

# EFECTO DE LOS TUBOS PROTECTORES SOBRE LA RESPUESTA DE LA ENCINA DURANTE EL PRIMER ESTABLECIMIENTO BAJO DOS REGÍMENES DE HUMEDAD. II CRECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA

Juan A. Oliet Palá<sup>1</sup>; Douglass F. Jacobs<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> E.T.S.Ingenieros Agrónomos y de Montes de la Universidad de Córdoba. Avda. Menéndez Pidal s/n. 14004 CÓRDOBA. Correo-e: joliet@uco.es

<sup>2</sup> Hardwood Tree Improvement and Regeneration Center. Dept. of Forestry and Natural Resources. Purdue University. West Lafayette, IN 47907-2061. Correo-e: djacobs@purdue.edu

## Resumen

Se evalúa el comportamiento de plantas de encina de una savia en tubos invernadero durante su primer establecimiento. Se han ensayado tubos de dos transmisividades (70 % claro y 55 % oscuro), con dos regímenes de humedad combinados: xérico y méxico (contenido de humedad volumétrico del sustrato del 10 % y 20 %) en invernadero. Se destaca que, si bien la presencia o no, así como el color del tubo no afectaron a la biomasa total producida por la encina, sí apareció una interacción entre los dos factores ensayados sobre algunas variables de crecimiento a los tres meses y medio desde el trasplante. Así, las plantas protegidas por tubo oscuro y en régimen méxico desarrollaron una mayor altura y área foliar, y presentaron una relación Parte aérea:Parte radical significativa o casi significativamente mayor que las plantas en régimen xérico, independientemente de la protección que estas poseían. Todo ello aconseja la utilización de tubos claros, especialmente si son de prever primaveras lluviosas. Con esto se conseguirán encinas mejor preparadas, al menos morfológicamente, para soportar la sequía estival.

Palabras clave: tubos invernadero, biomasa, área foliar, repoblaciones, *Quercus ilex*

## INTRODUCCIÓN

Entre los efectos que se atribuyen a las condiciones microclimáticas creadas en el interior de los tubos protectores para repoblación se encuentra el crecimiento, así como la alteración de los patrones de reparto de carbono entre las distintas fracciones de la planta. Todos los estudios, desde los primeros realizados al principio de la década de los ochenta, coinciden en el hecho de que los tubos estimulan el crecimiento en altura del tallo, en todas las especies y ámbitos ecológicos (POTTER, 1991; OLIET y ARTERO, 1993; WEST *et al.*, 1999; PONDER, 2003; JOHANSSON, 2004). Sin embargo, los efectos sobre la biomasa no son tan concluyentes. Así, BERGEZ & DUPRAZ (2000) muestran un efecto claramente inhibitorio del tubo sobre la biomasa total de *Prunus avium*, con un reparto de dicha biomasa entre parte aérea y raíz más desequilibrado para las plantas protegidas; resultados similares se han encontrado en algunas especies forestales mediterráneas (OLJET *et al.*, 2003). Sin embargo, en otros casos, como algunas especies de roble californiano, no se han detectado efectos del tubo protector sobre la biomasa total ni sobre el reparto de esta entre parte aérea y radical (MCCREARY *et al.*, 2002). Tampoco se detectaron efectos del tubo protector sobre la biomasa total en especies mediterráneas como *Quercus suber* o *Ceratonia siliqua* (MARQUES *et al.*, 2001). Y en otros incluso un estímulo de la biomasa aérea (WEST *et al.*, 1999; BELLOT *et al.*, 2002) y total de las plantas protegidas (BELLOT *et al.*, 2002). Entre las razones que explican la disparidad de efectos del tubo sobre la biomasa se encuentra la dificultad en la extracción del sistema radical en los ensayos de campo, que puede afectar a la fiabilidad de los resultados. Es frecuente observar tendencias claras en, por ejemplo, el reparto de la biomasa entre parte aérea y raíz que no se han traducido en diferencias significativas (MARQUES *et al.*, 2001). La instalación del ensayo en condiciones controladas y sobre macetas puede mejorar el diagnóstico (SHARPE *et al.*, 1999). Por otra parte, la conformación de una planta equilibrada entre sus fracciones aérea y radical puede tener una importancia vital, dotando a la planta de una mayor resistencia para soportar futuras sequías (BURDETT, 1990). Esta importancia se refuerza en ambientes mediterráneos, y en particular en las plantas repobladas durante la misma campaña, con un sistema radical sin tiempo aún de profundizar antes del estío.

