

CRECIMIENTO RADICULAR DE PLANTINES DE *Eucalyptus viminalis* L.: EFECTOS DE LA COMPACTACIÓN.

SEEDLINGS ROOT GROWTH OF *Eucalyptus viminalis* L. EFFECTS OF SOIL COMPACTION

Juan Pablo Casado¹
Roberto Hernán Balbuena¹
Eduardo Manghi¹
Patricio Miguel Mac Donagh²

Fecha de recepción: Febrero 2000
Fecha de aceptación: Marzo 2001

¹ Docentes de la Facultad de Cs Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Avda 60 y 119. CC31 CP 1900 La Plata. Tel 4236758. Fax 54-221-4252346. E-mail balbuena@isis.unlp.edu.ar.

² Docente de la Facultad de Cs Forestales de la Universidad Nacional de Misiones

SUMMARY

Test were made with the aim to evaluate soil compaction effects on initial root growth of *Eucalyptus viminalis*. The soil obtained from a typical Argiudol was introduced in flexible plastic pots and compacted with a press and four soil bulk densities 0,95; 1,1; 1,2 y 1,3 Mg.m⁻³ established as treatments. Then, the plants were putted in the topsoil into the pot. Three months later the plant population was divided and receive two irrigation levels a) without water restriction and b) with reduce irrigation. Six months from transplant the plants were cut. The fifty percent of the pots were washed, roots separated and dry root matter and root length evaluated. The other pots were cut by their longitudinal axle and number of roots counted with a grid. Dry root matter of 1,3 Mg.m⁻³ treatment was significantly greater than 0,95 Mg.m⁻³. Primary/total root ratio was greater for subtreatment without water restriction. Root distribution was affected and treatments with greater bulk density had more roots in the upper layers while the 0,95 Mg.cm⁻³ treatment had more in the deeper layers. The 0,95 Mg.m⁻³ treatment had the lowest root length too. Soil compaction affects initial roots growth, their number and distribution into the soil profile.

Key words: bulk density; root length; pots; irrigation

RESUMEN

Se realizaron ensayos para valorar los efectos de la compactación del suelo sobre el crecimiento radicular de plantines de *Eucalyptus viminalis*. Fueron establecidos 4 tratamientos correspondientes a 4 densidades aparentes de suelo: 0,95 Mg.m⁻³, 1,1 Mg.m⁻³, 1,2 Mg.m⁻³ y 1,3 Mg.m⁻³. El sustrato, obtenido a partir de un Argiudol típico, fue compactado en recipientes plásticos por medio de una prensa hidráulica y en el mismo se ubicaron plantines en tubetes. A los 3 meses del trasplante fueron establecidos 2 tratamientos de riego, uno con aporte restringido de agua y otro sin restricción. A 6 meses de realizarse el trasplante se cortó la parte aérea y se procedió al lavado y separación del sistema radicular de la mitad de las plantas. La otra mitad fue cortada según su eje longitudinal y contado el número de raíces con la ayuda de una grilla. Se evaluó peso seco de raíces, número de raíces y longitud de raíces principales y secundarias. El tratamiento de 1,3 Mg.m⁻³ tuvo significativamente mayor masa radicular que el de 0,95 Mg.m⁻³. La relación raíz primaria/raíces totales fue mayor para el subtratamiento sin restricción hídrica. El tratamiento de menor densidad aparente inicial tuvo en promedio menor número y longitud de raíces mientras que la zona de mayor concentración radicular fue más superficial para los tratamientos de mayor

compactación. La compactación del suelo afecta la masa, distribución y longitud radicular durante los primeros estadios de crecimiento del eucalipto.

Palabras clave: densidad aparente; longitud radicular; macetas; riego.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de aprovechamiento forestal, han tenido en los últimos años importantes avances en la mecanización de las operaciones proceso, tendientes a incrementar la capacidad de trabajo de los equipos y mejorar su capacidad de paso. Esto conlleva en la mayoría de las soluciones técnicas a un aumento en el peso de los vehículos utilizados, aumento en la superficie de contacto rueda-suelo a través de distintos sistemas y/o en el número de ejes de transporte o tracción de los vehículos utilizados. Sin embargo, en muchas ocasiones las distintas alternativas de diseño no logran eliminar los riesgos de compactación del suelo, identificado actualmente como uno de los problemas de mayor relevancia mundial, por afectar a la casi totalidad de los sistemas productivos. La disminución de la presión sobre la superficie del terreno reduce los problemas de compactación superficial (SMITH y DICKSON, 1990) pero cargas superiores a 6 Mg por eje han sido señaladas por HÅKANSSON *et al.* (1988) como

causantes de compactación subsuperficial. El pasaje de sistemas de ruedas con alta presión de contacto pero con baja carga sobre el eje es responsable de la compactación superficial del terreno. Por otra parte, el pasaje repetido de ruedas en una misma senda, aún con baja carga sobre el eje puede causar compactación subsuperficial JORAJURÍA *et al.* (1997).

