net photosynthesis and morphological development in interior spruce seedlings. *New Forests* 19: 27-49.
- NAVARRO, R.M.; DEL CAMPO, A.; ALEJANO, R. Y ÁLVAREZ, L.; 1998. *Caracterización de calidad final de planta de encina, alcornoque, algarrobo y acebuche, en cinco viveros en*

- Andalucía. Informaciones Técnicas 53/98. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; ARTERO, F. & JACOBS, D.; 2005. Nursery fertilization and tree shelters affect long-term field response of *Acacia salicina* Lindl. planted in mediterranean semiarid conditions. *Forest Ecol. Manage.* 215: 339-351.
- OLIET, J.; TEJADA, M. Y COLLAZOS, A.; 2006. Efecto del régimen de aplicación y de la dosis N-P-K sobre el estado nutritivo y sobre el crecimiento postrasplante en condiciones controladas de encina (*Quercus ilex* L.). En: C. Lamsfus, P.M. Aparicio, C. Arrese-Igor y J.F. Morán (eds.), *Nutrición mineral. Aspectos fisiológicos, agronómicos y ambientales*: 367-373. Universidad Pública de Navarra. Gobierno de Navarra. Pamplona.
- PARDOS, M.; ROYO, A.; GIL, L. & PARDOS, J.A.; 2003. Effect of nursery location and outplanting date performance of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* seedlings. *Forestry* 76(1): 67-81.
- PEÑUELAS, J. Y OCAÑA, L. 1996. *Cultivo de plantas forestales en contenedor*. M.A.P.A.-Mundi Prensa. Madrid.
- PLANELLES, R.; 2004. *Efectos de la fertilización N-P-K en vivero sobre la calidad funcional de planta de Ceratonia siliqua* L. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- PUERTOLAS, J.; GIL, L. & PARDOS, J.A.; 2003. Effects of nutritional status and seedling size on field performance of *Pinus halepensis* planted on former arable land in the Mediterranean basin. *Forestry* 76(2): 159-168.
- RIKALA, R.; HEISKONEN, J. & LATHY, M.; 2004. Autumn fertilization in the nursery affects growth of *Picea abies* container seedlings after transplanting. *Scand. J. For. Res.* 19: 405-414.
- SALIFU, K.F. & TIMMER, V.R.; 2003 Nitrogen retranslocation response of young *Picea mariana* to nitrogen-15 supply. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 309-317.
- SILLA, F. & ESCUDERO, A.; 2003 Uptake, demand and internal cycling of nitrogen in saplings of Mediterranean *Quercus* species. *Oecologia* 136:28-36.
- SOUTH, D.B. & DONALD, D.G.M.; 2002. Effect of nursery conditioning treatments and fall fertilization on survival and early growth of *Pinus taeda* seedlings in Alabama, U.S.A. *Can. J. For. Res.* 32: 1171-1179.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; ENRIQUEZ, E. & PEÑUELAS, J.L.; 2004. Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *Forest Ecol. Manage.* 196: 257-266.