



5º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL

# 5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

---

REF.: 5CFE01-271

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

## Efectos combinados de la fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero sobre la respuesta post-trasplante de *Quercus ilex* L.

JUAN A. OLIET PALÁ<sup>1</sup>, JORGE TORRES SÁNCHEZ<sup>2</sup>, SIMÓN CUADROS TAVIRA<sup>2</sup>,  
BEGOÑA ABELLANAS OAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ETS Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid. juan.oliet@upm.es

<sup>2</sup> ETS Ingenieros Agrónomos y de Montes. Campus de Rabanales. Universidad de Córdoba. 14071 Córdoba

### Resumen

Con objeto de profundizar en las relaciones entre fertilización en vivero y resultados de plantación, en este trabajo se contrasta la aplicación factorial de 3 niveles de nitrógeno (50, 150 y 250 mg por planta) y 2 de fósforo (10 y 50 mg por planta) más un control no fertilizado, mediante una plantación experimental en la que se evalúa el crecimiento, la supervivencia y la conductancia estomática de plantas de encina durante el primer año. Las plantas respondieron significativamente en sus atributos de vivero a la fertilización, siendo las encinas más fertilizadas con N y P las de mayor parte aérea y concentración de nutrientes. En plantación, las medidas de conductancia realizadas durante el verano indican una respuesta positiva y significativa de la misma a la fertilización nitrogenada, pero no a la fosfórica. Los datos de supervivencia indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos, siendo muy baja la mortalidad en todos ellos. El crecimiento en altura post-trasplante sólo se vio afectado por la fertilización nitrogenada. En biomasa sólo se ha detectado un efecto significativo de la fertilización en general (comparada con el testigo no fertilizado) sobre el crecimiento de tallos nuevos y raíces, si bien el patrón del efecto del N es muy similar al correspondiente al de la altura.

### Palabras clave

Viveros, métodos de repoblación, calidad de planta, restauración de la diversidad y del paisaje, forestación

### 1. Introducción

Las repoblaciones que se realizan con encina (*Quercus ilex* L.), especialmente en lugares secos o adversos, suelen tener malos resultados, tanto en supervivencia como en crecimiento, especialmente si se comparan con otras especies comúnmente empleadas, como los pinos, las retamas u otras. Una de las vías para incrementar el éxito de las repoblaciones es mejorar la calidad de las plantas de encina por medio de un adecuado manejo de las variables de cultivo. En particular la fertilización es una de las prácticas culturales con mayor influencia en el desarrollo de las plantas en vivero. Los trabajos existentes en la actualidad sobre fertilización en vivero con encina muestran una clara respuesta a los rangos de fertilizante ensayados, tanto en supervivencia como en crecimiento post-trasplante (Villar-Salvador et al. 2004; Valdecantos et al. 2006; Oliet et al. 2009). Esto se explica evidentemente por la función que realizan los nutrientes en procesos ligados al arraigo y la resistencia a estrés. Sin embargo, en todos estos ensayos se ha pretendido analizar la respuesta a formulaciones concretas de macronutrientes (NPK), y se han enfocado principalmente a estudiar el papel del N en la calidad de la planta producida, pero sin aislar el efecto de cada uno de los

macronutrientes. Tampoco existe información sobre las interacciones entre macronutrientes y sus efectos sobre la calidad de la encina producida. Por ejemplo, la removilización de P podría desempeñar un papel importante en el establecimiento de encina en muchos suelos mediterráneos (Sardans et al. 2004), como se ha demostrado para el algarrobo (Planelles 2004). El uso optimizado de una fertilización con un adecuado equilibrio entre nitrógeno y fósforo podría incrementar la calidad de la encina producida, así como reducir la probabilidad de desequilibrios nutricionales (Mason et al. 2000). Sin embargo, fuera de las recomendaciones genéricas para la adecuada nutrición mineral de la planta de vivero, no existen indicaciones concretas y específicas que guíen sobre la formulación y dosis de fertilizante en encina ni en muchas otras especies.

