

PLASTICIDAD MORFOLÓGICA Y FISIOLÓGICA EN PLANTONES DE ALCORNOQUE, LENTISCO Y PINO CANARIO INDUCIDOS POR TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN Y SOMBREO

Vanessa C. Luis Díaz ¹*, Alberto Vilagrosa Carmona ¹, Marina Llorca Camarasa ¹, Encarni Hernández Lledó ² y V. Ramón Vallejo Calzada ¹

¹ CEAM. Fase V, Ciencias. Universidad de Alicante. Ap. Correos 99. 03080-ALICANTE (España).

*Correo electrónico: vc.luis@ua.es

² Dept. Ecología. Universidad de Alicante. Ap. Correos 99. 03080-ALICANTE (España)

Resumen

El estudio de la capacidad de respuesta de las plantas a tratamientos de vivero y la capacidad de modificación de su morfología y fisiología pueden informar sobre de la capacidad de aclimatación de la planta a diferentes condiciones ambientales. Se ha estudiado la plasticidad de variables morfológicas y fisiológicas inducida por la fertilización y el sombreado en alcornoque, lentisco y pino canario. Las plantas fueron cultivadas en vivero usando tres dosis de fertilización y dos niveles de sombreado. Los tratamientos influyeron de distinta manera en las variables analizadas. A nivel morfológico el lentisco mostró una mayor plasticidad global (Índice de plasticidad, IP = 0,58) que las otras dos especies estudiadas (0,46 y 0,50 alcornoque y pino canario, respectivamente). En relación a la fisiología, la especie que presentó mayor plasticidad fue el pino canario, con IP de 0,54, frente a un 0,30 y 0,46 del alcornoque y lentisco respectivamente. Las variables morfológicas analizadas mostraron una mayor plasticidad frente a los diferentes niveles del factor fertilización, mientras que el tratamiento de sombreado no fue lo suficientemente discriminante como para inducir grandes cambios en los parámetros analizados. Por el contrario, las variables fisiológicas respondieron con valores de plasticidad similares para ambos tratamientos.

Palabras clave: *Plasticidad, Fertilización, Sombreado, Calidad planta, Morfología, Fisiología*

INTRODUCCIÓN

Son muchos los factores que influyen en el establecimiento en campo de las especies forestales, las cuales se diferencian por los distintos requerimientos que presentan y por la capacidad de aclimatación de las mismas a las condiciones medioambientales, siendo disponibilidad de nutrientes y la luz dos de los requerimientos más importantes (LARCHER, 1995). La fertilización y el sombreado han sido herramientas tradi-

cionalmente utilizadas en las prácticas viverísticas en el cultivo de planta forestal para modificar la morfología y fisiología con el fin de aumentar su calidad y su supervivencia en último término (NAVARRO *et al.*, 2006). El papel que juegan las modificaciones producidas en ellas y su relación con el éxito en el campo en términos de adaptación al medio está aun por analizar en muchas de las especies mediterráneas que son frecuentemente utilizadas en las reforestaciones.

Es por ello que el estudio de la capacidad de respuesta de las plantas a tratamientos de vivero y la capacidad de modificación de su morfología y fisiología pueden dar una idea del grado de “plasticidad”, o sea, de la capacidad de aclimatación de la planta a diferentes condiciones ambientales (VALLADARES *et al.*, 2004). La capacidad de adaptación de los plantones a la alta o baja disponibilidad de recursos puede ocasionar cambios en su morfología, fisiología y en la capacidad de respuesta en campo frente a condiciones limitantes, información fundamental para determinar qué especies son más plásticas a la hora de repoblar determinados ambientes heterogéneos. Al mismo tiempo, no todas las variables tienen porqué mostrar la misma plasticidad, y algunas muestran diferente plasticidad dependiendo del tratamiento aplicado, por lo que puede resultar muy interesante conocer qué variables tendrán una mayor capacidad de respuesta y cuáles mostrarán un comportamiento menos plástico.

