

Influencia de la compactación producida durante la tala rasa sobre la productividad del segundo ciclo de *Pinus taeda* L.

Influence of soil compaction produced during clearcutting on the productivity of second-cycle growth of *Pinus taeda* L.

C.D.O.: 114.11; 232.216.

ROBERTO FERNANDEZ, JORGE FAHLER, HUGO FASSOLA, NORBERTO PAHR, ANA LUPI

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, Casilla 3382, Eldorado, Misiones, Argentina.

SUMMARY

In order to better understand the relationship between tree growth and soil compaction, the growth of *Pinus taeda* planted in 1990 was evaluated considering the different degrees of soil compaction and the different practices of soil preparation previous to planting, where the previous harvest was performed with a high degree of mechanization. Tree growth was recorded by diameter, height, and volume, with measurements obtained five times between 15 and 47 months after planting, with the following conclusions:

1. Tree growth on sectors with less soil compaction was greater than in the sector with more soil compaction, independent of the way in which the soil was prepared before planting, and
2. Tree growth on sector where the soil was prepared with heavy raking prior to planting was greater than on sectors that received no soil preparation prior to planting, independent of the degree of soil compaction.

RESUMEN

Con el objetivo de realizar un diagnóstico que permitiera caracterizar el problema, crecimiento versus compactación, se evaluó el crecimiento de *Pinus taeda*, implantado en 1990, en relación a diferentes condiciones de compactación y de preparación del terreno, en un sitio en el cual se aplicó una tala rasa altamente mecanizada.

A partir de los resultados obtenidos en las cuatro mediciones efectuadas, entre los 15 y 47 meses desde la plantación, y correspondientes al comportamiento del diámetro, altura y volumen, se concluye que:

1. el crecimiento observado en las franjas menos compactadas resultó mayor que el registrado en las más compactadas, independientemente de la modalidad de preparación del terreno, y que,
2. el crecimiento registrado en áreas de terreno preparado con rastra pesada resultó superior al observado en áreas de plantación directa, independientemente del nivel de compactación.

INTRODUCCION

La provincia de Misiones cubre cerca de 3.000.000 de hectáreas, de las cuales aproximadamente 180.000 se encuentran reforestadas, la mayor parte con especies del género *Pinus*. La ejecución de talas rasas abarcando áreas significativas se generalizó a medida que avanzaba la década del '80, y su tasa anual se incrementa año a año. Parte de las tierras donde se realiza la corta final es nuevamente reforestada, con lo cual se inicia la segunda rotación.

Existen referencias respecto a que la productividad de la segunda rotación puede resultar afectada ya sea por enfermedades y plagas, o bien por la degradación de atributos edáficos que condicionan el crecimiento, tales como disponibilidad de agua, nutrientes y oxígeno (Pritchett, 1986; Golden *et al.*, 1986; Torbert *et al.*, 1986; Xidias, 1986).

Los fenómenos de compactación, ya sean superficiales o subsuperficiales, limitan el volumen de exploración radicular, hasta extremos que las raíces no logran superar. De esta forma controlan,

indirectamente, el abastecimiento de agua, oxígeno y nutrientes.

En este sentido merece destacarse que la tala rasa es una operación que presenta alta probabilidad de ocasionar problemas de compactación (Powers *et al.*, 1988 y 1990; Cullen, 1991, y Smith, 1994). Esta tendencia es más marcada cuando involucra equipamientos pesados y forma parte de un sistema de abastecimiento a industria que no permite respetar los rangos de humedad del suelo técnicamente adecuados para su realización.

Este aspecto adquiere especial relevancia frente al hecho de que hoy se cuenta con materiales genéticos de elevado potencial de crecimiento. Su disponibilidad permite programar una silvicultura más intensiva, de mayor productividad, pero, indudablemente, para que su potencial pueda expresarse es necesario que las condiciones del sitio sean las adecuadas a efectos de satisfacer sus requerimientos.

Con el objeto de realizar un diagnóstico que permitiera caracterizar el problema, crecimiento versus compactación, se evaluó el comportamiento hasta el cuarto año de un rodal de *Pinus taeda* en relación a diferentes condiciones de compactación, en un sitio en el cual se aplicó una tala rasa altamente mecanizada.