La compactabilidad del suelo depende del contenido de agua, materia orgánica y de la textura (Aragón *et al.* 1996). Los perjuicios que causa la compactación son notados principalmente en los sectores donde circulan los vehículos. Como consecuencia de la compactación, el escurrimiento superficial de agua se incrementa y el crecimiento de los árboles es perjudicado por el reducido abastecimiento de agua, el restringido espacio para las raíces y la pobre aireación (RAB, 1992). En áreas transitadas, CULLEN *et al.* (1991) determinaron incrementos significativos en la densidad aparente del suelo con valores superiores al 40%, en relación con áreas no disturbadas.

La densidad aparente es un parámetro que ha sido ampliamente utilizado como indicador de la compactación. Sands y Bowen (1978) encontraron que incrementos en la densidad aparente de 1,35 a 1,48 Mg.m⁻³ produjeron reducciones del 10 % al 17 % en el rendimiento y del 50 % a 1,60 Mg.m⁻³ en plantaciones de pino en suelos arenosos. MITCHELL *et al.* (1982) observaron mermas de un 50 % en la velocidad de implantación de pinos en suelos franco texturales identificando como valor crítico de densidad aparente 1,4 Mg.m⁻³. CONSTANTINI *et al.* (1995) evaluaron los cambios temporales en densidad aparente con relación a la preparación de sitio para el establecimiento de pinos en Australia. Determinaron la duración de la reducción en densidad aparente, estableciendo que la consolidación fue afectada por el tipo de suelo, la profundidad del suelo y la técnica de preparación usada. Sobre suelos de condiciones duras, de alta resistencia, la reducción producida por los implementos de preparación del suelo persistió por un período de 28 meses, en contraste con las condiciones no difíciles, las cuales se consolidaron más rápidamente y alcanzaron densidades aparentes más altas que las previas al nivel de precultivo en el período entre los 4 y los 28 meses siguientes a la preparación del sitio.

En las especies arbóreas con raíz principal, el desarrollo radical en los primeros estadios se realiza fundamentalmente a expensas de los brotes. En el estado maduro en cambio, el crecimiento del árbol depende de otros factores inherentes al sitio, tales como tipo de suelo, presencia de capas compactadas, drenaje del terreno, estado nutricional de la planta. El crecimiento lateral de las raíces es por lo general de 2 a 5 veces el radio de la copa, mientras que el mayor desarrollo del sistema radicular lo alcanza en forma general en los sitios más empobrecidos (DANIEL *et al.* 1982). La distribución

de las raíces en el suelo es una función de la especie, la edad y el ambiente. El ambiente condiciona en presencia de altos contenidos de humus, aireación, nutrientes y humedad el máximo desarrollo de vellosidades radicales en los estratos superiores y por lo tanto sistemas someros de raíces. Con relación a la longitud de raíces, las raicillas de menos de 2 y 3 mm representan del 85 al 99 % de la longitud radicular total, pero sólo del 14 al 60% del peso total de la raíz (DANIEL *et al.* 1982).

DAVIS *et al.* (1983) informaron que la distribución de raíces en *Pinus radiata* está afectada por la resistencia a la penetración, la densidad aparente, el sitio y la fertilización. Encontraron que el 39 al 75% de las raíces se desarrollaron en los primeros 20 cm, modificados por las tareas de labranza, mientras que por debajo de esta profundidad la colonización radicular respondía a las características generales del sitio. Si bien se observa una tendencia a un menor enraizamiento con el incremento de densidad, los coeficientes de correlación fueron bajos con relación a otros factores como la materia orgánica. La interacción entre densidad aparente, aireación y resistencia del suelo, hace difícil de establecer un nivel crítico de densidad aparente por encima del cual el crecimiento radicular sea afectado. SANDS y BOWEN (1978) mensuraron que el peso seco de material radicular fue aproximadamente la mitad cuando los plantines de *Pinus radiata* desarrollaron en arena compactada a una densidad de 1,6 Mg.m⁻³ con relación a aquellos que lo hicieron en un suelo con densidad aparente de 1,35 Mg m⁻³.

