

¿SEMBRAR O PLANTAR ENCINAS (*QUERCUS ILEX* SUBSP. *BALLOTA*)? IMPLICACIONES DE LA MORFOLOGÍA Y FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA RADICULAR

Jesús Pemán García¹ y Eustaquio Gil Pelegrín²

¹ Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal. Universidad de Lleida. c/Rovira Roure 191. 25199-LLEIDA (España). Correo electrónico: peman@pvcf.udl.es

² Unidad de Recursos Forestales. CITA-Diputación General de Aragón. Apartado 727. 50080-ZARAGOZA (España). Correo electrónico: egilp@aragon.es

Resumen

La plantación y la siembra han sido los métodos usados tradicionalmente en las repoblaciones para la introducción de la encina, existiendo en la actualidad posicionamientos muy dispares entre Comunidades Autónomas sobre cual de ellos debe utilizarse. El conocimiento de la morfología y de la funcionalidad del sistema radicular que desarrolla la encina de forma natural sin limitación a su crecimiento y el que se desarrolla en un contenedor forestal, puede contribuir a la elección del método de repoblación más adecuado. Se resume el grado de conocimiento sobre la cinética, morfología y funcionalidad, este último en cuanto a captación de agua, del sistema radicular de la encina en ambos supuestos. El cultivo de la encina en un medio con limitación en profundidad (20 cm) produce importantes modificaciones morfológicas y funcionales en el sistema radicular de la planta respecto de su patrón natural. Los sistemas radiculares naturales son más eficientes en la exploración del suelo y en la captación de agua. Estos resultados sugieren que la modificación radicular que realizan los contenedores forestales podría influir en el establecimiento de la planta de encina en el monte, sobre todo en sus ambientes más xéricos.

Palabras clave: *Conductividad hidráulica radicular, Cinética y morfología radicular, Método de repoblación*

INTRODUCCIÓN

La encina, ha sido una especie frecuentemente empleada en las repoblaciones forestales en España desde muy antiguo, aunque su uso no se ha generalizado hasta hace poco tiempo. Es a partir de las normas de fomento de forestación de tierras agrarias, consecuencia de la Directiva UE 2080/92, cuando la encina adquiere un protagonismo principal en estas actuaciones. La superficie total forestada en España con cargo a

este programa durante el periodo 1993-99 ascendió a 451.120 ha, de las cuales 137.954 ha correspondieron a plantaciones monoespecíficas y mixtas de esta especie, que fue la más utilizada. Su empleo generalizado, gracias a su gran amplitud ecológica, ha llevado consigo la realización de numerosos ensayos experimentales con la finalidad de conocer su respuesta a diferentes tratamientos. Así, se ha valorado su respuesta al método de repoblación, a los procedimientos de preparación del suelo, a los

tubos protectores y al sombreado, a la fertilización, al riego, al endurecimiento, al empleo de arbus-tos acompañantes, al grado de cobertura de la semilla y al empleo de herbicidas. Uno de los aspectos más controvertidos lo constituye el método de repoblación, ya que aunque se ha repoblado de forma indistinta mediante siembra o plantación, hoy en día, estas alternativas están muy marcadas en ciertas Comunidades Autónomas. La utilización de la siembra fue, como en la mayoría de las especies, el primer método utilizado por su similitud con la diseminación natural. Aunque ya muy pronto los selvi-cultores recomendaron con carácter general las plantaciones, utilizándose para la encina planta en contenedor. En la actualidad, los contenedo-res forestales disponen de dispositivos que evitan la espiralización y favorecen el autorepicado de la raíces. Para esta especie, dado el carácter pivotante del sistema radicular, se recomiendan que tengan una profundidad entre 15 y 20 cm, con volúmenes mínimos de 300 cm³ y una sección de la boca entre 25 y 30 cm² para la produc-ción de planta de 1 savia. En la actualidad, ante la extensión del uso de esta especie se está volviendo a utilizar las siembras, por no pocos repobladores, siendo recomendado como el mejor método de repoblación para esta especie (MONTROYA, 1989; GÓMEZ-MAMPASO Y OCAÑA, 1997), aunque algunos autores lo limitan a esta-ciones próximas a sus óptimos ecológicos (GÓMEZ-MAMPASO Y OCAÑA, 1997). Las siembras que se ejecutan, hoy día, se realizan por golpes, colocando varias bellotas en cada uno de ellos y utilizando bellotas de calidad, de origen conocido, con buen estado sanitario, un peso mínimo y un control de los predadores median-te el empleo de tubos protectores. Los resultados publicados hasta la fecha sobre los ensayos del método de repoblación son dispares, ya que en algunos casos no hay efectos significativos entre la siembra y la plantación (CARRERAS et al., 1997; SEVA et al., 2004), mientras que en otros fueron claramente mejor las plantaciones (IGLESIAS, 2004) o las siembras (PORRAS et al., 2004). Sembrar o plantar, además de otras dife-rencias, para la encina tiene implicaciones muy diferentes en cuanto al desarrollo de su sistema radicular aunque, como otros aspectos de su morfología, su desarrollo es función de su geno-

