

REFORESTACIÓN CON QUERCÍNEAS DE TIERRAS AGRÍCOLAS ABANDONADAS EN AMBIENTES MEDITERRÁNEOS

Quercus afforestations in abandoned mediterranean cropland

J. M. Rey Benayas¹ y A. Camacho Cruz²

¹ Dpto. Interuniversitario de Ecología, Sección de Alcalá, Edificio de Ciencias. Universidad de Alcalá. 28871-ALCALÁ DE HENARES (Madrid, España)

² Departamento de Ecología y Sistemática Terrestres. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Apartado Postal 63. 29200-SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS (Chiapas, México)

Resumen

Quercus ilex y otras quercíneas son especies estructurales del monte mediterráneo y, en consecuencia, de especial relevancia en proyectos de restauración de la vegetación de tierras agrícolas abandonadas. En un experimento de campo antiguo, realizado con *Q. ilex* y que consistió en 4 combinaciones de riego en verano y sombra artificial, manejamos 12 parcelas reforestadas durante 3 años, mientras que 4 se mantuvieron como control. Posteriormente los tratamientos fueron interrumpidos durante 6 años. Comprobamos la hipótesis de que la manipulación del ambiente durante el establecimiento de *Q. ilex* mejora su éxito futuro para sugerir prácticas adecuadas de reforestación. La mortandad de las encinas fue similar en las distintas parcelas durante el periodo de interrupción del manejo. La sombra artificial previa disminuyó el crecimiento anual en altura, proyección de la copa y volumen, pero no en diámetro del tallo, una vez interrumpido el manejo. Algunas evidencias apuntan a limitantes abióticos y efectos de competencia intra-específica como responsables de este patrón de crecimiento. La cobertura de las encinas en las parcelas fue marginalmente afectada después del periodo combinado de manejo y manejo interrumpido. El riego en verano y la sombra artificial previos incrementaron el porcentaje de individuos reproductores, siendo este efecto independiente del tamaño de los juveniles. Experimentos largos como éste son escasos en la literatura científica pero valiosos para optimizar la restauración activa de distintos ecosistemas del mundo. Basados en nuestra experiencia, proponemos un modelo de revegetación en forma de pequeñas manchas densas, en vez de las plantaciones lineales actualmente al uso.

Palabras clave: Crecimiento, Mortalidad, Reproducción, Riego, Sombra artificial

Abstract

Quercus ilex and other *Quercus* species are major structural components of the natural forests and woodlands in Mediterranean regions, and thus a valuable species for revegetation of abandoned cropland. In a field experiment consisting in four combinations of summer irrigation (presence-absence) and artificial shading (presence-absence), we managed 12 plots planted with 50 seedlings

each for 3 years, and 4 plots remained as unmanaged, control plots. Then these treatments were interrupted for 6 years. We measured survival, above-ground growth, and reproductive capability to test the hypothesis that the manipulation of the environment during *Q. ilex* establishment improves its performance and to suggest adequate forestation practices. Sapling mortality did not differ among treatment plots during the post-treatment period. Previous artificial shading decreased sapling Annual Growth Rate in height, crown projected area, and volume, but not in stem diameter, after it was interrupted. Some evidence points to both abiotic and competition effects as responsible for the growth pattern. Plot cover by the saplings was only marginally affected by the treatments after the treatment plus post-treatment period. Previous summer irrigation and artificial shading increased the percentage of reproductive saplings among treatment plots, and this effect was independent of sapling size. There was a trade-off between growth and reproductive capability. Management of plantations during the first year only would likely provide a better investment/benefit ratio. Artificial shading provided more benefits than summer irrigation during the treatment period but, in the long run, these benefits were approximately equal. We do not advise applying both treatments simultaneously and the technique to be chosen would depend on the relative costs of irrigation and artificial shading. Long experiments under field conditions like the one presented here are scarce in the scientific literature but very valuable to optimize active restoration of Mediterranean abandoned cropland and other ecosystems of the world.

Key words: *Artificial shading, Growth, Mortality, Reproduction, Summer irrigation*

INTRODUCCIÓN

Una serie de cambios socioeconómicos y tecnológicos ha resultado en el abandono de largas extensiones de tierra cultivable durante los últimos años. Éstas y otras áreas deforestadas pueden ser sujeto de la sucesión secundaria o restauración pasiva, o bien pueden ser plantadas con árboles y arbustos nativos para reducir la erosión del suelo, incrementar la diversidad biológica y crear sumideros de carbono (restauración activa, REY BENAYAS et al., 2003; VALLEJO et al., 2003). El éxito de las plantaciones requiere un manejo apropiado (NAVARRO-CERRILLO et al., 1997). Como es caro, generalmente se aplica durante un periodo de tiempo reducido después de que la plantación se ejecuta. A partir de la interrupción del manejo los plantones se enfrentan a un ambiente distinto al de su establecimiento. En consecuencia, es importante el evaluar su respuesta una vez que el manejo activo cesa.