No obstante lo expuesto, son escasos los antecedentes sobre la incidencia de la compactación en el crecimiento inicial de las raíces de eucaliptos y su capacidad de respuesta ante condiciones adversas. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el desarrollo radicular de plantines de *Eucalyptus viminalis* L. en sustratos sometidos a distintos niveles de compactación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se efectuaron en la Facultad de Cs. Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (34° 55' LS y 57° 57' LO). A partir de un suelo Argiudol típico, extraído de la Estación Experimental Julio Hirschhorn, se preparó el sustrato de crecimiento para el material vegetal en estudio. Se realizó primeramente una caracterización del material (Tabla 1), para luego proceder al acondicionamiento del mismo para la plantación. Para ello se efectuó un ensayo de compactación según la metodología propuesta por PROCTOR (1933), a partir del cual se conoció la compactabilidad del material, la humedad en la cual existe mayor susceptibilidad a las cargas y la cantidad de agua requerida para humectar las muestras de suelo que serían posteriormente sometidas a tratamientos de compactación.

Tabla 1: Principales características del sustrato utilizado.**Table 1: Soil main characteristics.**

C (%)	MO (%)	CC (%) (*)	PMP (%) (**)	Arena	Limo (%)	Arcilla	Clase textural
2,2	3,7	27,17	15,76	28	45,4	26,6	Franco arcilloso

(*) Capacidad de campo (**) Punto de marchitez permanente

Los resultados obtenidos fueron 1,34 Mg.m⁻³ de Densidad Aparente Máxima (DAM) y 26% de Humedad Óptima de Compactación (HOC). El suelo destinado al llenado de los envases fue tamizado a través de una zaranda de 4,8 mm de diámetro. Se tomaron muestras para determinar su humedad gravimétrica y a partir de la misma se agregó la cantidad de agua necesaria para llegar a la HOC mediante un microaspersor. Se definieron cuatro densidades aparentes de suelo correspondientes a cuatro tratamientos: 0,95; 1,10; 1,20 y 1,30 Mg.m⁻³. El suelo fue dispuesto en recipientes plásticos y compactado de acuerdo a la metodología descrita por MULHOLLAND *et al.* (1996) por medio de una prensa hidráulica a la cual se le colocó un plato de acero de similar diámetro que el de los recipientes utilizados. Para esto se diseñó un disco de acero y adaptadores de profundidad para lograr compactación por capas. El llenado de cada recipiente se efectuó con 9 capas de tierra de 2 cm de altura y 15 cm de diámetro, sumando un volumen de 353.4 cm³ por capa para todos los tratamientos. Esto representó distinta masa de tierra de acuerdo a la densidad buscada para cada tratamiento. Antes de agregar cada capa, se realizó un escarificado superficial con el objeto de lograr la unificación de las capas y evitar el crecimiento radicular en el plano que separa las mismas. El material vegetal implantado estuvo constituido por 160 plantines de *Eucalyptus viminalis* procedencia INTA Bordenave, en tubos de polietileno de 5 cm de diámetro, los cuales fueron ubicados en el recipiente definitivo con la ayuda de un sacabocados. Los plantines fueron seleccionados a partir de una población de 300 individuos, en función de la altura y el número de hojas al momento del trasplante a los efectos de evitar diferencias que pudiesen interferir en el ensayo experimental. La altura promedio de las plantas utilizadas fue de 0,2m con un coeficiente de variación del 10%.

El ensayo se implantó el 13/5/98 y la evaluación final se efectuó el 24/11/98. Primeramente, el ensayo fue ubicado a cielo abierto, dentro de una parcela protegida y luego de 5 quincenas se trasladó a un invernáculo. A partir de ese momento se distinguieron 2 subtratamientos que consistieron en dos intensidades diferentes de riego: a) de riego reducido (RR) y b) de riego sin restricción (RSR) repartiéndose la mitad de las plantas de cada tratamiento a cada subtratamiento. El mismo se realizó en relación con los procesos de impedancia mecánica que suelen presentar los suelos para el normal desarrollo radicular, cuando los mismos

sufren procesos de restricción hídrica. Los tratamientos y subtratamientos fueron dispuestos en un diseño de bloques totalmente al azar, con una línea de bordura.

