

DISTRIBUCION Y CANTIDAD DE BIOMASA DE RAICES FINAS EN PLANTACIONES CLONALES DE *Eucalyptus globulus*

Donoso S.¹, Ruiz F.² y Herrera M.³

RESUMEN

El estudio se realizó en plantaciones ubicadas en la Provincia de Huelva, España. El suelo en el área de estudio, se caracteriza por presentar dos estratos claramente identificables; un estrato superficial constituido principalmente por arena (90-95%) y un segundo estrato arcilloso que se presenta a una profundidad variable (10-150 cm), y actúa como una barrera física para las raíces. En tres rodales de *Eucalyptus globulus*, que se establecieron hace 1, 2 y 3 años, se seleccionaron 6 árboles creciendo sobre un suelo con un estrato arcilloso próximo a la superficie y 6 con el estrato en profundidad. En cada árbol se obtuvieron muestras de biomasa de raíces finas a profundidades de suelo.

Se estableció, que la biomasa de raíces finas se concentra principalmente en el estrato más superficial. Al analizar por tipo de suelo, se determinó en los árboles que se desarrollaban con un estrato arcilloso próximo a la superficie, la proporción de biomasa en los estratos analizados no se ve modificada por la edad de los árboles. En los suelos con arcilla en profundidad, la necesidad de acceder al agua, produce una acumulación de biomasa en el estrato más profundo en el primer año, proporción que disminuye con la edad de los árboles. De tal forma que, sólo en los rodales de 1 año de edad, los árboles que se desarrollan sobre arcilla en profundidad, presentan una mayor cantidad de biomasa de raíces finas que los que crecen en arcillas superficiales

Palabras clave: Raíces finas, Biomasa, *Eucalyptus globulus*, España.

SUMMARY

The project was carried out in *Eucalyptus globulus* plantations, located in the Province of Huelva, Spain. The ground in the study area, present two layers clearly identifiable; a superficial layer constituted mainly by sand (90-95%) and a second clay layer at variable depth (10-150 cm), and act like a physical barrier for the development of roots. In three *Eucalyptus globulus* stands, that were established 1, 2 and 3 years ago, 6 trees were selected on a soil with a clay layer close to the surface and 6 with the clay layer in greater depth. In each tree, fine roots biomass samples were obtained.

It was established that fine roots biomass are concentrated mainly in the superficial layer. When analyzing by soil type, it was determined that trees were growing over a clay layer next to the surface, the distribution of biomass was not modified with tree age. In soils with clay in depth, the need for water brings about a biomass accumulation in the deepest layer at the first year, proportion that diminishes with tree age. Thus one-year old trees growing on soil with a deeper clay layer showed a greater amount of fine roots than those growing in a shallow clay layer.

Key words: Fine root, Biomass, *Eucalyptus globulus*, España.

¹ Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Casilla 9206, Santiago, Chile, E-mail: sedonoso@uchile.cl

² Centro de Investigación y Tecnología de ENCE, Huelva, España.

³ Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, España.

INTRODUCCIÓN

El sistema radical es decisivo para el desarrollo de las estructuras de la parte aérea del árbol, y de trascendencia en la formación del suelo (Persson, 1983), pero dado que las raíces son la "mitad oculta" de la mayoría de los ecosistemas terrestres (Waisel *et al.*, 1991), la habilidad para diseñar protocolos de muestreo está limitada por la incapacidad de observar la dinámica del sistema radical completo de una planta. En este sentido, los investigadores tienen una desventaja en los estudios de raíces, dado que deben diseñar el protocolo de muestreo, sin tener información previa sobre el patrón de distribución de las raíces, fenología o estacionalidad en el crecimiento de las raíces o cómo la biomasa radical o las características morfológicas responden a las condiciones abióticas del medio o a los cambios en el medio ambiente (Vogt *et al.*, 1998).

