

COMPACTACIÓN DEL SUELO Y CRECIMIENTO INICIAL DE *Eucalyptus viminalis* L.

SOIL COMPACTION EFFECTS ON *Eucalyptus viminalis* L. INITIAL GROWTH

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

Soil physical properties affect different agricultural and forestry productive systems. Test was carried out in single plant pots with the aim of evaluate soil compaction effects on *Eucalyptus viminalis* L. initial growth rate. Treatments were established in relation to four soil bulk densities: 0,95, 1,1, 1,2 and 1,3 Mg.m⁻³. A hydraulic press allowed each pot to get the desired final compaction. During growing season, plants were divided in two subtreatments: one of them without water restriction and the other one irrigation reduced. Plant height, dry matter weight and leaf area, were evaluated. Plants without water reduction had significantly greater aerial plant parameters than subtreatment with reduce irrigation and 1,3 Mg.m⁻³ treatment had significantly more height, leaf area and dry matter than 0,95 Mg.m⁻³ treatment. When water reduction was applied, no differences among compaction treatments in plant height, were measured, but leaf area and dry matter were significantly lower for the 0,95 Mg.m⁻³ as compared to the 1,3 Mg.m⁻³ initial bulk density treatment. Soil compaction affects *Eucalyptus viminalis* initial growth and induces higher values of aerial plant parameters. Low irrigation rates reduces *Eucalyptus viminalis* height growing at any compaction level. Soil consolidation after planting was relatively greater in 0,95 Mg.m⁻³ treatment and may affect initial *Eucalyptus viminalis* growth

Key words: pots, bulk density, irrigation, dry matter, plant height, compaction

RESUMEN

Las características físico mecánicas del suelo inciden sobre el crecimiento de diferentes especies agrícolas y forestales. Con el objeto de evaluar los efectos de la compactación del suelo sobre plantines de *Eucalyptus viminalis* L., se efectuaron ensayos en macetas. Para ello se establecieron 4 tratamientos correspondientes a cuatro densidades aparentes iniciales de suelo de 0,95; 1,1; 1,2 y 1,3 Mg.m⁻³. Los mismos fueron obtenidos artificialmente mediante la compactación del suelo por capas utilizando una prensa hidráulica. Luego de transplantados los plantines a los envases con el suelo compactado, e iniciado el período de crecimiento, se establecieron como subtratamientos 2 niveles de riego. Sobre los plantines se hicieron determinaciones de altura y al término del ciclo experimental, se obtuvo de cada planta el área foliar, el peso seco del tallo, el peso seco de las hojas, el peso seco total de la parte aérea y el peso seco de las raíces. Los parámetros de parte aérea fueron significativamente mayores para los subtratamientos con riego. No se encontraron diferencias significativas entre los diferentes niveles de compactación para altura de plantas cuando se aplicó reducción del aporte hídrico, pero

el área foliar y la materia seca del tratamiento de 1,3 Mg.m⁻³ resultaron mayores con respecto al de 0,95 Mg.m⁻³ en forma independiente del riego. El grado de compactación del sustrato afectó el crecimiento inicial de las plantas de *Eucalyptus viminalis* induciendo un mayor crecimiento cuando el riego no resultó limitante. La reconsolidación del suelo fue relativamente mayor en el tratamiento de 0,95 Mg.m⁻³ pudiendo disminuir el desarrollo inicial del *Eucalyptus viminalis*.

Palabras clave: macetas, densidad aparente, riego, materia seca, altura de plantas, compactación

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento forestal de una plantación comercial requiere el uso de maquinaria sobre un suelo que cumple dos funciones: a) Constituye el soporte para la maquinaria. b) Constituye el sustrato para el crecimiento de los árboles. A la vez, las propiedades de un suelo que le permiten constituir un sustrato para el crecimiento pueden verse alteradas por el tránsito de maquinaria. La tendencia actual con respecto a la maquinaria de aprovechamiento forestal es el uso de vehículos cada vez más pesados. Debido a esto,

