

EL ARRASTRE DE MADERA CON TRACTORES AGRÍCOLAS: SU RELACIÓN CON LA OPORTUNIDAD DE TRABAJO Y LA COMPACTACIÓN DEL SUELO.

Patricio M. MAC DONAGH (1)

Roberto H. BALBUENA (2)

Alejandro ARAGÓN (3)

Jorge A. CLAVERIE (4)

Antonino M. TERMINIELLO (4)

SUMMARY: Skidding with farm tractors is one of the most common choice in rural areas. the damage to the forest and the soil have an straight relationship with the weight of the machinery. This work related the compaction approach with work opportunity in low susceptibility conditions, like dry soil and low weight. This work was made in a typical Argiudol. The forest was a *Populus sp.* plantation, in the final cut age. The tractor employed was agricultural (2WD). The data collected were dry bulk density, with a gamma gauge; penetration resistance with, a cone penetrometer, and humidity in the first 300 mm of the soil. The treatments were 1, 5 and 10 passes of the tractor in the skidding trial. The results show that yet in the dry condition in the depth situation significance differences ($p = 0,05$) were found. Also the differences of cone resistance and dry density in the more wet situation were high. The differences were among the none and the first pass, and among one and more pass. The conclusion is that for excellent trafficability conditions compaction effects were found. This compaction happened with low machinery in the forest harvesting point of view, and exist some relation with the number of passes. Finally when the rural harvesting is planned the environmental impact should be considered.

RESUMEN: El arrastre de madera con tractores agrícolas es la alternativa más frecuentemente empleada por los productores rurales con áreas forestales en sus propiedades y es una de las pocas tareas que pueden ser desarrolladas con la tecnología disponible. El peso de la maquinaria forestal y los daños producidos al bosque por el arrastre son las causales más comunmente señaladas

en lo que se refiere a los daños al bosque y al suelo. En este trabajo se evalúa el efecto del pasaje del tractor sobre el suelo en diferentes condiciones de compactabilidad. Se trabajó con un tractor de diseño convencional en una plantación de *Populus spp.* en la edad de corte sobre suelo Argiudol típico, siendo los tratamientos de una, cinco y diez pasadas. Los parámetros medidos fueron densidad, con densímetro Gamma; resistencia a la penetración, con penetrómetro, y humedad en los primeros 300 mm del perfil. Los resultados indican que aún en las condiciones más secas fueron detectadas diferencias de compactación en profundidad en relación a la situación original. Los incrementos de densidad y de resistencia fueron mayores para el caso de mayor humedad. Las diferencias obtenidas fueron significativas entre ninguna y la primera pasada, y entre una y más pasadas. Se puede concluir entonces que para situaciones de excelente transitabilidad se verifican los efectos de la compactación. Que esta compactación se da aún con tractores livianos desde punto de vista forestal, y que tiene alguna importancia el número de pasadas. Finalmente en el planeamiento de la extracción de la madera en áreas rurales deberían incluirse items referidos al impacto de los daños al medio ambiente.

PALABRAS-CLAVE: Compactación; Arrastre de madera; Tractores

(1) Prof. Adj., Depto. de Silvicultura. Fac. Cs. Agrs. y Ftals. UNLP. CC 31 (1900)

ARGENTINA.

(2) Prof. Titular, Dpto. Eng. Rural Fac. Cs. Agrs. y Ftals. UNLP.

(3) Prof. Titular, Dpto. Manejo de Solos e Águas.

Fac. Cs. Agrs. y Ftale. UNLP.

(4) Investigadores Dpto. Eng. Rural. Fac. Cs. Agrs. y Ftale. UNLP.

1 INTRODUCCION

En las áreas rurales donde coexisten la agricultura y la explotación forestal, el arrastre de madera con tractores agrícolas es la alternativa de mecanización más frecuentemente empleada por los productores, siendo una de las pocas tareas de la cosecha de madera que pueden ser desarrolladas con tecnología propia. Desde el punto de vista de los daños del arrastre son señalados los riesgos para el bosque y el suelo debidos al peso de la maquinaria. A nivel mundial, en el manejo forestal, la tendencia es utilizar máquinas pesadas en las áreas de cosecha.