A pesar de esto, existe un cierto acuerdo de cómo se deberían obtener las muestras, calcular la biomasa radical y la producción (Vogt *et al.*, 1996), que en el pasado no se expresaba en la literatura, donde los métodos presentaban una gran heterogeneidad (Vogt *et al.*, 1998) tanto en la forma de extraer las raíces que van desde la excavación manual (Nambiar, 1990), el uso de maquinaria (Nicoll y Ray, 1996) o el uso de explosivos (Newton y Cole, 1991) así como en la profundidad de muestreo en el suelo que va desde pocos centímetros a metros, lo que plantea la duda respecto a cual es el porcentaje real de la biomasa que ha sido muestreada (Fogel, 1983).

La mayoría de las controversias se refieren a la estimación de la biomasa de raíces finas que está fuertemente asociadas con su dinámica de producción, muerte y descomposición, y como los diferentes factores abióticos pueden cambiar estos parámetros (Vogt *et al.*, 1996). Además, la mayoría de las técnicas que estiman la biomasa radical requieren una gran cantidad e intensidad de trabajo, por lo que todos los intentos de obtener un consenso respecto a los diferentes métodos se han visto dificultados porque pocos estudios han sido diseñados para medir y comparar las diferentes metodologías de forma simultánea (Vogt *et al.*, 1998).

La colecta de raíces finas mediante una barrena, ha sido utilizada extensivamente para obtener

muestras, eliminando los problemas asociados a la excavación del suelo (Mello *et al.*, 1997; Jones *et al.*, 1998), pero la utilidad de este método de muestreo puede ser reducida si el diámetro de la barrenas es pequeño, puesto que al usarla en suelos con una baja densidad radical se debe incrementar el número de repeticiones (Fogel, 1983), ya que es usual encontrar una gran dispersión de valores (Vogt *et al.*, 1996).

Numerosos estudios señalan que la mayoría de las raíces se encuentran en los primeros 50 cm del perfil, y gran parte de la actividad de las raíces y micorrizas se realiza en los primeros 20 cm, dependiendo de la aireación y fertilidad del suelo. No obstante, se han encontrado raíces a profundidades de 6 m en suelos arenosos. Es común encontrar una acumulación de raíces en más de un horizonte: en horizontes fósiles o por la obstrucción de un *fragipan*, estrato rocoso, etc. (Fogel, 1983). La máxima cantidad de raíces en un bosque mediterráneo se ubica en los estratos más superficiales (López *et al.*, 1998), que coincide con lo determinado en bosques de eucaliptos que se desarrollan en dicho clima (Madeira *et al.*, 1989; Fabiao *et al.*, 1995; Donoso *et al.*, 1999). Pero la biomasa de las raíces y su distribución, particularmente la de las raíces finas, está muy influenciada por el genotipo, el sitio, textura del suelo, edad de la planta (Dwyer *et al.* 1996) y distintas prácticas silviculturales como la fertilización y el riego (Fabiao *et al.* 1994; 1995), la poda (Jones *et al.*, 1998), la densidad de plantación (Contreras *et al.*, 1997), la aplicación de técnicas de preparación y labores al suelo (Madeira *et al.*, 1989).

Eucalyptus globulus tiene un sistema radical con una gran densidad de raíces próximas a la superficie, disminuyendo abruptamente su abundancia bajo los 70-90 cm de profundidad, pero se caracteriza por presentar una raíz pivotante. En árboles de 10 años de edad, se ha reportado raíces superficiales de más de 5.8 m de largo y raíz pivotante de hasta 4.2 metros de profundidad (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979; FAO, 1981; Stone y Kalisz, 1991; Florence, 1996). Sin embargo, Sasse y Sand (1996), mencionan que las plantas provenientes de propagación vegetativa no presentan un sistema radical potente con un único eje principal, sino que se encuentra fasciculado y ninguno de los ejes toma una dominancia sobre el resto.

