

EFECTO DEL SOMBREO EN EL VIVERO SOBRE LA CALIDAD DE PLANTA Y EL COMPORTAMIENTO EN CAMPO DE *QUERCUS ILEX* Y *PINUS HALEPENSIS*

Jaime Puértolas Simón*, Luís Fernando Benito Matías y Juan Luís Peñuelas Rubira

Centro El Serranillo. Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. Apdo. 249. 19080-GUADALAJARA (España)

* Dirección actual: Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. Dpto. de Ecología. Universidad de Alicante. Apdo 99 03080-ALICANTE (España). Correo electrónico: jaime.puertolas@ua.es

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar como afecta el sombreado durante el cultivo a la calidad final de plantas de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*. Se sembraron en invernadero en febrero y posteriormente, a partir de mayo, se colocaron al exterior bajo tres ambientes lumínicos (T100, T40, T5; recibiendo el 100%, el 40% y 5% de la radiación máxima exterior respectivamente) en condiciones óptimas de riego y fertilización. Al final del cultivo se caracterizó la respuesta de las plantas a la luz mediante parámetros morfológicos y fisiológicos. Una muestra de cada tratamiento fue transplantada en noviembre a contenedores de 3,5 l que fueron enterrados, evaluándose las tasas de fotosíntesis y el crecimiento de nuevas raíces durante el invierno. Otra muestra fue plantada en un antiguo terreno agrícola en Marchamalo (Guadalajara) sobre la que se realizó una medición de fluorescencia durante el primer periodo vegetativo, evaluándose su crecimiento y supervivencia al final del mismo. Se pudo concluir que el sombreado, incluso intenso como el de T5, no supone una merma considerable de la calidad final de *Quercus ilex*. Sin embargo, en una especie más heliófila como *Pinus halepensis* el sombreado intenso produjo importantes modificaciones morfológicas y fisiológicas y el sombreado moderado, aunque no alteró demasiado el aspecto externo de las plantas, redujo la capacidad de crecimiento inicial de las raíces y el crecimiento final en campo en altura y diámetro respecto a las cultivadas a pleno sol.

Palabras clave: *Crecimiento, Cultivo, Plantación, Sombra*

INTRODUCCIÓN

El ambiente lumínico condiciona en gran medida la fisiología y morfología de las plantas. Las plantas se adaptan a la falta de luz aumentando su capacidad de aprovechar la luz disponible. Sin embargo, la hipótesis del trade-off predice que las adaptaciones a la falta de luz van en sentido contrario al de las adaptaciones a la

falta de disponibilidad de agua (SMITH & HUSTON, 1989), lo que, en ambientes mediterráneos condicionaría la regeneración de las especies. La interacción estrés hídrico-sombra ha sido objeto de importantes trabajos en el campo de la ecofisiología en los últimos años (VALLADARES & PEARCY, 2002). Sin embargo, estos trabajos se centran principalmente en la interacción simultánea de ambos factores limi-

tantes. Las plantas de vivero son cultivadas habitualmente en ausencia de estrés hídrico pero es muy común el empleo de sombreos para reducir la demanda hídrica de los cultivos y evitar sobrecalentamientos. Eso provoca unas adaptaciones a la sombra sobre las que se desconoce su posible efecto negativo en el transplante a campo y en el posterior periodo de sequía estival. Son muy pocos los estudios existentes en los que se relaciona el ambiente lumínico de cultivo y el comportamiento posterior en campo (HEISKNEN, 2004). En plantas mediterráneas son pocos los trabajos que han analizado el efecto de la sombra en la calidad de planta y en ellos se ha utilizado un único nivel de sombreado (ZAZO *et al.*, 2001; VILLAR-SALVADOR *et al.*, 2004).

Por otro lado, la plasticidad fenotípica en respuesta a la luz depende por completo de la especie estudiada. Este estudio se ha centrado en dos especies típicas mediterráneas que difieren enormemente en su respuesta a la luz: una quercínea relativamente tolerante a niveles intermedios de iluminación (*Quercus ilex*) y una pinácea con grandes requerimientos de luz (*Pinus halepensis*).