Al finalizar el período de evaluación estipulado, se cortó la parte aérea y en la mitad de las macetas el sustrato conteniendo la parte radicular se separó de la maceta y se congeló hasta su procesamiento definitivo de acuerdo a la técnica utilizada por CHIDICHIMO (1992). El material radicular así separado se llevó a estufa a 60°C para su posterior pesado y obtención de la materia seca. Posteriormente se separaron las raíces primarias y secundarias determinándose la longitud de las mismas en forma independiente por medio de un software para análisis de imágenes Optimax. La otra mitad fue cortada en 2 mitades según su eje longitudinal lavadas las caras expuestas con un microaspersor hasta desgranar 1 cm de tierra de la pared cortada, a los efectos de dejar al descubierto con claridad los extremos de las raíces y proceder a contar el número de raíces con la ayuda de una grilla metálica de sección cuadrangular de 0,04 m de lado. Sobre los resultados alcanzados se efectuó análisis de varianza y la significancia de las diferencias analizadas estadísticamente por medio del Test de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca radicular

En la Tabla 2 se visualizan los resultados alcanzados en materia seca total de raíces por tratamiento y subtratamiento. En el análisis general de los datos el tratamiento de mayor densidad aparente fue el que presentó el mayor peso de raíces, alcanzando diferencias significativas tanto con el de menor densidad aparente inicial (0,95 Mg.m⁻³) que es el de menor masa radicular y con el de 1,20 Mg.m⁻³, mientras que el tratamiento de 1,10 Mg.m⁻³ se diferenció únicamente del de menor densidad. Estas tendencias se manifestaron también, cuando se analizaron los valores medios de los subtratamientos con distinto aporte hídrico. Sin ser éste un sitio empobrecido, el mayor desarrollo radicular lo alcanzó el tratamiento de mayor densidad inicial (1,30 Mg.m⁻³), que es en el actual ensayo el de condiciones de mayor adversidad para el crecimiento de las plantas, en concordancia con lo citado por DANIEL *et al.* (1982).

Tabla 2. Valores medios de materia seca de raíces (g).

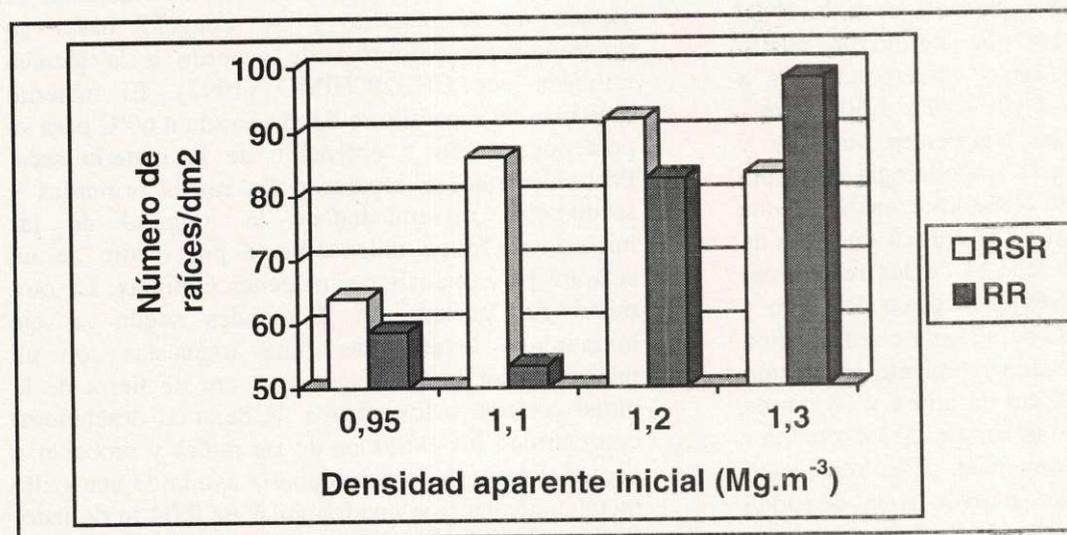
Table 2. Root dry matter values (g)