En el marco de los antecedentes expuestos, se estableció un ensayo, cuyo objetivo fue evaluar la biomasa de raíces finas y su distribución en árboles creciendo sobre suelos con un estrato arcilloso próximo a la superficie y en profundidad, en tres rodales, de 1, 2 y 3 años de edad.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en tres rodales clonales de *Eucalyptus globulus*, de uno, dos y tres años de edad. Los dos primeros rodales corresponden al clon comercial 115-2 y el rodal de tres años al clon 161-3. Todos ellos se encuentran en la finca "Mingallete", propiedad de la empresa IBERSILVA (grupo ENCE). Esta finca se sitúa en el término municipal de Rociana del Condado, en la provincia de Huelva y geográficamente se ubica en la coordenada geográfica 37° 17' latitud norte y 6° 35' longitud oeste, a una altitud media de 70 msnm.

El clima corresponde al termomediterráneo atenuado, con 100 a 150 días secos desde el punto de vista fisiológico, según la clasificación de Gaussen. La precipitación media anual es de 550 mm, que se concentra principalmente en invierno, con un fuerte déficit hídrico estival. El promedio de las temperaturas máximas en los meses de verano, supera los 31.0° C y la temperatura mínima media, de los meses de invierno, no es inferior a 5.0° C. (Allué, 1990)

La morfología del terreno es casi plana, formando llanuras de considerable extensión,

con pendientes poco frecuentes y muy suaves, que no superan el 10%. Los suelos, en general presentan un primer estrato de textura muy arenosa (91% arena, 4% arcilla) de profundidad variable (5 a más de 140 cm de profundidad) y un segundo estrato de textura franco arcillosa, que se presenta como un aglomerado sin estructura y tiene una densidad aparente que oscila entre 1.55 y 1.70 g/cm³. Este último estrato, actúa como una barrera física para las raíces, confinándolas al estrato arenoso.

En cada rodal se definieron dos tipos de suelo en base a la profundidad a la que se encontraba el estrato arcilloso; en el primer caso, presentaba el estrato próximo a la superficie, a 20 cm o menos y en el segundo, se ubicaba a una profundidad aproximada de 80 cm o más, y se denominarán en este estudio; *arcilla en superficie* y *arcilla en profundidad* respectivamente. Para ello se estableció la profundidad del estrato arcilloso mediante una barrena, con los datos obtenidos se confeccionaron mapas de profundidad del estrato arcilloso, donde se identificaron los sectores que cumplían las condiciones del estudio.

Posteriormente, en cada situación, se realizaron dos parcelas de inventario de 400 m², en las cuales y según la edad del rodal se midió la altura y / o el DAP (Tabla 1). Luego, en cada una de las parcelas se seleccionaron 3 árboles, por lo que se cosecharon 6 ejemplares creciendo sobre arcilla en superficie y 6 sobre arcilla en profundidad.

Tabla 1. Valores medio de altura y DAP por profundidad del estrato arcilloso en los diferentes rodales

Edad (años)	Ubicación del estrato arcilloso	Altura media (m)	DAP medio (cm)
1	Superficial	2.29	
	Profundo	1.62	
2	Superficial	5.96	5.75
	Profundo	7.35	7.95
3	Superficial	6.84	7.83
	Profundo	7.40	7.93

En los árboles seleccionados, se extrajeron muestras de suelo con el objeto de determinar la biomasa de raíces finas, con diámetro menor a 5 mm. Las muestras se obtuvieron mediante una sonda metálica de 4 cm de diámetro y 1,5 m de largo, que se introdujo en el suelo, primero hasta una profundidad de 20 cm y a continuación hasta los 40 cm en los suelos de arcillas superficiales. En las arcillas profundas, además de los estratos anteriores (0-20 cm y 20-40 cm) se obtuvo una muestra del estrato de 40 a 80 cm de profundidad. Los puntos de muestreo se ubicaron a una distancia de 30, 60, 90 y 120 cm del árbol y en los cuatro sentidos en los que se encontraban orientadas las filas de la plantación. Después de la extracción de muestras, las raíces fueron separadas del suelo mediante un doble tamizado, el primero de 5 mm de luz y el segundo de 1 mm. El secado de las raíces se realizó, en estufa a 75° C, hasta obtener peso constante. Posteriormente el pesado de las raíces permitió determinar la biomasa. Los valores totales de biomasa de raíces se compararon entre los rodales de la misma edad, usando análisis de varianza. Se utilizó un nivel de probabilidad de 0.05 en todas las comparaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar el monto de biomasa de raíces finas total por tipo de suelo, sólo hay diferencias significativas ($p = 0.05$) entre los rodales de un año, donde los árboles que se desarrollan sobre