MATERIAL Y METODOS

Localización y características del sitio. La evaluación se llevó a cabo en un campo localizado en el municipio de Wanda, provincia de Misiones, Argentina, aproximadamente a los 26° 00' de latitud sur y 54° 20' de longitud oeste.

El experimento se instaló en un lote en el cual se había realizado recientemente la tala rasa de un pinar. El suelo responde a las características del gran grupo Kandudult, conocido regionalmente como Tierra Colorada, localizado en una posición de media loma alta dentro de un relieve suave ondulado. Texturalmente contiene entre 55 y 65% de arcilla, y su mineralogía corresponde a sesquióxidos y arcillas del tipo de la caolinita.

Al efecto de conocer las condiciones de fertilidad se efectuó un muestreo del suelo abarcando dos espesores: 0-10 cm y 10-20 cm. Dado que los valores obtenidos para los diferentes tratamientos resultaron semejantes, se presenta la media correspondiente a cada espesor para el conjunto del sitio (cuadro 1).

CUADRO 1

Caracterización química del suelo.
Chemical characterization of soil.

Espesor (cm)	pH(H ₂ O)	M.O. (%)	Valor T (cmol(+)/kg)	Valor V (%)	Valor S (cmol(+)/kg)
0-10	4.8	2.5	10.2	33.7	4.0
10-20	4.6	1.6	8.9	28.3	3.2

M.O.: materia orgánica.

Valor T: capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.).

Valor V: saturación de bases.

Valor S: suma de bases.

El clima se caracteriza por una temperatura media anual entre 20 y 21°C y una amplitud media anual de 11° C. Las precipitaciones varían en torno a los 2.000 mm al año y su distribución es de tipo isohigro.

Descripción del experimento. El sistema de tala rasa aplicado en el sitio seleccionado para el ensayo involucró el uso de máquinas pesadas tanto para aplastar el sotobosque como para extraer fustes enteros mediante motoarrastradoras de 11 t. Asimismo implica destinar una franja de terreno a lo largo del camino a efectos de ser utilizada como "planchada", cuyo ancho oscila en los 15 metros. Es en esta franja donde primero se efectuó la tala rasa y luego la concentración, elaboración y carga de los rollos extraídos y arrastrados desde el interior del rodal, desde distancias menores a 100 metros, de manera que en esta franja también operaron cargadoras frontales (peso sin carga: 11.5 t) y camiones (peso con carga: 24-26 t), con presiones en sus rodados del orden de 4.2 a 6.3 kg/cm².

Como consecuencia de esta modalidad de trabajo resultaron dos franjas con diferente nivel de pisoteo de máquinas y por lo tanto de compactación, situación que permite prever, también, diferencias en cuanto al crecimiento en cada una de esas franjas. Al respecto se planteó la siguiente hipótesis de trabajo:

- el crecimiento de las plantas de pino en las franjas de menor pisoteo (menos compactadas) resulta mayor que el correspondiente a las de mayor pisoteo.

Se incorporaron también dos variantes respecto de la preparación del terreno, con y sin roturación con rastra pesada. La hipótesis planteada en este caso fue:

Para ello, a partir de los resultados obtenidos para cada estimador de crecimiento y parcela, se procedió a calcular las medias de las diferencias entre los tratamientos a confrontar.

Para aplicar la regla de decisión se trabajó al 0.05 de nivel de riesgo, resultando un valor crítico de "t" de tabla de 1.761, para 14 grados de libertad. De esta manera cuando el valor de "t" calculado resulta mayor que el valor de tabla, se asume que existen diferencias significativas entre los tratamientos bajo comparación y viceversa.

Por otra parte se realizó un muestreo de suelos para densidad aparente en 35 parcelas distribuidas en los cuatro tratamientos, relevando los espesores 4-10 y 14-20 cm. Para ello se utilizó un extractor de muestras que contiene dos cilindros de 3 cm de altura por 5.4 cm de diámetro, o sea un volumen de 68.71 cm³, de manera que cada valor de densidad aparente obtenido corresponde al promedio de los valores de cada cilindro.