tipo y de las condiciones del medio. El conoci-miento de la morfología y de la funcionalidad del sistema radicular que desarrolla la encina de forma natural sin limitación a su crecimiento y el que se desarrolla en un contenedor forestal estándar puede contribuir a la elección del méto-do de repoblación más adecuado.

El objetivo que se pretende con esta comuni-cación es resumir el grado de conocimiento existente que se tiene actualmente sobre la ciné-tica, morfología y funcionalidad del sistema radicular de la encina, completado con datos propios en fase de publicación.

CINÉTICA Y MORFOLOGÍA DEL SISTEMA RADICULAR

En la encina, una vez germinada la bellota, se inicia rápidamente el crecimiento de su radí-cula dando lugar a su raíz principal. Es caracte-rístico en el género *Quercus* el rápido desarrollo del pivót, registrándose en la encina los valores máximos durante los primeros días de creci-miento. En un ensayo con minirizotrones y en condiciones controladas, los valores máximos registrados de crecimiento en longitud del pivót han variado entre 1.5 y 1.9 cm.día⁻¹ mientras que los del sistema radicular completo han variado entre 6 y 12 cm.día⁻¹. Estos valores máximos se pueden alcanzar antes de los 60 días, aunque si se siembra con bellotas pregerminadas se adelantan a los 30 días. A los 60 días de la siembra de bellotas pregerminadas, el pivót ha alcanzado las dos terceras partes de su longitud final (Figura 1a). Una vez iniciado el crecimiento de la raíz este continúa hasta que las condiciones ambientales sean desfavorables, manteniéndose la actividad radicular a lo largo de todo el perio-do de crecimiento. Aunque el periodo de activi-dad radicular es muy variable en función de las condiciones de la estación, se ha registrado activi-dad radicular hasta el día 22 de noviembre, lo que implica un periodo de crecimiento superior a 200 días. No se ha observado un cese genera-lizado de la actividad radicular durante los meses de verano, aunque si se ha producido una reducción considerable del crecimiento, que se recuperó, posteriormente, en el otoño. Se han registrado valores medios diarios de crecimien-

to en longitud de todo el sistema radicular 5.5 cm.día^{-1} , creciendo el pívot una media de 0.7 cm.día^{-1} . Estos valores son similares a los descritos para *Q. robur* y *Q. suber* (RIEDACKER et al., 1983; PARDOS, 2000). La tasa de crecimiento diario puede variar en función de la disponibilidad de agua, como ha descrito PARDOS (2000) para *Q. suber*. En esta especie, se registraron variaciones de 0.66 a 0.85 cm.día^{-1} con la disminución de la disponibilidad hídrica. Estos valores pueden justificarse a partir de la plasticidad radicular que tienen estas especies y que CANADELL et al. (1999) describieron, cuando observaron que el fuerte carácter ortogeotrópico de la raíz de la encina se podía perder en los árboles adultos y en los ambientes mésicos. El sistema radicular de la encina presenta una raíz claramente ortogeotrópica y profunda con varias raíces de primer orden que tuvieron el mismo carácter y profundizaron igual que la principal (Figura 1b). Los valores de profundidad registrados en la encina, durante su primer periodo vegetativo alcanza valores medios cercanos al metro (97 cm) con una densidad de raíces de primarias de 1.6 cm^{-1} . Hay un número reducido de raíces primarias con un carácter ortogeotrópico teniendo, la mayoría, un carácter plagiogotrópico o semiplagiogotrópico. El mayor desarrollo de estas raíces se registra en los centímetros más superficiales, 20 a 60 cm. Estas raíces son sensiblemente menores en longitud a las ortogeotrópicas

(entre 7 y 13 cm), con una vida media también más reducida.