arcillas en profundidad en promedio presentan valores cinco veces superiores a los que se crecen sobre arcillas en superficie. Sin embargo, estos últimos presentan una altura total (Tabla 1), significativamente superior ($p = 0.05$).

La biomasa de raíces finas, en los rodales analizados, presenta una tendencia decreciente al alejarse del tocón (Figuras 1, 2 y 3), aspecto señalado por Reis *et al.*, (1997) en *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus pellitia*. Además, la mayor cantidad de biomasa de raíces finas se concentra en el estrato más superficial (0-20 cm). En este sentido, numerosos autores señalan que gran parte de las raíces finas, que desarrollan la función de absorber agua y nutrientes, se localizan en los horizontes más superficiales del suelo, donde la aireación y los nutrientes se encuentran en mayor cuantía (Fabiao *et al.*, 1994; Florence, 1996; Bahti *et al.*, 1998; Makkonen y Helmisaari, 1998).

La gran variabilidad que presentan los valores y la distribución, se debe a la heterogeneidad natural de los sistemas radicales (Fitter, 1991; Drexhage *et al.*, 1999) y en este caso particular se adiciona la gran irregularidad de la arquitectura de las raíces de plantas provenientes de propagación vegetativa (Champs De y Michaud, 1984; Sasse y Sands, 1996). Esto se traduce en que alrededor del tocón de un mismo árbol, hay sectores con una gran cantidad de raíces y otros con una ausencia casi total, como señalan Obispo (1999) y Sánchez (1999).

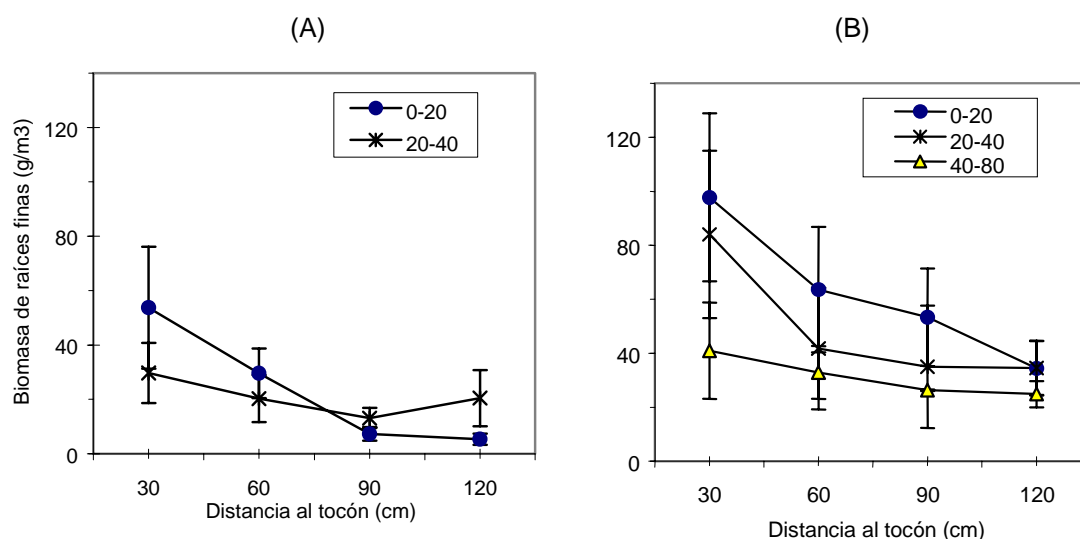


Figura 1. Biomasa radical a diferentes profundidades en el rodal de 1 año de edad, de árboles creciendo sobre suelo con *arcillas superficiales* (A) y sobre *arcillas profundas* (B) (media \pm error estándar; $n=12$)