## 2. Objetivos

En este trabajo se pretende mejorar el conocimiento del papel que tanto el N como el P, tienen en la respuesta post-trasplante de la encina, así como detectar posibles interacciones entre ambos elementos en dicha respuesta. Todo ello enfocado a una posible aplicación en la formulación de recomendaciones sobre dosis y proporciones de ambos elementos para la producción de mejores plantas de encina.

## 3. Materiales y métodos

Bellotas pregerminadas de la Sierra Norte de Sevilla (Región Extremadura ES 45-1) fueron sembradas en bandejas Plasnor 300 el 18 de enero de 2007 sobre un sustrato a base de turba rubia sin fertilizar corregida con dolomita cálcica y micronutrientes. El cultivo se desarrolló en un invernadero de la Universidad de Córdoba desde hasta el 10 de mayo, fecha en que se trasladó a un umbráculo donde permaneció hasta el fin del cultivo.

La fertilización se aplicó planta por planta mediante fertirriego semanal, durante un total de 26 semanas. Se utilizaron, en total para toda la duración del cultivo, tres dosis de nitrógeno (50, 150 y 250 mg N por planta) y dos de fósforo (10 y 50 mg P por planta), de la combinación de estas dosis se obtuvieron seis tratamientos fertilizantes, a los que se les añadió un séptimo tratamiento que no recibió aporte alguno de nitrógeno y fósforo. Todos los tratamientos recibieron un aporte de 100 mg de potasio por planta. Cada tratamiento se repitió en cuatro bandejas con 40 plantas por bandeja.

Tras finalizar el periodo de fertilización el día 16 de octubre de 2007, se procedió a levantar 5 plantas por bandeja a fin de realizar su caracterización morfológica y de nutrientes. Tras la limpieza del cepellón y el secado en estufa a 65 ° 48 h se analizaron las hojas en el Laboratorio Agroalimentario de Córdoba (Junta de Andalucía). Más detalles sobre la caracterización y el cultivo pueden encontrarse en Torres et al. 2008.

En diciembre de 2007 se realizó una plantación experimental en la finca del Campus de Rabanales de la Universidad de Córdoba. En dicha plantación se destinó una parcela para el seguimiento de fenología, supervivencia y crecimiento (parcela de crecimientos); y otra para la realización de mediciones de conductancia estomática y muestreo de biomasa (parcela de fisiología y biomasa). La plantación de esta segunda parcela permite un muestreo destructivo



de biomasa sin alterar las condiciones de espaciamiento de la parcela destinada a seguimiento de crecimientos a más largo plazo. Ambas parcelas se situaron en la misma zona, de forma contigua. La preparación del suelo consistió en un subsolado cruzado con bulldozer. El marco de plantación fue de tres metros. La primera parcela se plantó con 60 plantas por tratamiento ( $60 \times 7 = 420$  plantas en total); y la segunda con 12 plantas por tratamiento ( $12 \times 7 = 84$  plantas en total). El diseño de la plantación en ambos casos fue completamente al azar. Las plantas se protegieron con malla negra de 60 cm de altura fijada al suelo con dos tutores para evitar la predación. Las mallas se colocaron tras la plantación y se mantienen aún en la actualidad. Se realizaron dos mediciones de altura y diámetro, una nada más plantar (enero 2008) y otra en noviembre de 2008. En la parcela de fisiología y biomasa se realizaron mediciones de conductancia estomática a mediodía en dos épocas del año: 11-12 de junio (plena actividad vegetativa) y 2-3 de septiembre de 2008 (con máximos de estrés hídrico), en ambos casos empleando 10 plantas por tratamiento (70 plantas en total); se realizan dos mediciones de conductancia en cada planta, una en hoja vieja (tejido formado en vivero) y otra en una hoja nueva (brotes producidos tras la plantación). Las mediciones se realizaron en dos días soleados contiguos, midiéndose al azar la mitad de la muestra en cada día. Se midió la misma hoja en la medición de junio que en la de septiembre. Asimismo, en esta misma parcela de fisiología, se realizó un muestreo destructivo de las plantas consistente en la extracción de sistemas radicales de la mitad de las plantas y la recogida de la parte aérea de la totalidad de las plantas sobre las que se midió conductancia. Este muestreo se realizó en noviembre de 2008. Las muestras recogidas se limpiaron en laboratorio y se secaron en estufa para su posterior pesada.