Se trabajó con tres valores de densidad: el correspondiente al espesor 4-10 cm, el de 14-20 cm y el calculado como la media de los anteriores, representando la densidad del espesor 0-20 cm. A efectos del análisis de la relación entre compactación y el crecimiento se calculó la correlación existente entre la densidad aparente y el crecimiento en altura y volumen total.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores de sobrevivencia promedio de las quince parcelas que conforman cada tratamiento son presentados en la figura 2. Se observa que la mayor sobrevivencia correspondió a las franjas cuya preparación del terreno incluyó la rastreada pesada (T3 y T4), lo cual se traduce en una plantación más homogénea, lo que posibilitará, al momento del raleo, una mayor presión de selección.

En el cuadro 2 se presentan los datos de volumen total para cada parcela y tratamiento correspondientes a los 47 meses desde la plantación. El volumen presentó un comportamiento relativamente homogéneo a nivel de cada tratamiento, lo cual se refleja, además, en los valores correspondientes a los desvíos.

Por otro lado, en las figuras 3 y 4 se granean los promedios de altura media y sumatoria de altura para cada tratamiento correspondientes a cuatro edades; mientras que la figura 5 muestra los valores de volumen total al cuarto año. Se observa

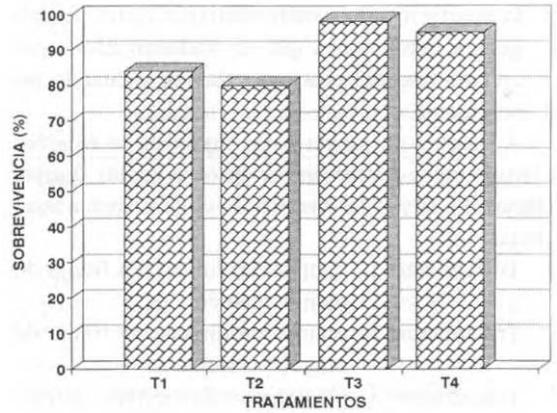


Figura 2. Sobrevivencia media por tratamiento. Average survival by treatment.

CUADRO 2

Volumen total al cuarto año (m³).

Total volume at the fourth year (m³).

Parcela	Tratamientos			
	1	2	3	4
1	1.10	1.03	1.51	2.12
2	0.85	1.04	1.53	1.96
3	1.16	1.09	0.99	1.98
4	1.05	0.80	1.45	2.33
5	0.96	0.89	1.17	1.62
6	0.95	0.45	0.85	1.54
7	1.05	1.27	1.50	1.59
8	1.14	0.68	0.99	1.64
9	0.88	0.75	1.62	1.91
10	1.03	0.88	1.35	1.82
11	1.28	0.89	1.06	1.70
12	0.96	0.72	1.58	2.10
13	1.34	1.40	1.29	2.22
14	1.04	1.34	1.71	2.01
15	1.12	1.21	1.55	2.15
Medias	1.09	1.00	1.35	1.91
DS	0.15	0.26	0.26	0.24

DS: Desvío estándar.

que la productividad alcanzada en la franja de menor compactación, y preparada con rastra pesada (T4), resultó superior en todas las oportunidades de medición. El tratamiento que manifestó menor productividad correspondió a la franja de mayor pisoteo y donde se practicara plantación directa (T2).

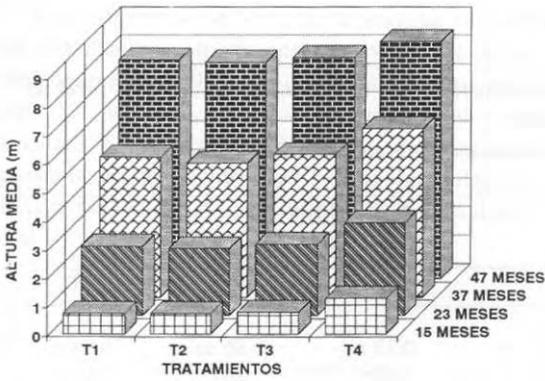


Figura 3. Alturas medias por tratamiento.
Average height by treatment.