En este trabajo se presentan los resultados de un ensayo en invernadero que ha medido la respuesta postrasplante temprana (con toda la parte aérea aún en el interior del tubo protector) de la encina (*Quercus ilex* L.) en términos de crecimiento al empleo de tubos protectores de dos transmisividades diferentes y bajo dos regímenes de disponibilidad hídrica en el sustrato. El objetivo final principal del trabajo fue determinar si el tubo promueve (y en qué condiciones) el desequilibrio morfológico de la encina antes del primer verano, lo cual permitiría avanzar hacia un manejo de los tubos más adecuado a las condiciones de especie y lugar de plantación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en invernadero. Plantas de encina de la procedencia Leonesa, Zona 1b Sayazo-Salamanca se produjeron en bandejas de poliestireno con alvéolos de 220 ml. Los principales atributos de estas plantas se recogen en la Tabla 1. La plantación tuvo lugar en octubre de 2003 en macetas de 12 l de capacidad en un sustrato formado por tres partes de un componente comercial (50 % de corteza de pino, 25 % fibra de coco, 15 % de turba rubia y 10 % de perlita) y una parte de arena de río. Después de plantar se saturaron las macetas aportando 370 mg de N por planta con un fertilizante soluble 15-5-15. La temperatura se programó en valores de 25°C día y 20°C noche, y se suplementó la luz natural con lámparas que suministraban 150  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  de radiación fotosintéticamente activa (PAR) a la altura de la planta de 06:00 a 22:00 h. El diseño del experimento fue factorial con tres niveles de tubo protector: oscuro (marrón), claro (blanco) y sin tubo; y dos niveles de régimen hídrico: méxico y xérico. Los tratamientos se dispusieron en un diseño en cuatro bloques completos. Dentro de cada bloque, todas las plantas de cada combinación de tubo por régimen se dispusieron en una fila. Los tubos de 64 cm de alto por 11 de diámetro, tenían una transmisividad del 55 % (tubo oscuro) y del 70 % (tubo claro). El régimen de humedad méxico se estableció dejando secar las macetas hasta un nivel de humeado volumétrica del sustrato (HVS) del 15-20 %, medida mediante sensores TDR (reflectometría de dominio temporal). Cuando se llegaba a ese nivel se regaba con una cantidad de 0,5 a 1,0 l para evitar lixiviados. El seguimiento de la humedad del sustrato se realizó mediante medidas periódicas de la HVS con TDR en una maceta por bloque y tratamiento (total 24 macetas) a tres profundidades: 0-12, 12-20 y 30 cm. Para el régimen xérico sólo se regó (sin contar con la saturación postrasplante) una cantidad adicional de 0,5 l durante todo el experimento.

Las mediciones de altura y diámetro basal del tallo se realizaron mensualmente durante los tres meses y medio de duración aproximada del ensayo y desde la primera medición, que se produjo nada más plantar. Las mediciones primera y segunda se realizaron sobre una muestra de 8 plantas por bloque y combinación de tubo con régimen (192 plantas en total), y la tercera y cuarta sobre una muestra de 6 plantas por bloque y combinación (144 plantas en total). El muestreo para la caracterización de biomasa y nutrientes tuvo lugar entre los días 98 y 111, sobre la misma planta que se empleó para la medición de fotosíntesis y potencial hídrico (OLJET y

JACOBS, 2005). Tres plantas por bloque y combinación de tubo con régimen (en total 72 plantas) fueron seleccionadas aleatoriamente. A continuación se limpió cuidadosamente el sustrato de la maceta para extraer el sistema radical, se lavó la planta completa con agua destilada y se separó la parte aérea de la raíz. Asimismo, tras separar las hojas del tallo se determinó el área foliar con un medidor LI-3000 Portable Area Meter (Compañía LI-COR). Posteriormente se secó todo el material en estufa a 60 °C durante 72 horas y se pesó para la determinación de la biomasa de las distintas fracciones. Para el análisis de la concentración de N-P-K y almidón en hojas se agruparon todas las del mismo bloque y combinación de tubo con régimen (en total 24 muestras de tejido foliar). El análisis de N se realizó empleando un analizador Leco, mientras que para el análisis de P y K se empleó espectrofotometría de emisión atómica. El almidón se determinó mediante el método de la antrona (SPIRO, 1966).