el potencial de daños a la productividad del sitio es grande en los bosques ya que las pasadas de las máquinas se repiten en la misma senda. (MATTHES y WATSON, 1989). El acortamiento de los turnos de cosecha y la regularidad de abastecimiento que el mercado exige, condiciona a los responsables del aprovechamiento a incursionar dentro de las plantaciones cuando las condiciones edáficas no son apropiadas, son dos factores que acentúan el nivel de daños que sufre el suelo. El tráfico del rodado en el terreno ha sido reconocido como la mayor fuente de fuerzas causantes de la compactación (SCHAFER *et al.*, 1989), definida por BRADFORD Y GUPTA (1986) como el proceso que causa la alteración del volumen del suelo, resultante de la aplicación momentánea de una carga. 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). La densidad aparente es un parámetro que ha sido utilizado ampliamente como indicador de procesos de compactación. SANDS Y BOWEN (1978), en plantaciones de pino en suelos arenosos, encontraron que incrementos en la densidad aparente de 1,35 a 1,48 Mg.m⁻³ produjeron reducciones de 10 al 17 % en el rendimiento; y del 50 % cuando se llegó a 1,60 Mg m⁻³. MITCHELL *et al.* (1982) observaron mermas de un 50 % en la velocidad de implantación de pinos en suelos franco texturales identificando que valores de densidad aparente de 1,4 Mg.m⁻³ resultaron críticos para esta especie. CONSTANTINI *et al.* (1995) evaluaron los cambios temporales en densidad aparente en relación a la preparación de sitio para el establecimiento de pinos en Australia. Determinaron la duración de la reducción en densidad aparente y establecieron 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. RAB (1994), señala reducciones en la macroporosidad, en la porosidad total y en la conductividad hidráulica saturada en áreas disturbadas por tareas de madereo. Incrementos significativos en la densidad aparente del suelo fueron determinados por CULLEN *et al.* (1991), con valores superiores al 40% en relación con áreas no disturbadas. FERNÁNDEZ *et al.* (1995) trabajando en suelos con alto contenido de arcilla, evaluaron el efecto de distintas intensidades de tránsito durante la tala rasa sobre características

físicas del suelo y productividad del segundo ciclo de *Pinus taeda*. En cuanto al parámetro densidad aparente, solamente surge asociación al cuarto año de ensayos entre altura de los árboles con la densidad del estrato de 0 a 0,20m y con el volumen total entre 0-0,10m y 0-0,20m.

La compactabilidad del suelo depende del contenido de agua, la textura y el contenido de materia orgánica (ARAGÓN *et al.* 1996). RAB (1994), estudió el efecto de la compactación sobre propiedades físicas del suelo y crecimiento en altura y diámetro de *Eucalyptus regnans* en el sur de Australia y halló una correlación negativa entre el crecimiento en altura, diámetro y la densidad aparente del suelo en los primeros 0,10 m. Determinaron por ecuaciones de regresión una posible reducción del 50% en altura y diámetro para valores de densidad aparente de 0,91 y 0,96 Mg.m⁻³. De la misma forma estimaron que el crecimiento en altura y diámetro cesarían para registros de 1,32 y 1,43 Mg.m⁻³. SILVA Y FERREYRA (1995), estudiando las relaciones entre crecimiento en altura de plantas de eucaliptos y diversos parámetros físicos de suelo en distintos sistemas de labranza, no encontraron asociación entre dicho parámetro y ninguna de las variables estudiadas.

El objetivo del trabajo fue evaluar el crecimiento inicial del *Eucalyptus viminalis* L. en relación con distintos estados mecánicos del suelo. Se parte de la hipótesis que el grado de compactación del suelo tiene una relación inversa con el crecimiento inicial del *Eucalyptus viminalis* L., en forma independiente del aporte hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de un suelo Argiudol típico, extraído de la Estación Experimental Julio Hirschornn, de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP, se preparó el sustrato de crecimiento para el material vegetal en estudio. Se realizó primeramente una caracterización textural del suelo, para luego proceder al acondicionamiento del mismo para la plantación. Para ello se efectuó un ensayo Proctor de compactación (PROCTOR, 1933), a partir del cual se conoció 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. Se definieron cuatro densidades aparentes de suelo correspondientes a cuatro tratamientos: 0,95; 1,1; 1,2 y 1,3 Mg.m⁻³. El suelo fue dispuesto en recipientes plásticos y compactado de acuerdo a la metodología descripta 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. Para lograr las distintas densidades

correspondientes a los tratamientos se siguió el siguiente procedimiento: 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 353,9 cm³ por capa que fue idéntico para todos los tratamientos. Esto implicó que se tuviese 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 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.