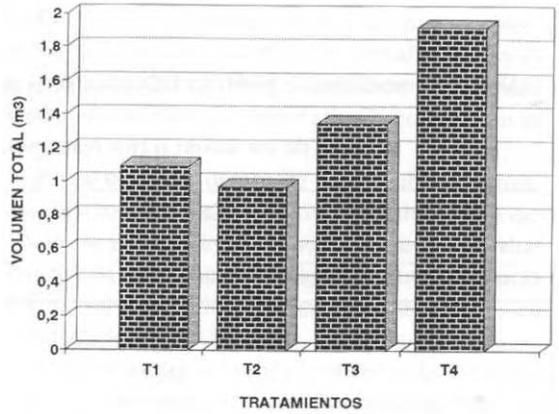


Figura 5. Volumen total medio por tratamiento.
Average of the total volume by treatment.

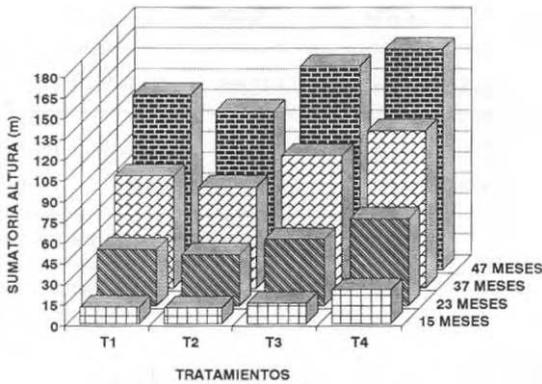


Figura 4. Medias de la sumatoria de alturas por tratamiento.
Average of the sum of height by treatment.

Las figuras 3 y 4 presentan las mismas tendencias, aunque las diferencias entre tratamientos son relativamente menores en la 3, especialmente cuando se compara el crecimiento alcanzado en el tratamiento 3 (suelo compactado y preparado con rastra) con el correspondiente a los tratamientos 1 y 2 (ambos plantados sin roturación previa). Dicho comportamiento puede explicarse en función de que la sobrevivencia resultó mayor en las franjas cuya preparación del terreno incluyó la rastreada pesada (T3 y T4) y atendiendo a que esta variable resulta reflejada en la sumatoria de alturas y no en la altura media.

Es interesante comentar que la altura alcanzada en las condiciones del tratamiento 4 puede originar mermas en el costo de implantación, ya que además de presentar mejores condiciones para competir con las malezas, permite anticipar la aplicación de herbicidas sin necesidad de protección.

Los resultados del análisis estadístico se presentan en los cuadros 3 y 4. De este modo el cuadro 3 muestra los valores de la variable de verificación "t HO" y su significación estadística, correspondiente a la confrontación de los tratamientos con diferente nivel de compactación (T1-T2 y T4-T3), mientras que el cuadro 4 presenta los correspondientes a tratamientos con diferente preparación del terreno (T3-T2 y T4-T1).

Del análisis del cuadro 3 se deduce que en las franjas con suelos menos compactados (T1 y T4) la productividad estimada por medio de la sumatoria de alturas y el volumen total resultó significativamente mayor que la observada en las franjas más compactadas (T2 y T3), excepto para el contraste T1-T2 correspondiente a los 15 meses.

En cambio, cuando el crecimiento fue evaluado a través de la altura y volumen medios aunque también resultó mayor en las franjas menos compactadas (T1 y T4), sólo alcanzó significación estadística cuando se confrontaron los tratamientos en los que la preparación del terreno incluyó la rastreada previa (T3 y T4).

Por su lado, los resultados de "t HO" volcados en el cuadro 4 indican que el crecimiento estimado como sumatoria de alturas y volumen total resultó significativamente mayor en las franjas donde se había practicado una rastreada previa a la plantación (T3 y T4) respecto de aquellos donde no se realizó (T1 y T2). El crecimiento evaluado a través de la altura media y el volumen medio también resultó mayor en las franjas rastreadas, pero sólo manifestó diferencias significativas cuando se confrontaron los tratamientos de menor compactación (T1 y T4).

CUADRO 3

Valores del estadístico de prueba (t HO) resultantes de la comparación de tratamientos con diferente nivel de compactación.

Values of the test statistic (t HO) from treatments comparing different levels of compaction.