El objetivo de este estudio fue por tanto validar las siguientes hipótesis: 1) La sombra afecta a la calidad final de la planta influyendo en el crecimiento y supervivencia durante el primer año. 2) Dicha influencia es mayor en la especie más plástica en respuesta a la luz, es decir, el pino.

Como objetivo práctico secundario, se trató de delimitar umbrales mínimos de iluminación estableciendo un diseño experimental basado en un gradiente de iluminación.

MATERIAL Y MÉTODOS

En febrero de 2005, se sembraron semillas de *Quercus ilex* y *Pinus halepensis* en bandejas ForestPot-300 de 50 alvéolos cada uno y 300 cm³ de capacidad rellenos de turbia rubia fertilizada. Se emplearon 6 bandejas para *Pinus halepensis* y 12 para *Quercus ilex* que fueron colocados en un invernadero situado en las instalaciones del Centro El Serranillo en la ciudad de Guadalajara. El invernadero produjo una reducción de la radiación máxima en un 50% respecto a la exterior. A finales de mayo las

plantas fueron trasladadas al exterior y colocadas dentro de una línea de aspersores según un diseño de 2 bloques completos aleatorizado. Dentro de cada bloque se repartieron al azar los tres tratamientos de sombreado, colocándose una bandeja de pinos y dos de encina por bloque y tratamiento. En el tratamiento de pleno sol (T100) no se colocó malla de sombreado. En el tratamiento de sombra intermedia (T40) se colocaron dos mallas blancas sobre una estructura metálica de forma que se cubrieron por completo las bandejas. En este tratamiento el porcentaje de radiación máxima exterior (medida al medio día en verano) fue de un 40%. En el tratamiento de sombra intensa (T5) se colocó una malla negra que bajó este porcentaje al 5%. Las plantas fueron regadas adecuadamente y fertirrigadas semanalmente desde su salida al exterior, recibiendo un total de 100 mg de N por planta durante todo el cultivo (incluyendo la fertilización incluida en la turba).

A finales de octubre se escogieron cuatro plantas de cada especie por tratamiento (dos por bloque) sobre los que se realizaron curvas luz-fotosíntesis con un IRGA provisto de una fuente de iluminación (LCPro, ADC, Hoddesdon, R.U.). En todas las curvas se midieron 10 puntos fijos de radiación entre 0 y 1400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. El área foliar del segmento de tallo insertado en la cubeta fue medido con analizador de imágenes (DIAS II, Delta-T Devices Ltd., Cambridge, R.U.).

A principios de noviembre se seleccionaron 8 plantas (4 por bloque) por especie y tratamiento. Se secaron en estufa a 65° durante 48 horas para determinar la biomasa seca de las hojas, el tallo y la raíz. Se calculó la relación entre la biomasa de la parte aérea y la de la raíz (PA/PR).

Simultáneamente se seleccionaron 6 plantas (3 por bloque) por especie y tratamiento de las que se extrajeron un disco foliar de 0,196 cm² y dos acículas de cada pino midiéndose su superficie. Estas muestras fueron sumergidas en 5 ml de dimetilsulfóxido e incubadas a 70°C durante cuatro horas para la extracción de las clorofilas, cuya concentración fue medida con un espectrofotómetro de absorción (UV-1601, SHIMADZU corporation®, Japan) a 664,9 y 648,2 nm siguiendo el método de BARNES *et al.* (1992). Al mismo tiempo otro disco foliar y otras dos acículas fueron extraídas para calcular el área foliar específica (SLA).

A principios de noviembre, estas plantas fueron trasplantadas a contenedores de 3,5 l rellenos de arena. Los contenedores fueron enterrados en el suelo al exterior dentro de los terrenos del Centro El Serranillo, donde permanecieron hasta mediados de abril. Durante ese tiempo, las plantas fueron regadas cuando fue necesario para mantener el sustrato en condiciones óptimas de humedad. En enero y marzo se realizaron mediciones de intercambio gaseoso con el IRGA en 5 de las plantas de cada tratamiento. Las medidas se realizaron mediante el procedimiento descrito anteriormente con las curvas luz-fotosíntesis con una sola medición bajo las condiciones lumínicas ambientales (días despejados, medición a media mañana). La parte del tallo introducida en la cubeta fue marcada en la primera medición, midiéndose en la segunda en la misma porción cuya área foliar fue medida al finalizar el experimento (no hubo crecimiento de la parte área en el periodo entre la medición y el análisis foliar). Al finalizar el experimento, se extrajo el sistema radical y se midió el peso seco de las nuevas raíces emitidas fuera del antiguo cepellón procedente de la fase de vivero.