Dos factores importantes que limitan el establecimiento y crecimiento de los plantones en ambientes mediterráneos, particularmente en tierras agrícolas abandonadas, son la radiación excesiva y la escasa disponibilidad de agua (VALLADARES & PUGNAIRE, 1999). Una especie valiosa para

la revegetación de este tipo de hábitat es *Quercus ilex* L. sp. *ballota* (Desf.) Samp., un componente estructural relevante en los montes mediterráneos del oeste de Europa y norte de África.

En este trabajo queremos evaluar la respuesta de unos plantones de encina manejados después de que se interrumpieran los tratamientos utilizados para facilitar su implantación. Esperamos que los diferentes fenotipos inducidos silviculturalmente respondan de una manera diferente al estrés del clima mediterráneo porque la función de las plantas puede ser influida tanto por el ambiente presente como por el ambiente pasado (BAZZAZ, 1996).

MÉTODOS

Sitio de estudio y experimento de campo

En 1993 se realizó una plantación de *Q. ilex* en una tierra agrícola abandonada en Toledo y se aplicó un manejo experimental durante tres años consecutivos. El diseño experimental incluyó cuatro combinaciones de riego en verano (riego o no riego) y sombra artificial (sombra o no sombra), con cuatro réplicas por combinación

(ver detalles en REY BENAYAS, 1998). Los tratamientos de sombra artificial y riego en verano se interrumpieron en el invierno de 1996. A partir de ese momento, todos los plantones se han desarrollado en las condiciones de radiación incidente y precipitación que proporciona el clima local. Este experimento fue visitado de nuevo en diciembre del 2001 para evaluar el éxito de los juveniles de encina.

Medidas y análisis

Los parámetros que se examinaron en los plantones de las diferentes parcelas fueron mortalidad, biometría aérea, cobertura de la parcela, porcentaje de plantones aparentemente muertos que rebrotaron una vez que el manejo fue interrumpido y porcentaje de plantones vivos que producían bellotas por parcela. Testamos los efectos del riego en verano y de la sombra artificial, y de su interacción, una vez que estos fueron interrumpidos en las cinco medidas anteriormente señaladas. Los análisis consistieron básicamente en ANOVA de dos vías, test de Tukey y ANCOVAS.

RESULTADOS

Mortalidad y rebrote

El riego y la sombra aplicados durante los tres años del periodo de manejo resultó en efectos

positivos de la supervivencia de los juveniles al cabo de nueve años (Figura 1). Los conteos de mortandad fueron similares en los tratamientos de riego, sombra y riego+sombra, y estas parcelas manejadas tuvieron una mortandad cuatro veces inferior a las parcelas control. La mortandad de los juveniles fue similar en las distintas parcelas durante el periodo de manejo interrumpido.

El porcentaje de juveniles aparentemente muertos al final del periodo de manejo y que rebrotaron tras su interrupción fue similar en las distintas parcelas, aunque existe una tendencia a mayor capacidad de rebrote en los juveniles bajo sombra artificial. Los valores de rebrote en las diferentes parcelas oscilaron entre el 11% en el control y el 46% en las parcelas de riego y sombra.

Crecimiento y cobertura de las parcelas

Excepto para el diámetro del tallo, la sombra artificial previa redujo el crecimiento de los juveniles tras la interrupción del manejo, mientras que el riego tuvo un efecto muy pequeño en todas las medidas de crecimiento. El crecimiento del diámetro no estaba correlacionado con la mortandad. Sin embargo, el crecimiento en altura, CPA y volumen estaba correlacionado positivamente con la mortandad, un efecto de la densidad. Cuando se introduce la mortandad en los modelos de crecimiento en altura, CPA y volumen, el efecto de la sombra artificial se redujo (por ejemplo,

