

Efecto de la resistencia mecánica del suelo sobre la densidad de raíces finas de *Eucalyptus globulus*

J. J. Gaitán* y E. A. Penón

Edafología. Departamento de Tecnología. Universidad Nacional de Luján. Ruta 5 y 7.
6700 Buenos Aires. Argentina

Resumen

El efecto de la resistencia mecánica del suelo sobre la densidad de raíces finas de *Eucalyptus globulus* fue determinado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Sobre cuatro árboles en cada una de dos parcelas de ensayo ubicadas en Balcarce y San Francisco, se determinó la resistencia mecánica del suelo (RM) y la densidad de raíces finas (DRF) menores a 2 mm, en los primeros 50 cm del perfil en la zona cercana al tronco. En ambos sitios se observó una alta concentración de raíces finas en los primeros 20 cm del suelo y una baja DRF en las zonas con mayor RM, que correspondieron a un horizonte arcilloso en Balcarce y en un piso de arado en San Francisco. Por encima de 0,5 Mpa se observó una importante disminución en la densidad de raíces finas. La medición de RM puede constituir una herramienta valiosa para identificar impedimentos al desarrollo radical y sobre la base de ello, decidir la preparación del suelo previo a la plantación.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus* L., raíces finas, resistencia mecánica, densidad radical.

Abstract

Effect of soil mechanical impedance in fine root density of *Eucalyptus globulus*

In two sites in Balcarce and Necochea counties, on eight trees, mechanical impedance of soil (RM) and fine roots (under 2 mm in diameter) density were determined in the first 50 cm under the soil surface and near the stem. A very high density of fine roots was found at 20 cm depth in both sites, while a low density of fine roots was observed in soil zones with high RM values. These high values corresponded with a clayey horizon in Balcarce site and a till induced pan in Necochea site. Over 0.5 Mpa RM values the fine roots diminished. RM should be considered as an important tool to detect radical growth limitant conditions and the basis to select tillage during pre-plantation labors.

Key words: *Eucalyptus globulus* L., fine roots, mechanical impedance, radical density.

Introducción

Las raíces finas son las estructuras principalmente responsables de la adquisición de agua y nutrientes (Baker *et al.*, 2001), por lo tanto su densidad en el suelo determinaría la capacidad de las plantas para tomar aquellos elementos necesarios para sostener su crecimiento.

El consumo de nutrientes por parte de las plantas depende de la habilidad de las raíces para absorberlos, de la capacidad del suelo para suministrarlos y de la accesibilidad de los mismos, que está determinada por el tamaño y configuración del sistema radical. La compactación del suelo afecta a la configuración del sis-

tema radical y por lo tanto al consumo de nutrientes (Misra *et al.*, 1988).

En los sistemas forestales las limitaciones físicas del suelo al crecimiento radical de los árboles pueden tener varios orígenes. Estos incluyen la existencia de horizontes genéticamente compactos, abundancia de rocas dentro de la zona de exploración radical, compactación del suelo como resultado de las labores de cosecha, de plantaciones previas o inadecuados métodos de labranzas anteriores a la plantación (Misra y Gibbons, 1996).

La compactación del suelo generalmente ha sido evaluada a través de la medición de tres propiedades: densidad aparente, porosidad y resistencia mecánica (RM). RM es la resistencia física que ofrece el suelo a la elongación de las raíces. La forma más común de medirla es mediante la utilización de un penetrómetro con el

* Autor para la correspondencia: jgaitan@latinmail.com
Recibido: 09-09-02; Aceptado: 18-02-03.

cual se caracteriza la fuerza (F) necesaria para introducir un cono de un determinado tamaño dentro del suelo (Bradford, 1986). Comúnmente se expresa como una presión o «índice de cono» dividiendo F por el área basal del cono.

