

COMPACTACIÓN INDUCIDA POR EL TRÁFICO DE MÁQUINAS EN SUELO FORESTAL

Jorge Claverie¹, Roberto Balbuena¹, Antonino Terminiello¹, Juan Casado²,
Eduardo Manghi² & Daniel Jorajuria¹

RESUMEN

Se realizaron ensayos en campo para evaluar los efectos del tráfico de cosecha y extracción sobre las propiedades físicas del suelo en una plantación de álamos (*Populus* sp.). Fueron evaluadas: a) zonas sin tránsito vehicular y b) zonas transitadas por maquinaria de cosecha y extracción. Para ambas situaciones se efectuaron mediciones de resistencia a la penetración, humedad y densidad aparente. La resistencia a la penetración en las zonas transitadas resultó significativamente mayor hasta los 150 mm de profundidad, siendo el efecto del tránsito detectable hasta los 380 mm. A partir de los 150 mm ambos tratamientos superaron valores de 1,5 MPa, que reducirían el crecimiento radicular. La densidad en los sectores con tránsito resultó significativamente mayores, siendo en los primeros 80 mm significativamente menor respecto a los estratos mas profundos para ambos tratamientos. La presencia de capas de elevada densidad aparente influye en la compactación superficial.

Palabras clave: tránsito, densidad aparente, resistencia a la penetración

MACHINERY TRAFFIC INDUCED COMPACTION IN FOREST SOIL

ABSTRACT

Field tests were carried out with the objective of evaluating the wood harvest and extraction traffic effects on soil physical properties on a commercial poplar plantation (*Populus* sp.). Two situations were evaluated: a) non-transited zones and b) transited zones by the harvest machinery. Penetration resistance, bulk density and gravimetric moisture were determined on non-transited zones and in the vehicles tracks. Penetration resistance values measured in the vehicles tracks were significantly higher than non transited zones up to 150 mm depth, and transit effect was detectable up to 380 mm depth. From 150 mm, both treatments overcame 1.5 MPa values, which would produce root growth reductions. Mean bulk density on transited zones was significantly higher than non-transited zones. Depth analyses values were significantly lower in the first 80 mm than the lower stratas in each treatment. High bulk density layer had an influence in shallow soil compaction.

Key words: traffic, bulk density, penetration resistance

INTRODUCCIÓN

La cosecha forestal implica el tránsito de maquinaria pesada sobre el suelo que constituye el sustrato en el que crecen los árboles. El abastecimiento a la industria requiere un flujo regular que no puede ser interrumpido cuando las condiciones edáficas no son las óptimas para la traficabilidad. Así, el suelo resulta a veces profundamente alterado, con desplazamiento de las capas superficiales y formación de profundas huellas. Según Taylor & Gill (1984), la principal fuente de compactación es el tráfico vehicular, el cual puede causar de acuerdo a Jorajuría (1996), disminución del espacio poroso, menor capacidad para retener agua y una mayor impedancia para el desarrollo radicular. Smith & Dickson (1990), indicaron que la compactación de las capas superficiales está influenciada principalmente por la presión superficial en la zona de contacto rueda-suelo, mientras que la compactación subsuperficial está directamente influenciada por el peso. Al respecto, Håkansson & Danfors (1981) determinaron que cargas mayores de 60 kN por eje, u 80 a 100 kN para ejes en tandem, provocarían compactación a profundidades superiores a los 400 mm. Sin embargo, la compactación subsuperficial depende no solo del peso del vehículo sino también del número de pasajes que efectúe (Jorajuría & Draghi, 1997). Gameda et al. (1987) indicaron que la compactación en los horizontes superficiales de suelos agrícolas estuvo más fuertemente emparentada con el número de pasajes que con la presión de contacto ejercida. En tal sentido, Soane et al. (1976) concluyeron que la zona de máxima compactación tiende a aproximarse a la superficie a medida que el número de pasajes aumenta.