Los datos fueron analizados por medio de un ANOVA de dos vías con un control aislado. Los dos factores fijos fueron las dosis de N y de P. Los valores de F y P del ANOVA para el control aislado se corresponden con el contraste que compara el control con la media de todos los tratamientos fertilizados. Algunos datos fueron previamente transformados logarítmicamente para cumplir los supuestos del ANOVA. Para los tres niveles del factor dosis de N, cuando el ANOVA arrojó valores significativos, se analizaron con el test de comparaciones múltiples de la mínima diferencia significativa de Fisher con la corrección de Bonferroni (Sit 1995).

#### 4. Resultados

Las características principales de las plantas producidas bajo los tratamientos de fertilización aplicados se muestran en la Tabla 1. La fertilización de las encinas con N y P produjo plantas más altas, con mayor biomasa aérea, superficie foliar y concentraciones foliares de N y P. Por otra parte, la fertilización nitrogenada produjo un efecto creciente y significativo sobre la altura, la biomasa aérea, la superficie y la concentración de N foliares, aunque este efecto es especialmente patente al incrementar la fertilización desde 50 a 150 mg de N. Por su parte, el P estimuló significativamente la altura, la superficie foliar y las concentraciones de P y K en hojas. Debe destacarse que la fertilización no afectó en ningún caso a la biomasa radical.

En relación con los resultados post-trasplante, la supervivencia al año de plantación (evaluada en noviembre) fue muy alta en todos los tratamientos, oscilando entre un 83 % y un 98 % por tratamientos, no siendo las diferencias significativas.

Tabla 1. Atributos morfológicos y concentración de N, P y K de encinas de nueve meses cultivadas bajo tres dosis de N y dos de P en diseño factorial o bajo ausencia de fertilización NP (Testigo).

	Testigo(#)	Dosis de N (mg/planta) (§)			Dosis de P (mg/planta)	
		0N-0P	50	150	250	10
Altura (cm)	13,0 *	18,0 b	25,8 a	27,3 a	21,6 b	25,8 a
Diám. Cuello R. (mm)	4,2 ns	4,2	4,2	4,3	4,2	4,2
P. s. hojas (g)	1,0 *	1,2 b	1,6 a	1,8 a	1,4	1,6
P. s. tallo (g)	0,4 *	0,6 b	0,8 a	0,9 a	0,7	0,8
P. s. raíces (g)	2,5 ns	2,6	2,3	2,1	2,4	2,2
P.s. aéreo:P.s. radic.	0,6 *	0,7 b	1,1 a	1,3 a	0,9 b	1,2 a
Superficie foliar (cm <sup>2</sup> )	72,0 *	88,4 b	125,3 a	138,1 a	106,2 b	128,2 a
[N] foliar (mg g <sup>-1</sup> )	8,7 *	9,6 b	11,6 a	11,6 a	10,8	11,1
[P] foliar (mg g <sup>-1</sup> )	0,5 *	0,7	0,7	0,6	0,5 b	1,3 a
[K] foliar (mg g <sup>-1</sup> )	3,9 ns	4,2	3,9	4,0	3,8 b	4,3 a

(#) El asterisco en el Testigo indica significación del contraste que lo compara con la media de los tratamientos fertilizados con N y P.

(§) Para los tres niveles de N, valores de una variable seguidos de distinta letra indican diferencias significativas de acuerdo con el test de comparaciones múltiples.

El crecimiento post-trasplante en altura muestra un modelo con una respuesta clara a la fertilización en general ( $P < 0,001$ ), y en particular a la fertilización nitrogenada ( $P < 0,001$ ), con valores mayores al aumentar la dosis de N aplicada en vivero. Por otra parte, las diferencias en altura en razón del P aplicado sólo resultaron marginalmente significativas ( $P < 0,1$ ) (Figura 1).