En este trabajo se estudió la plasticidad en vivero de tres especies mediterráneas alcornoque (*Quercus suber*), lentisco (*Pistacia lentiscus*) y pino canario (*Pinus canariensis*) sometidas a tratamientos de sombreo y fertilización mediante el análisis de diversas variables morfológicas y fisiológicas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material vegetal y cultivo de la planta: El cultivo de la planta se realizó en el vivero de en Santa Faz (Servicios territoriales de Alicante, Conselleria de Territori i Habitatge, Generalitat Valenciana). Fueron sembradas en enero 2005 empleando contenedores ForesPot® de 300 cc aportando el riego adecuado a las necesidades de cultivo. El sustrato de cultivo utilizado fue una mezcla de turba rubia fertilizada y fibra de coco (1:1 v/v). El cultivo se mantuvo durante 6 meses en vivero. El fertilizante aplicado fue Osmocote® con una concentración de macronutrientes N:P:K (12% N; 8% P₂O₅; 12% K₂O) y elementos esenciales (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) estableciéndose tres niveles de fertilización:

- Nivel 1: Fertilización de base aportada con la turba (57 mg NO₃⁻.dm⁻³ de sustrato; 69 mg

NH₄⁺.dm⁻³ de sustrato; 60 mg P.dm⁻³ de sustrato y 344 mg K.dm⁻³ sustrato).

- Nivel 2: fertilización base suplementada con 2 g.l⁻¹ de Osmocote.
- Nivel 3: fertilización base suplementada con 5 g.l⁻¹ de Osmocote.

Las plantas fueron separadas en dos lotes y colocadas en dos ambientes luminosos diferentes. Un bloque a pleno sol y otro en un umbráculo con un 40% de reducción de luz quedando un diseño factorial con 2 niveles de sombreo y tres dosis de fertilización.

Evaluación de variables morfológicas: Para la caracterización morfológica se utilizaron 10 plantas por tratamiento. Se midió la altura (H, cm) y el diámetro en el cuello de la raíz (D, mm). Las plantas fueron extraídas de los contenedores y las raíces fueron lavadas determinándose la longitud y superficie absorbente de la raíz mediante un escáner con adaptador de transparencias y se calculó el área foliar proyectada con un software para análisis de imágenes (WinRhizo, Régent Instruments Inc., Québec Canada). Tras secar las muestras en la estufa (60°C durante 48 horas) se obtuvieron las diferentes fracciones de biomasa así como otras variables derivadas (*Btot*: Biomasa Total; *R/S*: Relación Root/Shoot; *fRMR*: Relación entre raíces finas y *Btot*; *LMR*: Relación entre biomasa de hojas y *Btot*, *SMR*: Relación entre tallo y *Btot*; *ATR*: Superficie absorbente/Superficie transpirante; *SRL*: Longitud específica de la raíz; *SLW*: peso específico foliar, *LAR*: Relación Entre el área foliar y la *Btot*).

Evaluación de las variables fisiológicas. Se realizaron medidas de intercambio gaseoso y de fluorescencia de la clorofila en 5 plantas por tratamiento en el vivero. Las medidas de intercambio gaseoso (*A*: Fotosíntesis, *Gs*: Conductancia estomática y *E*: Transpiración) se realizaron a media mañana con un analizador de gases por infrarrojos (IRGA) Li-6400 (Li-COR Biosciences UK Ltd) y se calcularon la eficiencia en el uso del agua, tanto la instantánea como la intrínseca (*WUE* y *EI* respectivamente). Mediante fluorescencia de la clorofila con un flurímetro de luz modulada PAM-2001 (Walz, Effeltrich, Germany) se determinó la eficiencia cuántica del fotosistema II (Φ PSII) transporte

electrónico a media mañana (ETR) y la eficiencia máxima del PSII al alba (Fv/Fm).