Los datos se analizaron estadísticamente mediante test de ANOVA basado en el modelo lineal de efectos fijos correspondiente a un diseño en bloques al azar generalizado, en el que los sumandos son los efectos de los dos factores ensayados (tipo de tubo protector y régimen de humedad), de su interacción, el efecto del bloque y el error residual. Los efectos se consideraron significativos cuando  $P$  del ANOVA era menor de 0,05.

## RESULTADOS

La altura de la encina responde significativamente a la presencia del tubo protector desde el primer mes postrasplante (Figura 1), siendo las plantas en tubo oscuro las responsables de esta significación, dado que casi no se aprecian diferencias en altura entre las plantas no protegidas y las protegidas con tubo claro. Las diferencias en altura entre las plantas en tubo oscuro y el resto se acentúan durante el segundo mes postrasplante. Tan sólo al final del ensayo (tres meses y medio después) las plantas en tubo claro se separan en su altura de las plantas no protegidas, situándose en una posición intermedia entre estas (18,3 cm) y las protegidas en tubo oscuro (24,2 cm), y apareciendo una interacción del efecto del tubo protector con el régimen de humedad. De acuerdo con esta interacción ( $P = 0,030$ ), mientras que la altura de las plantas en régimen xérico no responden a la protección, cuando disponen de mayor humedad (régimen méxico) estas crecen más en altura si están protegidas, particularmente en tubos oscuros; las diferencias máximas en altura se producen entre la correspondiente a las encinas protegidas por tubo oscuro y bajo régimen méxico (29,4 cm) y las no protegidas en régimen xérico (17,1 cm, Figura 2A). Por diámetros, la respuesta al tubo es un tanto diferente ya que, si bien existe igualmente un efecto significativo del mismo en el primer mes postrasplante, las plantas protegidas no se diferencian en el diámetro de la base del tallo por el color del tubo, siendo las plantas no protegidas significativamente más gruesas que las demás (Figura 1). Esta tendencia se mantiene durante todo el ensayo, aunque las diferencias dejan de ser significativas a partir del primer mes. Por otra parte, el régimen de humedad también afecta a la altura de la planta, si bien las diferencias no son significativas hasta la última medición, con una diferencia de 5,6 cm entre las plantas en régimen méxico y xérico y coincidiendo, por otra parte, con la interacción aludida con el factor tubo protector (Figura 1). También parece existir una cierta respuesta del diámetro basal, siendo las plantas en régimen xérico ligeramente más gruesas, aunque las diferencias no son significativas en la última medición (Figura 1).

La biomasa total de las encinas a los tres meses y medio del trasplante no se vio afectada por la protección, ni tampoco por el régimen de humedad, aunque en este caso se aprecia una tendencia de las plantas en régimen méxico a desarrollar más biomasa total ( $P = 0,065$ , Tabla 2). Por fracciones, si bien no se existen diferencias estadísticamente significativas por efecto del tubo protector, se aprecian algunas tendencias de interés: así, el peso seco de hojas tiende a ser mayor en las plantas protegidas y el de raíz inferior, especialmente en las protegidas con tubo oscuro, con un valor  $0,2 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  superior a las plantas no protegidas (Tabla 2). Por otra parte, el régimen de humedad impone una respuesta significativa sobre el peso de la parte aérea, siendo 0,8 g mayor el de las plantas en régimen méxico, mientras que el de raíz no varía significativamente. Como resultado de ello, las plantas en régimen méxico presentan una relación Parte aérea:raíz (PA:PR) en peso claramente superior ( $P = 0,005$ , Tabla 2). Asimismo, ambos factores (tubo protector y régimen hídrico) presentan una tendencia a la interacción en la relación PA:PR: así, mientras dicha relación en plantas no protegidas casi no varía entre los regímenes méxico y xérico, esta es superior en el régimen méxico para las plantas protegidas en ambos tipos de tubo (Figura 2B,  $P = 0,095$ ). Asimismo, al comparar, dentro de las plantas protegidas, la relación PA:PR se puede apreciar que esta es siempre superior en las plantas de tubo oscuro para ambos regímenes de humedad (Figura 2B). La relación PA:PR ha subido de 1,1 antes de plantar (Tabla 1) a valores algo superiores a 1,2 en las plantas protegidas con tubo oscuro en régimen méxico y ha bajado a valores algo inferiores a 0,8 para plantas en régimen xérico (Figura 2B).

