

EFECTO DE LOS TUBOS PROTECTORES SOBRE LA RESPUESTA DE LA ENCINA DURANTE EL PRIMER ESTABLECIMIENTO BAJO DOS RÉGIMENES DE HUMEDAD. I ESTADO HÍDRICO, FOTOSÍNTESIS Y CONCENTRACIÓN DE CO₂

Juan A. Oliet Palá¹; Douglass F. Jacobs².

¹ 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

² 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. La concentración diaria de CO₂ a los 35 y 105 días del trasplante en el interior de los tubos sigue un modelo con un mínimo a mediodía, mientras que durante las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde los valores de concentración son superiores a los del exterior; a los 105 días, las encinas en régimen húmedo producen valores de [CO₂] mayores durante la mañana y la tarde que las de régimen seco. Durante los primeros 50 días del ensayo, la humedad del sustrato fue superior en las macetas con tubo, lo cual se reflejó en un mejor estado hídrico y una mayor tasa de fotosíntesis entre las 10:30 y 15:00 de las plantas protegidas. El potencial hídrico de mediodía a los 117 días fue superior en los tubos protegidos cuando estaban sometidos a régimen xérico, reflejando una interacción significativa régimen × tubo. Se discuten asimismo algunos aspectos de la metodología de medición de la fotosíntesis en los tubos.

Palabras clave: tubos invernadero, intercambio gaseoso, TDR, potencial hídrico, *Quercus ilex*

INTRODUCCIÓN

Los resultados de las repoblaciones realizadas empleando tubos protectores en los montes de la España mediterránea demuestran que existe una respuesta variable, siendo la especie, las características de la estación, el tipo de tubo protector o las condiciones meteorológicas durante el establecimiento los factores a los que parece responder dicha respuesta. Así, los ensayos experimentales realizados con especies mediterráneas muestran, en términos generales, efectos beneficiosos del tubo protector sobre la supervivencia y el crecimiento en muchas de ellas, aunque también se han encontrado respuestas negativas o, incluso indiferentes (NICOLÁS *et al.*, 1997; NAVARRO *et al.*, 1998; MARQUES *et al.*, 2001; OÑORO *et al.*, 2001; BELLOT *et al.*, 2002; OLIET *et al.*, 2003). Pero al incluir, como se hace en alguno de estos estudios, variables como el ámbito ecológico o el tipo de tubo, la respuesta por especie no es tan uniforme. Si bien una de las causas que se considera mejoran los resultados de supervivencia durante el primer año es la reducción de los niveles de radiación directa sobre la plantita a valores no perjudiciales (BELLOT *et al.*, 2002) durante los momentos más secos y difíciles del verano, las condiciones microclimáticas de temperatura, humedad del aire y concentración de CO₂ en el interior del tubo protector también afectan a la supervivencia y, cómo no, al crecimiento. Existen algunos estudios que caracterizan el microclima en el interior de distintos tipos de tubos protectores en términos de radiación, temperatura, humedad y/o déficit en áreas mediterráneas (OÑORO *et al.*, 2001; BELLOT *et al.*, 2002; OLIET *et al.*, 2003), aunque ninguno de ellos hace referencia a la concentración de CO₂. Por tanto, un conocimiento más profundo de dichas condiciones y de cómo afectan a la respuesta fisiológica de la planta es necesario. Algunos trabajos han estudiado la fotosíntesis de las plantas en tubo protector (KJELGREN *et al.*, 1997; DUPRAZ & BERGEZ, 1999; BERGEZ & DUPRAZ, 2000), aunque ninguno con especies mediterráneas. Estos trabajos constatan la dificultad de medir el intercambio gaseoso de una planta protegida sin alterar las condiciones microclimáticas que rodean a esta.

En este trabajo se presentan los resultados de un ensayo en invernadero que ha medido la respuesta postrasplante de la encina (*Quercus ilex* L.) en términos de concentración de CO₂, fotosíntesis y potencial hídrico al empleo de tubos protectores de dos transmisividades diferentes y bajo dos regímenes de disponibilidad hídrica en el sustrato. El objetivo final del trabajo es profundizar en el conocimiento de la respuesta fisiológica de esta especie a las diferentes condiciones de radiación incidente y disponibilidad hídrica dentro del tubo y los tratamientos, lo cual permitiría a su vez 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 y se plantaron 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 humedad 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. Para el régimen xérico sólo se regó (sin contar con la saturación postrasplante) una cantidad adicional de 0,5 l durante todo el experimento. 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.