Tratamientos			Estimador de crecimiento	t HO			
Nivel de compactación				Meses desde la plantación			
menor	mayor			15	23	37	47
T1	vs	T2	Xh	0.11 ns	0.78 ns	0.86 ns	0.74 ns
"		"	Sh	0.82 ns	1.85*	2.40*	2.61*
"		"	XV	—	—	—	0.42 ns
"		"	Vt	—	—	—	2.25*
T4	vs	T3	XH	9.32*	7.63*	6.71*	7.06*
"		"	Sh	8.34*	6.67*	5.99*	5.65*
"		"	XV	—	—	—	7.44*
"		"	Vt	—	—	—	9.24*

t HO : estadístico para la hipótesis nula

Sh : sumatoria de alturas

Xh : altura media

XV : volumen medio

Vt : volumen total

ns : diferencia no significativa

* : diferencia significativa

CUADRO 4

Valores del estadístico de prueba (t HO) resultantes de la comparación de tratamientos con diferente preparación de terreno.

Values of the test statistic (t HO) from treatments comparing different soil preparation.

Tratamientos			Estimador de crecimiento	t HO			
Rastreada previa	Plantación directa			Meses desde la plantación			
				15	23	37	47
T3	vs	T2	Xh	1.04 ns	1.32 ns	1.42 ns	1.62 ns
"		"	Sh	3.43*	4.59*	6.31*	6.58*
"		"	XV				1.59 ns
"		"	Vt				5.39*
T4	vs	T1	Xh	12.66*	13.83*	7.22*	6.30*
"		"	Sh	14.01*	15.32*	12.84*	13.30*
"		"	XV				7.20*
"		"	Vt				12.50*

t HO : estadístico para la hipótesis nula

Sh : sumatoria de alturas

Xh : altura media

XV : volumen medio

Vt : volumen total

ns : diferencia no significativa

* : diferencia significativa

Posteriormente se procedió a analizar el grado de asociación existente entre las variables densidad aparente 0-10 cm y densidad aparente 0-20 cm, con la altura media, el volumen total y sus inversas. Se observó que la altura y su inversa no presentaron asociación al 95% de probabilidad con la densidad 0-10 cm, pero sí al 99% con la densidad 0-20 cm (cuadro 5).

CUADRO 5

Coefficientes de correlación.
Correlation coefficients.

	Densidad 0-10 cm		Densidad 0-20 cm	
	r	s	r	s
Xh	-0.27	0.1214	-0.62	0.0001
1/Xh	0.26	0.1345	0.62	0.0001
Vt	-0.46	0.0050	-0.64	0.0000
1/Vt	0.49	0.0029	0.73	0.0000

r : Coeficiente de correlación
s : Nivel de significancia
Xh : altura media
Vt : volumen total

En cuanto al volumen total y su inversa manifestaron asociación al 99% de probabilidad tanto con la densidad 0-10 cm como con la densidad 0-20, aunque en este último caso la correlación es mayor.

Es de destacar, dentro de las variables analizadas, el alto grado de correlación entre la inversa del volumen y la densidad aparente 0-20 cm, lo cual indica que el volumen registró con mayor eficacia los cambios ocurridos en la física del suelo, en comparación a la altura.

En la figura 6 se gráfica la inversa de los volúmenes totales versus la densidad aparente 0-20 cm correspondientes a cada parcela muestreada por tratamiento. En ella se visualiza la disminución de la productividad a medida que se incrementa el nivel de compactación, e inclusive dicha tendencia se pone en evidencia al considerar los tratamientos.

Sin embargo, a pesar de que las variables relacionadas con la densidad 0-20 cm tienen al 99% de probabilidad un alto grado de asociación, los valores del coeficiente de correlación indican que existen otros factores, además de la densidad, que están afectando los rendimientos. Resultados similares fueron obtenidos por Cochran y Brock