Densidad (Mg.m ⁻³)	General	RR	RSR
0,95	0,91 a	0,75 a	1,06 a
1,10	1,75 bc	1,67 ab	1,83 b
1,20	1,19 ab	1,07 ab	1,32 ab
1,30	2,07 c	2,16 b	1,98 b

Valores medios seguidos de diferente letra inicial en cada columna indican diferencias significativas según el test de Tuckey ($p \leq 0,05$). RR: riego reducido; RSR: riego sin restricciones

Gráfico 1: Número de raíces según densidad aparente y oferta de agua. RSR: Riego sin restricciones; RR: Riego restringido

Graphic 1: Root counts in relation to bulk density and irrigation level. RSR: without water restriction; RR: with reduce irrigation.



En cuanto al efecto del riego para cada tratamiento, el comportamiento fue dispar, puesto que la masa radicular fue mayor para el tratamiento con riego sin restricciones para 0,95 Mg.m⁻³, 1,10 Mg.m⁻³ y 1,20 Mg.m⁻³ (41,3 %, 9,58 % y 23,36 % respectivamente) pero no así para el de 1,30 Mg.m⁻³ en el cual la tendencia cambió y tuvo un 8,33% menor masa que el de riego restringido. Resulta interesante indicar la inexistencia de una relación lineal entre la masa de raíces y la densidad aparente inicial

Número de raíces

En el subtratamiento RR (Gráfico 1) el mayor conteo de raíces correspondió al tratamiento de mayor densidad (1,30 Mg.m⁻³) que junto con el de 1,20 Mg.m⁻³ se diferenciaron del de menor densidad (0,95 Mg.m⁻³) y del 1,10 Mg.m⁻³ que es el de menor valor.

Para el tratamiento RSR, el de mayor número de raíces fue el de 1,20 Mg.m⁻³ que se diferencia con el de menor densidad (0,95 Mg.m⁻³) que es el de menor número. En RR el número de raíces del tratamiento 1,30 Mg.m⁻³ es mayor que en RSR mostrando el mismo comportamiento que el peso de la masa radicular. Esto pareciera indicar, que en la condición más desfavorable para un mayor grado de compactación y menor aporte hídrico, el

sistema radicular del *Eucalyptus viminalis* respondió al estrés sometido con una mayor generación de raíces a diferencia de lo que ocurrió a las menores densidades aparentes. Las diferencias entre tratamientos alcanzaron significancia estadística, lo cual no ocurrió en igual medida cuando se aplicó mayor cantidad de agua. En este caso, solamente el tratamiento de menor densidad inicial fue el que resultó significativamente menor que el de 1,20 Mg.m⁻³ e inferior en promedio en un 30 % con respecto a los demás. Por otra parte, al analizar la respuesta al riego en cada tratamiento, las diferencias fueron pequeñas y no significativas, y solamente marcan una tendencia similar en la respuesta a las limitaciones inducidas similares a las obtenidas en las determinaciones de masa radicular, puesto que todos los tratamientos con riego salvo el de mayor compactación tuvieron mayor número de raíces. Podría en función de ello hipotetizarse que el tratamiento de 0,95 Mg.m⁻³, no habría tenido limitaciones iniciales a la exploración radicular, permitiendo al sistema radicular bajo este tratamiento alcanzar rápidamente estratos más profundos dentro del sustrato de crecimiento; sin embargo, la condición mecánica del suelo, favorable en los primeros estadios, tampoco habría inducido una mayor generación de raicillas, lo cual debería resultar

notorio en la cuantificación de la longitud de las raíces.

Para analizar mejor los efectos en este aspecto, primeramente se analizó la distribución en profundidad de cada tratamiento, con la ayuda de los campos delimitados por la grilla utilizada para realizar el conteo de raíces, por lo cual se establecieron cinco profundidades. Para la condición RR (Tabla 3) cuando se compara entre tratamientos solo hay diferencias en el segundo estrato, donde el de tratamiento de mayor densidad tiene mayor número de raíces y se diferencia con el de menor densidad y el de 1,1 Mg.m⁻³; además, si se calcula el porcentaje del número de raíces de cada tratamiento por estratos, se observa que para el tratamiento de 0,95 Mg.m⁻³ la mayor concentración se encuentra en el tercer y cuarto estrato, mientras que para el de 1,2 Mg.m⁻³ y 1,3 Mg.m⁻³ fue en el segundo. Para el tratamiento de 1,1 Mg.m⁻³ en cambio, la distribución fue relativamente homogénea entre el segundo, tercero y cuarto estratos.