Las medidas de concentración de CO₂ dentro de los tubos se realizaron en dos cursos diarios, 34 y 104 días después del trasplante, mediante el empleo de la unidad central de un analizador IRGA portátil LCA4 (ADC, BioScientific Ltda.). Se eligió aleatoriamente una planta por bloque y combinación de tubo con régimen, 16 plantas en total. Las plantas se dispusieron aleatoriamente

por bloques en una fila. Las mediciones diarias comenzaron antes del amanecer y continuaron hasta una hora después de la puesta de sol. Las plantas se midieron repetidamente introduciendo el tubo que suministra el aire a la unidad central por un pequeño agujero abierto en la pared del protector, y situando su extremo a la altura de la mitad de la planta. Después de extraer aproximadamente 1 l de aire se registró la medida de la concentración de CO_2 que daba el analizador. Asimismo, también se midió la concentración exterior a 4 m de altura al principio, en la mitad y al final de cada medición del conjunto de 16 plantas. Asimismo, cada medida se acompañaba del registro de la radiación PAR tomada por el radiómetro del analizador LCA4, y se colocaron cuatro sensores registradores de temperatura y humedad relativa en cuatro tubos (correspondientes a la combinación tubo \times régimen) de los empleados en las mediciones.

Las medidas de fotosíntesis también se realizaron en dos periodos compuestos: primer periodo, 46 y 47 días después de plantar; y segundo periodo, 98, 106 y 111 días después de plantar. La tasa de fotosíntesis neta por unidad de área foliar (A_n) se midió con el LCA4 equipado con una cámara foliar PLC4. El día anterior a las mediciones se seleccionaba aleatoriamente de tres bloques una planta por bloque y combinación de tubo con régimen (en total 18 plantas), se abría una ventana en la pared del tubo cortando tres lados (no el superior), que se cerraban con cinta inmediatamente. Las medidas se realizaban entre las 10:30 y las 15:00 h del día siguiente en las condiciones de invernadero. Antes de la medición se sellaba el extremo superior del tubo protector con un film de plástico transparente, se introducía el tubo que suministra aire al analizador por la pared del protector, dejando su extremo en la parte superior del protector (salvo cuando se medían plantas no protegidas, en cuyo caso se tomaba aire de 4 m de altura). Inmediatamente después se abría la ventana del tubo protector, se introducía la cámara foliar y se encerraba una hoja de encina de la mitad superior del tallo en dicha cámara, que quedaba tapada por la ventana abierta del tubo. En estas condiciones se registraban varios valores de fotosíntesis válidos, cuando el sistema se estabilizaba, para luego presentar el valor medio de dichos valores. Algunas plantas que no se estabilizaban fueron rechazadas. El registro también incluía los valores medidos de radiación PAR y concentración de CO_2 . Tras sacar la hoja de la cámara esta se cortaba del tallo y se medía el área de la misma con un medidor de área foliar. Luego se colocaba un tubo protector sin ventana. Antes del amanecer del día siguiente a la medición de fotosíntesis se tomaban las plantas empleadas en dichas determinaciones para la medida del potencial hídrico de madrugada (ψ_{mad}). Asimismo, al final del ensayo (117 días después del trasplante) se tomó una planta por bloque y combinación de tubo por régimen hídrico (24 plantas en total) a las 13:00 h para la medida del potencial hídrico de mediodía (ψ_{med}). El potencial hídrico del tallo se midió con una cámara de Scholander PMS Modelo 600.

