

COSECHA Y EXTRACCIÓN DE SAUCE (*Salix sp.*). INCIDENCIA DEL TRÁNSITO EN LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DEL SUELO

FOREST HARVESTING OF WILLOW (*Salix sp.*). INFLUENCE OF TRAFFIC ON SOIL PENETRATION RESISTANCE

Jorge Claverie¹, Roberto Balbuena¹, Antonino Terminiello¹, Telmo Palancar², Eduardo Manghi², Juan Casado², Esteban Sprieguel² y Patricio Mac Donagh³

¹ Docente-investigador. Depto. de Ing. Rural. Facultad de Cs. Agrarias y Ftiles. UNLP. Av. 60 esq. 119 (1900) La Plata, Argentina. E-mail: djorajur@isis.com.edu.ar

² Becario del Depto. de Ing. Rural. Fac. de Cs. Agrarias y Forestales. UNLP.

³ Docente-investigador. Fac. de Ciencias Forestales. UNaM. Misiones, Argentina.

SUMMARY

Field tests were carried out with the aim to evaluate the traffic effects during forest harvesting on soil penetration resistance in a *Salix sp.* plantation. Two harvesting systems were analyzed: one of them using chainsaws and the other with the aid of a harvester. Cone index was recorded through a soil cone penetrometer in three sectors: within (in-track), between and outside the tread pattern left by wheels, and compared them with control plots. The depth of the treads was determined too. The cone index values of the in-track position was significantly greater than the other positions and the control plot for both systems. Except at the top layer, cone index values greater than 1.5 MPa were found in the in-track position in both harvesting systems. The vehicle passes during forest harvesting operation increases the soil penetration resistance in the traffic zones.

Key words: soil compaction, forest harvesting

RESUMEN

Se realizaron ensayos en campo con el objeto de evaluar el efecto del tránsito durante el corte y la extracción de madera sobre la resistencia a la penetración del suelo en una plantación de *Salix sp.* En una plantación con destino a la industria papelera, se analizaron 2 sistemas de cosecha: uno designado de baja mecanización, con la utilización de motosierras, y otro altamente mecanizado, en el cual se emplea una cosechadora. Se determinó la resistencia a la penetración por medio de un penetrómetro de cono en las siguientes posiciones: dentro, fuera y entre las huellas producidas por los vehículos, determinándose también la profundidad de huella. En ambos sistemas se registraron valores de resistencia significativamente mayores para la posición dentro de la huella con respecto a las restantes posiciones y al testigo sin tránsito. Para ambos sistemas, a excepción del nivel superficial, se registraron en la posición dentro de la huella valores de índice de cono superiores a 1,4 MPa. El tránsito de máquinas durante la cosecha y extracción de madera aumenta la resistencia a la penetración del suelo en las zonas transitadas.

Palabras clave: compactación del suelo, cosecha forestal

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se está operando en Argentina una sustitución en el sistema de corte de plantaciones forestales, consistente en el reemplazo del tradicional mediante motosierras por la incorporación de cosechadoras. Independientemente del sistema de corte, el abastecimiento de madera desde el lugar de corte hasta las industrias implica que una parte del tránsito deba realizarse dentro de la plantación. Este transporte suele efectuarse con los mismos vehículos con los cuales se llega hasta la fábrica, por lo que camiones y acoplados transitan sobre el terreno forestal (Vivas, 1996). En este sentido, varios autores han abordado la problemática del deterioro del suelo como consecuencia del tránsito vehicular. Según Håkansson (1994), entre los numerosos procesos que conducen al deterioro de la estructura, la compactación del subsuelo inducida por el tráfico de vehículos pesados pareciera ser el