El ensayo se implantó el 13/5/98 y la evaluación final se efectuó el 24/11/98. Cada tratamiento contó con 40 repeticiones, que fueron dispuestas en un bloque ordenado de 8 x 20 recipientes, con una línea de bordura. Primeramente, el ensayo fue ubicado a cielo abierto y luego de 5 quincenas, en coincidencia con el inicio del ciclo de crecimiento en primavera, se trasladó a un invernáculo, para poder controlar las condiciones ambientales, de manera de no sufrir períodos de exceso o déficit hídrico que pudiesen interferir en la respuesta vegetal a las variables experimentales establecidas. A partir de ese momento se distinguieron 2 subtratamientos que consistieron en dos intensidades diferentes de riego: a) con riego reducido (RR), 7 l de agua cada 3 días y b) con riego sin restricciones (RSR), 14 l de agua cada 3 días, repartiéndose la mitad de las plantas de cada tratamiento a cada subtratamiento. De esta forma, se establecieron 2 condiciones de aporte hídrico, para valorar la respuesta a la compactación del suelo ante distintas condiciones de disponibilidad de agua, relacionadas a la dinámica de las propiedades físicas del suelo. Se registró la altura inicial de cada planta y se midió su altura cada 15 días. El crecimiento medio en altura de las plantas de cada tratamiento fue calculado a través de las diferencias entre la altura inicial y el último registro de altura de cada tratamiento. Al finalizar el ensayo, se efectuaron determinaciones de materia seca de parte aérea y área foliar. Como determinación complementaria se realizó la cuantificación de la materia seca radicular. Sobre los resultados del ensayo se procedió a realizar los análisis de varianza, mientras que la significancia de las diferencias fue determinada por medio del Test de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mortalidad de los individuos de los diferentes tratamientos fue casi nula, registrándose solamente una planta muerta en el tratamiento de

mayor densidad aparente. Los incrementos de altura para cada tratamiento se visualizan en la Tabla 1. Se determinó significancia de la interacción entre tratamientos y subtratamientos por lo cual se procedió a evaluar los mismos en forma independiente. Es importante destacar, que las densidades iniciales no se correspondieron con las densidades finales alcanzadas por los distintos tratamientos. Si bien todos registraron incrementos en la densidad aparente, independientemente del aporte hídrico, los mayores valores relativos los alcanzó el tratamiento de 0,95 Mg.m⁻³, el cual tuvo una densidad final de 1,17 Mg.m⁻³, ubicándose entre el tratamiento de 1,1 Mg.m⁻³ y 1,2 Mg.m⁻³, mientras que el tratamiento de 1,3 Mg.m⁻³ superó al valor de 1,34 Mg.m⁻³, de máxima compactación determinado por el método Proctor, con una densidad final de 1,4 Mg.m⁻³. Estos cambios ocurridos en el sustrato estarían de acuerdo con lo informado por CONSTANTINI *et al.* (1995). El suelo utilizado, luego de haber sido tamizado, habría permitido una rápida reconsolidación, principalmente ocasionada por las precipitaciones naturales, lo cual determinó mayores incrementos relativos en los valores de densidad aparente para el tratamiento de menor densidad inicial.

En el subtratamiento con riego reducido no hubo diferencias entre tratamientos aunque en valores absolutos el de mayor densidad 1,3 Mg.m⁻³ fue el de menor incremento, pero solamente un 3,7 % inferior al mayor. Por lo contrario, en el tratamiento sin restricción de riego se alcanzaron diferencias significativas del tratamiento de 1,2 Mg.m⁻³ con respecto al de 0,95 Mg.m⁻³ mientras que los de 1,1 Mg.m⁻³ y 1,3 Mg.m⁻³ registraron valores intermedios sin diferencias significativas con ningún otro. Al graficar las curvas decrecimiento para los distintos tratamientos, para la condición sin restricción hídrica, se visualiza claramente que los tratamientos correspondientes a las densidades 1,1, 1,2 y 1,3 Mg.m⁻³ tuvieron una tendencia similar, diferenciándose a medida que transcurrió el período de evaluación del tratamiento de menor densidad aparente inicial (Gráfico 1). A diferencia de ello, en condiciones de riego reducido, todos los participantes formaron grupos homogéneos en todas las instancias de medición. La tasa de crecimiento muestra en todos los tratamientos un cambio en la pendiente a partir del inicio del riego diferencial, junto con el inicio del ciclo de crecimiento primaveral. Llama la atención, que sea justamente el tratamiento de menor densidad aparente inicial, el único que se diferencia con menores incrementos de altura con respecto a los demás. A partir de estos resultados podría indicarse que el crecimiento es muy perjudicado si la densidad es elevada y el riego reducido; por lo tanto, con valores altos de densidad aparente es imperioso no limitar el aporte hídrico.