Índice de Plasticidad (IP) se calculó de acuerdo con VALLADARES et al. (2000) mediante el valor medio máximo que alcanzaba la variable menos el valor medio mínimo dividido por el máximo. De esta forma el IP muestra un intervalo entre 0 (valor mínimo de plasticidad) y 1 (valor máximo).

Análisis estadístico: El análisis de los datos de morfología y fisiología se hizo mediante análisis de la varianza con la fertilización y el sombreado como factores. Cuando se dieron diferencias entre niveles de fertilización se realizó un contraste a posteriori (Tukey-b con un nivel de significación de $\alpha=0,05$). Cuando fue necesario se hicieron los análisis separando los tratamientos para profundizar en los distintos efectos. Los datos se transformaron cuando fue necesario para cumplir las condiciones de normalidad, linealidad y homocedasticidad del Anova. Los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS (v. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variaciones en la morfología frente a los tratamientos aplicados.

Todas las especies respondieron a ambos tratamientos, aunque la respuesta fue mucho más contrastada con la fertilización que con la radiación. Los plantones presentaron valores crecientes de casi todos los parámetros con la fertilización, excepto la relación R/S y fRMR que disminuyeron con la misma. El incremento en la fertilización puso de manifiesto un mayor crecimiento en altura de aquellos plantones sometidos a una radiación reducida, así como una disminución en el diámetro en el cuello de la raíz resultando más esbeltas. La biomasa total se incrementó significativamente con tasas crecientes de fertilizante. En todas las especies, la fertilización de los plantones favoreció el desarrollo de la fracción aérea, mientras que los plantones no fertilizados, destinaron mayores recursos a la producción de raíces. La biomasa total de raíces finas (diam. < 2 mm) mostró un aumento significativo con la fertilización en len-

tisco y pino canario y, además, en éste último la radiación también aumento dicha biomasa. En el alcornoque no se observó efecto de ninguno de los tratamientos sobre la biomasa de raíces finas.

Las diferentes condiciones de radiación afectaron de forma diferente a la distribución de los recursos subterráneos entre una especie y otra. Únicamente los plantones de alcornoque producidos a pleno sol desarrollaron mayor biomasa subterránea en relación a su biomasa aérea. En relación al área foliar de las plantas, ésta aumentó con la baja disponibilidad de luz. Por lo general, el cultivo a pleno sol no

Respuesta fisiológica a los tratamientos

La respuesta fisiológica de las plantas fue distinta en cada especie y dependiente de la variable analizada. La sombra es uno de los factores de estrés que limita la fotosíntesis y el crecimiento, pero al mismo tiempo puede resultar beneficiosa en condiciones de aridez ya que reduce la transpiración y el estrés que sufren las plantas (VALLADARES & PEARCY, 1997; FLORES & JURADO, 2003). En lentisco y pino canario se observaron mayores tasas de asimilación en aquellos plantones cultivados bajo una radiación plena mientras que en alcornoque no se observaron variaciones significativas con respecto al tratamiento de sombreado. La fertilización de los plantones resultó en una mayor WUE en todos los casos, pero mientras que una fertilización superior a 2 g.l⁻¹ no supuso ninguna mejora adicional en la WUE en lentisco, tanto alcornoque como pino canario precisaron de una mayor tasa de fertilización (5 g.l⁻¹) para incrementarla.

La eficiencia máxima fotoquímica (Fv/Fm) al alba fue en general baja en las tres especies, produciendo la fertilización un aumento de la misma y sin mostrar diferencias con respecto a la radiación. En cuanto a las principales variables relacionadas con la eficiencia del PSII en condiciones de luz, se observó en general un incremento de la eficiencia fotoquímica del PSII (ΦPSII) con la reducción de la radiación incidente. La ETR resultó ser mayor para aquellos plantones de ambas especies producidos bajo una radiación plena, mientras que sólo en lentisco se pudo observar cierta influencia de la fertilización, donde la ETR se incrementó en los plantones mejor nutridos.