problema más importante a largo plazo para una agricultura sostenible. Al respecto, Taylor *et al.* (1980) remarcaron la influencia de la presión de contacto sobre el suelo en la inducción de la compactación superficial, así como la relación directa de la compactación subsuperficial con el peso por eje, independientemente de la superficie de apoyo. Smith y Dickson (1990) citaron ejemplos de compactación por debajo de 400 mm de profundidad debido a cargas sobre el eje mayores a 60 kN por eje. También establecieron que compactaciones por debajo de los 500 mm de profundidad podían producirse con cargas mayores de 100 kN por eje. En este contexto, Håkansson *et al.* (1987) mencionan que cargas superiores a 60 kN por eje pueden causar compactación subsuperficial en profundidades mayores a 400 mm. La compactación subsuperficial depende no solo del peso del vehículo sino también del número de pasadas que éste efectúe (Jorajuría y Draghi, 1997). Al respecto Soane *et al.* (1976) concluyeron que la zona de máxima compactación tiende a aproximarse a la superficie a medida que el número de pasadas aumenta. Gameda *et al.* (1987) demostraron que la compactación en los horizontes superficiales de suelos agrícolas estuvo más fuertemente emparentada con el número de pasadas que con la presión de contacto ejercida. A los efectos de evaluar el grado de compactación del suelo, los parámetros más utilizados son la resistencia del suelo a la penetración y la densidad aparente, representando el primero, según Voorhees *et al.* (1978) un parámetro de mayor sensibilidad. O'Sullivan *et al.* (1987) determinaron que índices de cono de 2,1 a 2,5 MPa impedirían el crecimiento radicular, mientras que Threadgill (1982) señaló como determinantes de reducciones en el crecimiento radicular valores de 1,5 MPa.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del tránsito durante el corte y la extracción de madera

sobre la resistencia a la penetración del suelo en una plantación de *Salix sp.*

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en el establecimiento María Dolores, perteneciente a la empresa Papel Prensa, provincia de Buenos Aires, Argentina (34° 50' LS; 60° 30' LW; 55 msnm). Se trabajó sobre una plantación de *Salix babilónica var. sacramenta*, con un distanciamiento inicial de 5 por 4 m. La cosecha se efectuó en octubre de 1997, a la edad de 17 años, con destino a la industria papelera. El suelo afectado a los ensayos pertenece a la serie Bragado, fase moderadamente bien drenada, Limosa fina, Mixta térmica, clasificado como Hapludol típico (Keys to Soil Taxonomy USDA, 1991). El perfil típico presenta horizontes A1, B1 y B2 Franco-arcillo-arenosos y un B3 Franco-arcilloso.

El corte se realizó mediante dos sistemas: uno mediante motosierras, y otro con el empleo de una cosechadora equipada 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 para ambos sistemas fue la siguiente: (Cuadro al pie de página)

En ambos sistemas se establecieron, en sectores con tránsito, 5 estaciones de medición de resistencia a la penetración correspondientes cada una de ellas a una transecta perpendicular a la circulación de los vehículos. En ellas se efectuaron mediciones en las posiciones fuera (CTF), dentro (CTD) y entre las huellas (CTM), las cuales fueron tomadas como tratamientos. Los mismos fueron comparados con un número igual de mediciones en sectores sin tránsito (ST), considerados como testigo. Se utilizó un penetrómetro de cono bajo norma ASAE S 313.2 (ASAE Standards, 1992), registrándose las mediciones hasta los 686 mm de profundidad, con intervalos de 76,2 mm. El análisis estadístico de los resultados se

Vehículo	Peso (kN)		Neumáticos
	Peso total	Peso/eje	
Tractor FWA	70	tras:42 del:28	tras:24.5 × 32 del: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	tras:44,1 del:18,9	tras:23.1 × 30 del:6 × 16

En ambos sistemas se establecieron, en sectores con tránsito, 5 estaciones de medición de resistencia a la penetración correspondientes cada una de ellas a una transecta perpendicular a la circulación de los vehículos. En ellas se efectuaron mediciones en las posiciones fuera (CTF), dentro (CTD) y entre las huellas (CTM), las cuales fueron tomadas como tratamientos. Los mismos fueron comparados con un número igual de mediciones en sectores sin tránsito (ST), considerados como testigo. Se utilizó un penetrómetro de cono bajo norma ASAE S 313.2 (ASAE Standards, 1992), registrándose las mediciones hasta los 686 mm de profundidad, con intervalos de 76,2 mm. El análisis estadístico de los resultados se efectuó mediante el análisis de la varianza, cuantificándose las diferencias a través del test de Tukey.