Tabla 1. Crecimiento en altura de *Eucalyptus viminalis* (cm).

Table 1. *Eucalyptus viminalis* height growth (cm).

Densidades (g/cm ³)	General	Riego reducido	Riego s/restricción
0,95	33,92	30,05 a	37,80 a
1,1	37,50	30,35 a	44,65 ab
1,2	37,90	29,70 a	46,10 b
1,3	36,79	29,22 a	43,60 ab

Valores medios seguidos de diferente letra inicial indican diferencias significativas según el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

Sin embargo, la densidad del tratamiento de 0,95 Mg.m⁻³ se ubicó, tal como fue explicado anteriormente, al final del ensayo por encima del tratamiento de 1,1 Mg.m⁻³. Esto contradice en parte lo expresado anteriormente. La hipótesis ad-hoc que se plantea es que la ausencia de diferencias en el crecimiento para el tratamiento de menor densidad inicial, se debería a una menor exploración radicular en los primeros estadios de crecimiento, antes que se produjese la reconsolidación del suelo, lo cual una vez acontecido no habría permitido un desarrollo radicular que permitiese un mayor crecimiento aéreo. En la condición de riego restringido, todas las plantas habrían sufrido el estrés hídrico, siendo el mismo el factor limitante, sin que el grado de compactación del sustrato permitiese establecer un problema de mayor importancia relativa. Además, dadas las características del suelo en cuanto a sus constantes hídricas, el mismo habría al menos asegurado por su capacidad de acumulación de agua y contenido de materia orgánica una provisión suficiente de agua para un crecimiento reducido y no diferencial entre los tratamientos de compactación del suelo.

En relación a la materia seca de los distintos tratamientos y subtratamientos (Tabla 2), se hallaron diferencias significativas entre los niveles de compactación y entre ambas condiciones de riego, sin que halla interacción entre los mismos. En

condiciones de riego sin restricciones, los tratamientos de 1,3 Mg.m⁻³ y 1,1 Mg.m⁻³ fueron significativamente mayores que los de 1,2 Mg.m⁻³ y 0,95 Mg.m⁻³ siendo las diferencias con este último del orden del 62 % y 61% respectivamente. En condiciones de riego reducido las tendencias fueron similares, puesto que nuevamente el tratamiento de mayor densidad es el de mayor peso total y también discriminado en hojas y tallos diferenciándose significativamente del de 0,95 Mg.m⁻³, que fue el de menor materia seca total y parcial, y del de 1,2 Mg.m⁻³.

En cuanto al efecto del riego, el subtratamiento sin restricción hídrica fue superior al RR en aproximadamente un 35 % para los distintos niveles de compactación, salvo en el de 1,1 Mg.m⁻³ que resultó un 68 % superior.

Similares resultados se alcanzaron en la cuantificación del área foliar, con diferencias significativas entre el tratamiento de 1,3 Mg.m⁻³ con respecto al de 0,95 Mg.m⁻³, con registros del 76% mayores para la condición RSR y del 57% para la de RR. A nivel de subtratamientos, las diferencias fueron también significativas entre los mismos, con valores variables de incremento para el de RSR entre el 50 % y el 68 % (Tabla 3).

Gráfico 1. Crecimiento en altura para los distintos tratamientos con riego sin restricciones
Graphic 1. Height growth by treatments without restricted irrigation