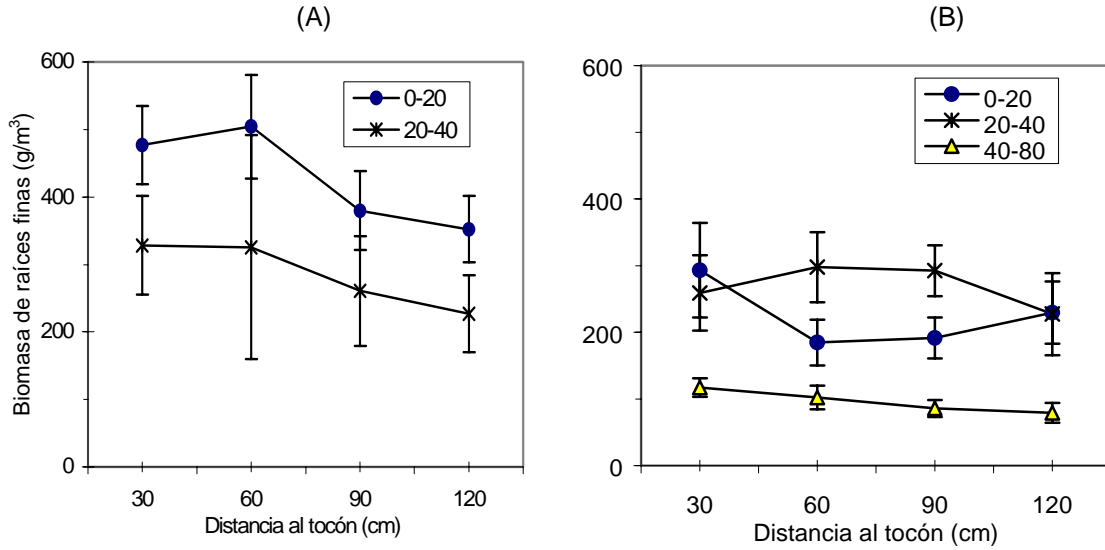


Figura 2. Biomasa radical a diferentes profundidades en el rodal de 2 años de edad, de árboles creciendo sobre suelo con arcillas superficiales (A) y sobre arcillas profundas (B) (media \pm error estándar; n=12)

La proporción de biomasa de raíces finas en los tres rodales, es particularmente estable en las arcillas superficiales (Figuras 1A, 2A y 3A), y oscila entre 53.5% a 60.0% en el estrato de 0–20 cm y entre 40.0 a 46.5% en el estrato de 20–40 cm. La mayor proporción de raíces en el estrato superficial, sería el resultado del

impedimento físico para explorar en profundidad el suelo, dado que en condiciones similares Donoso *et al.* (1999), obtuvieron resultados semejantes en biomasa de raíces finas, aunque, en dicho trabajo se denominó raíz fina a aquellas de diámetro inferior a 1 cm.