Plasticidad

Diversos trabajos señalan que a mayor plasticidad fenotípica mayores son las probabilidades de sobrevivir frente a una perturbación natural originada en el medio de la planta (JOHNSON *et al.*, 1997; TOGNETTI *et al.*, 1998). Aunque la plasticidad de las especies fue diferente dependiendo de la variable analizada, la plasticidad global no mostró grandes diferencias entre especies alcanzando un valor promedio de 0,4 en el alcornoque y valores muy similares en el pino canario y el lentisco (0,52 y 0,51 respectivamente). Sin embargo, al analizarla según el tipo de variable y teniendo en cuenta el valor medio obtenido para todas las variables, a nivel morfológico fue el lentisco la especie que mostró una mayor plasticidad (Índice de plasticidad, $IP = 0,58$) con respecto a las otras dos (0,46 y 0,50 alcornoque y pino canario, respectivamente). En cambio, cuando analizamos la plasticidad en función de las variables fisiológicas, la especie que presentó mayor capacidad de adaptación fue el pino canario, presentando un IP de 0,54, frente a un 0,30 y 0,46 del alcornoque y lentisco, respectivamente.

La plasticidad fenotípica de una misma especie difiere según el rasgo o variable que se examine (VALLADARES, 2004). En general, las variables morfológicas analizadas mostraron una mayor variabilidad en respuesta a la disponibili-

dad de los recursos que las fisiológicas, presentando éstas últimas valores más bien intermedios e incluso bajos (Figura 1). Las variables morfológicas que mostraron mayor plasticidad con respecto a los tratamientos aplicados fueron la altura y la biomasa total mientras que dentro de las fisiológicas destacaron la WUE y el ETR.

La práctica totalidad de las variables morfológicas analizadas mostraron una mayor plasticidad frente a los diferentes niveles del factor fertilización, mientras que el tratamiento de sombreo no produjo cambios importantes en los parámetros analizados. Por el contrario, las variables fisiológicas respondieron con valores de plasticidad similares para ambos tratamientos, siendo la mayoría de estas útiles para evaluar los efectos de la fertilización, aunque no para la radiación, mostrando valores bajos de IP . Esto puede deberse a que el tratamiento de disminución de luz no fue lo suficientemente intenso como para que las especies se adaptaran al mismo, aunque hay diversos autores que proponen que algunas especies mediterráneas son poco plásticas en respuestas a la luz, como parte de una estrategia conservadora para adaptarse a las condiciones de sequía y altas temperaturas (LORTIE & AARSEN, 1996; VALLADARES *et al.*, 2002). La fotosíntesis, conductancia estomática y transporte electrónico resultaron ser variables que aportaron gran cantidad de información

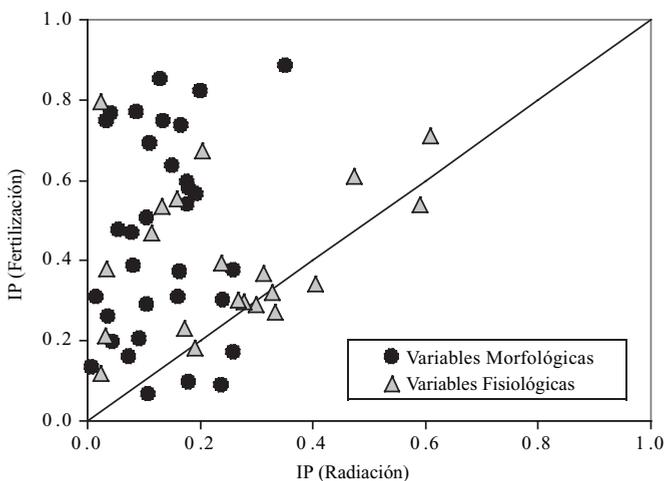


Figura 1. Valores de plasticidad en respuesta a los tratamientos de fertilización y sombreo para las diferentes variables morfológicas y fisiológicas