2 OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es la determinación a campo de los niveles de compactación del suelo ocasionados por el tránsito de la cosecha de madera en plantaciones forestales de la Provincia de Buenos Aires y el establecimiento de las bases para la construcción de un modelo que interprete las consecuencias de sus acciones y permita la elección de las alternativas menos perturbadoras para el sistema.

Hipótesis:

La hipótesis establecida es que el tránsito de los tractores en la cosecha de madera ocasiona compactación del suelo.

3 REVISION DE LA LITERATURA

El tráfico del rodado en el terreno ha sido reconocido como la mayor fuente de fuerzas causantes de la compactación (HATCHELL et alii, 1970; DICKERSON, 1976; RAGHAVAN et alii, 1976; TAYLOR y GILL, 1984; SIDLE y DRILCA, 1981; MATTHES, y WATSON, 1989).

En general la mayoría de los autores afirman que con el aumento del número de pasadas aumenta la compactación. Muchos de ellos estudiaron la relación existente entre el número de pasadas, el aumento de la carga, el ancho de los neumáticos y sus efectos en la compactación. (HASSAN et alii, 1985; HAKANSSON, I. 1985; KOGER et alii, 1985; RUMMER et alii

, 1986; LOWERY B. et alii, 1991; AUST et alii, 1993).

Se podría concluir que para todos los trabajos estudiados el número de pasadas es uno de los factores principales, junto con la carga, el tipo de neumático, y la presión de inflado. Según KOGER J. et alii, (1985), el número de pasadas fue significativo en uno de los tres tipos de suelos estudiados. Para los mismos autores las diferencias se dieron entre la primera y la quinta pasada, y entre la primera y ninguna pasada. AUST (1993) encontró diferencias entre la primera y la séptima pasada, tanto para densidad como para porosidad.

SLIDE y DRILCA (1981) encontraron diferencias en relación a la posición del ramal en el área trabajada. Esto es muy importante en el caso forestal ya que por las características de la red de carrateras ciertas áreas como las más próximas de los patios, reciben mayor número de pasadas que aquellas vías secundarias; por ejemplo. (MURPHY, 1983; FIRTH y MURPHY, 1989).

DICKERSON (1976) señala que para un sitio de cosecha, el arrastre con "skidders" aumentó la densidad del suelo un 20 % en el surco del neumático y 10 % entre surcos por arriba de los valores del suelo no alterado. Este estudio estimó que son necesarios 12 años en los surcos y ocho en los entre surcos para que las tasas de infiltración y percolación vuelvan a sus valores originales.

HATCHELL et alii, (1970), demostró que las tasas de infiltración de patios de acumulación de madera, rutas primarias, y rutas secundarias fueron respectivamente, 10, 11, y 22 % menores con respecto al suelo no disturbado, y hubo también una reducción en el espacio poroso y aumento de la humedad del suelo. El tiempo de recuperación del suelo fue estimada en 18 años.

FIRTH e MURPHY, (1989) relatan para *Pinus radiata* que la altura, el diámetro, y forma de los árboles que crecían al lado de la ruta fue marcadamente inferior con respecto a los árboles del interior del rodal. Haciendo la misma comparación ellos establecieron que los árboles en la vía de saca fueron en media 1 metro menores (10%) en altura, 2 cm menores (13%) en diámetro (DAP), y 33% menores en volumen.

4 MATERIALES Y METODOS

4.1 Materiales

La experiencia se realizó en la Estación Julio A. Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, de la UNLP situada en Los Hornos, Provincia de Buenos Aires a los 34° 55' LS y 57° 57' LW.

Este sitio responde al ambiente fisiográfico del sector sur oriental de la Pampa Ondulada y al borde norte de la Pampa Deprimida. El suelo fue descrito como Argiudol típico con un horizonte A de 300 mm de espesor, un A3 hasta los 470 mm y un B hasta los 158 mm.

El dosel arbóreo está compuesto por una plantación de *Populus x deltoides* cv Harvard I 63\51 de 8 años de edad, con una densidad de 625 árb\ha y un crecimiento medio anual de 11,78 m³/año.