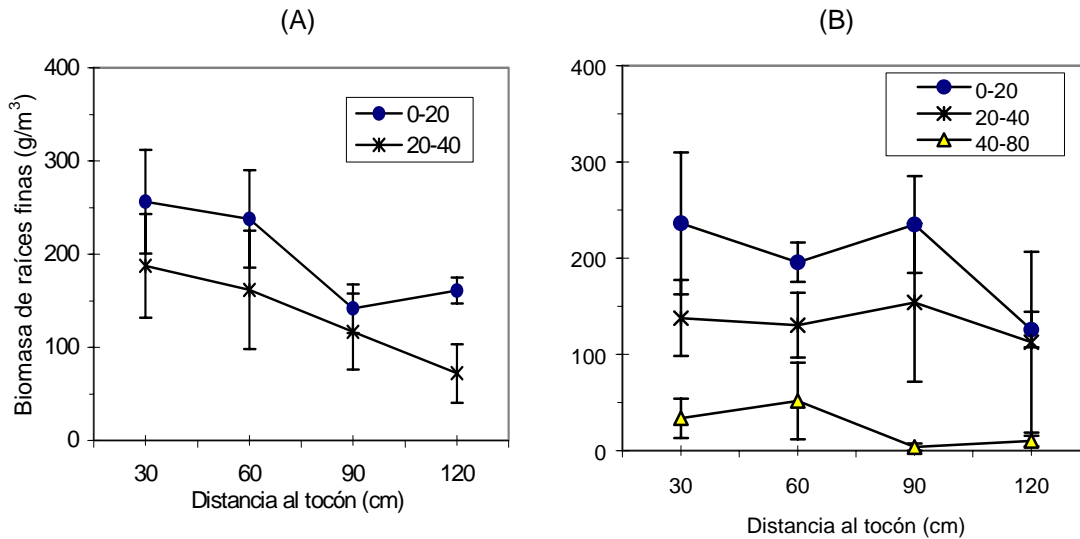


Figura 3. Biomasa radical a diferentes profundidades en el rodal de 3 años de edad, de árboles creciendo sobre suelo con arcillas en superficie (A) y sobre arcillas en profundidad (B) (media \pm error estándar; n=12)

En los suelos de *arcilla en profundidad*, la proporción de raíces presentes en los diferentes estratos es muy variable. En los rodales de 1 y 2 años, se observa una proporción similar de biomasa de raíces finas 35.9% y 32.8% en el estrato de 0-20 cm (Figuras 1B y 2B), valores que son significativamente menores ($p = 0.05$) al determinado en el rodal de 3 años, que alcanza 52.0%. En general, los valores de biomasa de raíces finas detectadas, coinciden con observaciones realizadas por distintos autores en diferentes tipos de suelos, quienes mencionan, que las raíces finas se concentran en los primeros centímetros del suelo (Nambiar, 1990; Florence, 1991; Fabiao *et al.*, 1994). Es así como Madeira *et al.* (1989) determinó en *E. globulus*, que cerca del 50% de las raíces finas ($\varnothing < 5$ mm) se encontraban en los primeros 20 cm del suelo y el resto entre 20 y 75 cm de profundidad.

El porcentaje de biomasa de raíces en el estrato 40-80 cm, es de 36.0%, 28.0% y 12.9% en los árboles de 1, 2 y 3 años respectivamente, y presentan diferencias significativas ($p = 0.05$) entre los tres rodales. La importante proporción de biomasa de raíces finas presente en el rodal de un año, que disminuye con la edad del rodal, estaría dada por una estrategia de sobrevivencia de la planta. En este sentido, Klepper (1991) señala que, en años secos, algunas plantas tienden a desarrollar preferentemente el sistema radical, con un gran incremento de las raíces más profundas, junto con una mayor proliferación de raíces en aquellas zonas del suelo donde la humedad es adecuada. Esta estrategia se ve reflejada en el alto porcentaje determinado en los árboles de 1 año en el estrato 40-80 cm y en menor medida en los de 2 años. Un resultado similar obtuvieron Philips y Riha (1994), quienes en un ensayo con *Eucalyptus viminalis*, observaron un mayor crecimiento de la parte radical en plantas sometidas a estrés hídrico en comparación con las plantas no estresadas, y el mayor incremento se producía en las zonas del suelo que presentaban un mayor contenido hídrico. En este estudio, el agua se tiende a acumular en la interfase entre el estrato arenoso y el arcilloso, que en los árboles de 1 y 2 años se encuentra aproximadamente a 100 cm de profundidad.