IP	<i>Q. suber</i>	<i>P. lentiscus</i>	<i>P. canariensis</i>
D	0,20	0,58	0,47
H	0,75	0,88	0,90
Btot	0,47	0,48	0,82
R/S	0,74	0,77	0,41
fRMR	0,20	0,75	0,32
LMR	0,50	0,31	0,15
SMR	0,69	0,64	0,68
ATR	0,56	0,82	0,72
SRL	0,26	0,13	0,35
SLW	0,18	0,26	0,37
LAR	0,60	0,38	0,40
A	0,21	0,40	0,67
Gs	0,35	0,33	0,21
E	0,31	0,37	0,37
WUE	0,40	0,55	0,80
PSII	0,32	0,61	0,47
ETR	0,30	0,59	0,73
FvFm	0,12	0,38	0,53

Tabla I. Índice de plasticidad para las variables morfológicas y fisiológicas en las tres especies

sobre la respuesta de la planta a los tratamientos al mostrar alta plasticidad frente a ambos.

CONCLUSIONES

Las plantas respondieron con cambios morfológicos y fisiológicos a los tratamientos aplicados, siendo más pronunciados éstos frente al tratamiento de fertilización donde los valores de plasticidad fueron mayores. La plasticidad global fue similar para las tres especies mientras que al analizar la plasticidad morfológica y fisiológica por separado, el lentisco presentó mayor plasticidad morfológica y el pino canario mayor plasticidad fisiológica.

Con los resultados obtenidos se ha permitido detectar no sólo qué especies muestran mayor plasticidad sino también qué variables pueden ser más útiles a la hora de evaluar la respuesta a los tratamientos aplicados.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de los proyectos CREOAK (QLRT-2001-01594), TRESECO (CGL 2005-07946-CO2/ BOS) y XILREFOR (GRUPOS 03/155) y

al Programa Torres Quevedo del MEC del cual forma parte la Dr. Vanessa Luis. La Fundación CEAM está financiada por la Generalitat Valenciana y Bancaja.

BIBLIOGRAFÍA

- FLORES, J.F. & JURADO, E.; 2003. Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *J. Veg. Sci.* 14: 911-916.
- JOHNSON, J.D.; TOGNETTI, R.; MICHELOZZI, M.; PINZAUTI, S.; MINOTTA, G. & BORGUETTI, M.; 1997. The interaction of light environment and soil fertility on seedling physiology. *Physiol. Plantarum* 101: 124-134.
- LARCHER, W.; 1995. *Physiological Plant Ecology*. 5th ed. Springer-Verlag, Berlin.
- LORTIE, C.J. & AARSEEN, L.W.; 1996. The specialization hypothesis for phenotypic plasticity in plants. *Int. J. Plant Sci.* 157: 484-487.
- NAVARRO, R.M.; DEL CAMPO, A. Y CORTINA, J.; 2006. Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de planta. *En: Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Estado actual de conocimientos*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

- TOGNETTI, R.; MINOTTA, G.; PINZAUTI, S.; MICHELOZZI, M. & BORGUETTI, M.; 1998. Acclimation to changing light conditions of long-term shade-grown beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings of different geographic origins. *Trees* 12: 326–333
- VALLADARES, F & PEARCY, R.W.; 1997. Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. *Plant Cell Environ.* 20: 25-36.
- VALLADARES, F.; CHICO, J.M.; ARANDA, I.; BALAGUER, L.; DIZENGREMEL, P.; MANRIQUE, E. & DREYER, E.; 2002. Greater high light seedling tolerance of *Quercus robur* over *Fagus sylvatica* is linked to a greater physiological plasticity. *Trees* 16: 395.
- VALLADARES, F.; ARANDA, I. Y SÁNCHEZ-GOMEZ, D.; 2004. La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. *En*: F. Valladares (ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*: 335-370. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- VALLADARES, F.; WRIGHT, S.J.; LASSO, E.; KITAJIMA, K. & PEARCY, R.W.; 2000. Plastic phenotypic responses to light of 16 congeneric shrub from a Panamanian Rainforest. *Ecology* 81: 1925-1936.