Dos parámetros utilizados frecuentemente para cuantificar la compactación del suelo son la resistencia a la penetración y la densidad aparente. Con relación al primero de ellos, Yasin et al. (1993), establecieron una relación lineal entre el índice de cono y el contenido de humedad. Según Threadgill (1982), valores de resistencia a la penetración superiores a 1,5 MPa implican reducciones en el crecimiento radicular, en tanto que valores de 2,1 a 2,5 MPa actúan como limitantes del mismo. En cuanto a la densidad aparente, Sands et al. (1979), encontraron que incrementos de 1,35 a 1,48 Mg m⁻³ produjeron reducciones del 10 al 17% en el rendimiento mientras que valores de 1,60 Mg m⁻³ determinaban una reducción del 50% en el rendimiento de plantaciones de pino en suelos arenosos. Erbach (1986) puntualizó que aún con un cuidadoso procedimiento de toma de muestras y un adecuado número de repeticiones, la sensibilidad de las determinaciones de densidad aparente no excede el valor de 0,05 Mg m⁻³. A partir de esta propuesta,

Adam & Erbach (1995) sostuvieron que la profundidad a la cual las diferencias entre la densidad aparente de zonas con y sin tránsito igualan dicho valor, determinaría la profundidad de la labranza necesaria para la remoción de la compactación inducida. El objetivo de este trabajo fue evaluar la compactación inducida por el tráfico de máquinas en la cosecha y extracción de madera.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los ensayos se efectuaron en el establecimiento María Dolores, perteneciente a la empresa Papel Prensa, ubicado en el partido de Alberti, provincia de Buenos Aires, Argentina (34°50' LS; 60° 30' LW; 55 msnm). Se trabajó en una plantación de *Pópulus deltoides*, clon Catfish 2. La cosecha se realizó a la edad de 12 años con destino a la industria papelera. El suelo pertenece a la serie Bragado, fase moderadamente bien drenada, taxonómicamente Hapludol típico, Limosa fina, Mixta térmica (Keys to Soil Taxonomy, 1992). El corte fue realizado por un harvester (recogedora de árboles), con orugas de 0,7 m de ancho y 3,43 m de largo, con un peso total de 196 kN. La maquinaria de extracción utilizada se detalla en la Tabla 1.

Dentro de la plantación se distinguieron dos tratamientos: uno correspondiente a zonas transitadas por los vehículos (CT) y otro a zonas no transitadas (ST). En ambas situaciones se establecieron 6 estaciones de muestreo en las cuales se tomaron datos de resistencia a la penetración por medio de un penetrómetro de cono (ASAE S313.2, 1992) en intervalos de 76,2 mm hasta una profundidad de 686 mm. La densidad aparente se determinó mediante el método del cilindro (Forsythe, 1975), en 5 intervalos de profundidad sucesivos de 80 mm cada uno. A partir de las muestras de suelo extraídas para la determinación de densidad, se obtuvieron los datos de humedad gravimétrica. El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante el análisis de la varianza, cuantificándose las diferencias por medio del test de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La media de humedad gravimétrica fue de 29,45 y 31% para el tratamiento con tránsito y sin tránsito, respectivamente, no registrándose diferencias significativas entre ambos. Esto permitió comparar su resistencia a la penetración, de acuerdo a lo establecido por Yasin et al. (1993).

La densidad aparente en zonas transitadas fue significativamente mayor que en las no transitadas, al comparar el valor medio de todos los intervalos de profundidad entre

Tabla 1. Maquinaria utilizada en la extracción de madera

Vehículo	Peso (kN)		Neumáticos
	Peso total	Peso/eje	
Tractor FWA* (Tracción delantera asistida)	70	Trasero: 42 Delantero: 28	Trasero: 24,5 × 32 Delantero :13,9 × 26
Camión de 2 ejes	Vacío: 78 Cargado: 175	Vacío: 39 Cargado: 87,5	11 R 20 duales
Acoplado de 3 ejes	Vacío: 58 Cargado: 225	Vacío: 19,3 Cargado: 75	11 R 20 2 ejes duales
Tractor c/garra (2)	63	Trasero: 44,1 Delantero: 18,9	Trasero: 23.1 × 30 Delantero: 6 × 16