En el subtratamiento RSR cuando se compara entre tratamientos la tendencia es similar al de RR, puesto que solamente (Tabla 4) hay diferencias en el número de raíces en el segundo estrato donde las densidades 1,1 Mg.m⁻³ y 1,2 Mg.m⁻³ se diferencian con el de menor densidad.

Por otra parte, en el tratamiento de 0,95 Mg.m⁻³ hay mayor concentración en el cuarto estrato de medición tal como muestra la Tabla 5. Es importante remarcar que en este tratamiento no pudo efectuarse la medición del primer estrato, puesto que hubo una reducción significativa del volumen de la maceta a causa de una recompactación del material en el paso del tiempo. Para el resto de los tratamientos el mayor porcentaje de raíces se correspondió con el segundo estrato.

La distribución porcentual en los estratos de medición de número de raíces, muestra que en las condiciones de riego restringido, no hubo mayores diferencias entre los tratamientos, mientras que en el de riego sin restricciones, la variabilidad fue mayor.

El ambiente habría condicionado, en concordancia con lo expresado por Davis *et al.* (1982), el máximo desarrollo de vellosidades radiculares en los estratos superiores, cuando el estado físico del suelo ofreció algún tipo de restricción al desarrollo inicial. Pese a ello, los mayores niveles de compactación produjeron mayor cantidad de raíces.

Tabla 3. Número de raíces por profundidades para el subtratamiento con riego restringido.

Table 3. Root number by layers in water reduce irrigation treatment.

Densidad (Mg.m ⁻³)	1	2	3	4	5
0,95	5,50 a	9,10 a	11,75 a	12,00 a	9,20 a
1,1	3,80 a	9,90 a	10,05 a	10,95 a	8,10 a
1,2	8,00 a	17,05 a b	14,40 a	14,25 a	12,50 a
1,3	11,20 a	19,50 b	15,75 a	16,20 a	13,20 a

Valores medios seguidos de diferente letra inicial en cada columna indican diferencias significativas según el test de Tuckey (p ≤ 0,05)

Tabla 4: Medias del número de raíces por profundidades para el subtratamiento con riego sin restricciones.

Table 4. Mean roots counts by layers in non reduce irrigation subtreatment.

Densidad (Mg.m ⁻³)	1	2	3	4	5
0,95	0	7,80 a	13,70 a	14,05 a	11,40 a
1,1	5,25 a	19,80 b	16,55 a	15,25 a	11,55 a
1,2	10,45 a	22,20 b	17,00 a	13,85 a	10,10 a
1,3	7,82 a	17,20 a b	15,25 a	14,20 a	12,35 a

Valores medios seguidos de diferente letra inicial en cada columna indican diferencias significativas según el test de Tukey (p ≤ 0,05)

Tabla 5. Porcentaje de raíces en cada estrato de medición para cada tratamiento en RSR.

Table 5. Root layer distribution by treatment in RSR (%).

Densidad (Mg.m ⁻³)	1	2	3	4	5
0,95		16,60 a	29,17a	29,90 a	24,28 a
1,1	7,60 a	28,95 b	24,19 a	22,29 a	16,88 a
1,2	14,19 a	30,10 b	23,09 a	18,81 a	13,72 a
1,3	11,70 a	25,74 b	22,82 a	21,25 a	18,48 a

Valores medios seguidos de diferente letra inicial en cada columna indican diferencias significativas según el test de Tuckey (p ≤ 0,05)

Longitud de raíces

La longitud de las raíces secundarias resultó ser muy superior a la de las raíces primarias en cualquier condición de compactación y régimen hídrico, alcanzando un promedio general ligeramente superior al 90%, tal como fuera informado por DANIEL *et al* (1982). Sin embargo, al analizar la partición raíz principal/raíces totales surgen diferencias significativas entre RR y RSR, correspondiendo valores medios para ambos subtratamientos del 6,54 % y del 12% respectivamente. Sin embargo, no existió un comportamiento uniforme en los distintos tratamientos para los subtratamientos RR y RSR, puesto que las diferencias entre los mismos variaron de un 3,7% hasta un 24,5% sin que prevalezca uno sobre el otro. En cuanto a los distintos niveles de densidad aparente, el tratamiento de mayor longitud fue el de 1,1 Mg.m⁻³ dado principalmente por una mayor longitud de raíces secundarias y registró diferencias significativas con el de menor densidad que tuvo la menor longitud radicular (Tabla 6).