Con respecto al área foliar de las encinas se ha detectado una interacción ( $P = 0,032$ , Figura 2C) entre ambos factores (tubo y régimen): así, mientras que el área foliar de las plantas en régimen xérico no responde a la protección, en régimen méxico las encinas desarrollan una mayor área foliar si están protegidas, especialmente por tubo oscuro. Como resultado, el área de las plantas en tubo oscuro y régimen méxico alcanza valores de  $188 \text{ cm}^2$ , lo que supone  $33 \text{ cm}^2$  más que las del mismo régimen en tubo claro y casi  $80 \text{ cm}^2$  más que las plantas en régimen xérico (Figura 2C).

La concentración de N y de almidón en hojas no se vio afectada por el tubo protector, aunque el régimen hídrico sí afectó significativamente a estos parámetros (Tabla 2): las plantas en régimen xérico concentraron 1,3 mg de N más y 5,5 mg de almidón menos por g de hoja seca que las crecidas en régimen méxico. Por otra parte, tanto los carbohidratos solubles como el P y el K en hoja no se vieron afectados por ninguno de los dos factores ensayados (datos no mostrados).

## DISCUSIÓN

La respuesta positiva de la altura a la protección con tubo invernadero es un efecto recurrentemente observado en multitud de ensayos, también con la encina (NAVARRO *et al.*, 1998; OLIET *et al.*, 2003; SEVA *et al.*, 2004). Por otra parte, la biomasa total no responde significativamente a la presencia del tubo (Tabla 2), lo cual se explica por los similares valores de fotosíntesis encontrados al final del ensayo en plantas protegidas y no protegidas (OLIET y JACOBS, 2005). Sin embargo el reparto de esa biomasa está casi significativamente afectado por la interacción tubo  $\times$  régimen ( $P = 0,095$ , Tabla 2): las encinas protegidas en régimen méxico presentaron valores más altos de la relación PA:PR que el resto (Figura 2B), mostrando así una tendencia a trasladar su biomasa hacia la parte aérea. Asimismo, dicha biomasa parece situarse preferentemente en las hojas, dado que el peso de los tallos es idéntico para las plantas protegidas y no protegidas (Tabla 2). Asimismo, contemplando la Figura 2C se aprecia cómo las plantas protegidas por tubo (especialmente en tubo oscuro) y bajo régimen méxico desarrollan significativamente mayor área foliar que las plantas no protegidas o protegidas en régimen xérico: es decir, si hay recursos hídricos suficientes, las plantas protegidas invierten en aumentar su superficie fotosintéticamente activa, produciéndose el morfotipo característico de las plantas en sombra (RETANA *et al.*, 1999). Resultados similares se han obtenido con otras especies mediterráneas del mismo género (BELLOT *et al.*, 2002). En consecuencia, es muy posible que las encinas crecidas en tubo protector oscuro y en buenas condiciones de disponibilidad hídrica durante el primer establecimiento sufran mayores pérdidas por transpiración en el periodo estival subsiguiente, dado que tanto la superficie foliar como la relación entre la parte aérea y la raíz son mayores. Este efecto parece ser menos acusado en tubos claros, lo que permite aconsejar en principio el uso de protectores con la mayor transmisividad posible.

Para finalizar, la ausencia de diferencias significativas en la concentración de almidón en hojas en razón de la protección (Tabla 2)

indica que el tubo no afecta al reparto del C asimilado entre estructuras y reservas. Asimismo, la tendencia de las encinas protegidas con tubo oscuro a concentrar menos N en hojas puede deberse a los mayores valores de la relación Parte aérea:raíz, lo que indica una menor capacidad absorbente de la raíz en relación con la biomasa aérea. Este efecto se pone claramente de manifiesto en las diferencias de concentración de N en hojas según el régimen hídrico (Tabla 2): las plantas en régimen xérico concentran significativamente más N en correspondencia con una también significativamente menor relación PA:PR.