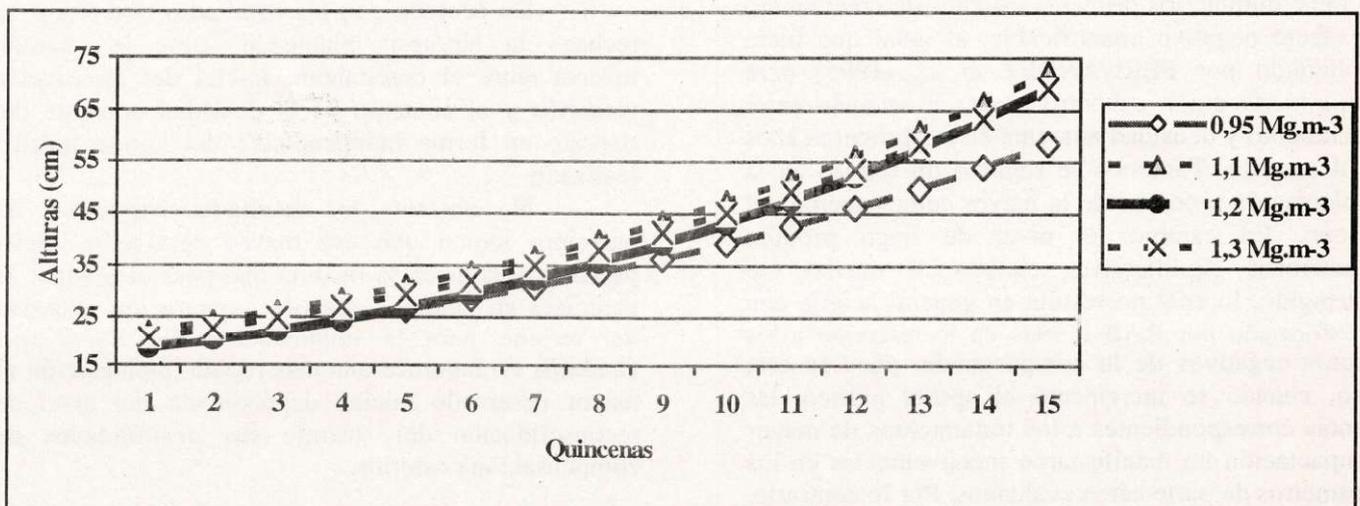


Tabla 2. Materia seca de parte aérea (g) para tratamientos y subtratamientos**Table 2. Aerial plant dry matter (g) by treatment and sub-treatment**

Densidad (Mg.m ⁻³)	Riego sin restricción			Riego reducido		
	Total	Tallos	Hojas	Total	Tallos	Hojas
0,95	5,11 a	2,52 a	2,58 a	3,77 a	1,94 a	1,83 a
1,1	8,24 b	4,18 b	4,03 b	4,91 a b	2,36 a b	2,55 a b
1,2	6,05 a	3,04 a	3,01 a	4,49 a	2,23 a	2,26 a
1,3	8,28 b	4,24 b	4,06 b	6,08 b	2,91 b	3,17 b

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo al test de Tukey (p≤ 0,05)

Los resultados alcanzados muestran correlación con los encontrados por SILVA Y FERREYRA (1995), quienes tampoco hallaron asociación entre altura de las plantas de eucaliptus y ninguno de los diversos parámetros físicos del suelo analizados. Por otra parte, tampoco aparecen como limitantes ninguno de los niveles de densidad aparente ensayados, pese a que la densidad final del material para el tratamiento de mayor compactación inicial, fue de 1,4 Mg.m⁻³.

Tabla 3. Áreas foliares medias (cm²).**Table 3. Mean leaf area (cm²).**

Densidades (Mg.m ⁻³)	Riego sin restricción	Riego reducido
0,95	358,20 a	238,13 a
1,1	578,40 bc	301,35 ab
1,2	479,43 ab	293,20 ab
1,3	631,99 c	375,22 b

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo al test de Tukey (p≤ 0,05)

Esto contradice, al menos para los estadíos iniciales de crecimiento de *Eucalyptus viminalis* los cálculos de RAB (1994), puesto que se superaron los valores indicados por el mismo de 1,32 y 1,43 Mg.m⁻³ a los cuales tanto el crecimiento en altura como en diámetro respectivamente deberían haber cesado. Por lo expuesto, la asociación entre densidad aparente y los distintos caracteres de parte aérea del eucaliptus no tiene durante los primeros estadíos de crecimiento un efecto negativo cuantificable, al igual que fuera explicitado por FERNÁNDEZ *et al.* (1995) para *Pinus taeda* quien encontró escasa asociación entre crecimiento y densidad aparente en los primeros años de desarrollo. Tampoco se registró un retraso en la implantación producto de la mayor compactación del terreno. En cambio, el nivel de riego produjo reducciones significativas cuando el mismo fue restringido, lo cual no resulta en general acorde con lo informado por RAB (1992) en lo referente a los efectos negativos de la compactación, pues en este caso, cuando se incrementó el aporte hídrico, las plantas correspondientes a los tratamientos de mayor compactación no manifestaron inconvenientes en los parámetros de parte aérea evaluados. Por lo contrario, el nivel de mayor compactación indujo mayor altura de plantas, mayor peso de materia seca y mayor área foliar. Todo ello lleva a pensar que las plantas fueron