Generalmente se asume que la RM, medida de esta manera, es aproximadamente igual a la presión que deben ejercer las raíces para penetrar en el suelo. Tales mediciones han sido utilizadas para caracterizar la compactación del suelo que reduce o detiene la elongación de las raíces. Sin embargo, es difícil medir exactamente la máxima presión que las raíces son capaces de ejercer. Las raíces más activas tienen un diámetro muy inferior al del cono del penetrómetro, están lubricadas por geles de polisacáridos y pueden cambiar de dirección en busca de zonas de debilidad. Por lo tanto, el penetrómetro sólo puede simular groseramente el crecimiento de las raíces. Sin embargo, su utilización es muy útil para identificar zonas con diferente grado de compactación bajo condiciones de campo (Vepraskas, 1994).

En los suelos forestales RM puede variar espacialmente debido a los métodos de cultivo utilizados y también temporalmente debido a los ciclos de secado-humedecimiento del suelo que dependen del patrón de precipitaciones y evapotranspiración. La distribución del sistema radical en el suelo puede reflejar estas variaciones en la RM. Sin embargo este aspecto no ha sido bien documentado en especies forestales (Misra y Gibbons, 1996).

Existe amplia información sobre los valores de RM que pueden considerarse como limitantes para el crecimiento radicular. Sin embargo esta información se restringe a cultivos anuales.

El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de RM sobre la densidad de raíces finas de *Eucalyptus globulus* a través del perfil del suelo.

Material y métodos

El estudio se llevó a cabo en dos parcelas de la red de ensayos de *Eucalyptus globulus* Labill en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, instaladas en el año 1995 en el marco del Convenio Forestal Internacional entre INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) de Argentina y SOPORCEL (Sociedad Portuguesa de Papel) de Portugal.

Las parcelas se encuentran ubicadas en la Estación Experimental INTA Balcarce (37° 45' latitud sur y 58° 18' longitud oeste) y en la Estancia San Francis-



Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio.

co (38° 20' latitud sur y 59° 8' longitud oeste). En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica de ambos sitios.

Ambas parcelas fueron plantadas en octubre de 1995, por lo que al momento de la realización del presente trabajo las plantas tenían 6 años de edad.

En la Tabla 1 se presentan las características de ambos rodales.

El clima de la región puede definirse como templado húmedo sin estación seca marcada. La temperatura media anual ronda los 14 °C, con temperaturas estivales medias de 20 °C e invernales de 8 °C. Las heladas invernales y primaverales son comunes, aunque de baja intensidad.

Tabla 1. Características de los rodales de *E. globulus* (media ± desviación estándar)

	Balcarce	San Francisco
Densidad de plantación (n.º/ha)	1.111	1.111
Marras (%)	1,1	1,5
DAP (cm)	14,6 ± 2,7	17,5 ± 3,4
Altura (m)	12,8 ± 1,8	14,4 ± 2,2

DAP: diámetro a la altura de pecho (1,3 m).

Tabla 2. Características edáficas de los sitios Balcarce y San Francisco

	Balcarce	San Francisco
Secuencia de horizontes	A-AB-Bt	A-AC-Bt
Horizonte A:		
— Espesor (cm)	20	27
— Carbono orgánico (%)	2,8	3,1
— Textura	Franco limoso	Franco arenoso
Espesor hasta horizonte Bt (cm)	27	57
Textura horizonte Bt	Arcilloso	Franco arcilloso
Clasificación taxonómica*	Phaeozem lúvico	Phaeozem lúvico

* Según FAO-UNESCO (1991).

Las precipitaciones anuales son de alrededor de 900 mm, repartidas uniformemente a lo largo del año. La evapotranspiración potencial es del orden de 970 mm. Hay un pequeño déficit hídrico estival variable según los años.

En la Tabla 2 se resumen las características edáficas de los dos sitios.

En cada sitio se escogieron cuatro árboles, al azar, de la familia 250 de procedencia Portugal.

El muestreo de raíces se realizó con un barreno de acero inoxidable de 4 cm de diámetro, hasta 50 cm de profundidad, en capas de 10 cm de espesor: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm. En cada árbol se fijaron 4 puntos de muestreo ubicados a 50 cm de distancia del tronco sobre dos líneas ortogonales e imaginarias, una localizada sobre la línea de plantación y la otra perpendicular a ésta.