Los datos de fotosíntesis y potencial hídrico 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 humedad del sustrato en las macetas respondió significativamente al régimen hídrico desde el día 20 después de plantar (datos no mostrados). Asimismo, la presencia del tubo protector también afectó a la humedad del sustrato durante varias mediciones realizadas hasta el día número 49 después del trasplante, siempre en el mismo sentido: las macetas con tubo protector presentaban valores de humedad más altos, fundamentalmente a la profundidad de 0-12 cm (Tabla 1). Después de ese día, las diferencias en razón del tubo no volvieron a ser significativas. El potencial hídrico de madrugada se vio significativamente afectado por el régimen hídrico en ambas mediciones (Tabla 2). Aunque la presencia del tubo protector no afectó significativamente al estado hídrico de la planta antes del amanecer, se aprecia una tendencia próxima a la significación durante la medición realizada 48 días después de plantar ($P < 0.1$, Tabla 2): las plantas en tubo oscuro parecen estar menos estresadas, siendo las plantas no protegidas las que presentaron un valor de ψ_{mad} . El potencial hídrico de mediodía a los 117 días de ensayo se vio significativamente afectado por la interacción de ambos factores, tubo \times régimen hídrico ($P = 0.016$, Figura 1): en dicha Figura se aprecia cómo, mientras que ψ_{med} de las plantas se mantiene constante en el régimen mésico con independencia de estar o no protegidas, en el régimen xérico las plantas dentro del tubo protector están más estresadas a mediodía, en particular las protegidas en tubo claro.

La oscilación diaria de la concentración de CO_2 en el interior de los tubos protectores sigue un patrón diferente al del exterior. Así, la concentración de CO_2 exterior en el ciclo diario correspondiente a 34 días después de plantar, osciló entre 327 y 402 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$, y en el de 104 días entre 352 y 364 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ (Figura 2). Mientras, el rango de variación diario fue muy superior en el interior del tubo: a los 34 días, la concentración osciló entre 343 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ a mediodía y 492 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ al atardecer, respectivamente; y a los 104 días entre 346 y 436 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$. Por otra parte, en ambas mediciones el patrón de variación dentro del tubo fue similar: un descenso de la concentración de CO_2 a partir del amanecer hasta un mínimo, luego la concentración se estabiliza hasta las 15:00 h aproximadamente, para comenzar a subir a partir de allí hasta alcanzar los máximos valores medidos tras la puesta de sol. La temperatura dentro de los tubos durante las mediciones responde a los valores de radiación PAR (Figura 2), con valores máximos de 35-40°C y largos periodos (de 9:30 a 17:00 h) con valores por encima de los 30°C. Por tratamientos pueden apreciarse algunas diferencias: en las mediciones realizadas 34 días después de plantar, la concentración de CO_2 dentro de los tubos oscuros se mantuvo ligeramente más alta durante la mayoría de las horas; y en las realizadas a los 104 días, la concentración en los tubos con plantas en régimen mésico fluctuó entre valores mínimos por debajo de la concentración exterior a mediodía (340 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$) y máximos (por encima de 472 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$) después del atardecer (Figura 2), mientras que en el régimen xérico dicha oscilación diaria fue mucho menor.

En cuanto a la fotosíntesis medida durante el primer periodo de mediciones (46 y 47 días después de plantar), la tasa se vio significativamente afectada por el tubo protector, y no por el régimen (Tabla 3): A_n de las encinas en tubo claro fue un 259 y un 412 % superior que la correspondiente a las encinas en tubo oscuro y no protegidas, respectivamente ($P = 0,028$, Tabla 3). Sin embargo, durante el segundo periodo de mediciones llevado a cabo entre los días 98 y 111 después de plantar, A_n se vio casi significativamente afectada por el régimen hídrico, pero no por el tubo protector. Aunque A_n fue extremadamente baja durante esos días, los valores para las encinas en régimen mésico fueron un 235 % superiores (Tabla 3). Por otra parte, entre todas las variables ambientales medidas durante la fotosíntesis, la radiación PAR se vio significativamente afectada en ambos periodos de medición, en respuesta a la transmisividad de las paredes del tubo (Tabla 4). Asimismo, la concentración de CO_2 del aire que atravesaba la cámara foliar procedente del ambiente (ambiente exterior o interior del tubo, según la planta medida) también se vio significativamente afectada, aunque sólo durante el primer periodo de mediciones, cuando los tubos oscuros mantuvieron concentraciones de CO_2 medias durante las mediciones 30,5 y 17,5 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ más altas que en el exterior y en tubos claros, respectivamente ($P = 0,001$, Tabla 4). Durante el segundo periodo, las

diferencias en razón de la concentración de CO₂ durante las mediciones no fueron significativas, pero la tendencia fue muy parecida a la del primer periodo ($P = 0,101$, Tabla 4).