El bajo valor porcentual determinado en el estrato 40-80 cm, en los árboles de 3 años, corresponde a valores normales en *Eucalyptus*

globulus (Madeira *et al.*, 1989; Florence, 1991). En este sentido, Fabiao *et al.* (1995) determinaron, en árboles de 2 años, que el 47.4%, 33.7% y 18.9% de la biomasa de raíces finas se ubicaban en los estratos 0-20, 20-50 y 50-80 cm respectivamente.

CONCLUSIONES

La biomasa de raíces finas se concentra principalmente en el estrato más superficial. Al analizar por tipo de suelo, se determinó en los árboles que se desarrollaban con un estrato arcilloso próximo a la superficie, que la proporción de biomasa en los estratos analizados no se ve modificado por la edad de los árboles. En los suelos con arcilla en profundidad, la necesidad de acceder al agua, produce una acumulación de biomasa en el estrato más profundo en el primer año, proporción que disminuye con la edad de los árboles. De tal forma que, sólo en los rodales de 1 año de edad, los árboles que se desarrollan sobre arcilla en profundidad, presentan una mayor cantidad de biomasa de raíces finas que los que crecen en arcillas superficiales.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo ENCE, por el financiamiento del proyecto "Selvicultura en Eucalyptus" por medio del cual se realizó el presente trabajo; a la Agencia Española de Cooperación Internacional por la beca otorgada al autor.

BIBLIOGRAFIA

- Allué, A. (1990). Atlas fitoclimático de España: taxonomías. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid. 221 p.
- Bahtti, J. S.; Foster, N. W. & Hazlett, P. W. (1998). Fine-root biomass and nutrient content in black spruce neat soil with and without alder. *Canadian Journal of Soil Science* 78: 163-169.
- Ceballos, L y Ruiz de la Torre, J. (1979). Árboles y arbustos de España Peninsular. Madrid. 512 p.
- Champs De, J. y Michaud, D. (1984). De l'instabilité de l'*Eucalyptus*. *Anales de*

- recherches sylvicoles. AFOCEL. pp 347 – 391.
- Contreras, C. E.; Reis, G. C.; Reis, M. das G. F. y Morais, E. J. de (1997). Produção de biomasa em povoamentos de alto fuste de eucalito sob diferentes espaçamento, na região de cerrado, em Minas Gerais, Brasil. Proceedings of the IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus. Salvador, Brazil. Vol 3: 304-310.
- Donoso, S.; Obispo, A.; Sánchez, C.; Ruiz, F. y Herrera, M. A. (1999). Efecto del laboreo sobre la biomasa de *Eucalyptus globulus* en el suroeste de España. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 8(2): 377-386.
- Drexhage, M.; Chauvière, M.; Colin, F. y Nielsen, C. (1999). Development of structural root architecture and allometry of *Quercus petraea*. Canadian Journal of Forestry Research 29: 600-608.
- Dwyer, L.; Ma, B.; Stewart, D.; Hayhoe, H.; Balchin, D.; Culley, J. y Mc Govern, M. (1996). Root mass distribution under conventional and conservation tillage. Canadian Journal of Soil Science 76: 23-28.
- Fabiao, A.; Madeira, M. V.; Steen, E.; Katterer, T. y Ribeiro, C. (1994). Growth dynamics and spatial distribution of root mass in *Eucalyptus globulus* plantations in Portugal. En: Eucalyptus for Biomass Production. (Editors) J. S. Pereira, and H. Pereira. Comission of the European Communities. pp. 60-76.
- Fabiao, A.; Madeira, M. V.; Steen, E.; Katterer, T.; Ribeiro, C. y Araújo, C. (1995). Development of root biomass in an *Eucalyptus globulus* plantation under different water and nutrient regimes. Plant and Soil 168-169: 215–223.
- FAO (1981). El eucalipto en la repoblación forestal. Roma. 723 p.
- Fitter, A. (1991). Characteristics and functions of root systems. En: Plant roots: the hidden half. (Editors) Waisel, Y.; Eshel, A. y Kafkafi, U. Marcel Dekker, New York. pp. 3-25.
- Fogel, R. (1983). Root turnover and productivity of coniferous forest. Plant and Soil 71: 75-85.
- Florence, R. G. (1996). Ecology and silviculture of eucalypt forests. CSIRO Publishing, Australia. 414 p.
- Jones, M.; Sinclair, F. L. y Grime, V. L. (1998). Effect of tree species and crown pruning on root length and soil watercontent in semi-arid agroforestry. Plant and Soil 201: 197-207.
- Klepper, B. (1991). Root-shoot relationships. En: Plant roots: the hidden half. (Editors) Waisel, Y.; Eshel, A. y Kafkafi, U. Marcel Dekker, New York. pp. 265-286.
- López, B.; Sabaté, S. y Gracia, C. (1998). Fine roots dynamics in a Mediterranean forest: effects of drought and stem density. Tree Physiology 18: 601-606.
- Madeira, M. V.; Melo, M. G.; Alexandre C. A. y Steen, E. (1989). Effect of deep ploughing and superficial disc harrowing on physical and chemical soil properties and biomass in a new plantation of *Eucalyptus globulus*. Soil and Tillage Research 14: 163–175.
- Makkonne, K. y Helmisaari, H. S. (1998). Seasonal and yearly variations of fine root biomass and necromass in a scots pine (*Pinus silvestris* L.) stands. Forest Ecology and Management 102: 283-290.
- Mello, S. L. de M.; Gonçalves, J. L. de M.; Oliveira, L. E. G. de; Comério, J.; Jorge, L. A. de C.; Serrano, M. I. P. y Gava, J. L. (1997). Características do sistema radicular em povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. Proceedings of the IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus. Salvador, Brazil. Vol 3: 54-62.
- Nambiar, S (1990). Interplay between nutrients, water, root growth and productivity in young plantations. Forest Ecology and Management 30: 213-232.
- Nicoll, B. y Ray, D. (1996). Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions. Tree Physiology 16: 891-898.