A 20 cm, a cada lado, de los puntos de muestreo se realizaron 2 mediciones de RM de los primeros 50 cm del perfil del suelo, en capas de 5 cm. Se utilizó un penetrómetro hidráulico (Sfeir, UNCPB) con un cono de 10 mm de diámetro.

Se consideraron raíces finas aquéllas de diámetro inferior a 2 mm, las cuales fueron cuidadosamente separadas del suelo en forma manual.

Las raíces fueron lavadas, secadas en estufa y pesadas con balanza de precisión.

Se tomó una fracción de la muestra de suelo que fue secada a 70°C hasta peso constante para determinar el contenido de humedad.

Resultados y Discusión

La mayoría de las raíces finas se localizan en el horizonte superficial del suelo. En San Francisco y Bal-

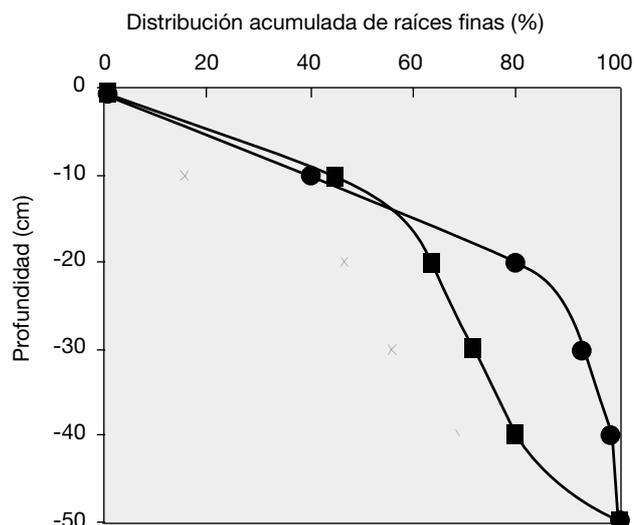


Figura 2. Distribución acumulada de la biomasa de raíces finas (<2 mm) en los sitios Balcarce (●) y San Francisco (■). Promedio de 4 árboles.

carce el 65,2% y el 79,2%, respectivamente, de la biomasa de raíces finas se hallaron en los primeros 20 cm del suelo (Fig. 2).

Fabião *et al.* (1994) analizaron la distribución de raíces finas (<2 mm) en los primeros 70 cm del suelo en dos rodales de *Eucalyptus globulus* de 12 y 18 años y hallaron que el 71,9% y el 57,9%, respectivamente, de la biomasa de raíces finas se encontraban en los 20 cm superficiales.

Según Sands y Mulligan (1990), el crecimiento radicular generalmente se ve favorecido en la zona cercana a la superficie donde la disponibilidad de nutrientes, RM, aireación y temperatura son más favorables que en profundidad, sin embargo la configuración del sistema radicular puede ser modificado por cambios en las condiciones edáficas.

En el sitio San Francisco se observó una capa, entre los 25 y 35 cm, que presentó mayores valores de RM (Fig. 3A). La historia agrícola previa del lote sugiere que esta densificación se debe a la existencia de un antiguo «piso de arado», donde la densidad de raíces finas presenta una importante disminución (Fig. 3B).

Según Vepraskas (1994) este tipo de compactaciones se dan en suelos agrícolas que son arados todos los años a la misma profundidad y son más frecuentes en suelos de textura gruesa, similares a los de este sitio.

Estos resultados son similares a los hallados por Schumacher (1995, citado por Finger *et al.*, 1996) que observó, en plantaciones de *Eucalyptus saligna*,