## BIBLIOGRAFÍA

- BELLOT, J.; ORTIZ DE URBINA, J.M.; BONET, A. & SÁNCHEZ, J.R.; 2002. The effects of treeshelters on the growth of *Quercus coccifera* L. seedlings in a semiarid environment. *Forestry* 75(1): 89-106
- BERGEZ, J.E. & DUPRAZ, Z.C.; 2000. Effect of ventilation on growth of *Prunus avium* seedlings grown in treeshelters. *Agricultural and Forest Meteorology* 104: 199-214.
- BURDETT, A.N.; 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forestry Research* 20:415-427.
- JOHANSSON, T.; 2004. Changes in stem taper for birch plants growing in tree shelters. *New Forests* 27: 13-24.
- MCCREARY, D.; COSTELLO, L.R.; TECKLIN, J.; JONES, K. & LABADIE, D.; 2002. The influence of Treeshelters and irrigation on shoot and root growth of three California oak species. *USDA Forest Service. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-184*: 387-395.
- NAVARRO, R.M.; GUZMÁN, R.; MARTÍNEZ, A. y PORRAS, C.; 1998. El uso de tubos invernaderos en trabajos de forestación en tierras agrarias: análisis de algunos ensayos. *Informaciones Técnicas 55/98*. Sevilla. Consejería de Agricultura y Pesca.
- OLIET, J. y ARTERO, F.; 1993. Estudio del desarrollo y la supervivencia en zonas áridas del repoblado protegido mediante tubos protectores. *I Congreso Forestal Español. Tomo II*: 415-420.
- OLIET, J. y JACOBS, D.F.; 2005. Efecto de los tubos protectores sobre la respuesta de la encina durante el primer establecimiento bajo dos regímenes de humedad. I Estado hídrico, fotosíntesis y concentración de CO<sub>2</sub>. *IV Congreso Forestal Español*.
- OLIET, J.; NAVARRO, R. y CONTRERAS, O.; 2003. *Evaluación de la aplicación de mejoradores y tubos en repoblaciones forestales*. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. 234 pp
- PONDER, F.; 2003. Ten-year results of tree shelters on survival and growth of planted hardwoods. *North. J. Appl. For.* 20(3): 104-108.
- POTTER, M.J.; 1991. *Treeshelters*. Forestry Commission. Handbook 7. 48 pp.
- RETANA, J.; ESPELTA, J.M.; GRACIA, M. & RIBA, M.; 1999. Seedling recruitment. In: F. Rodà, J. Retana, C. Gracia, J. Bellot (eds.), *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*: 89-103. Ecological Studies. Springer, Berlin.
- SEVA, J.P.; VALDECANTOS, A.; CORTINA, J. y VALLEJO, V.R.; 2004. Diferentes técnicas de introducción de *Quercus ilex* ssp. Ballota (Desf.) Samp. en zonas degradadas de la Comunidad Valenciana. *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 17: 233-238.
- SHARPE, W.E.; SWISTOCK, B.R.; MECUM, K.E. & DEMCHIK, M.C.; 1999. Greenhouse and field growth of Northern red oak seedlings inside different types of treeshelters. *Journal of Arboriculture* 25(5): 249-257.
- SPIRO, R.G.; 1966. Analysis of sugars found in glycoproteins. In: E.F. Neufeld, V. Ginsburg. *Methods in enzymology*. Vol. VIII: 3-36. Academic Press, New York.

Tabla 1. Principales atributos de plantas de *Q. ilex* (media y EE, n = 20) con seis meses de edad, antes del trasplante.

Altura (cm)	Diámetro cuello de la raíz (mm)	Peso seco total (g)	Parte Aérea:Raíz (g·g <sup>-1</sup> )	[N] hojas (mg·g <sup>-1</sup> )
14,3 (0,9)	4,7 (0,2)	4,1(0,2)	1,1 (0,1)	17,3 (0,2)

Tabla 2. Efecto del tubo protector y del régimen de humedad sobre la biomasa en las distintas fracciones de la planta y sobre la concentración foliar de N y de almidón (media y EE<sup>1</sup>) de *Q. ilex* 106 días después del trasplante. Para cada factor y su interacción se presenta el grado de significación P del test ANOVA<sup>2</sup>.