DISCUSIÓN

Dado que el efecto positivo sobre la humedad del sustrato se presenta sólo en los primeros cm de profundidad, es probable que esto se deba al sombreado que el tubo proyecta sobre la boca de la maceta. Habría que estudiar si este comportamiento se repite también en condiciones de campo, ya que en algunos ensayos de repoblación no se aprecian indicios de este efecto (BELLOT *et al.*, 2002). Dado que no se ha observado condensación en las paredes interiores del tubo, se descarta el efecto del retorno al suelo de parte de la transpiración (BERGEZ & DUPRAZ, 1997) sobre la humedad. Por otra parte, la mayor humedad del sustrato en las macetas con tubo 49 días después de plantar tiene un reflejo coherente en el estado hídrico medido el día anterior. Así, las plantas en tubo protector presentaron valores superiores de ψ_{mad} , indicando un menor estrés hídrico sufrido. En la segunda medición realizada, ni la humedad del sustrato ni el ψ_{med} respondieron a la presencia o no de tubo protector en la maceta. Sin embargo, el ψ_{med} medido 18 días después sí presentó una respuesta significativa a la interacción tubo \times régimen, debido probablemente a los valores superiores de la demanda evaporativa del aire en el interior de los tubos protectores, en particular el tubo claro. En algunos estudios se ha puesto de manifiesto el efecto del color del tubo sobre la temperatura interior, siendo los tubos claros, de mayor transmisividad, los que desarrollaban mayores temperaturas (OLIET *et al.*, 2003).

Por otra parte, el modelo diario de variación de la concentración de CO₂ muestra las oscilaciones de la tasa de asimilación durante el día: durante las primeras horas, A_n parece presentar valores positivos, a juzgar por el brusco descenso de la concentración de CO₂ dentro del tubo. Sin embargo, en poco tiempo la tasa parece estabilizarse (a partir de las 10:00) para luego hacerse negativa. Por tanto, las horas de asimilación neta positiva son pocas, la fotosíntesis parece verse limitada, entre otros factores, por las altas temperaturas alcanzadas ya a primeras horas del día (Figura 2). Con valores de A_n muy superiores, DUPRAZ & BERGEZ (1999) midieron valores de concentración de CO₂ dentro del tubo muy inferiores durante las primeras horas, hasta el punto de que la asimilación se vio limitada por dichos valores. En nuestro estudio, la limitación a la fotosíntesis se debe probablemente a los altos valores de la temperatura, por lo que las horas de A_n positiva se reducen a las primeras de la mañana, coincidiendo con valores de PAR bajos. Esto puede explicar los bajos valores de A_n que se han medido muestreando entre las 10:30 y las 15:00 h. A pesar de ello, se ha detectado un efecto significativo del tubo protector sobre A_n en el primer periodo de mediciones (días 46 y 47), de forma que las plantas en tubo claro mostraron mayores valores de este parámetro, probablemente por un efecto combinado de un mejor estado hídrico (Tablas 1 y 2) con mayores valores de PAR en este tubo. De hecho, se ha encontrado una relación positiva y estadísticamente significativa entre A_n y PAR durante esta medición ($r = 0,6$, $P = 0,002$). En el segundo periodo de mediciones de fotosíntesis (98-11 días después de plantar), A_n parece estar afectada exclusivamente por la disponibilidad hídrica. Así lo indican también las mayores fluctuaciones de la concentración de CO₂ durante el día en los tubos bajo régimen méxico durante ese periodo (Figura 2B). Por otra parte, los valores de concentración de CO₂ registrados durante las mediciones de fotosíntesis (Tabla 4) se corresponden con los obtenidos coincidiendo con esas horas de muestreo al estudiar los ciclos diarios (Figura 2). Esto permite indicar que el uso de un sistema abierto de medición de fotosíntesis como el empleado (modelo LCA4) y con la metodología propuesta, puede ser apropiado para evaluar la actividad fotosintética de las plantas en el interior del tubo.