* FWA - como se utiliza la terminología inglesa, condría aclarar lo que significa (Tracción Delantero Asistida)

Tabla 2. Medias de densidad aparente* (Mg m^{-3}) entre tratamientos (ST – zonas no transitadas; CT – zonas transitadas por los vehículos) para todo el perfil y para cada profundidad

Tratamiento	Profundidad - mm					
	General	0-80	80-160	160-240	240-320	320-400
ST	1,17 a	0,76 a	1,23 a	1,36 a	1,36 a	1,16 a
CT	1,25 b	0,94 a	1,36 b	1,36 a	1,36 a	1,23 a

* Valores seguidos de la misma letra inicial no tienen diferencias significativas al 5% de probabilidades del test de Tukey

ambos tratamientos. El análisis de los intervalos de profundidad entre tratamientos no arrojó diferencias significativas, excepto para el intervalo de 80 a 160 mm, en el que el tratamiento con tránsito alcanzó el límite inferior indicado por Sands & Bowen (1979), como causante de reducción de rendimiento (Tabla 2).

En la Figura 1 se observan las diferencias en valores absolutos entre zonas transitadas y no transitadas

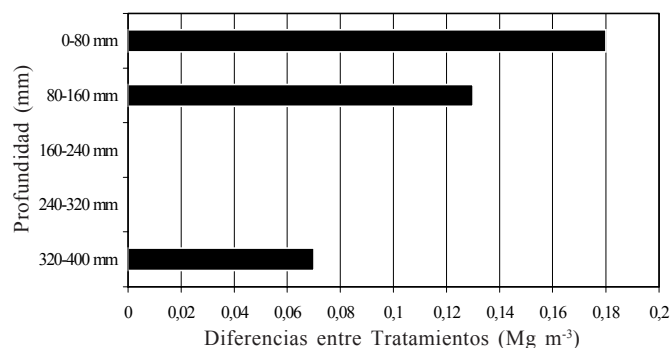


Figura 1. Diferencias entre densidad aparente de zonas con y sin tránsito

Las diferencias entre zonas con y sin tránsito se igualan tanto en el intervalo de 160 a 240 mm como en el de 240 a 320. Lo observado podría deberse al estado de densificación natural del perfil del suelo en los mencionados estratos previo al pasaje de. Entre los 320 y 400 mm se alcanza un valor de $0,07 \text{ Mg m}^{-3}$ que justificaría, de acuerdo a Adam & Erbach (1995), la realización de una labranza a esta profundidad. En este sentido, debido a los elevados esfuerzos de tracción que implicaría el laboreo, existiría la posibilidad de que el peso adherente del tractor represente un factor concurrente a la inducción de compactación, en la medida que la profundidad de trabajo resulte insuficiente para disminuir las tensiones ejercidas al suelo por el propio tráfico durante la labor.

Tanto el peso por eje del camión como del acoplado cargados superan los valores propuestos por Smith & Dickson (1990) y Håkansson & Danfors (1981), como límites para mantener la compactación a nivel superficial, por lo cual sería esperable un aumento en la compactación aún por debajo de los 400 mm. A la vez, el tránsito repetido sobre la zona densificada entre 160 y 240 mm podría en parte ser determinante de los incrementos en la compactación del suelo a nivel superficial (Soane et al., 1976;

Gameda et al., 1987), a lo cual contribuiría la presión superficial en la zona de contacto rueda suelo, tanto del tractor como del acoplado (Smith & Dickson, 1990).

En relación al índice de cono (Tabla 3), los valores determinados en zonas transitadas resultaron significativamente mayores que los del testigo hasta los 150 mm de profundidad, siendo el efecto del tránsito detectable hasta el estrato de 381 a 457 mm. Los incrementos porcentuales con respecto al tratamiento sin tránsito fueron de 62,6, 26,7, 13,7 y 6,4% para los estratos comprendidos entre 152 mm y 381 mm respectivamente. Esto podría explicarse a partir del estado del suelo previo al pasaje de los vehículos, dado que a partir de los 150 mm de profundidad, el testigo registró valores cercanos o superiores a 1,5 MPa, en tanto que en las zonas transitadas se registraron valores superiores a 2,1 MPa desde el primer intervalo de profundidad, que implicarían reducciones en el desarrollo radicular según Threadgill (1982), determinándose registros similares para el testigo a partir de los 228 mm de profundidad.