Como sucedía con la altura, la biomasa post-trasplante para todas las fracciones (brotes nuevos, parte aérea vieja y raíz) se afectó significativamente con la fertilización, como lo pone de manifiesto el contraste con el Testigo (Figura 2). Sin embargo, no se ha detectado ningún efecto significativo de la fertilización nitrogenada o fosfórica sobre el crecimiento aéreo post-trasplante ("Peso aéreo nuevo" en Figura 2) ni sobre la biomasa radical al año de plantación. Sobre esta última fracción debe decirse, no obstante, que si se compara el peso radical de la planta en vivero antes de plantar (Tabla 1) con el correspondiente al año de plantación (Figura 2) observamos que, mientras las encinas no fertilizadas sólo crecieron 0,33 g, las plantas fertilizadas con 50 mg de P, 150 mg de N ó 250 mg de N crecieron en sus raíces 3,31, 3,40 y 3,30 g, respectivamente.

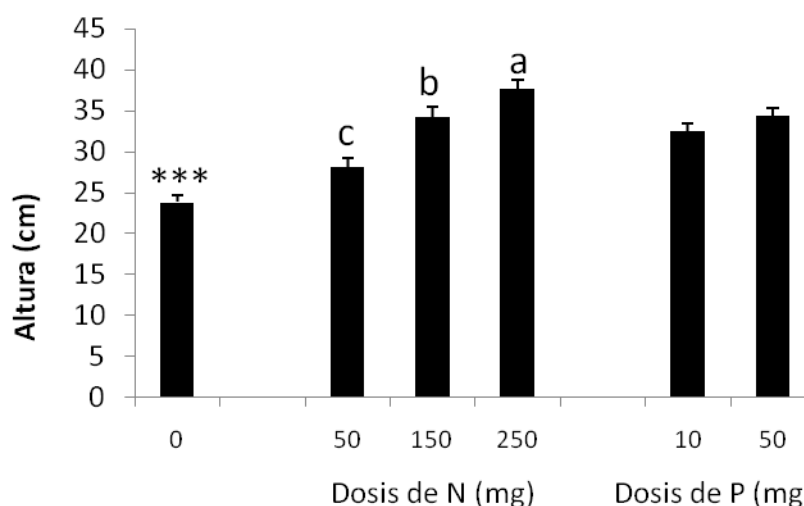


Figura 1. Altura de plantas de encina (media  $\pm$  EE) con un año en plantación cultivadas en vivero bajo tres dosis de N y dos de P en diseño factorial o bajo ausencia de fertilización NP (Testigo = 0). Asteriscos en el Testigo indican significación del contraste que lo compara con la media de los tratamientos fertilizados con N y P. Para los tres niveles de N, las barras con letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo con el test de comparaciones múltiples.