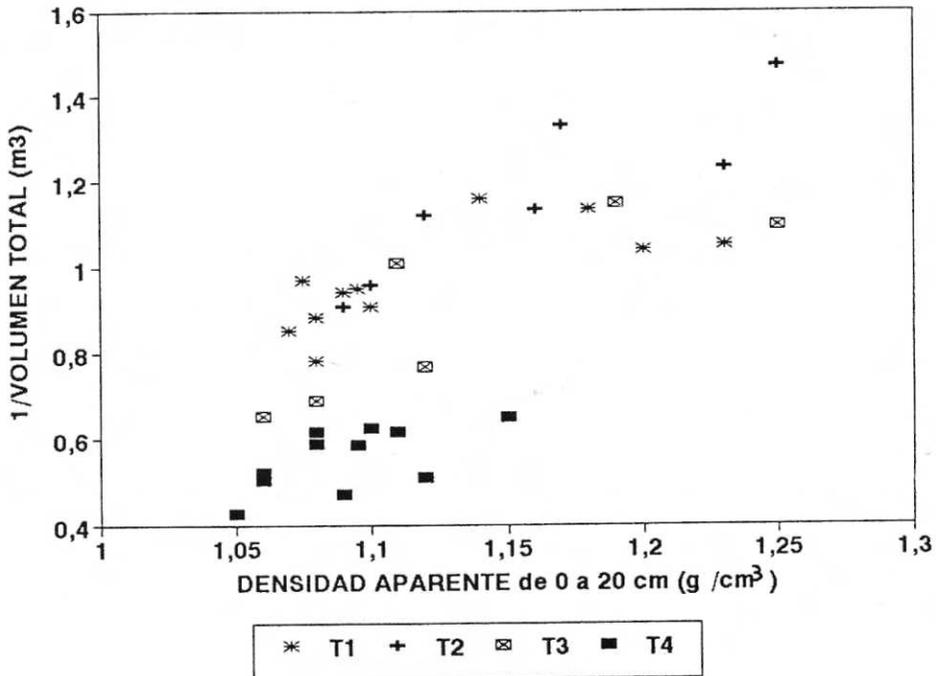


Figura 6. Inversa volumen total-densidad aparente, por parcela y tratamiento.
Inverse of total volume-bulk density by plot and treatment.

(1985) al analizar el comportamiento de la altura y el crecimiento corriente en altura de *Pinus ponderosa* con respecto a la densidad aparente.

Respecto a los factores que inciden sobre la compactación es interesante destacar que, tal lo reportan Gil *et al.* (1993), el límite máximo de presión de inflado para evitar una compactación superficial elevada es 0.8 kg/cm^2 . Los vehículos utilizados en oportunidad de la tala rasa, tal como fuera indicado, trabajaron con presiones del orden de 4.2 a 6.3 kg/cm^2 , o sea entre 5 y 8 veces superiores.

El valor 0.8 kg/cm^2 representa, en realidad, un referencial y no un límite absoluto ya que depende del tipo de suelo y de las condiciones del terreno, particularmente de la textura, la mineralogía de arcillas, la estructura y el grado de humedad. Entra en juego también la modalidad de operación de los equipos, por ejemplo, la velocidad y el número de veces que transitan sobre una misma área de terreno. No obstante, las diferencias entre dicho valor de presión de inflado y los correspondientes al equipamiento utilizado son de tal magnitud, que permiten identificar a esta variable como una de las posibles causas de la compactación ocurrida. Asimismo, el peso de las máquinas y vehículos involucrados en este sistema es otro de los factores a considerar, particularmente en lo referido a la compactación subsuperficial.

Por otro lado, en función de la distribución y cantidad de lluvias que caracterizan a Misiones y resto de la mesopotamia argentina, resulta sumamente difícil restringir las tareas de aprovechamiento a los períodos donde la humedad del suelo posibilite operar sin riesgos de importancia.

Respecto a la disponibilidad de equipos de aprovechamiento forestal, Wasterlund (1994) comenta que existen vehículos y máquinas cuya tecnología posibilita efectuar las operaciones sin dañar las raíces o al suelo, o bien provocar perturbaciones mínimas; salvo cuando se trata de árboles de gran porte donde sí es necesario el desarrollo de tecnología apropiada.

CONCLUSIONES

El nivel de compactación ocasionado por los equipos de extracción en oportunidad de la tala rasa presentó efectos negativos sobre la productividad alcanzada por un rodal de *Pinus taeda* a los cuatro años, expresada ésta en forma directa como

volumen total, o indirectamente, a través de la altura media y sumatoria de alturas.

La modificación de la estructura superficial del suelo mediante el empleo de rastra pesada, en la preparación del terreno, se tradujo en una mayor productividad en las parcelas tratadas con respecto a las que no lo fueron.

Se observó una asociación inversa entre la densidad aparente y la productividad al cuarto año. Sin embargo esta variable por sí sola no es suficiente para explicar las diferencias de rendimiento.