Se efectuaron 5 mediciones de densidad aparente por sistema, en zonas no transitadas y dentro de la huella, por el método del cilindro, tomándose muestras de 5 intervalos sucesivos de profundidad de 80 mm cada uno. Se realizaron además determinaciones de profundidad de las huellas en 8 estaciones de cada sistema, a intervalos de 20 mm en sentido horizontal, hasta abarcar la totalidad del ancho de la huella. Se determinó para ambos sistemas la humedad gravimétrica en intervalos de 50 mm hasta 600 mm de profundidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

La densidad aparente media para la posición dentro de la huella fue de 1,21 Mg.m⁻³ y de 1,27 Mg.³ en el sistema de baja y alta mecanización respectivamente, mayores a la del testigo, de 1,11 Mg.m⁻³. La profundidad media de huella para el tratamiento de baja mecanización fue de 80,5 mm, mientras que la del tratamiento de alta mecanización fue de 80,9 mm. Los valores medios de humedad alcanzaron valores de 24,8% para el sistema de baja

mecanización y 27,8% para el sistema de alta mecanización. Al compararse valores promedio de todos los intervalos de profundidad en el sistema de baja mecanización se registraron valores de resistencia a la penetración significativa-mente mayores para la posición dentro de la huella con respecto al testigo, hasta los 553 mm de profundidad (Tabla 1). En el sistema de alta mecanización, al efectuarse las mismas comparaciones las diferencias son significativamente mayores para la posición dentro de la huella, excepto entre los 152 y 457 mm de profundidad. Para ambos sistemas, a excepción del nivel superficial, se registraron en la posición dentro de la huella valores de índice de cono superiores a 1,5 MPa, que resultarían limitantes, de acuerdo a Threadgill (1982), del crecimiento radicular. Considerando el sistema de baja mecanización, la totalidad de los valores a partir de 76.2 mm alcanzan una magnitud tal que impedirían el crecimiento radicular (O'Sullivan *et al.*, 1987).

Los incrementos porcentuales de índice de cono con respecto a la situación original, alcanzan los mayores valores en los primeros 152 mm para el sistema de baja mecanización. Esto podría adjudicarse a la elevada presión de contacto rueda suelo, que resultaría de neumáticos de relativamente escasa superficie de apoyo para los elevados pesos por eje del camión y del acoplado, de acuerdo a lo reportado por Taylor *et al.* (1980). Los mismos superan también ampliamente los valores citados por Smith y Dickson (1990), lo cual podría ser causante de la compactación subsuperficial inferida a partir del índice de cono, en los estratos por debajo de los 305 mm de profundidad de acuerdo con Håkansson *et al.* (1987). Por otra parte, tanto en el sistema de baja mecanización como en el de alta mecanización, el tránsito repetido con vehículos de elevado peso por eje podría haber favorecido el incremento de la compactación a nivel superficial en ambas situaciones (Jorajuría y Draghi (1997); Soane *et al.* (1976); Gameda *et al.* (1987)). Sin embargo,

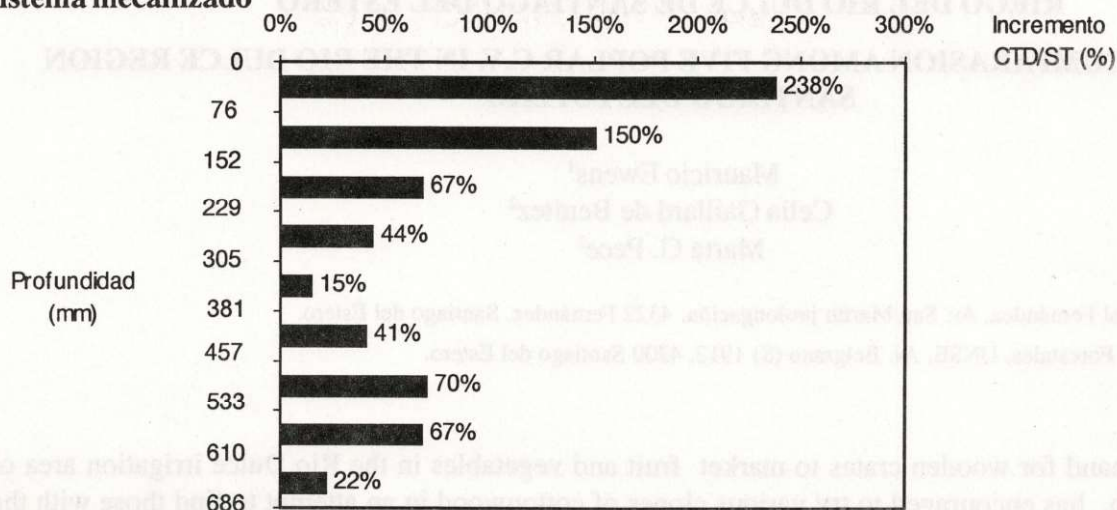
Tabla 1: Valores de penetrometría (MPa) a distintas profundidades (mm) para el sistema artesanal (motosierra).