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.
- BERGEZ, J.E. & DUPRAZ, Z.C.; 1997. Transpiration rate of *Prunus avium* L. seedlings inside an unventilated treeshelter. *Forest Ecology and Management* 97: 255-264.
- DUPRAZ, C. & BERGEZ, J.E.; 1999. Carbon dioxide limitation of the photosynthesis of *Prunus avium* L. seedlings inside an unventilated treeshelter. *Forest Ecology and Management* 119: 89-97.
- KJELGREN, R.; MONTAGUE, D.T. & RUPP, L.A.; 1997. Establishment in treeshelters II: effect of shelter colour on gas exchange and hardiness. *Hortscience* 32(7): 1284-1287.
- MARQUES, P.M.; FERRERIA, L.; CORREIA, O. & MARTINS-LOUÇAO, M.A.; 2001. Tree shelters influence growth and survival of carob (*Ceratonia siliqua* L.) and cork oak (*Quercus suber* L.) plants on degraded Mediterranean sites. In: Y. Villacampa, C.A. Brebbia & J.L. Usó (eds.), *Ecosystems and sustainable development III*: 635-644. Wit Press. Southampton, Boston.
- NAVARRO, R.M.; GUZMÁN, R.; MARTÍNEZ, A. & 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.
- NICOLÁS PERAGÓN, J.L.; DOMÍNGUEZ LERENA, S.; HERRERO, N.; & VILLAR, P.; 1997. Plantación y siembra de *Quercus ilex* L.: efectos de la preparación del terreno y de la utilización de protectores en la supervivencia de las plantas. *Actas II Congreso Forestal Español. Mesa 3*: 449-454.
- OLIET, J.; NAVARRO, R. & 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.
- OÑORO, F.; VILLAR-SALVADOR, P.; DOMÍNGUEZ LERENA, S.; NICOLÁS, J.L. & PEÑUELAS, J.L.; 2001. Influencia de la siembra y plantación con dos tipos de tubos protectores en el desarrollo de una repoblación de *Quercus faginea* Lam. *Actas III Congreso Forestal Español. Mesa 3*: 137-142.

Tabla 1. Humedad del sustrato (contenido de agua en porcentaje de volumen) medido con TDR en función del tubo protector. Se presentan sólo los valores medios (y el EE, n = 8) cuando el test de ANOVA para la fecha de medición y la profundidad consideradas fueron significativos.

Días desde trasplante	Profundidad (cm)	Contenido de humedad volumétrico (%)						
		Sin tubo		Tubo oscuro		Tubo claro		P>F
		Mean	(EE)	Mean	(EE)	Mean	(EE)	
1	12 a 20	30,3	(1,0)	36,6	(2,8)	38,4	(2,0)	0,033
11	0 a 12	14,8	(0,5)	17,5	(0,8)	17,5	(0,6)	0,017

14	0 a 12	14,0	(0,5)	15,5	(0,8)	16,6	(0,6)	0,017
18	0 a 12	13,4	(0,6)	15,4	(0,6)	14,8	(0,4)	0,033
20	0 a 12	12,3	(0,4)	14,0	(0,8)	14,8	(0,2)	0,004
20	12 a 20	19,0	(1,4)	22,3	(1,0)	23,3	(1,3)	0,034
34	0 a 12	10,0	(0,8)	12,3	(1,0)	12,4	(0,9)	0,005
41	0 a 12	11,5	(0,5)	13,8	(0,7)	13,8	(0,7)	0,029
49	0 a 12	11,6	(0,7)	13,8	(0,9)	12,6	(0,8)	<0,001
49	30	13,0	(1,5)	17,6	(2,2)	15,8	(1,9)	0,019
85	0 a 12	8,8	(0,9)	10,0	(0,9)	10,0	(1,3)	0,008

Tabla 2. Efecto del tubo protector y del régimen de humedad sobre el potencial hídrico de madrugada (MPa, valor medio y error estándar) a los 48 y 99 días desde el trasplante (48 y 24 plantas en total, respectivamente). Se presentan los valores del test de ANOVA ($P>F$)