Nuevas evaluaciones permitirán establecer a futuro si los cambios en la densidad del suelo motivados por tareas de aprovechamiento tienen o no un efecto permanente sobre la productividad de los sitios en estudio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de los Ings. Horacio O'Lery, Juan Pedro Agostini, Daniel Muñoz, Diego Alegranza y Esteban Bodorowski; de los técnicos Luis Ramírez, Hugo Villalba e Hipólito Kuzdra, así como a la Sra. Carmen Berger, quienes participaron en diferentes etapas del trabajo. A la empresa LIPSIA S.A. por el apoyo brindado para la realización de este ensayo.

BIBLIOGRAFIA

- BODOROWSKI, E. 1994. Informe de Pasantía. E.E.A. Montecarlo, INTA. Inédito.
- COCHRAN, P.H., T. BROCK. 1985. *Soil Compaction and Initial Height Growth of planted Ponderosa Pine*. Forest Service. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Research Note PNW-434.
- CULLEN, S.J., C. MONTAGNE, H. FERGUSON. 1991. "Timber Harvest Trafficking and Soil Compaction in Western Montana", *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 55: 1416-1421.
- FERNANDEZ, R., J. FAHLER, E. CRECHI, R. FRIEDL, N. PAHR. 1992. "Crecimiento inicial del *Pinus taeda* bajo diferentes niveles de compactación del suelo". En: Actas Jornadas sobre Pinos Subtropicales, Tomo 1. Eldorado, Argentina. Edit., Centro de Investigaciones y Experiencias Forestales (CIEF), Facultad de Ciencias Forestales (UNaM)-INTA, pp. 130-141.
- GIL, R., M. BRAGACHINI, R. BONGIOVANNI, L. BONETTO. "Compactación del suelo". En: *Sistema de traslado de equipos de cosecha para reducir la compactación*. Cuaderno de Actualización Técnica N° 12. INTA-PROPECO, Córdoba, Argentina, pp. 9-19.
- GOLDEN, M.S., C.V. ISSACSON. 1986. "Effect of site preparation soil movement on Loblolly pine height growth in 12 and 14 year old plantations in the Hilly Coastal Plain of Alabama". En: *Proceedings of the Fourth Biennial*

- Southern Silvicultural Research Conference*. Atlanta, Georgia, pp. 368-373.
- POWERS, R.F., D.H. ALBAN, R.E. MILLER, A.E. TIARKS, C.G. WELLS, P.E. AVERS, R.G. CLINE, R.O. FITZGERALD, N.S. LOFTUS Jr. 1988. Sustaining Site Productivity in North American forest soils conference. Vancouver, BC: University of British Columbia, Fac. of Forestry, pp. 49-79.
- POWERS, R.F., D.H. ALBAN, G.A. RUARK, A.E. TIARKS. 1990. A Soils research approach to evaluating management impacts on longterm productivity. En: W.J. DYCK and C.A. MEES. *Impact of Intensive Harvesting on Forest Site Productivity*. Proceedings, IEA/BE A3 Workshop, South Island, New Zealand, March 1989. IEA/BE T6/A6 Report N° 2. Forest Research Institute, Rotorua, New Zealand, FRI Bulletin N° 159: 127-145.
- PRITCHETT, W.L. 1986. *Suelos Forestales*. Mexico, Edit. Limusa, 633 pp.
- SMITH C. 1994. "Soil Compaction and degradation. South Africa". Institute for Commercial Forestry Research. *ICFR Newsletter*, pp. 7-9.
- TORBERT, J.L., T.D. NEEDHAM, J.A. BURGER. 1986. "Soil density and harvest slash effects on four year old loblolly pine". En: *Proceedings of the Fourth Biennial Southern Silvicultural Research Conference*. Atlanta, Georgia, pp. 356-360.
- WASTERLUND, I. 1994. "Wood harvesting systems in Scandinavia and environmental aspects". En: *Actas VIII Seminario de Actualizaçao sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal*. Curitiba, Brasil, Ed. Universidade Federal do Paraná-IUFRO, pp. 247-257.
- XYDIAS, G.K. 1986. "Year old plantation attributes as affected by harvesting and site preparation in methods". En: *Proceedings of the Fourth Biennial Southern Silvicultural Research Conference*, pp. 373-378.