En este parámetro, el tratamiento de mayor densidad no es el mayor, como había acontecido con el peso seco de raíces, lo cual indicaría un cambio en las características de las raíces de los distintos tratamientos. Se observa que en las densidades 1,1 y 1,3 Mg/m³ en condiciones sin riego tiene mayor longitud que con riego.

En la Tabla 7 se visualiza la longitud de las raíces para los distintos tratamientos y subtratamientos divididas en raíces principales y secundarias. Puede observarse que las mayores diferencias relativas entre tratamientos se alcanzan, con respecto al tratamiento de menor compactación inicial para la condición de riego restringido, con la única salvedad que considerando la raíz principal,

para el subtratamiento RSR el menor valor correspondió al tratamiento de 1,1 Mg.m⁻³

En el análisis general de los datos, en el subtratamiento RR los tratamientos de mayor compactación inicial aumentaron la longitud de sus raíces entre un 38,9 % y un 113,8% con respecto al tratamiento de menor densidad inicial.

Analizando las raíces secundarias sin tener en cuenta el riego (Tabla 7) hay diferencias entre el tratamiento de 1,1 Mg.m⁻³ que es el de mayor longitud con el de menor densidad aparente. Para las condiciones de RR y RSR se observa que el tratamiento de 1,1 Mg.m⁻³ es el de mayor longitud y el de 0,95 Mg.m⁻³ el de menor longitud con incrementos del orden del 114 % para RR y 59% para RSR.

La densidad aparente no redujo en los estadíos iniciales de crecimiento del *Eucalyptus viminalis*, los distintos parámetros de caracterización del desarrollo radicular evaluados.

Por lo contrario, las condiciones de mayor densificación del suelo habrían inducido a un mayor crecimiento radicular, inclusive para valores de densidad aparente indicados en otras especies como limitantes de rendimiento de la plantación por SANDS y BOWEN (1978) en suelos arenosos y por MITCHELL *et al.* (1982) en pinos sobre suelos franco texturales.

Por lo contrario, las condiciones de mayor densificación del suelo habrían inducido a un mayor crecimiento radicular, inclusive para valores de densidad aparente indicados en otras especies como limitantes de rendimiento de la plantación por SANDS y BOWEN (1978) en suelos arenosos y por MITCHELL *et al.* (1982) en pinos sobre suelos franco texturales.

Tabla 6. Valores medios de longitud de raíces en mm.

Table 6. Root length mean values (mm)

Densidad (Mg.m ⁻³)	General	RR	RSR
0,95	1155,5 a	1029,5 a	1281,6 a
1,1	2048,9 b	2200,8 b	1805,8 a
1,2	1515,3 ab	1429,7 a	1621,2 a
1,3	1712,9 ab	1743,9 a	1682,0 a

Valores medios seguidos de diferente letra inicial en cada columna indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0,05$). RSR: riego sin restricción; RR: riego reducido.

Tabla 7. Longitud de raíces principales y secundarias para tratamientos y subtratamientos en mm.

Table 7. Main and secondary root length by treatment and subtreatment (mm)

Densidad (Mg.m ⁻³)	Raíces principales			Raíces secundarias		
	General	RR	RSR	General	RR	RSR
0,95	103,0 a	56,8 a	149,2 a	1052,5 a	972,7 a	1132,3 a
1,1	126,6 a b	118,1 a	115,0 a	1922,3 b	2082,7 b	1690,8 a
1,2	164,2 a b	110,8 a	217,6 a	1352,5 a b	1318,9 ab	1403,6 a
1,3	205,3 b	131,6 a	279,0 a	1507,6 a b	1612,3 ab	1402,9 a

Valores medios seguidos de diferente letra inicial en cada columna indican diferencias significativas según el test de Tuckey ($p \leq 0,05$). RSR: riego sin restricción; RR: riego reducido.