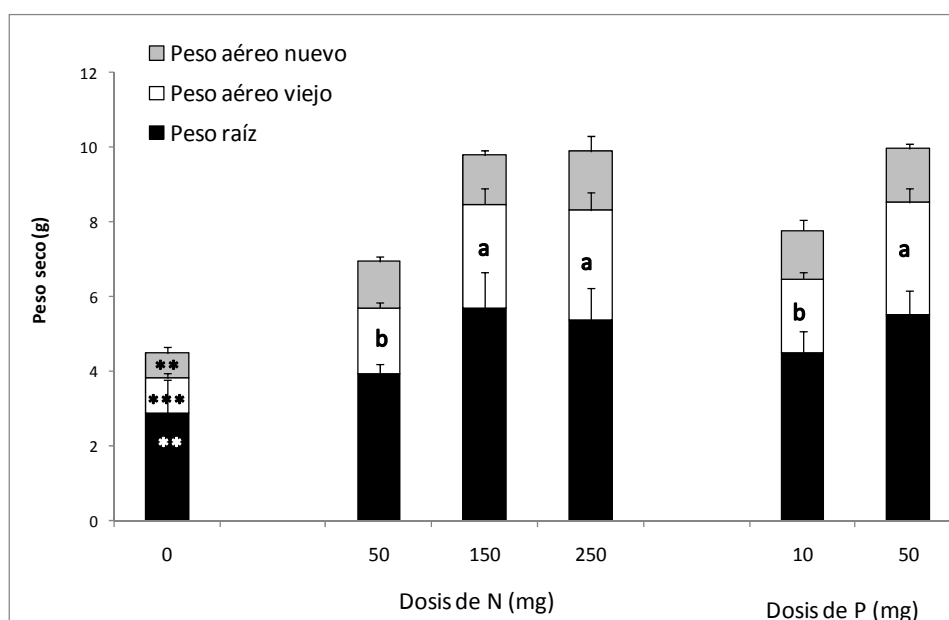


Figura 2. Peso aéreo nuevo, viejo y peso radical (media  $\pm$  EE) de encinas con un año en plantación cultivadas en vivero bajo tres dosis de N y dos de P en diseño factorial o bajo ausencia de fertilización NP (Testigo = 0). Para cada fracción, asteriscos en el Testigo indican significación del contraste que lo compara con la media de los tratamientos fertilizados con N y P. Para los tres niveles de N y los dos de P, las barras con letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo con el test de comparaciones múltiples o con el ANOVA, respectivamente.

La conductancia estomática en septiembre presentó valores bastante elevados en todos los tratamientos para la hoja nueva formada en plantación (Figura 3), indicando unas buenas condiciones vegetativas de la plantación en general (media global  $143,2 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). La conductancia de la hoja vieja fue muy similar para todos los tratamientos, con un valor medio de  $49,5 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . El patrón en hoja nueva fue sin embargo muy diferente. Se aprecia una respuesta significativa de la fertilización (conductancia media de las encinas no fertilizadas y fertilizadas de  $98,5$  y  $150,8 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectivamente,  $P < 0,05$ ), así como del aporte creciente de N en vivero que hizo que las plantas fertilizadas con  $50 \text{ mg}$  de N desarrollaran conductancias de  $115,9$ , mientras que las fertilizadas con  $250 \text{ mg}$  de N de  $187,7 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $P < 0,05$ ). El patrón para la conductancia en junio fue muy similar, aunque no

se detectaron diferencias significativas ni en el contraste encinas Testigo (no NP fertilizadas) versus encinas fertilizadas ni entre dosis de N y P; asimismo, la conductancia media en junio fue inferior, tanto en hoja vieja como, sobre todo, en hoja nueva (datos no mostrados).