Días desde trasplante	Sin tubo		Tubo oscuro		Tubo claro		$P>F$	México		Xérico		$P>F$
	Media	EE	Media	EE	Media	EE		Media	EE	Media	EE	
48	-1,25	(0,08)	-1,07	(0,06)	-1,12	(0,05)	0,092	-1,01	(0,05)	-1,27	(0,05)	<0,001
99	-1,14	(0,14)	-1,01	(0,11)	-1,12	(0,16)	0,468	-0,80	(0,07)	-1,38	(0,07)	<0,001

Tabla 3. Efecto del tubo protector y del régimen de humedad sobre la fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, valor medio y error estándar) a los 46, 47 (primer periodo, 30 plantas en total) y a los 98-111 (segundo periodo, 47 plantas en total) días después de plantar. Se han promediado los datos de los diferentes días de un mismo periodo. Se presentan los valores del test de ANOVA ($P>F$).

Días desde trasplante	Sin tubo		Tubo oscuro		Tubo claro		$P>F$	México		Xérico		$P>F$
	Media	EE	Media	EE	Media	EE		Media	EE	Media	EE	
46, 47	0,51	(0,26)	0,32	(0,14)	1,32	(0,37)	0,028	0,55	(0,25)	0,83	(0,22)	0,242
98, 106, 111	0,20	(0,12)	0,47	(0,16)	0,48	(0,20)	0,375	0,54	(0,17)	0,23	(0,07)	0,091

Tabla 4. Descripción de las condiciones microclimáticas (radiación PAR y $[\text{CO}_2]$ del aire que va desde el interior del tubo protector hacia la cámara foliar) durante la medida de la fotosíntesis en los periodos primero (46 y 47 días después de plantar) y segundo (98-111 días después de plantar).

Días desde trasplante	Variable (unidad)	Signif. ANOVA ($P>F$)	Tipo de tubo protector	n	Media	EE	Mínimo	Máximo
46, 47	PAR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,004	Sin tubo	11	707,1	(73,5)	417,2	1199,2
			Tubo claro	9	643,1	(82,3)	259,9	963,3
			Tubo oscuro	10	357,5	(52,5)	154,1	658,1
	$[\text{CO}_2]$ hacia la cámara foliar ($\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,001	Sin tubo	11	338,4	(4,0)	328,3	368,7
			Tubo claro	9	356,1	(6,1)	338,5	393,1
			Tubo oscuro	10	368,9	(6,1)	341,7	402,0
98, 106, 111	PAR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,001	Sin tubo	16	853,4	(83,0)	377,8	1482,6
			Tubo claro	15	659,9	(67,4)	270,2	1049,5
			Tubo oscuro	16	503,0	(49,3)	248,1	763,0
	$[\text{CO}_2]$ hacia la cámara foliar ($\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$)	0,101	Sin tubo	16	371,3	(4,9)	345,1	401,5
			Tubo claro	15	379,7	(7,2)	328,9	454,8
			Tubo oscuro	16	388,5	(4,5)	353,2	419,9

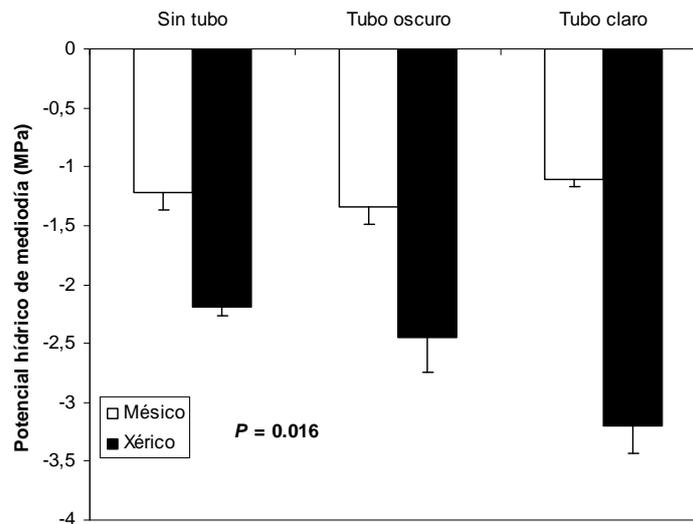


Figura 1. Efecto de interacción (media y EE, $n = 4$) del régimen hídrico y el tubo protector sobre el potencial hídrico a mediodía de *Q. ilex* 117 días después de plantar. De acuerdo con las mediciones realizadas el día anterior, no existían diferencias de humedad en el sustrato en función del tipo de tubo (datos no mostrados).