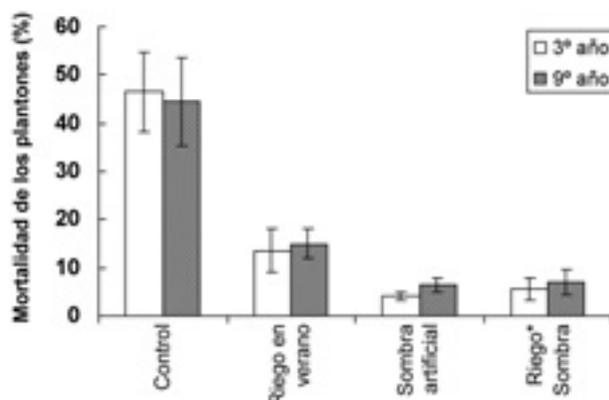


Figura 1. Barras rayadas: conteos acumulados de la mortandad de los juveniles de *Q. ilex* en las condiciones producidas por los distintos tratamientos aplicados durante tres años y seis años adicionales de manejo interrumpido. Como referencia, la figura incluye los conteos de mortandad durante el periodo de manejo (barras blancas, Rey Benayas, 1998). Las distintas letras indican diferencias estadísticas con un nivel de $P=0.05$ según un test de Tukey. La mortalidad durante los nueve años es menor que la mortalidad durante los tres primeros años en las parcelas control porque el rebrote superó la mortalidad adicional

para el volumen ANOVA $p < 0.0001$ y ANCOVA $p = 0.0019$).

A los nueve años, las medidas biométricas finales de los juveniles no difirieron entre tratamientos para el diámetro del tallo y volumen, pero había una tendencia a diferir en altura y CPA ($p = 0.11$ y 0.1 , respectivamente). La cobertura de las parcelas fue también poco influenciada por los tratamientos ($p = 0.11$), variando entre un 38% en las regadas y un 23% en el control. Las medidas biométricas finales de los juveniles estaban correlacionadas con sus tasas de crecimiento respectivamente excepto en el caso del volumen.

Reproducción

El volumen de los juveniles y la presencia de bellotas estaban correlacionados ($r_s = 0.41$, $P < 0.0001$, $n = 653$). El ANCOVA que incluyó dicho volumen como una covariable resultó en efectos significativos de los tratamientos previos de sombra artificial ($p = 0.016$) y de la interacción riego-sombra ($p = 0.03$) sobre el porcentaje de juveniles reproductores. El manejo en el pasado favoreció la reproducción de los juveniles, siendo el promedio de juveniles reproductores de un 15% en las parcelas manejadas y de un 2% en el control.

DISCUSIÓN

El éxito de los juveniles de *Q. ilex* depende del manejo previo

En general, como predecimos, el éxito de los juveniles de *Q. ilex* plantados en tierras agrícolas abandonadas está influido por las condiciones ambientales previas creadas por el manejo y, consecuentemente, respondieron de una forma diferente al estrés climático. Este resultado es consistente con investigaciones realizadas con diferentes especies, formas de crecimiento y tipo de ecosistemas, y para una variedad de factores limitantes tales como la luz, el agua y los nutrientes.

En respuesta a la hipótesis testada, los juveniles de las parcelas que fueron manejadas para reducir la fuerte radiación incidente y el estrés hídrico tuvieron claramente más éxito que los juveniles no manejados durante los tres primeros años del experimento (REY BENAYAS, 1998), pero este éxito no

fue tan claro después de la interrupción del manejo. El ambiente previo no afectó a la mortandad posterior durante un periodo de tiempo largo.

El crecimiento fue más lento en los ambientes previos menos severos debido a la sombra artificial excepto para el diámetro del tallo. Este resultado es una evidencia de que el crecimiento es flexible y habitualmente regulado a tasas óptimas en vez de máximas (ARENDRT, 1997). La reducción en el crecimiento aéreo puede ser el resultado de: 1) el manejo aceleró la ontogénesis de los plantones en comparación con los plantones en parcelas no manejadas y, como consecuencia de ello, se puede observar un compromiso entre el crecimiento y la capacidad de reproducción; 2) una mayor competencia entre juveniles, particularmente por el agua, en las parcelas manejadas; 3) constricciones en el crecimiento determinadas por el ambiente previo; 4) los recursos invertidos en crecimiento aéreo en condiciones ambientales menos severas cuando se aplicó el manejo pueden haber sido derivados hacia el almacenamiento de carbono o defensas basadas en el carbono, permitiendo a los juveniles utilizar los recursos más efectivamente cuando el ambiente se volvió más severo (ESTIARTE Y PEÑUELAS, 1999). Como hay más plantones reproductores en las parcelas que fueron manejadas, independientemente del tamaño alcanzado por estos, concluimos que la disminución observada del crecimiento es un resultado de la capacidad de los juveniles de *Q. ilex* para ajustarse a la variación del ambiente. Esta capacidad ha sido documentada para rasgos relacionados con la morfología, anatomía y fisiología.