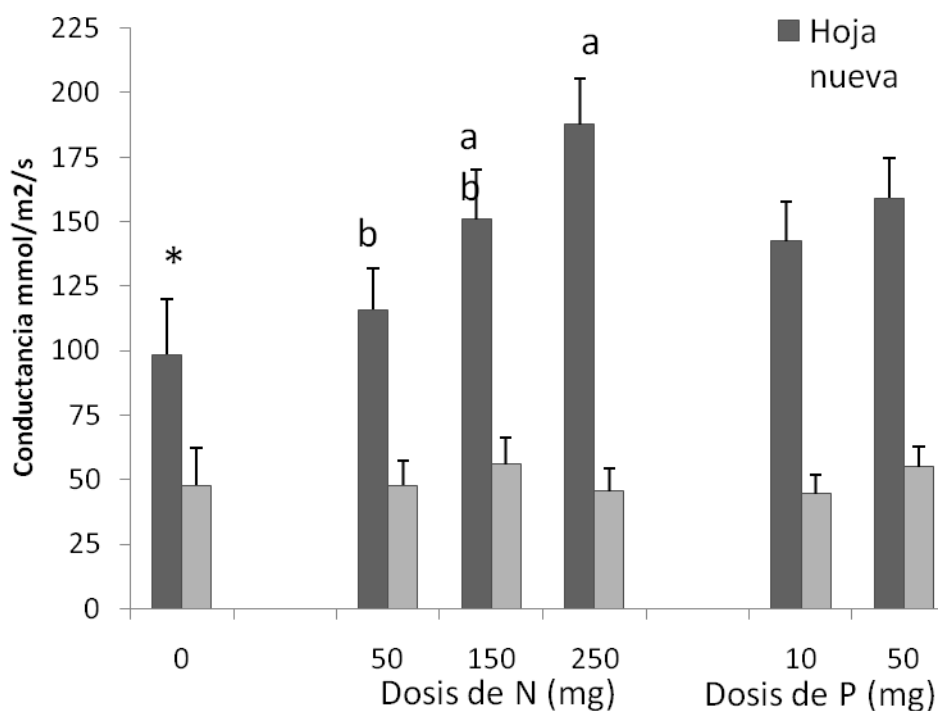


Figura 3. Conductancia estomática a mediodía (media  $\pm$  EE) de encinas en plantación a fin de verano cultivadas en vivero bajo tres dosis de N y dos de P en diseño factorial o bajo ausencia de fertilización NP (Testigo = 0). Para cada tipo de hoja, asteriscos en el Testigo indican significación del contraste que lo compara con la media de los tratamientos fertilizados con N y P. Para los tres niveles de N, y dentro de cada tipo de hoja, las barras con letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo con el test de comparaciones múltiples.

Para finalizar, no se han detectado interacciones N x P en ninguna de las variables analizadas en este trabajo, lo que explica la presentación de los resultados a partir de los efectos principales.

## 5. Discusión

Las favorables condiciones meteorológicas durante el periodo de estudio analizado (diciembre 2007 a noviembre 2008, datos no mostrados), así como las adecuadas actuaciones para la ejecución de la plantación (preparación del suelo profunda y fecha de plantación anticipada) pueden justificar los elevados valores de supervivencia de las encinas en todos los tratamientos, impidiendo una discriminación en su comportamiento en razón de las diferencias morfo-fisiológicas asociadas a la fertilización. Donde sí se produjo esa diferenciación fue en el crecimiento en altura de las encinas plantadas: la fertilización en vivero de encina estimuló el crecimiento en altura absoluto tras un año de plantación, y este efecto parece más acusado para el N que para el P. El estímulo de una pronta reacción de la planta en altura permite ciertas ventajas competitivas frente a la vegetación espontánea o frente a fenómenos de ramoneo, lo cual es especialmente importante en taxones como la encina, con un crecimiento inicial muy lento y generalmente con una dominancia apical muy poco marcada. Sin embargo, nuestros resultados no son concluyentes en el sentido de indicar una mayor respuesta en biomasa aérea nueva producida en correspondencia con una mayor altura dentro de los tratamientos fertilizados con N. Es posible que detrás de eso sólo se encuentre un error de Tipo II debido a una alta variabilidad en el crecimiento de la encina que

no ha podido ser discriminada por un tamaño de muestra insuficiente ( $n > 50$  para la altura,  $n = 10$  para biomasa). En el caso del crecimiento radical post-trasplante sucede algo parecido: no existen diferencias significativas entre dosis de N, aunque aparece un patrón que, si se compara con la biomasa radical de la planta de vivero, parece indicar que las encinas más fertilizadas con N han desarrollado más raíces. En cualquier caso, la estadística sí pone de manifiesto un efecto significativo de la fertilización en general sobre el desarrollo radical, lo que sin duda supone también una ventaja para estas encinas, que son capaces de superar el estío con un mayor suministro de agua al explorar más volumen de suelo. Un efecto similar del nivel de reservas nutricionales sobre el crecimiento radical post-trasplante se ha observado recientemente en esta especie en condiciones de plantación controladas (Oliet et al., 2009). Otros trabajos han mostrado también un efecto de la fertilización sobre el potencial de crecimiento radical, con relaciones significativas entre este y la supervivencia post-trasplante (Villar-Salvador et al., 2004; Oliet et al., 2008).

Por su parte, la respuesta creciente de la conductancia a la fertilización con nitrógeno puede deberse más a un mayor desarrollo radical que eluda la sequía de fines de verano (Figura 2) que a las diferencias de concentración de nitrógeno en hoja, ya que la asimilación en encina no parece responder a dicha variable (Villar-Salvador et al., 2004; Castro-Díez et al., 2006). Otros trabajos muestran valores altos de conductancia en encina en condiciones de estrés hídrico estival (Pardos et al., 2005). En cualquier caso, una mayor conductancia implica también una mayor asimilación y, por tanto, debe traducirse en un mayor crecimiento, detectado sólo parcialmente a través de las determinaciones destructivas de biomasa (Figura 2).