A finales de noviembre, otra muestra de 30 plantas de cada bloque y tratamiento, cuyas alturas y diámetros fueron previamente medidos, fue plantada en un antiguo terreno agrícola en Marchamalo, unos 3 km del Centro El Serranillo. El terreno es arcilloso y fue preparado mediante subsolado lineal, aplicándose un herbicida a finales del invierno siguiente. La plantación se hizo según un diseño de 5 bloques completos al azar. Se repartieron por tanto en 5 filas de subsolado de 72 plantas cada una que fueron considerados como bloques. Se emplearon unidades experimentales de 6 plantas plantadas consecutivamente dentro de cada fila, con dos repeticiones de cada especie y tratamiento dentro de cada fila (bloque). Se midieron las alturas y diámetro del cuello de la raíz de todas las plantas instaladas. Algunos pinos de T5 no pudieron ser plantados dada la escasa consistencia de su cepellón y debieron ser reemplazados por otros de cepellones consistentes de su mismo tratamiento. Eso hace que las medias de diámetro de las plantas instaladas de este tratamiento sean posiblemente mayores que la media poblacional del cultivo.

A mediados de mayo de 2006 se realizó una medición de fluorescencia de la clorofila en 5 plantas (1 por bloque) por especie y tratamiento. Se midió a media mañana el rendimiento cuántico del PSII (ϕ_{PSII}) y la tasa de transporte electrónico (ETR). En diciembre de 2006 se hizo una medición de altura, diámetro y supervivencia.

Todos los parámetros fueron analizados para cada especie por separado mediante un análisis de la varianza. En un análisis previo se incluyó el bloque, pero al comprobar su falta de significación se decidió excluir del análisis por simplicidad. En los casos donde el tratamiento fue significativo, se analizaron las diferencias de medias entre tratamientos mediante el test LSD de Fisher ($p < 0,05$).

RESULTADOS

El tratamiento de luz no tuvo influencia en el resultado de las curvas luz fotosíntesis. No existieron diferencias entre tratamientos para ninguna de las dos especies ni en la tasa máxima de fotosíntesis ni en el punto de saturación luminosa (datos no mostrados). La encina presentó tasas máximas de fotosíntesis algo superiores al pino (15 frente a $10 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

La concentración total de clorofilas respecto al área foliar fue muy superior en la encina. En esta especie no varió con el grado de sombreo ($F = 0,24$; $p = 0,79$). En el pino sí tuvo efecto el tratamiento ($F = 14,00$; $p < 0,001$), aunque solamente hubo diferencias entre T5 y el resto. ($T100 = 33 \pm 3 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$; $T40 = 28 \pm 3 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$; $T5 = 51 \pm 3 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$).

En pino carrasco, la altura de las plantas fue mayor cuanto menor fue la radiación de cultivo, mientras que en las encinas se observó el efecto contrario. Sin embargo, las diferencias dentro de los pinos entre las plantas de más sombra y el resto fueron las mayores (Figura 1). El diámetro del cuello de la raíz fue menor para T5 en ambas especies, mientras que no varió entre T40 y T100, lo que conllevó que los pinos de ese tratamiento tuviesen una esbeltez muy grande. El área foliar específica (SLA) fue mayor en T5 en ambas especies pero la diferencia fue muy pequeña en encina y notablemente superior en los pinos (Figura 1).

A pesar de esa mayor altura de los pinos de T5, la biomasa aérea decreció con la luz en ambas especies (Figura 2). También la biomasa de la raíz descendió con la luz, aunque en este caso se apreció un descenso muy acusado de T40 a T5. La relación entre biomasa aérea y raíz fue mayor para T5 en ambas especies, sin embargo, mientras en la encina ese aumento fue muy ligero, en los pinos fue especialmente grande (Figura 1).