	Sin tubo		Tubo oscuro		Tubo claro		P>F	Mésico		Xérico		P>F	T × W P>F
	Media	EE	Media	SE	Media	SE		Media	SE	Media	SE		
Peso seco hojas (g)	1,8	(0,1)	2,2	(0,2)	2,1	(0,2)	0,175	2,3	(0,2)	1,7	(0,1)	0,010	0,148
Peso seco tallo (g)	1,0	(0,1)	1,0	(0,1)	1,0	(0,1)	0,856	1,1	(0,1)	0,9	(0,1)	0,036	0,443
Peso seco aéreo (g)	2,7	(0,2)	3,2	(0,3)	3,1	(0,3)	0,387	3,4	(0,3)	2,6	(0,2)	0,010	0,216
Peso seco raíz (g)	3,5	(0,2)	2,9	(0,2)	3,2	(0,2)	0,110	3,2	(0,2)	3,2	(0,2)	0,883	0,173
Parte aérea : Raíz (g·g <sup>-1</sup> )	0,9	(0,1)	1,1	(0,1)	1,0	(0,1)	0,120	1,1	(0,1)	0,8	(0,0)	0,005	0,095
Peso seco total (g)	6,2	(0,3)	6,1	(0,4)	6,3	(0,4)	0,875	6,6	(0,3)	5,8	(0,3)	0,065	0,598
[N] hojas (mg·g <sup>-1</sup> )	15,7	(0,5)	14,5	(0,4)	14,8	(0,6)	0,143	14,4	(0,4)	15,7	(0,3)	0,015	0,274
[Almidón] hojas (mg·g <sup>-1</sup> )	33,2	(1,5)	33,0	(1,8)	32,1	(1,2)	0,801	35,5	(0,9)	30,0	(1,0)	0,001	0,531

<sup>1</sup> Tamaño de muestra = 72 plantas en total. La concentración de N y de almidón en hojas se determinó después de formar grupos de tres plantas, constituyéndose una muestra compuesta de 24 grupos.

<sup>2</sup> Se presenta también el valor P para el efecto de la interacción tubo protector × régimen de humedad (columna T × W)

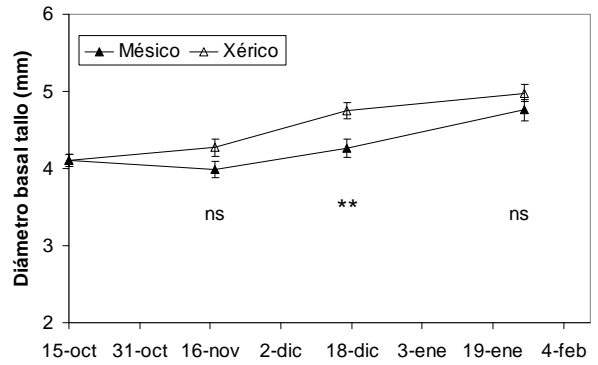
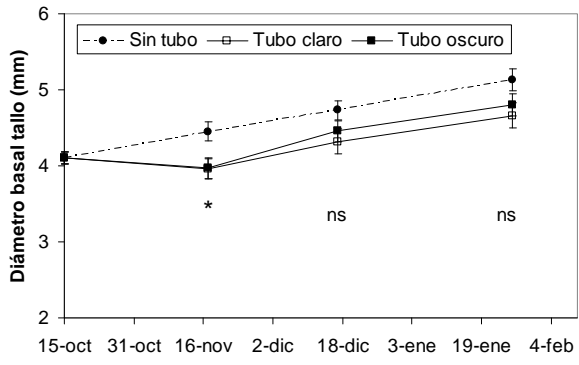
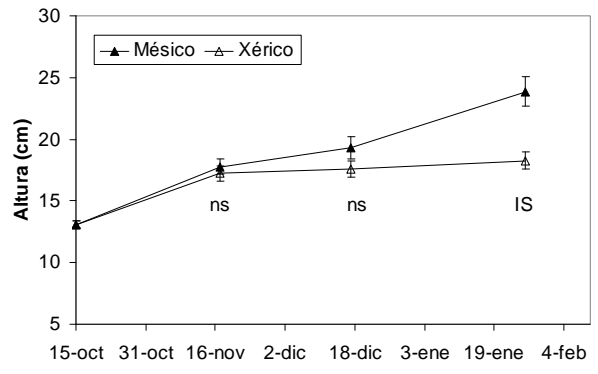
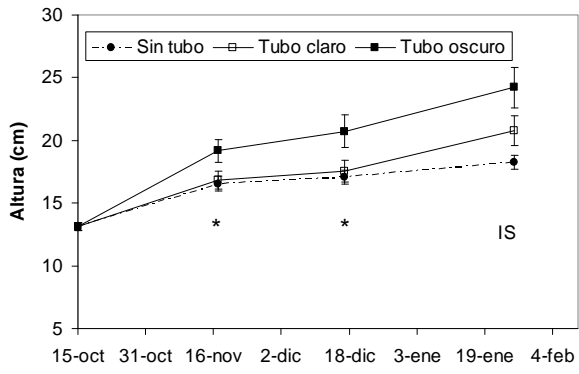