Estos resultados, también muestran discordancia con los determinados por DAVIS *et al.* (1983) en plantines de *Pinus radiata*. El desarrollo radicular no dependería en estos estadíos tal como fuera aclarado por DANIEL *et al.* (1982), de las condiciones del sitio. Sin embargo, la provisión de agua, si bien no cambia en general las tendencias de desarrollo radicular, aumentaría las diferencias entre los distintos tratamientos de densificación del sustrato.

La distribución de las raíces en cambio fue parcialmente afectada por los procesos de densificación del suelo. Por un lado, la mayor densificación aumentó el número de raíces, pero además es posible visualizar una mayor concentración radicular en los primeros centímetros del suelo para los tratamientos de mayor compactación, en concordancia con lo cuantificado por DAVIS *et al.* (1983) para *Pinus radiata*, pudiendo el tenor de materia orgánica del sustrato haber limitado los efectos nocivos de la mayor compactación del suelo. Por otra parte, la partición entre raíces principales y secundarias fue también afectada por la provisión de agua, con lo cual resulta claro que el sistema radicular del *Eucalyptus viminalis* L. responde al estrés hídrico, con distintas estrategias para adecuarse a las condiciones del sitio y el ambiente.

CONCLUSIONES

La compactación de suelo incide sobre el desarrollo radicular del *Eucalyptus viminalis* L. en sus estadíos iniciales de crecimiento.

Los patrones de crecimiento radicular son afectados por la densidad aparente del suelo y el aporte hídrico.

La partición raíz principal/raíz secundaria se reduce en condiciones de riego restringido, mientras que la densificación del suelo induce a la producción de un mayor número de raíces.

BIBLIOGRAFÍA

ARAGÓN A., M. García, A. Nico, R. Filgueira. 1996. Compactabilidad de suelos; influencia de la capacidad de retención de agua y sus variables conexas. En: Memorias del IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural, Neuquén, Argentina. 2: 707-712.

CONSTANTINI A., M.R. Nester, M. Podberscek. 1995. Site preparation for *Pinus* establishment in south-eastern Queensland. 1. Temporal changes in bulk density. Australian Journal Experimental Agriculture. 35: 1151-1158.

CHIDICHIMO H., A. Aragón, M. Asborno. 1992. Maíz: Evaluación del sistema de raíces en

diferentes genotipos. Congreso Nacional de Maíz. I: 225-235.

CULLEN S., C. Montagne, H. Ferguson. 1991. Timber harvester trafficking and soil compaction in Western Montana. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 55: 1416-1421.

DANIEL T.W., J.A. Helms, F.S. Backer. 1982. Principios de Silvicultura. MacGraw-Hill, México. 493 pp.

DAVIS G. R., W.A. Nielsen, J.G. Mac Davitt. 1983. Root distribution of *Pinus radiata* related to soil characteristics in five Tasmanian soils. Australian Journal Soil Research. 21: 165-171.

HÅKANSSON I., W.B. Voorhees, H. Riley. 1988. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. Soil & Tillage Research, 11: 239-282.

JORAJURIA D., L. Draghi, A. Aragón. 1997. The effect of vehicle weight on the distribution of compaction with depth and the yield of *Lolium/Trifolium* grassy Soil & Tillage Research, 41: 1-12,

MITCHELL M.L., A.E. Hassan, C.B. Davey, J.D. Gregory. 1982. Loblolly pine growth in compacted greenhouse soils. Transaction of ASAE, 25(2): 304-307 and 312.

MULHOLLAND B.J., I.B. Taylor, C.R. Black, J.A. Roberts. 1996. Effect of soil compaction on barley (*Hordeum vulgare* L.) growth II. Are increased xylem sap ABA concentrations involved in maintaining leaf expansion in compacted soils? Journal of Experimental Botany, Vol 47: 551-556

PROCTOR R.R. 1933. Fundamental principles of soil compaction. Engineering News Record 11(9): 246-289.

RAB M.A. 1992. Impact of timber harvest on soil disturbance and compaction with reference to residual log harvesting in East Gippsland, Victoria- a review, Native Forest Research, Department of Conservation and Environment, Vic., Australia. VSP Tech. Rep. N° 13, 18 pp.

SANDS R., G.D. Bowen. 1978. Compaction of sandy soils in radiata pine forests. 1. A penetrometer study. Aust. J. Soil Res. 17: 101-113.

SMITH D.L.O., J.W. Dickson. 1990. The contribution of vehicle weight and ground pressure to soil compaction. Journal of Agricultural Engineering Research, 46: 13-29.