La tasa de fotosíntesis durante el periodo invernal no mostró diferencias entre tratamientos en ninguna de las dos especies. En los pinos se observó cierta tendencia a que las plantas crecidas bajo sombra tuviesen menores tasas de fotosíntesis en marzo ($p=0.15$).

En abril, las nuevas raíces emitidas por las plantas de T100 desde el momento de la plantación fueron significativamente mayores que en el resto de los tratamientos en el pino ($F = 10,77$; $p=0,001$). Sin embargo en las encinas, las diferencias no resultaron estadísticamente significativas ($F = 1,67$; $p=0,22$) (Figura 2).

A finales de mayo no se observaron diferencias entre tratamientos en los parámetros de

fluorescencia. Al final del primer año en campo no se observaron diferencias de mortalidad entre los diferentes tratamientos: fue muy baja en pinos (en torno a un 5%) y algo mayor en encinas (alrededor del 30%). El crecimiento estuvo fuertemente afectado por el tratamiento previo de sombreado en pinos: en altura fue mayor cuanto mayor había sido la iluminación de cultivo, mientras que en diámetro los pinos de T100 crecieron significativamente más que el resto. Las encinas no presentaron diferencias significativas en el crecimiento (Figura 3).

DISCUSION

La plasticidad morfológica de ambas especies respecto a la luz fue muy contrastada. Las encinas sufrieron menores variaciones morfológicas por efecto de la sombra que los pinos especialmente los cultivados en sombra intensa. El efecto de ahilamiento, cuantificado por su mayor altura y relación entre biomasa aérea y radical sólo se observó en los pinos cultivados bajo sombra intensa. En la

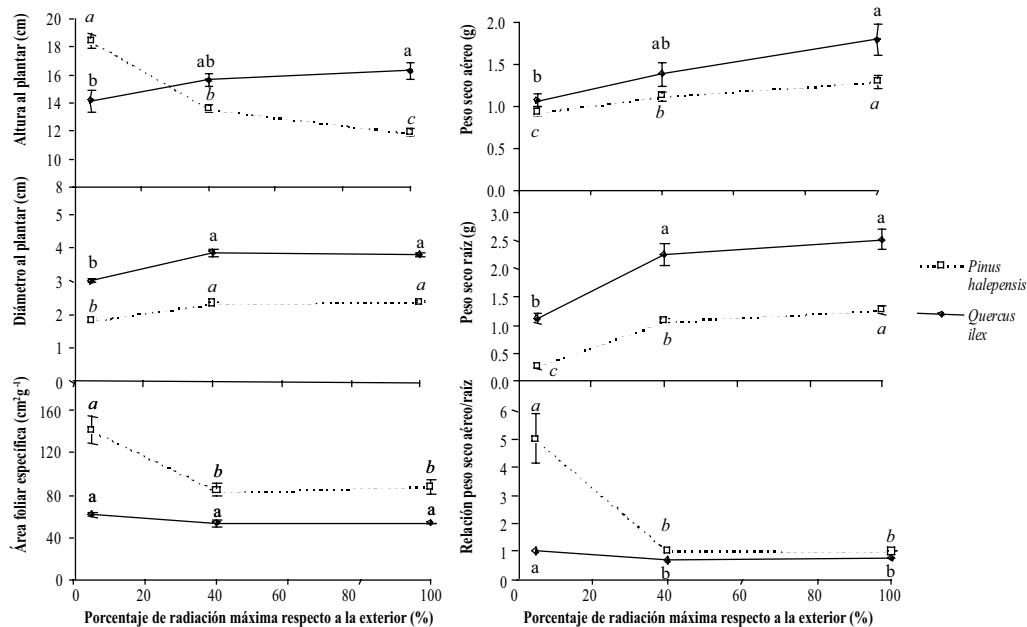


Figura 1. Relación entre los diferentes parámetros morfológicos de las plantas antes de la plantación y la radiación de cultivo ($n = 60$ para altura y diámetro; $n = 16$ para el resto de parámetros) Letras diferentes denotan medias del tratamiento diferentes dentro de cada especie. (Fisher LSD; $p < 0,05$)