	0	0	76	152	229	305	381	457	533	610
		76	152	229	305	381	457	533	610	686
ST	0.35a	0.81a	0.76a	0.95a	1.13a	1.06a	0.96a	1.31a	1.83ab	2.26a
CTF	0.47ab	1.00a	0.79a	0.77a	1.27a	1.42ab	1.34ab	1.32ab	1.30a	1.99a
CTM	0.39a	0.98a	0.88a	1.21a	1.42ab	1.17a	1.74ab	2.18ab	2.37ab	2.39a
CTD	0.93 b	3.83 b	3.87 b	2.95 b	2.14 b	2.41 b	2.15 b	2.37 b	2.67 b	2.83a

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

Referencias: ST: Sin tránsito; CTF: Con tránsito fuera de la huella; CTM: Con tránsito entre las huellas; CTD: Con tránsito dentro de la huella.

Figura 1: Incremento porcentual del índice de cono dentro de la huella en relación al testigo para el sistema mecanizado



para el sistema de alta mecanización, si bien los mayores incrementos se encuentran en los primeros 76 mm de profundidad, tal como se visualiza en la figura 1, no se encuentran diferencias significativas de la posición CTD con respecto a ST entre 152 mm y 381 mm de profundidad. Por debajo de dicho estrato únicamente se determinaron diferencias estadísticas significativas a los 457 mm. Este efecto podría atribuirse a la presencia de un estrato de alta resistencia a la compactación, detectable a partir de registros cercanos o superiores a 1,5 MPa en el testigo entre los 152 y los 381 mm. Pese a ello, la importante masa de la cosechadora (196 kN), si bien de reducido efecto sobre la compactación superficial dada su elevada superficie de contacto, sería conjuntamente con el peso por eje del camión y el acoplado, factor determinante de la compactación subsuperficial de las zonas transitadas con respecto a las no transitadas, en acuerdo con lo determinado por Håkansson *et al.* (1987).

CONCLUSIONES

El tránsito de la cosecha y la extracción de madera aumenta la resistencia a la penetración del suelo, tanto a nivel superficial como subsuperficial.

BIBLIOGRAFIA

ASAE Standards. 1992. ASAE S 313.2: Soil cone penetrometer, 611.

GAMEDA, S., G.S.V. Raghavan, E. Mc Kyes, and R. Thériault. 1987. Cumulative high axle load compaction in a loam soil. *Appl. Agric. Eng.* 3 (2): 166-173.

HÅKANSSON, I., W.V. Voorhees, P. Elonen, G.S.V. Raghavan, B. Lowery, A.L.M. Van Wijk, K. RASMUSSEN, and H. Riley. 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid region with annual freezing. *Soil & Tillage Research*, 10:259-268

HÅKANSSON, I. 1994. Subsoil compaction caused by heavy vehicles—a long-term threat to soil productivity. *Soil & Tillage Research*, 29:105-110.

JORAJURÍA, D, and L. Draghi. 1997. The distribution of soil compaction with deep and the response of a perennial forage crop. *J. Agric. Engng. Res.* 66: 261-265.

KEYS TO SOIL TAXONOMY. 1991. Soil survey staff. AID. USDA. SMSS. Technical Monograph N° 19. Virginia Polytechnic Institute and State University.

O'SULLIVAN, M.F., J.W. Dickson, and D.J. Campbell. 1987. Interpretation and presentation of cone resistance data in tillage and traffic studies. *J. of Soil Sci.*, 38: 137-148.

SMITH, H., and L. Dickson. 1990. The contribution of vehicle weight and ground pressure to soil compaction. *J. Agric. Engng. Res.* 46: 13-29.

SOANE, B.D., G. Kenworthy and J.D. Pidgeon. 1976. Soil tank and field studies of compaction under wheels. *Proc. 7th Conf. Int. Soil Tillage Res.* 45: Paper 48.

TAYLOR, J.H., E.C. Burt, and A.C. Bayley. 1980. Effect of total load on subsurface soil compaction. *Transactions of the ASAE*, 23: 568-570.

THREADGILL, E.D. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Transactions of the ASAE*, 25:859-863.

VIVAS, P. 1996. La introducción y adaptación del harvester en las plantaciones forestales de Papel Prensa. Primer seminario de actualización en sistemas de cosecha y transporte forestal, FCF, UNaM: 27-36.

VOORHEES, W.V., C.G. Senst, and N.W. Nelson. 1978. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the northern corn belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42 (2): 344-349.