CONCLUSIONES

1. La presencia de estratos densificados en el perfil influye en la compactación superficial.
2. La alteración de las propiedades físicas del suelo inducida por el tráfico repetido justifica la realización de laboreo profundo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, K.M.; ERBACH, D.C. Relationship of tire sinkage depth to depth of soil compaction. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v.38, n.4, p.1011- 1016, 1995.
- ASAE S 313.2: Soil cone penetrometer. In: American Society of Agricultural Engineers (ed.). ASAE Standards. St. Joseph, MI, 1992. p.611.
- ERBACH, D.C. Farm equipment and soil compaction. SAE Paper N° 86-0730, St. Joseph, MI, p.170-176, 1986.
- FORSYTHE, W. Manual de laboratorio de física de suelos. San José: Instituto Iberoamericano de Ciencias Agrícolas, 1975. p.39-45.
- GAMEDA, S.; RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E.; THÉRIAULT, R. Subsoil compaction in a clay soil. I. Cumulative effects. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v.10, p.113-122, 1987.

Tabla 3. Medias de índice de cono (MPa)* por intervalos de profundidad (mm) (ST – zonas no transitadas; CT – zonas transitadas por los vehículos)

Tratamiento	Profundidad – mm									
	0	0 – 76	76 – 152	152 – 228	228 – 305	305 – 381	381 – 457	457 – 534	534 – 610	610 – 686
ST	0,63 a	1,09 a	1,41 a	1,82 a	2,17 a	2,48 a	2,64 a	3,60 a	4,63 a	5,44 a
CT	1,28 b	2,31 b	2,25 b	2,96 a	2,75 a	2,82 a	2,81 a	3,20 a	3,98 a	4,65 a

* Valores seguidos de la misma letra inicial no tienen diferencias significativas al 5% de probabilidades del test de Tukey

- HÅKANSSON, Y; DANFORS, B. Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR TERRAIN-VEHICLE SYSTEMS, 7, Alberta, v. Y, 1981. p.239-253.
- JORAJURÍA, D. El tráfico vehicular, la compactación y la sostenibilidad de la producción de madera. In: Actas del Primer Seminario de Actualización en Sistemas de Cosecha y Transporte Forestal, 1996, Eldorado. p.45-50.
- JORAJURÍA, D; DRAGHI, L. The distribution of soil compaction with depth and the response of a perennial forage crop. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v. 66, p.261-265, 1997
- KEYS TO SOIL TAXONOMY. USDA. Soil Survey Staff. AID. SMSS. Technical Monograph N°19, Washington D.C., Virginia Polytechnic Institute and State University, 1992. 754p.
- SANDS, R. ; GEACEN, E.L.; GERARD, C.J. Compaction of sandy soils in radiata pine forests. 1. A penetrometer study. Australian Journal of Soil Research, Sidney, v.17, p.101-113, 1979.
- SMITH, D.; DICKSON, J. Contributions of vehicle weight and ground pressure to soil compaction. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v.46,n.1, p.13-29, 1990.
- SOANE, B.D.; KENWORTHY, G.; PIDGEON, J.D. Soil tank and field studies of compaction under wheels. PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE OF SOIL AND TILLAGE RESEARCH, 7, Estocolmo, 45, Paper 48, 1976.
- TAYLOR, J; GILL, W. Soil compaction: State-of-art report. Journal of Terramechanics, Oxford, v.21, n.3, p.195-213, 1984.
- THREADGILL, E.D. Residual tillage effects as determined by cone index. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v.25, p.859-863, 1982.
- YASIN, M.; GRISSO R.D.; BASHFORD L.L.; JONES, A.J.; MIELKE, L.N. Normalizing cone resistance values by covariance analysis. Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, v.36, n.5, p.1267-1270, 1993.