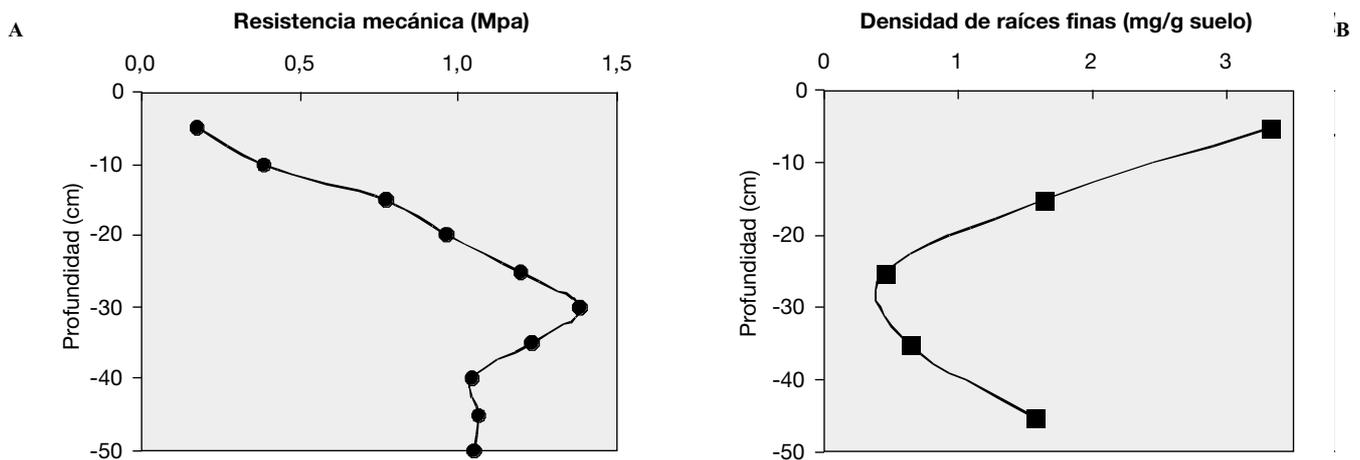


Figura 3. Resistencia mecánica (A) y densidad de raíces finas (B) en el perfil del suelo (0-50 cm) del sitio San Francisco. Humedad: $0,19 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, sin diferencias significativas entre capas (Test de Tukey, $p < 0,05$). Promedio de 4 árboles.

E. dunnii y *E. globulus*, que a medida que las raíces finas encontraban una capa más densa ocurría una disminución brusca de las mismas, mientras que cuando el suelo volvía a presentar menores RM, nuevamente había proliferación de raíces finas en capas más profundas del suelo.

Esto demostraría la importancia de realizar labranzas verticales previas a la plantación en suelos que presentan capas compactadas cercanas a la superficie. Finger *et al.* (1996) observaron al evaluar el efecto del subsolado sobre el crecimiento de *Eucalyptus grandis* a los 3,5 años después de la plantación, mayores crecimientos en diámetro y altura en un suelo con una capa compactada entre los 30 y 40 cm. Madeira *et al.* (1989) compararon labranzas superficiales (25 cm) y profundas (70 cm), con respecto a su

efecto sobre el crecimiento de la biomasa aérea y subterránea de *E. globulus*. Observaron una mayor concentración de raíces finas en la capa superficial del suelo y una distribución más homogénea en el perfil en los tratamientos con labranza superficial y profunda, respectivamente. Sin embargo no hallaron diferencias entre tratamientos en el crecimiento aéreo 14 meses después de la plantación.

El sitio Balcarce presentó en el horizonte arcilloso los mayores valores de RM (Fig. 4A). Este resultado es coherente con lo señalado por Gerard *et al.* (1974) quienes hallaron, para un mismo contenido de humedad en el suelo, una relación positiva entre RM y el porcentaje de arcilla.

Por su parte la densidad de raíces se redujo notablemente en este horizonte (Fig. 4B).