Se utilizó un tractor de diseño convencional, con una masa total de 40670 N, 26842 de peso en el eje trasero, rodado trasero 18,4 * 34, un área rueda/suelo de 0,18 m² y una presión específica de 74 kPa. Los árboles empleados para el arrastre sumaban un total de 0,75 metros cúbicos.

Para las mediciones de densidad y humedad fue empleada una sonda marca Troxler modelo 3440 que mide por gammimetría y por retrodispersión de neutrones. Para la resistencia a la penetración fue empleado un penetrómetro de cono normalizado por ASAE (S 313.2) (ASAE STANDARD, 1992). La humedad fue corroborada por gravimetría.

4.2 Métodos

Los ensayos fueron llevados a cabo en tres épocas diferentes. La primera en una época seca, diciembre de 1994, con una humedad promedio del suelo del orden del 14 % en superficie. La segunda en una época de mayor humedad, fines de febrero de 1995, con una humedad del suelo promedio de 12,5 %, en la superficie y la tercera 27,8 %. En todas las situaciones la metodología empleada fue la misma, con la excepción de que solo en la primera se arrastraron troncos.

El procedimiento empleado consistió en un relevamiento previo que se constituye en el testigo, y luego fueron realizadas las pasadas con el tractor (1,5, y 10) por una vía de arrastre predeterminada. Después de cada pasada fueron medidos todos los parámetros estudiados. Se

realizaron tres ensayos en diferentes fechas correspondientes a distintas situaciones de humedad en el suelo, a saber: **Ensayo 1** (diciembre 94); **Ensayo 2** (febrero 95) y **Ensayo 3** (mayo 95).

Las variables estudiadas fueron densidad aparente en seco y humedad volumétrica por sonda, humedad gravimétrica, y resistencia a la penetración, en los primeros 300 mm del perfil.

En lugares del rodal hasta ahora no transitados fueron individualizadas estaciones fijas de muestreo, distribuidas al azar dentro de la vía de tránsito. El número de estaciones fue de tres para la época seca, y cinco para los siguientes ensayos. Estas estaciones consisten en transectas a lo ancho de la vía de arrastre donde, a intervalos regulares, donde fueron medidos los parámetros mencionados anteriormente. Las mediciones abarcaron posiciones tanto fuera como dentro del lugar de pasaje del rodado trasero del tractor. Para la resistencia a la penetración las transectas fueron realizadas a lo ancho de cada una de las ruedas traseras, desde un punto externo hasta otro externo a la huella.

En cada una de las estaciones fijas los valores de densidad en seco y humedad fueron tomados de 0 a 300 mm, cada 50,8 mm en profundidad y a intervalos regulares a lo ancho, totalizando 5 mediciones por estación. Para la resistencia a la penetración las mediciones fueron de 6 por rueda, a intervalos de 76,2 mm en profundidad, siendo que en cada estación se relevaron las dos ruedas dos veces.

Los datos de campo fueron analizados en planilla de cálculo, y estadísticamente como multifactorial y por Tukey para los test de las medias.

5 RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Ensayos en la época seca

Según los resultados del ensayo llevado a cabo en diciembre 94 se puede argumentar que este tipo de ensayo resulta al menos atípico, ya que según las bibliografías estudiadas (HATCHELL et alli, 1970; KOGER J. et alli, 1985; RUMMER 1989; AUST et alli, 1993) los ensayos de compactación que utilicen metodologías similares

a la aquí empleada, deberían realizarse en condiciones cercanas a la humedad de campo, o prácticamente, luego de una lluvia, lo que permite obtener datos que puedan ser comparados entre sí. Hasta el momento la literatura poco ha esclarecido sobre si ocurre algún tipo de densificación en condiciones de seca. Esto se justifica porque el penetrometro es altamente dependiente de la humedad, y para poder penetrar necesita el suelo con cierta humedad. El problema surge cuando se visualizan situaciones de arrastre de madera para el abastecimiento de una industria de transformación. Esto implica que se trabaje durante todo el año. Es cierto también que la situación más susceptible es la de mayor humedad. Pero poco se sabe respecto de lo que ocurre en relación al suelo en condiciones ideales de transitabilidad. Si analizamos los datos de resistencia a la penetración vemos que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí hubo significancia para el factor profundidad. Los valores de las medias obtenidas para el tratamiento control son colocadas en la Tabla 1.