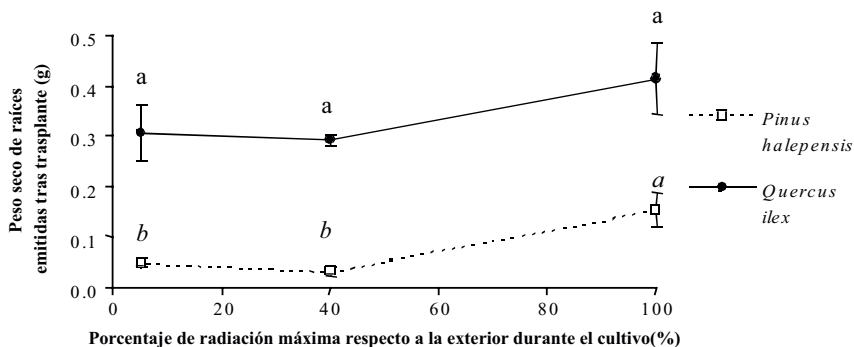


Figura 2. Relación entre la radiación de cultivo anterior a la plantación (abcisa) y la biomasa de nuevas raíces producidas desde el trasplante en noviembre hasta abril (ordenadas) ($n = 6$). Letras diferentes denotan medias del tratamiento diferentes dentro de cada especie. (Fisher LSD; $p < 0,05$)

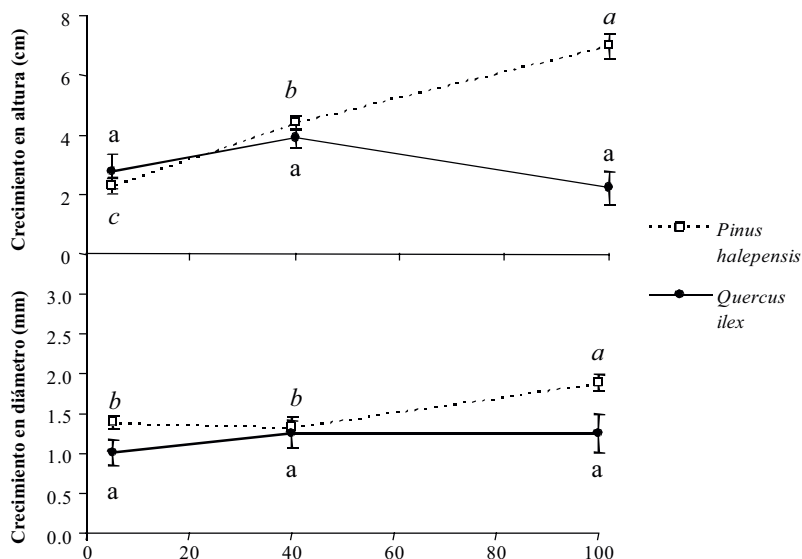


Figura 3. Relación entre la radiación de cultivo anterior a la plantación (abcisa) y el crecimiento durante el primer año en campo (ordenadas) ($n = 57$ para *Pinus halepensis*; $n = 40$ para *Quercus ilex*). Letras diferentes denotan medias del tratamiento diferentes dentro de cada especie. (Fisher LSD; $p < 0,05$)

encina, por el contrario, el escaso efecto observado sobre la altura pudo ser debido a que un gran porcentaje del crecimiento anual se concentró en los primeros meses tras la germinación cuando los tratamientos de luz aun habían sido aplicados. La sombra intermedia tuvo escasa influencia en la morfología de ambas especies. Esta falta de influencia ha sido constatado también en otras experiencias para *Quercus ilex* (ZAZO et al., 2001; VILLAR-SALVADOR et al., 2004). En cuanto a la

plasticidad fisiológica, resultó ser mucho menor que la morfológica. La sombra intensa sólo provocó un aumento de la concentración de clorofilas en pino. Es notable la falta de respuesta de la máxima capacidad fotosintética en una especie heliófila como el pino, que ha sido puesta en evidencia anteriormente en este y otros pinos mediterráneos (FERNÁNDEZ Y TAPIAS, 2005).