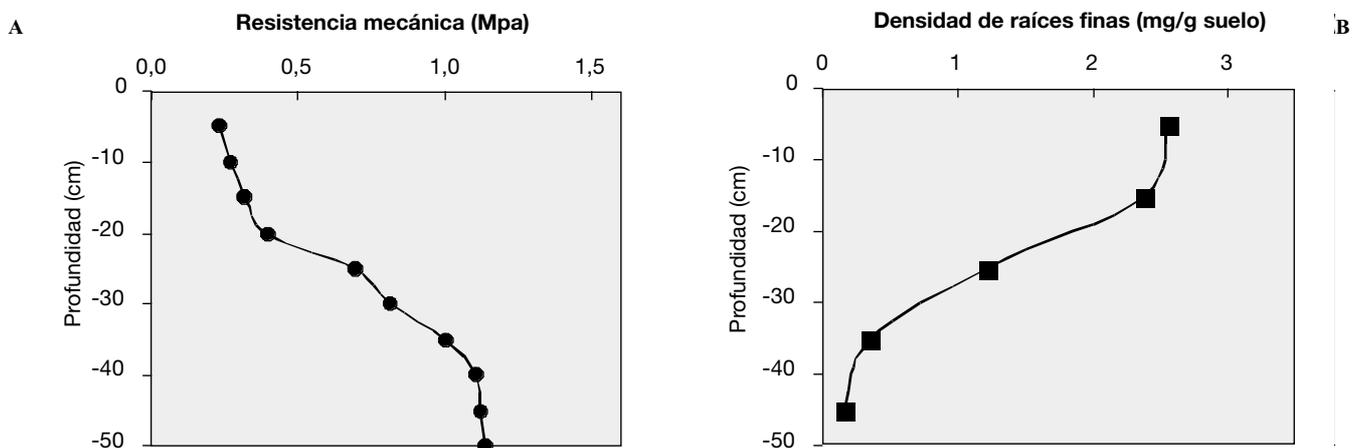


Figura 4. Resistencia mecánica (A) y densidad de raíces finas (B) en el perfil del suelo (0-50 cm) del sitio Balcarce. Humedad: $0,30 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, sin diferencias significativas entre capas (Test de Tukey, $p < 0,05$). Promedio de 4 árboles.

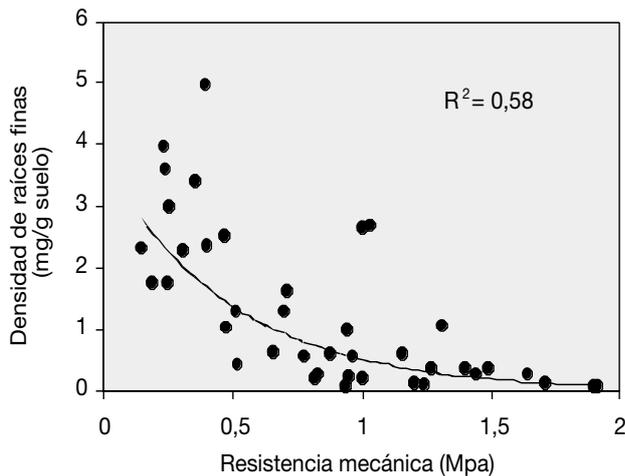


Figura 5. Relación entre la densidad de raíces finas (< 2 mm) de *E. globulus* y la resistencia mecánica del suelo.

La escasa presencia de raíces finas en horizontes arcillosos también ha sido constatada por Donoso *et al.* (1999) en *Eucalyptus globulus* y por Ares y Peinemann (1992) en varias especies de coníferas.

Cozzo (1976) señala como una de las principales limitaciones para el desarrollo forestal la existencia de horizontes arcillosos cercanos a la superficie debido a la escasa penetrabilidad de los mismos.

La relación entre la densidad de raíces finas (DRF) y RM se muestra en la Fig. 5. Esta relación puede ser expresada como:

$$DRF = \alpha e^{-\beta RM}$$

donde $\alpha = 3,759$ y $\beta = 2,004$

Relaciones negativas entre RM y el crecimiento de las raíces han sido ampliamente reconocidas (ej. Dexter, 1987; Misra y Gibbons, 1996; Zou *et al.*, 2001). En estos estudios se han establecido umbrales críticos definidos como el valor de RM que reduce a la mitad el crecimiento de las raíces: 1,3 Mpa en *Pinus radiata* (Zou *et al.*, 2001), 2,5 Mpa en *Eucalyptus nitens* (Misra y Gibbons, 1996) y 0,7-2,0 Mpa en varias especies de cultivos anuales (Dexter, 1987).

Sin embargo estos estudios han sido realizados con plántulas creciendo en macetas, con sustratos compactados artificialmente y con un contenido de humedad constante, por lo tanto sus resultados no son directamente comparables con los del presente trabajo, debido a la estrecha relación entre RM y la humedad del suelo (Wilson *et al.*, 2000), que en condiciones de campo varía temporalmente y por lo tanto hace difícil establecer un umbral crítico.