Tabla 1: Test de medias (Tukey) de resistencia a la penetración para PSN. (valores en kPa)

Profundidad (mm)	n	Media	Significancia
0	72	1923,56	a
76,2	72	2878,16	b

Letras diferentes denotan significancia al 0,05.

Debe notarse que la mayor profundidad alcanzada en este caso es de 76,2 mm. Esta limitante condiciona el análisis de la penetrometría, pero era esperado ya que entre otros factores pueden señalarse que el estado de humedad del suelo que iba del 14 % en superficie hasta el 21% a los 263 mm.

Para despejar la influencia del factor profundidad fueron realizados ANOVAs para cada una de las profundidades (0 y 76,2 mm) y para cada tratamiento, siendo el resultado que no existieron diferencias significativas ($p=0,05$) entre el testigo y los tratamientos aplicados, ahora discriminados por profundidades. Esto es coherente con los resultados iniciales que solo presentaban significancia para el factor profundidad, hecho que podría estar relacionado con las

características texturales del material analizado, aunque como puede observarse en la Tabla 1 estamos siempre dentro del horizonte Ap.

En lo que respecta a la densidad en seco pudo observarse que existieron diferencias significativas entre ninguna (PSN) y cinco pasadas (PS 5), y que no existió influencia por parte del factor profundidad, en este caso hasta los 300 mm. Esto es contradictorio con lo señalado para resistencia a la penetración en donde no se encontraron diferencias. Esto nos estaría demostrando también que en condiciones no propicias para la compactación, como poco peso y baja humedad del suelo, existió compactación.

En el caso del tratamiento de control, si analizamos las medias de densidad para las distintas profundidades vemos en la tabla 2 que son significativas para $p = 0,05$.

Tabla 2: Valores de las medias de densidad (Kg/m³) para el testigo

Profundidad (mm)	n	Media (Tukey)	Significancia
0	15	985,016	a
1016	15	1019,515	b
2032	15	1042,849	c
3048	15	1061,353	d

Luego fueron realizados ANOVAs de una vía entre los tratamientos con la intención de detectar donde se producían las diferencias. De estos análisis puede decirse que salvo el factor profundidad en el caso que compara los tratamientos de ninguna y cinco pasadas, el resto fue significativo. Esto se torna más importante si se lo compara con la resistencia a la penetración, que no presentó diferencias. Debemos señalar que con la sonda se trabajó hasta los 300 mm, y con el penetrometro hasta los 76 mm, razón por la cual se supone que las diferencias deben situarse por debajo de estos valores de profundidad. De los análisis para cada una de las profundidades se desprende que la única situación en donde existieron diferencias fue entre los tratamientos de una y cinco pasadas, PS 1 y PS 5, a los 203 mm de profundidad. Así quedaría detectado el estrato donde se produjo la compactación y en que momento, es decir entre la primera y la quinta pasadas. Esto de alguna manera es coincidente con lo planteado por LOWERY B. et alli (1991), y JORAJURÍA D. et

alli (1994) para situaciones agrícolas, y también coincidente con lo colocado por SIDLE R. et alli (1981), por KOGER J. et alli (1985) y por AUST et alli (1993) con la salvedad de que en todas estas situaciones los trabajos se realizaron a humedades mayores, cercanas a la capacidad de campo.

5. 2 Ensayos en época húmeda (ensayos 2 y 3)

La primera consideración está relacionada con la humedad gravimétrica correspondiente a los ensayos 2 y 3, presentado en la Tabla 3, donde puede observarse que para el ensayo 2 no se encontró una humedad del suelo superior al ensayo 1. En este caso las diferencias se esperaban porque existieron lluvias antecedentes en la época del ensayo 2 (20 mm en los 5 días anteriores) y en la época del ensayo 1 fueron 5 mm. La diferencia es más marcada si consideramos la humedad gravimétrica medida en la misma época del ensayo 2, pero sobre un barbecho.