## 6. Conclusiones

La fertilización con N induce una respuesta post-trasplante algo más evidente que la fertilización fosfórica. Por otra parte, los resultados por tratamientos permiten concluir un efecto significativo de la fertilización en general, que se concreta particularmente en el efecto patente de la dosis de N aplicada sobre la conductancia, probablemente vía un mejor estado hídrico por un mayor desarrollo radical.

La aplicación de dosis de 250 mg de N produce mayores crecimientos de la encina al año de plantación, no detectándose problemas derivados de un desequilibrio morfológico que pudiera desembocar en mayores tasas de mortalidad post-trasplante, al menos bajo las condiciones del presente estudio. Por otra parte, no se han detectado efectos de interacción entre ambos nutrientes sobre la respuesta post-trasplante, por lo que, dentro del rango manejado en el experimento, puede gobernarse las respuestas a ambos nutrientes por las correspondientes dosis de aplicación de los mismos en vivero.

Como recomendación final, la aplicación de 250 mg de N y de 50 mg de P en vivero maximizan la respuesta en crecimiento post-trasplante.

## 7. Agradecimientos

El experimento ha sido financiado con los fondos del proyecto AGL2006-12609-C02-01 “Bases fisiológicas de la nutrición mineral de encina (patrón de absorción de nutrientes en vivero y de removilización postrasplante) y aplicaciones a la fertilización en vivero”



(ENCINUT) del Ministerio de Ciencia e Innovación y con el Programa Propio de la Universidad de Córdoba.

## 8. Bibliografía

CASTRO-DÍEZ, P.; NAVARRO, J.; PINTADO, A.; SANCHO, L.G.; MAESTRO, M.; 2006. Interactive effects of shade and irrigation on the performance of seedlings of three Mediterranean *Quercus* species. *Tree Physiology* 26: 389–400.

MASON, P.A.; INGLEBY, K.; MUNRO, R.C.; WILSON, J.; IBRAHIM, K.; 2000. Interactions of nitrogen and phosphorous on mycorrhizal development and shoot growth of *Eucalyptus globulus* (Labill.) seedlings inoculated with two different ectomycorrhizal fungi. *Forest Ecology and Management* 128: 259-268.

OLIET, J.; ROBREDO, E.; SALAZAR, J.M.; VILLAR, R.; 2008. Fertilización otoñal de encina en vivero: efecto sobre la morfología, nutrientes, potencial de enraizamiento y respuesta post-transplante. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 28: 171-176.

OLIET, J., TEJADA, M.; SALIFU, F.; COLLAZOS, A.; JACOBS, D.F.; 2009. Performance and nutrient dynamics of holm oak (*Quercus ilex* L.) seedlings in relation to nursery nutrient loading and post-transplant fertility. *European Journal of Forest Research* 128: 253-263

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(1): 75-94

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. 150 pp.

SARDANS, J.; RODÀ, F.; PEÑUELAS, J.; 2004. Phosphorus limitation and competitive capacities of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* on different soils. *Plant Ecology* 174: 305–317.

SIT, V. 1995. Analyzing ANOVA Designs. Biom. Info. Hand. 5. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Work. Pap. 07/1995, 61 pp.

TORRES SÁNCHEZ, J.; OLIET PALÁ, J.; ABELLANAS OAR, B.; CUADROS TAVIRA, S.; 2008. Efectos aditivos de la fertilización con nitrógeno y fósforo sobre los atributos de encina (*Quercus ilex* L.) de vivero. En: Actas XII Simposio Ibérico sobre Nutrición mineral de las plantas. Granada 2008. En prensa.

VALDECANTOS, A.; CORTINA, J.; VALLEJO, J.R.; 2006. Nutrient status and field performance of tree seedlings planted in Mediterranean degraded areas. *Ann. For. Sci.* 63: 1–8.

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 Ecology and Management* 196(2-3): 257-266.