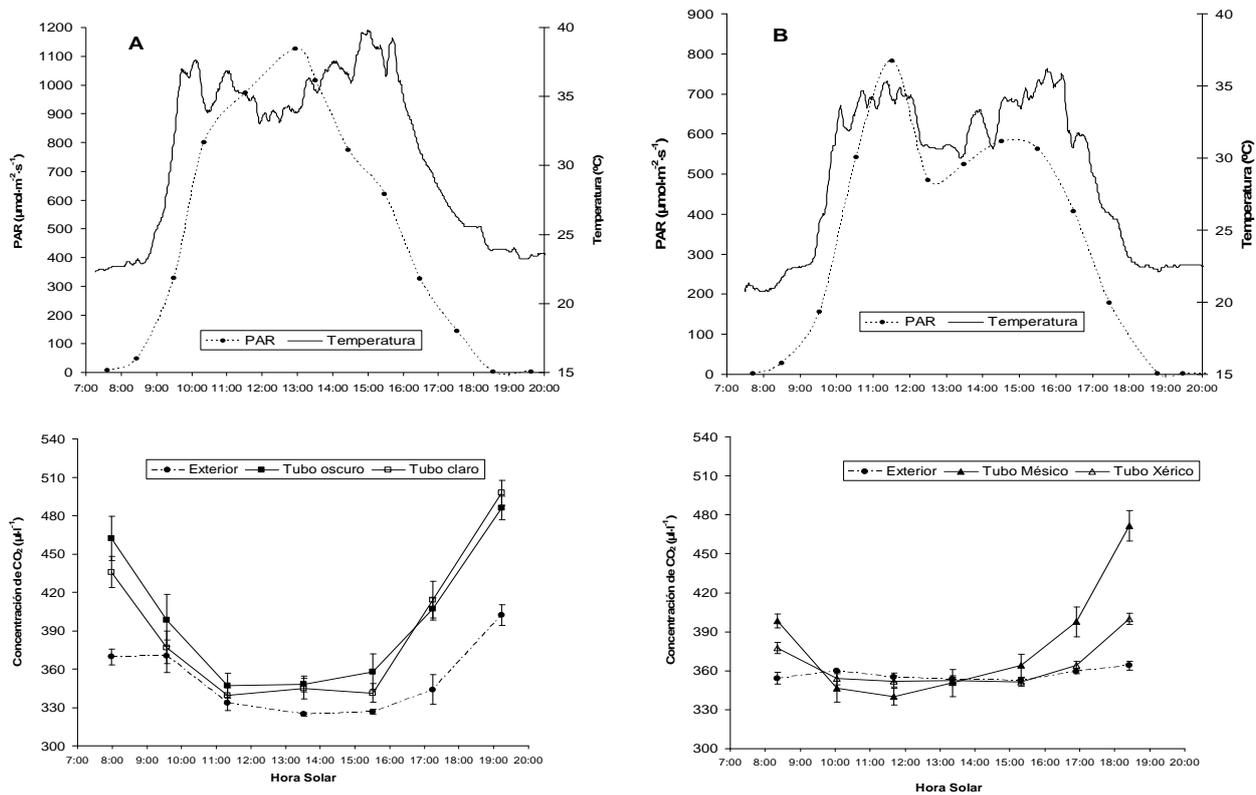


Figura 2. Curso diario de la concentración de CO₂ dentro de los tubos protectores (valor medio y error estándar, n = 8) en respuesta al color del tubo (34 días después de plantar, A) y al régimen de humedad (104 días después de plantar, B). Se da también la concentración de CO₂ exterior (valor medio y error estándar, n = 3) así como, en los gráficos superiores, la radiación PAR horaria y la temperatura durante las mediciones.