Tabla 3: Valores de humedad gravimétrica media para los ensayos 2 y 3

Profundidad (mm)	Ensayo 2	Barbecho	Ensayo 3
0-60	12,46	23	27,78
61-120	13,84	12,4	25,39
121-180	16,32	15,6	25,90
181-240	16,78	17,6	31,79
241-300	18,99	18,6	29,70

Estas aparentes contradicciones se explican por la diferente dinámica del agua del bosque y pradera, tal como lo demostraron ARAGÓN A. et alli (1990).

Para la resistencia a la penetración, de la misma manera que para el ensayo 1, fue elaborado un ANOVA del tipo multifactorial.

En primer termino se pueden señalar que si comparamos el ensayo 1 con el ensayo 2 vemos que en el último caso existió significancia para los tratamientos y para el factor profundidad, siendo que antes solo hubo influencia de la profundidad. Si la comparación se realiza entre las humedades gravimétricas, vemos que a pesar de ser semejantes, los valores de resistencia son bien disímiles. Esto implica que, a pesar de no existir en el suelo diferentes humedades, desde el punto de vista de la traficabilidad los valores

analizados se corresponden con situaciones diferentes.

En el caso de los ensayos 2 y 3 se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos y para el factor profundidad, pero en ambos casos las posiciones respecto de la rueda no fueron significativas. En la Tabla 4 se presentan los resultados de los tests de Tuckey correspondientes a cada época.

Tabla 4: Test de medias (Tukey) de resistencia a la penetración para los ensayos 2 y 3. (valores en kPa)

Tratamiento	ensayo 2	ensayo 3
N PS	1481,15 a	2082,01 a
1 PS	1505,69 a	2119,86 ab
5 PS	2104,29 b	2162,75 b
10 PS	1764,76 c	2120,81 ab

Letras diferentes denotan significancia al 0,05.

Luego en la tabla 5 son presentados los valores de las medias correspondientes a las profundidades.

Tabla 5: Test de medias (Tukey) de resistencia a la penetración para las profundidades. (valores en kPa)

Profundidad (mm)	ensayo 2	ensayo 3
0	747,21 a	1727,89 a
76,2	1937,15 b	2152,06 b
152,4	2457,56 c	2374,03 c

Letras diferentes denotan significancia al 0,05.

En la tabla 5 vemos que en ambas épocas los valores de resistencia a la penetración más altos se corresponden con el tratamiento de 5 pasadas. Ahora si analizamos la décima pasada (PS 10), se observa que en general todas las medias de este tratamiento bajaron en relación a la quinta pasada (PS 5), también en los dos ensayos. Una posible explicación de esto sería que la mayor compactación se produjo en un estrato más profundo, el cual no fue medido, pero sería coherente con la definición de compactación dada por TAYLOR y GILL (1984) y por

RAGHAVAN et alii (1976). Esto es llamativo en relación a la metodología, ya que la máxima profundidad analizada no se corresponde con lo que habría que detectar para una situación real de tránsito forestal, que supera ampliamente las 10 pasadas de máquinas en lugares como las vías secundarias, primarias y en los patios de acumulación. (HATCHELL et alii, 1970; SLIDE y DRILCA, 1981; MURPHY, 1983; FIRTH y MURPHY, 1989). En este sentido, cabe destacar que BURGER et alii (1985) verificaron que el número de pasadas de la maquinaria aumentaba la compactación en profundidad, sin embargo no en forma proporcional.

Si se realiza un análisis de los datos de densidad en seco de ambos ensayos vemos que para la variable densidad en seco los tratamientos no fueron significativos pero si la profundidad, siendo que la posición tuvo un comportamiento disímil.

Ahora si analizamos las medias de densidad para las distintas profundidades vemos en la tabla 6 que algunas de ellas son significativas para $p = 0,05$.

Tabla 6: Valores de las medias de densidad (Kg/m³) para el testigo, ensayo 2.