Conclusiones

Las raíces finas de *E. globulus* exploran el suelo en forma selectiva, hallándose en mayor cantidad en las zonas del perfil que presentan menor resistencia mecánica.

La existencia de compactaciones antrópicas (pisos de arado) o naturales (horizontes arcillosos) cercanas a la superficie reduce severamente la densidad de las raíces más activas de las plantas, limitando el consumo de agua y nutrientes en profundidad. Bajo estas condiciones puede ser conveniente la realización de labranzas verticales (cincelado o subsolado) para mejorar las condiciones de explorabilidad del suelo y de esta manera, lograr un rápido establecimiento del rodal.

La medición de RM puede constituir una herramienta importante para decidir la preparación del suelo previo a la plantación.

Referencias bibliográficas

- ARES A., PEINEMANN N., 1992. Fine-root distribution of coniferous plantations in relation to site in southern Buenos Aires, Argentina. *Can. J. For. Res.* 22, 1575-1582.
- BAKER T.T., CONNER W.H., LOCKABY B.G., STANTURF J.A., BURKE M.K., 2001. Fine root productivity and dynamics on a forested floodplain in south Carolina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 545-556.
- BRADFORD J.L., 1986. Penetrability. En: A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1.* 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. pp 463-478.
- COZZO D., 1976. Tecnología de la forestación en Argentina y América Latina. Ed. Hemisferio Sur.
- DEXTER A.R., 1987. Mechanics of root growth. *Plant Soil* 98, 303-312.
- DONOSO S., OBISPO A., SÁNCHEZ C., RUIZ C., HERRERA M.A., 1999. Efecto del laboreo sobre la biomasa de *Eucalyptus globulus* en el suroeste de España. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 8 (2), 377-386.
- FABIAO A., MADEIRA M., STEEN E., KATTERER T., RIBEIRO C., 1994. Growth dynamic and spatial distribution of root mass in *Eucalyptus globulus* plantations in Portugal. En: *Eucalyptus for Biomass Production. The State of the Art.* Eds. J. S. Pereira and H. Pereira. CEC. Brussels. pp. 60-76.
- FAO/UNESCO, 1991. Mapa mundial de suelos. FAO/UNESCO. Roma
- FINGER C.A.G., SCHUMACHER M.V., SCHNEIDER P.R., HOPPE J.M., 1996. Influencia da camada de impedimento no solo sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden. *Ciência Forestal* 6 (1), 137-146.

- GERARD C.J., SEXTON P., SHAW G., 1974. Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agron. J.* 74, 875-879.
- MADEIRA M.A.V., MELO G.M., ALEXANDRE C.A., STEEN E., 1989. Effects of deep ploughing and superficial disc harrowing on physical and chemical soil properties and biomass in a new plantation of *E. globulus*. *Soil Till. Res.* 14, 163-175.
- MISRA R.K., ALSTON A.M., DEXTER A.R., 1988. Root growth and phosphorus uptake in relation to the size and strength of soil aggregates. I. Experimental studies. *Soil Till. Res.* 11, 103-116.
- MISRA R.K., GIBBONS A.K., 1996. Growth and morphology of eucalypt seedling, in relation to soil strength arising from compaction. *Plant Soil* 182, 1-11.
- SANDS R., MULLIGAN D.R., 1990. Water and nutrient dynamics and tree growth. *For. Ecol. Manage.* 30, 91-111.
- VEPRASKAS M.J., 1994. Plant response mechanisms to soil compaction. En: R.E. Wilkinson (Ed.) *Plant-Environment interactions*. Marcel Dekker Inc., New York (USA). pp. 263-287
- WILSON M.G., VALENZUELA O.R, PILATTI M.A., FELLI, O., 2000. Relación entre el contenido hídrico y la resistencia a la penetración en un suelo con características vérticas. *Rev. Facultad de Agronomía* 20 (1), 69-73.
- ZOU C., PENFOLD C., SANDS R., MISRA R.K. HUDSON I., 2001. Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of radiata pine seedlings. *Plant Soil* 236,105-115.