El sistema radicular de las plantas de encina, cultivadas en contenedor forestal, se encuentra modificado por las características de los envases (Figura 2a). Consecuencia de estos dispositivos, el sistema radicular de la planta tiene la longitud del pívot limitado a la profundidad del contenedor, que suele ser oscilar entre 15 y 20 cm. Está dirigido hacia la parte basal del envase, haciendo que se genere un sistema radicular lateral ortogeotrópico y no más plagiogotrópico, como le correspondería por el tipo de repicado del pívot (RIEDACKER et al., 1982). La continuidad del repicado aéreo que sufre la raíz, evita que se desarrollen nuevas raíces pivotantes de reemplazo, produciéndose una mayor densidad de raíces primarias que puede superar el doble de la registrada cuando no hay repicado aéreo. Las diferencias entre estos dos sistemas radiculares, indican que el sistema generado sin limitación al crecimiento, es dos veces más largo, tiene una mayor longitud y proporción de raíces finas, a la vez que tiene un mayor diámetro medio y volumen radicular (Tabla 1). Al contrario, las raíces generadas en el contenedor forestal tienen una mayor longitud de raíces gruesas ($d > 4.5 \text{ mm}$) y una mayor proporción de las mismas. La longitud específica radicular (SRL), como índice que valora la relación beneficio (longitud)/coste (biomasa) del sistema radicular, es del orden del

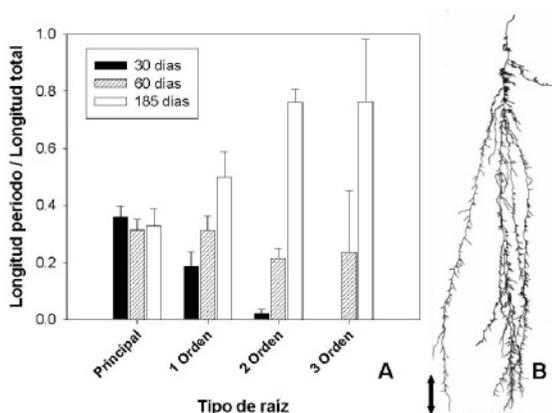


Figura 1. Cinética (A) y morfología (B) radicular de *Quercus ilex subsp. ballota* cultivado en minirizotrófon de 1 m de longitud (flecha = 10 cm)

	AR (cm ²)	VR (cm ³)	LR (cm)	SRL (m.g ⁻¹)
<i>Minirizotrófon 1 m</i>	96.6 (7.5)	4.3 (0.3)	617 (59)	3.7 (0.37)
<i>Contenedor forestal</i>	56.8 (4.8)	1.7 (0.2)	305 (36)	2.1 (0.26)

Tabla 1. Morfología radicular de las plantas de encina. Área (AR), Volumen (VR), Longitud total de las raíces de diámetro superior a 0.5 mm (LR) y longitud específica radicular (SRL). Las medias están acompañadas de su error estándar

doble en los sistemas sin restricción frente al del contenedor forestal.

La morfología en las plantas procedentes de plantación muestra un crecimiento reducido en altura del tallo, al igualarse al final del periodo vegetativo la altura de las plantas que proceden de siembra con las de plantación. La ramificación radicular de estas plantas muestra el fuerte carácter ortogotrópico de las raíces primarias (Figura 2b). Tan sólo las ubicadas en la parte superior del cepellón muestran un carácter más plagiotrópico y/o subhorizontal. El desarrollo radicular fue muy variable, con un número de raíces nuevas primarias que puede variar entre 11 y 38. La máxima profundidad alcanzada varía entre 70 y 80 cm, y la máxima distancia horizontal oscila entre 38,5 cm y 45,6 cm.

FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA RADICULAR

Las dos funciones primarias de los sistemas radiculares son la de adquisición de los recursos

del suelo, principalmente agua e iones disueltos, y la de anclaje. Otras funciones como las de almacenamiento, síntesis de reguladores de crecimiento, propagación y dispersión, pueden ser secundarias. En el medio mediterráneo, uno de los numerosos mecanismos de los que disponen las plantas, para tolerar la sequía, es disponer de un sistema de absorción eficiente. Este sistema se caracteriza, entre otros aspectos, por ser profundo y muy ramificado para poder absorber agua de un gran volumen de suelo. La influencia que la profundidad del sistema radicular tiene sobre la supervivencia en especies del género *Quercus*, en los sitios secos, ha sido ampliamente constatada (KOZŁOWSKI et al., 1991). Pero además de esta eficiencia en la exploración del suelo, el sistema radicular debe serlo también en la captación del agua. Dado que las raíces suponen la mayor resistencia al flujo líquido del agua en el *continuum* suelo-planta-atmósfera, la conductancia hidráulica radicular (K_R), es uno de los parámetros de mayor relevancia, siendo objeto de numerosos estudios. La suficiencia de un sistema radicular, para suministrar agua a las

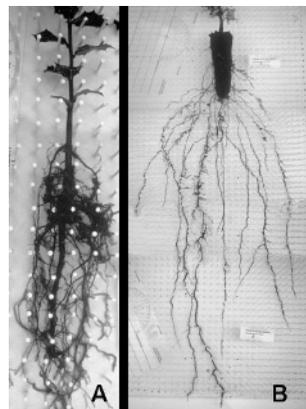


Figura 2. Morfología radicular de *Quercus ilex* subsp. *ballota* cultivada en contenedor forestal (A) y después de un periodo vegetativo en minirizotrófon (B)

Tratamiento		KRL $10^{-5} \text{ kg.s}^{-1} \text{ m}^{-2} \cdot \text{MPa}^{-1}$	Referencia
<i>Variación estacional</i>	Primavera	3.53	NARDINI et al., 1998a
	Verano	1.9 a 2.3	
	Invierno	0.3	
<i>Estrés frío</i>	Estresadas	0.4	NARDINI et al., 1998b
	No estresadas	3	
<i>Inoculación <i>Tuber melanosporum</i></i>	Inoculadas	3.7	NARDINI et al., 2000
	No inoculadas	2.9	
<i>Limitación crecimiento en profundidad</i>	Sin limitación	3.2	PEMÁN et al., 2006
	Limitación a 20 cm	1.2	

Tabla 2. Conductividad hidráulica radicular por unidad de superficie foliar (KRL) en *Quercus ilex*

hojas, es estimada mediante la conductividad hidráulica radicular por unidad de superficie foliar (K_{RL}). De los diferentes estudios realizados con encina, la K_{RL} ha mostrado una gran variabilidad según la época del año, el grado de estrés de las plantas, la micorrización y la limitación al crecimiento en profundidad (Tabla 2). Así, la encina muestra una variación muy marcada a lo largo del año, con un descenso brusco de la conductancia en invierno, a valores del 11% respecto de la primavera, que se han justificado por su sensibilidad al frío. La reducción en verano, respecto de los valores de primavera, se justificaría en el contexto de los diferentes mecanismos que desarrolla la encina como resistencia al estrés hídrico. La limitación al crecimiento radicular en profundidad también supone una variación notable en la conductancia hidráulica radicular, que podría justificarse por la mayor suberización de las raíces en las plantas que veían limitado su crecimiento a 20 cm de longitud (PEMÁN et al., 2006). El sistema radicular que se ha desarrollado con una limitación de profundidad a 20 cm, similar a la que hacen los contenedores forestales, muestra valores de K_{RL} un 63% inferiores respecto de los registrados cuando se ha desarrollado sin limitación, es decir frente al sistema más natural. Además, la fuerte correlación positiva observada entre KRL y SRL indica que los sistemas radiculares caracterizados por una menor biomasa radicular por unidad de longitud, que son los naturales que se desarrollarían sin limitación a la profundidad, tienen una mayor KRL, cumpliéndose así de nuevo el principio de ‘minimización de la ener-

gía’ descrito para la arquitectura hidráulica (MCCULLOH & SPERRY, 2005). Atendiendo al modelo de BURDETT (1990) sobre el arraigo, una baja permeabilidad radicular junto con un reducido valor del ratio PSR/PST, es una de las principales causas del estrés o impacto del trasplante y por tanto puede comprometer el arraigo de la planta en el monte.

CONCLUSIONES

El cultivo de encina en contenedor forestal produce importantes modificaciones morfológicas y funcionales en el sistema radicular de la planta respecto de su patrón natural, cuando crece sin limitación de profundidad. Particularmente los sistemas radiculares naturales son más eficientes en la exploración del suelo y en la captación de agua. Estos resultados sugieren que la modificación radicular que realizan los contenedores forestales puede influir en el establecimiento de la planta de encina en el monte. Por tanto, el uso de las siembras como método de repoblación permite el desarrollo natural del sistema radicular, siendo el recomendado sobre todo en ambientes más xéricos, más que en sus óptimos de estación, donde el estrés hídrico podría comprometer su supervivencia y crecimiento.