Profundidad (mm)	ensayo 2	ensayo 3
0	934,23 abc	1221,89 b
50,8	855,82 a	1191,23 a
101,6	920,31 ab	1233,13 b
152,4	997,28 bcd	1263,68 c
203,2	1058,20 cde	1258,53 c
254	1096,37 de	1271,63 c
304,8	1152,99 e	1268,17 c

En relación a los datos de densidad del ensayo 1, son similares a los valores del ensayo 2 pero ambos menores a los del ensayo 3. Como ya se demostró los valores de humedad gravimétrica no difieren entre el ensayo 1 y 2, pero sí los del ensayo 3. Esto es interesante ya que podría argumentarse que los valores mayores de densidad no se corresponden con la existencia de una compactación, pero al existir diferencias para la resistencia a la penetración, aunque condicionadas por la humedad, se podría argumentar que aún en el tercer ensayo se siguen produciendo alteraciones en el suelo causadas por el tránsito de la maquinaria. Esto se evidencia si se analizan

los gráficos 1 y 2 que representan las interacciones entre tratamientos y profundidades para los ensayos 2 y 3. Debemos recordar que en ambas situaciones los tratamientos y las profundidades fueron significativas ($p = 0,01$), pero solo en el caso del ensayo 2 (gráfico 1) las interacciones fueron significativas. Debe resaltarse además que en el caso del ensayo 1 solo se obtuvieron valores hasta el estrato de 76,2 mm, condicionados por los contenidos de humedad ya mencionados. Se destaca entonces una limitación metodológica, coherente con lo planteado por AYERS P., E. y PERUMPRAL, J. (1982) en lo que respecta a interrelación humedad-resistencia.

Gráfico 1: Interacciones entre tratamientos y profundidades

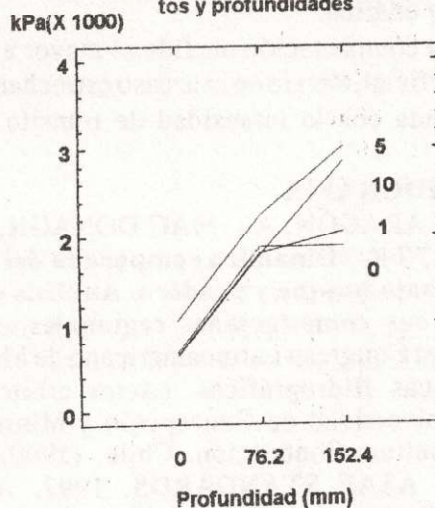
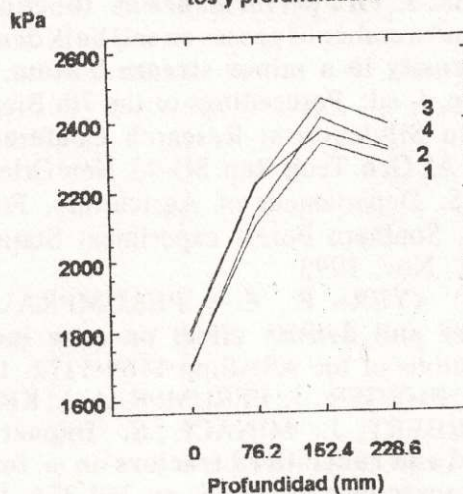


Gráfico 2: Interacciones entre tratamientos y profundidades



Donde :

- 1 = testigo
- 2 = tratamiento de 1 pasada
- 3 = tratamiento de 5 pasadas
- 4 = tratamiento de 10 pasadas

6 RECOMENDACIONES

En instancias de estudio semejantes se recomienda introducir modificaciones metodológicas que permitan detectar en forma fehaciente alteraciones físicas a mayores profundidades.

Para situaciones de arrastre de madera con tractores agrícolas, del tipo de tecnologías intermedias, se debe tener especial atención en lo que respecta a compactación y sus consecuencias para el potencial del recurso suelo y del dosel arbóreo.

7 CONCLUSIONES

En condiciones de suelo con alta capacidad portante se producen importantes trastornos en el medio edáfico.

La compactación medida es mayor a nivel subsuperficial, siendo en este caso estrechamente relacionada con la intensidad de tránsito.