Figura 1. Evolución de la altura y del diámetro (media y EE) de la base del tallo durante los primeros 106 días posttrasplante de plantas de *Q. ilex* según el efecto del tubo protector y del régimen hídrico. Resultados del ANOVA: ns = no significativo; \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,001$ ; IS = interacción tubo  $\times$  régimen significativa (Figura 2).

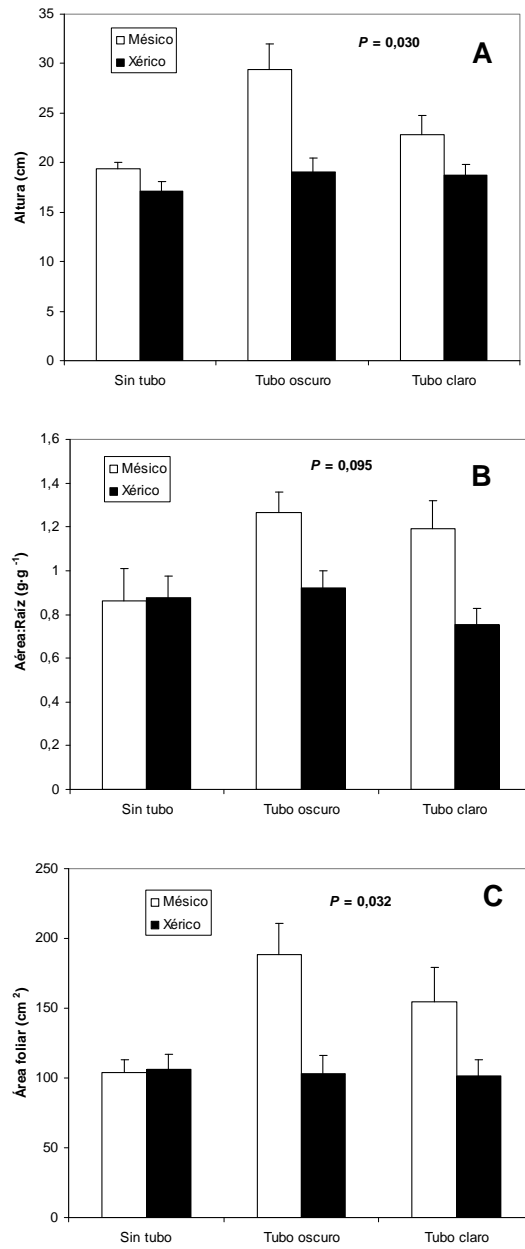


Figura 2. Efecto de la interacción (valor medio y EE) del régimen hídrico y del tubo protector sobre la altura (A,  $n = 24$ ), la relación biomasa aérea:radical (B,  $n = 12$ ) y el área foliar (C,  $n = 12$ ) de *Q. ilex* 106 días después de plantar. Se incluye el valor  $P$  del grado de significación de la interacción en el test de ANOVA. ( $n = 24$ )