En ninguna de las especies se detectaron diferencias en la capacidad fotosintética ni a la

salida del vivero (en las curvas luz-fotosíntesis), ni en el trasplante tanto en condiciones de campo en primavera (mediciones de fluorescencia) como en condiciones semicontroladas durante el invierno. A pesar de la falta de diferencias en la capacidad fotosintética, en los pinos se observó que tanto la reanudación del crecimiento de la raíz tras el invierno, como el crecimiento en altura y diámetro durante todo el periodo vegetativo fueron más vigorosos, mientras que en la encina esa falta de diferencias en las tasas fotosintéticas se tradujeron en ausencia total de diferencias en cuanto a crecimiento de raíz y de parte aérea. Estas diferencias de crecimiento están probablemente ligadas a la mayor dependencia de la luz para acumular reservas de carbohidratos que tienen los pinos (MORENO *et al.*, 2005). No se puede sustentar esta hipótesis con datos medidos, pero es probable que los pinos crecidos sin restricciones de iluminación tuviesen una mayor cantidad de carbohidratos de reserva que los crecidos en sombra, lo que probablemente les confiera una mayor capacidad de crecimiento inicial.

Como conclusión, puede decirse que a la vista de los resultados, la encina puede ser sombreada incluso intensamente durante los meses más calurosos del cultivo sin producir una merma importante en su calidad. Los pinos cultivados bajo sombra intensa sí sufrieron una grave pérdida de calidad morfológica, especialmente por desequilibrio entre crecimiento de raíz y tallo, como cabía esperar. El sombreado intermedio no tuvo gran impacto sobre la morfología y fisiología, pero se observó un menor crecimiento tras el trasplante, lo que en medios más duros para la especie que el del presente experimento puede suponer una merma importante de la calidad.

Agradecimientos

Agradecemos a la U.D. de Anatomía, Fisiología y Genética de la ETSI Montes de Madrid por facilitar los medios para realizar las mediciones de concentración de clorofila.

BIBLIOGRAFÍA

- BARNES, J.D.B.; MANRIQUE, E.; ELVIRA, S. & DAVISON, A.W.; 1992. A Reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in the lichens and higher plants. *Environ. Exp. Bot.* 32: 85-100.
- FERNÁNDEZ, M. Y TAPIAS, R.; 2005. Influencia de la intensidad luminosa sobre la tasa fotosintética de los pinos españoles. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 20: 73-78.
- HEISKANEN, J.; 2004. Effects of pre- and post-planting shade on growth of container Norway spruce seedlings. *New Forests* 27: 101-114.
- MORENO, S.; VILLAR-SALVADOR, P. Y PEÑUELAS, J.L.; 2005. Dependencia del crecimiento radical de la fotosíntesis del momento en especies perennifolias mediterráneas. Implicaciones para el cultivo de planta. *En: S.E.C.F.-Gobierno de Aragón (eds.), Actas del IV Congreso Forestal Español.* CD-Rom. Gráficas Repes, S.C. Zaragoza.
- SMITH, T. & HUSTON, M.; 1989. A theory of the spatial and temporal dynamics of plant communities. *Plant Ecol.* 83: 49-69.
- VALLADARES, F. & PEARCY, R.; 2002. Drought can be more critical in the shade than in the sun: a field study of carbon gain and photo-inhibition in a Californian shrub during a dry El Niño year. *Plant Cell Environ.* 25: 749-759.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; ENRÍQUEZ, E. & PEÑUELAS RUBIRA, J.; 2004. Nursery cultivation regimes, plant functional attributes and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *Forest Ecol. Manage.* 196: 257-266.
- ZAZO, J.; PINAZO, O.; PLANELLES, R.; VIVAR, A.; CORNEJO L. Y LÓPEZ, M.; 2001. Estudio de la influencia de la fertilización nitrogenada e iluminación sobre atributos morfológicos y fisiológicos de brinzales de *Q. ilex* L. cultivado en vivero. Resultados tras el primer año de campo. *En: S.E.C.F.-Junta de Andalucía (eds.), Actas del III Congreso Forestal Español. Montes para la sociedad del nuevo milenio.* Coria Gráficas, S.A. Sevilla.