8 BIBLIOGRAFIA

- 1) ARAGÓN, A., MAC DONAGH, P. Y MARLATS R. «Dinámica comparada del agua edáfica bajo bosque y pradera. Análisis de un caso y sus connotaciones regionales.» Actas del Primer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. (Actas arbitradas) FAO, Universidad de Concepción y Ministerio de Agricultura. Concepción. Chile. (1990)
- 2) ASAE STANDARDS, 1992. ASAE S313.2. Soil cone penetrometer. p. 611.
- 3) AUST W; REISINGER, T.; STOKS, B. BURGER, J. **Tire performance as function of width and number of passes on soil bulk density and porosity in a minor stream bottom.** En: Brissette, J. ed. Proceedings of the 7th Biennial Southern Silvicultural Research Conference; Mobile, Al. Gen. Tech. Rep. SO-93. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest experiment Station : 137-141. Nov. 1993
- 4) AYERS P., E. y PERUMPRAL, J. **Moisture and density effect on cone index.** Transactions of the ASAE, pp 1169-1172. 1982
- 5) BURGER, J.; PERUMPRAL, J.; KREH, R.; TORBERT, J.; MINACI, S. **Impact of trucked and rubber-tired tractors on a forest soil.** Transactions of ASAE. pp 369-373. 1985
- 6) DICKERSON, B. **Soil compactation after tree-length skidding in northern Mississippi.** Soil Sci. Soc. Am. J., Vol 40: 965-966. 1976
- 7) FIRTH, J. e MURPHY, G. **Skidtrails and their effect on the growth and management of young Pinus radiata.** New Zealand Journal Forestry Science 19(1):22-8. 1989.
- 8) HAKANSSON, I. «Swedish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load». Soil Use Manage 1:113 - 116. (1985).
- 9) HASSAN, A. e SIROIS, D. **Traction and rolling resistance of a dual tired skidder on wetland.** Transaction of ASAE 28(4):1038-1042. 1985
- 10) HATCHELL, G.; RALSTON, C.; FOIL, R. **Soil Disturbances in Logging.** Journal of Forestry. pp 772-775. 1970
- 11) JORAJURÍA, D., DRAGHI, L. y ARAGÓN, A. **El peso del tractor y la compactación subsuperficial.** Primer Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola. Concepción, Chile. 1994.
- 12) KOGER, J.; BURT, E.; TROUSE, A. **Multiple Pass effects of skidder tires on soil compactation.** Transaction of ASAE. pp 11-16. 1985.
- 13) LOWERY B., y SCHULER R. **Temporal effects of subsoil compaction on soil strength and plant growth.** Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 216-223. 1991
- 14) MATTHES, R.; WATSON, W.; SAVELLE, I.; SIROIS, D. **Effect of load and speed on fuel consumption of a rubber-tired skidder.** Transaction of ASAE 31(1):37-39. 1988.
- 15) MURPHY, G. **Pinus radiata survival growth and form four years after planting off and on skidtrails.** New Zealand Journal of Forestry, 28(2):184-83. 1983
- 16) RAGHAVAN, G.; McKYES, E.; AMIR, J.; CHASE, M.; BRUGHTON, R. **Prediction of soil compactation due to off-road vehicle traffic.** Transaction of ASAE. pp 610-613. 1976
- 17) RUMMER, B.; ASHMORE, C. **Factors affecting the rolling resistance of rubber-tired skidders.** ASAE paper 85-1611. St. Joseph, MI : American Society of Agriculture Engineers. 13 pp. 1986
- 18) SDILE, R. e DRLICA, M. **Soil compactation from logging with a low-ground pressure skidder in the Oregon Coast Ranges.** Soil Sci. Soc. Am. J. 45:1219-1224. 1981
- 19) SIROIS, D.; STOKES, B.; RAWLINS, C. **Cone penetrometers - How do they measure up ?** ASAE paper 89-7067. St. Joseph, MI : American Society of Agriculture Engineers. 10 pp. 1989
- 20) TAYLOR, J. e GILL, W. **Soil compactation: state-of-art report.** Journal of Terramechanics, 21(2):195-213. 1984