realmente afectadas por los distintos niveles de compactación, pero en lugar de haber limitado su crecimiento, respondieron al estrés con un mayor desarrollo. Por otra parte, el tratamiento de menor compactación inicial fue, en todos los parámetros de parte aérea, el que alcanzó los menores valores. La hipótesis que se establece para explicar estos resultados se relaciona al desarrollo radicular y a la reconsolidación del suelo. Los resultados de la valoración de la materia seca radicular, indican la existencia de diferencias significativas entre el tratamiento de 0,95 Mg.m⁻³, con el de 1,1 y 1,3 Mg.m⁻³; la reducción de la masa radicular fue, en promedio de las dos condiciones de riego, del orden del 92, 31 y 275% con respecto a los tratamientos de 1,1, 1,2 y 1,3 Mg.m⁻³ respectivamente. La facilidad de exploración radicular en los primeros estadíos habría favorecido, en el tratamiento de menor densidad aparente, un sistema radical poco adaptado a condiciones edáficas que empeoraron rápidamente a causa de las precipitaciones y el riego posterior. Los tratamientos de mayor densidad aparente inicial, habrían generado para adaptarse a las peores condiciones del sustrato una mayor masa radicular, seguramente en los primeros centímetros del sustrato que le permitieron aún en condiciones desfavorables en un suelo bien provisto de materia orgánica, la cantidad de agua suficiente como para favorecer un mayor desarrollo inicial.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se rechaza la hipótesis planteada sobre la relación inversa entre el crecimiento inicial del *Eucalyptus viminalis* y el aumento de la densidad aparente del sustrato en forma independiente del aporte hídrico realizado.

No obstante los resultados expuestos, no pareciera lógico que ese mayor desarrollo inicial pueda proseguir en la medida que pasa el tiempo. Si pareciera en cambio, que una preparación excesiva del terreno para la implantación del *Eucalyptus viminalis* no favorece una más rápida implantación ni mayor desarrollo inicial, dependiendo del nivel de reconsolidación del sustrato sus posibilidades de compensación posterior.

CONCLUSIONES

El crecimiento inicial del *Eucalyptus viminalis* no es afectado en forma negativa por el incremento en la densidad aparente del sustrato, en forma independiente del aporte hídrico realizado.

El aporte hídrico resulta de mayor importancia en el crecimiento inicial de *Eucalyptus viminalis*, cuando la densidad aparente inicial supera 1 Mg.m^{-3} , valor a partir del cual las diferencias entre crecimiento en altura, materia seca aérea y área foliar adquieren significancia en relación directa con el incremento de riego.

La reconsolidación del sustrato, asociada a un exceso de roturación del suelo induce en los primeros estadios de crecimiento una reducción del crecimiento de las plantas de *Eucalyptus viminalis*

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. Memorias del IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural, Neuquén, Argentina. II: 707-712.
- BRADFORD J., S. Gupta. 1986. Soil Compressibility. In: A. Klute Methods of soils analysis. Part I Agronomy. 2nd edition. American Society of Agronomy. Madison WS. 479-492.
- 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.
- 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.
- FERNÁNDEZ R., J. Fahler, H. Fassola, N. Pahr, A. Lupi. 1995. Influencia de la compactación producida durante la tala rasa sobre la productividad del segundo ciclo de *Pinus taeda*. EEA Montecarlo, Centro Regional Misiones. Informe Técnico N° 3. 14 p.
- MATTHES K., W. Watson. 1989. Measurements of Pressure at the Soil - Tire Interface of a Rubber - Tired Skidder. In International Summer Meeting. American Society of Agricultural Engineers. Canadian Society of Agricultural Engineers. Quebec, Canada.
- 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, 297:551-556
- 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. VSP Tech. Rep. No. 13, Native Forest Research, Department of Conservation and Environment, Vic., Australia, 18 pp.
- RAB M.A. 1994. Changes in physical properties of a soil associated with logging of *Eucalyptus regnans* forest in southeastern Australia. Forest Ecology and Management, 72: 215-229.
- 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.
- SCHAFFER R., A. Bailey, C. Johnson, R. Raper. 1989. A Rationale for Modeling Soil Compaction Behavior: An Engineering Mechanics Approach. In International Summer Meeting. ASAE. CSAE. Quebec, Canada.
- SILVA J. R., O. O. Ferreira. 1995. Sistema de preparo do solo para implantacao de floresta: I. Influencia na resistencia do solo a penetracao. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. N° 95-4-349. 16 p.