BIBLIOGRAFIA

BURDETT, A.N.; 1990. Physiological processes in plantation establishment and the develop-

- ment of specifications for forest planting stock. *Can. J. For. Res.* 20: 415-427.
- CANADELL, J.; DJEMA, A.; LÓPEZ, B.; LLORET F.; SABATÉ, S.; SISCART, D. & GRACIA, C.; 1999. Structure and dynamics of the root systems. In: F. Rodá, J. Retana, C. Gracia & J. Bellot (eds.), *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*: 47-59. Springer. Berlín.
- CARRERAS, C.; SÁNCHEZ, J.; RECHE, P.; HERRERO, D.; NAVARRO, A. Y NAVÍO, J.; 1997. Siembras profundas con ayuda de tubos protectores, Resultados de ensayos comparativos de siembras y plantaciones bajo condiciones de aridez en Vélez-Rubio, En: F. Puertas y M. Rivas (eds.), *Actas del I Congreso Hispano-Luso y II Congreso Forestal Español-IRATI-97*, 3: 123-128. Gráficas Pamplona, Pamplona.
- GÓMEZ MAMPASO, V. Y OCAÑA, L.; 1997. Las marras causadas por defectos en las operaciones de reforestación. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 4: 35-42.
- IGLESIAS, A.; 2004. *Replantaciones con Quercus ilex L. en zonas degradadas de la provincia de Ávila. Técnicas para mejorar su supervivencia*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- KOZŁOWSKI, T.; KRAMER, P.J. & PALLARDY, S.G.; 1991. *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press. San Diego.
- MONTOYA, J.M.; 1989. *Encinas y encinares*. Agroguias Mundi-Prensa. Madrid.
- MCCULLOH, K.A. & SPERRY, J.S.; 2005. Patterns in hydraulic architecture and their implications for transport efficiency. *Tree Physiol.* 25: 257-267.
- NARDINI, A.; LO GULLO, M.A. & SALLEO, S.; 1998a. Seasonal changes of root hydraulic conductance (K_{RL}) in four forest trees: an ecological interpretation. *Plant Ecology* 139: 81-90.
- NARDINI, A.; GHIRARDELLI, L. & SALLEO, S.; 1998b. Vulnerability to freeze stress of seedling of *Quercus ilex* L.: an ecological interpretation. *Ann. Sci. For.* 55: 553-565.
- NARDINI, A.; SALLEO, S.; TYREE, M. & VERTOVEC, M.; 2000. Influence of the ectomycorrhizas formed by *Tuber melanosporum* Vitt. on hydraulic conductance and water relations of *Quercus ilex* L. seedlings. *Ann. For. Sci.* 57: 305-312.
- PARDOS, M.; 2000. *Comportamiento de la planta de alcornoque (Quercus suber L.) producida en envase: su evaluación mediante parámetros morfológicos y fisiológicos*. Tesis doctoral, INIA nº 3. Madrid.
- PEMÁN, J.; VOLTAS, J. & GIL-PELEGRÍN, E.; 2006. Morphological and functional variability in the root system of *Quercus ilex* L. subject to confinement: consequences for afforestation. *Ann. For. Sci.* 63: 425-430.
- PORRAS, C.J.; BRUN, P.; COPETE, J. Y PÉREZ, R.; 2004. Experiencia de regeneración del encinar en la Sierra norte de Sevilla. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 17: 223-226.
- RIEDACKER, A., DEIXHEIMER, J., TAVAKOL, R. & ALAOU, H.; 1982. Modifications expérimentales de la morphogénèse et des géotropismes dans le système racinaire de jeunes chênes. *Can. J. Bot.* 60: 765-778.
- RIEDACKER, A. & BELGRAND, M.; 1983. Morphogénèse des systèmes racinaires des semis et boutures de chêne pédonculé. *Plant Soil* 71 :131-146.
- SEVA, J.P.; VALDECANTOS, A.; CORTINA, J. Y VALLEJO, R.; 2004. Diferentes técnicas de introducción de *Quercus ilex* subsp. *ballota* en zonas degradadas de la Comunidad Valenciana. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 17: 233-238.