- Newton, M. y Cole, E. (1991). Root development in planted Douglas-fir under varying competitive stress. *Canadian Journal of Forestry Research* 21: 25-31.
- Obispo, A. (1999). Selvicultura de *Eucalyptus globulus* Labill. en la provincia de Huelva: efectos del laboreo en el árbol. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Córdoba. 91 p.
- Persson, H. D. (1983) The distribution and productivity of fine roots in boreal forest. *Plant and Soil* 71: 87-101.
- Phillips, J. G. y Riha, S. J. (1994) Root growth, water uptake and canopy development in *Eucalyptus viminalis* seedlings. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 69-78.
- Reis, M. G. F.; Reis, G. G.; Leles, P. S. S. y Morais, E. J. (1997). Crescimento de raízes laterais e pivotante de *Eucalyptus camaldulensis* y *E. pellita*. Proceedings of the IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus. Salvador, Brazil. Vol 3: 84-87.
- Sánchez, C. (1999). Selvicultura de *Eucalyptus globulus* Labill. en la provincia de Huelva: evaluación y caracterización de la biomasa acumulada del clon 334-1-AR bajo cuatro condiciones. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Córdoba. 90 p.
- Sasse, J. y Sands, R. (1996). Comparative responses of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus* to water stress. *Tree Physiology* 16: 287 – 294.
- Stone E. L. y Kalisz, P. J. (1991). On the maximum extent of tree roots. *Forest Ecology and Management* 46: 59-102.
- Vogt, K. A.; Vogt, D. J.; Palmiotto, P. A.; Boon, P.; O'Hara, J. y Asbjornsen, H. (1996). Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil* 187: 159-219.
- Vogt, K. A.; Vogt, D. J. y Bloomfield, J. (1998). Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forest at an ecosystem level. *Plant and Soil* 200: 71-89.
- Waisel Y. Eshel, A. y Kafkafi, U. (1991). *Plant Roots. The Hidden Half*. Marcel Dekker, Inc. New York. 948 p.