Dos evidencias sugieren que al menos una parte de la reducción en el crecimiento aéreo es el resultado de la competencia intraespecífica entre juveniles: 1) las correlaciones positivas entre las medidas de crecimiento y la mortalidad; y 2) la disminución de la varianza absorbida por los tratamientos previos sobre el crecimiento cuando la mortalidad se incluye en los modelos de tasas de crecimiento. Proponemos la hipótesis de que

Conclusiones para el manejo

El manejo de plantaciones es caro y su concentración reduce los costes. Parcelas como las

estudiadas en este experimento pueden actuar como fuente de propágulos de *Q. ilex* en paisajes agrícolas deforestados y ser útiles para el establecimiento natural de esta especie.

Como la primera estación seca es un cuello de botella para la supervivencia de los plántones, el manejo de las plantaciones solamente durante el primer año proporcionaría probablemente un mejor balance entre la inversión y los beneficios obtenidos. En general, la sombra artificial proporcionó mayores beneficios –cobertura de las parcelas– que el riego durante el periodo de manejo. Pero a la larga, los beneficios en cobertura y el porcentaje de individuos reproductores tiende a ser aproximadamente igual. Estos beneficios no se sumaron en las parcelas con tratamiento combinado, por lo que desaconsejamos aplicar ambos tratamientos simultáneamente. El uso de sombra artificial o riego en verano debe seleccionarse en función del coste de cada técnica en cada caso. Experimentos largos en condiciones de campo como el presentado aquí serán valiosos para optimizar la inversión de recursos en la restauración activa de tierras agrícolas abandonadas en ambientes mediterráneos y otros ecosistemas del mundo (HOOPER *et al.*, 2002).

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el proyecto REN2000-745 de la CICYT, Ministerio de Ciencia y Tecnología). Comenzó con el proyecto *Estudio sistémico de alternativas a los cambios de usos del suelo en zonas de agricultura tradicional* (Comunidad de Castilla-La Mancha). Agradecemos la ayuda del personal de la finca experimental La Higuera, del Centro de Ciencias Medioambientales del CSIC, y de C. Lacasta, J. Pastor, L. Balaguer, A. Escudero, P. Villar y M. A. Zavala.

BIBLIOGRAFÍA

- ARENDRT, J.D.; 1997. Adaptive intrinsic growth rates: an interpretation across taxa. *Quarterly Rev. Biol.* 72: 149-177.
- BAZZAZ, F. A.; 1996. *Plants in changing environments: linking physiological, population, and community ecology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- ESTIARTE, M. Y PEÑUELAS, J.; 1999. Excess carbon: The relationship with phenotypical plasticity in storage and defense functions of plants. *Orsis* 14: 159-203.
- HOOPER, E.; CONDIT, R. & LEGENDRE, P.; 2002. Responses of 20 native tree species to reforestation strategies for abandoned farmland in Panama. *Ecol. Appl.* 12: 1626-1641.
- NAVARRO-CERRILLO, R.M.; DEL CAMPO, A. Y SERRADA-HIERRO, R.; 1997. Supervivencia de cinco especies forestales en función de los procedimientos de preparación del suelo en el Parque Natural de los Montes de Málaga. *Cuad. Soc. Esp. Cie. For.* 4: 113-118.
- REY BENAYAS, J.M.; 1998. Growth and mortality in *Quercus ilex* L. seedlings after irrigation and artificial shading in Mediterranean set-aside agricultural lands. *Ann. Sci. For.* 55: 801-807.
- REY BENAYAS, J.M.; ESPIGARES, T. Y NICOLAU, J.M. (EDS.); 2003. *Restauración de ecosistemas mediterráneos*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares.
- VALLADARES, F. & PUGNAIRE, F.I.; 1999. Tradeoffs between irradiance capture and avoidance in semi-arid environments assessed with a crown architecture model. *Ann. Bot.* 83: 459-469.
- VALLEJO, R.; CORTINA, J.; VILAGROSA, A.; SEVA, J.P. Y ALLOZA, J.A.; 2003. Problemas y perspectivas de la utilización de leñosas autóctonas en la restauración forestal. En: J.M. Rey Benayas, T. Espigares y J.M. Nicolau (eds.), *Restauración de ecosistemas mediterráneos*: 11-42. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares.