

PERSISTENCIA DEL EFECTO DEL ESCARIFICADO EN UN SUELO ARGIUJOL TIPICO BAJO SIEMBRA DIRECTA

TERMINIELLO, Antonino*; Jorge HILBERT^; Jorge CLAVERIE*; Telmo PALANCAR*; Laura DRAGHI*; Roberto BALBUENA*; Daniel JORAJURIA*

*Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, UNLP. Av. 60 y 119. cc: 31, 1900, La Plata. e-mail: dingeneriaaf@ceres.agro.unlp.edu.ar ^Instituto de Ingeniería Rural INTA Castelar.

RESUMEN

Si bien los sistemas de no labranza implican un menor tráfico vehicular no necesariamente determinan reducciones en la intensidad de tránsito debido a las elevadas cargas por eje de algunas de las máquinas utilizadas, lo que redundaría en procesos de compactación con el paso del tiempo. Si bien el subsolado es una técnica conocida en el marco de algunos sistemas de labranza, poco se conoce aún de su efecto en sistemas de siembra directa. Entre los años 2001 a 2006 se condujeron ensayos en un suelo Argiudol típico bajo siembra directa sin y con tratamiento de remoción mediante un escarificador de montantes curvos. Ambas situaciones recibieron posteriormente el mismo tráfico, correspondiente a las operaciones de siembra, pulverización, cosecha y transporte. Como variables dependientes se determinaron resistencia a la penetración y densidad aparente. Los resultados obtenidos muestran que si bien existe una mayor tendencia a la compactación luego del tráfico en el suelo escarificado, el efecto de la labor persiste durante al menos nueve meses. Resulta de interés, además, la reducción detectada en los parámetros evaluados aún por debajo de la profundidad de trabajo del escarificador. El escarificado puede disminuir la compactación subsuperficial del suelo causada por el tráfico, contribuyendo a la sustentabilidad del sistema de siembra directa.

Palabras clave: siembra directa, compactación, tráfico agrícola, escarificado.

Introducción

En la provincia de Buenos Aires, Argentina, la compactación de suelos debida al tráfico agrícola durante la cosecha de los cultivos de verano representa una problemática de interés ya que en ese período los suelos experimentan una significativa reducción en su capacidad portante debido a las precipitaciones. Cuando se trafica con elevadas cargas por eje en esas condiciones se producen huellas que dificultan posteriores siembras.

En la actualidad más de 12 millones de hectáreas son conducidas en Argentina bajo siembra directa representando, al menos, la mitad de la producción de granos y oleaginosas. Si bien dicho sistema implica en relación a otros una reducción en los eventos de tráfico, la intensidad del mismo no experimenta una reducción significativa. Esto se debe no solo al incremento en la masa de las sembradoras, que pueden alcanzar los 10 Mg sobre un único eje, sino también a los carros graneleros utilizados durante la operación de cosecha, cuya masa por eje puede resultar 5 a 6 veces mayor que la indicada para prevenir procesos de sobrecompactación (Jorajuria, 2005), teniendo en cuenta que Håkansson et al., (1988) recomiendan una carga límite de 6 Mg por eje.

La resistencia a la penetración y la densidad aparente son los parámetros más frecuentemente utilizados para evaluar la compactación. Resultando el primero de ellos de

mayor sensibilidad para la valoración de la compactación producida por el tráfico (Jorajuria, 2004). La relativa facilidad de medición permite un elevado número de mediciones que compensa su alta variabilidad.

Schäfer-Landefeld et al., (2004), en ensayos de tráfico de cosecha de remolacha (*Beta vulgaris var. sacharata L.*), hallan que los suelos previamente subsolados mostraron mayores incrementos en la compactación que aquellos sin tratamiento mecánico. Arvidsson et al., (2001) establecen que cargas por eje de 35 Mg utilizadas sobre suelos húmedos (contenido volumétrico de agua de 18 a 20%) inducen compactación por debajo de los 50 cm de profundidad, concluyendo que el contenido de humedad constituye el principal factor que afecta la compactabilidad debida al tráfico.

En Argentina aún persisten dudas respecto de las ventajas, oportunidad y frecuencia del tratamiento mecánico del suelo para disminuir la compactación en suelos no labrados. El presente trabajo fue realizado bajo la hipótesis que un subsolado periódico puede disminuir la compactación producto del tráfico agrícola, permitiendo la sustentabilidad del sistema de siembra directa. Como principal objetivo se planteó evaluar la respuesta del suelo conducido en siembra directa luego del tráfico sin y con tratamiento de remoción mediante un escarificador de montantes curvos.

Materiales y métodos

Las determinaciones se realizaron en el establecimiento agropecuario "La Fe" de la localidad de San Antonio de Areco, provincia de Buenos Aires (s 34° 18' 10"; w 55° 56' 58") sobre un sector que presentaba al momento del ensayo, una historia de cinco años de siembra directa de trigo (*Triticum aestivum L.*) y soja (*Glycine max L. Merr.*), con la siguiente clasificación y descripción:

Argiudol típico (Soil Taxonomy, 1999), perteneciente a la serie Río Tala. A11: 0-160 mm pardo grisáceo oscuro en seco, pardo muy oscuro en húmedo. Franco limoso. Estructura en bloques subangulares medios moderados. Friable, ligeramente plástico, adhesivo, equivalente humedad 27,3 %. A12: 160-300 mm, pardo grisáceo muy oscuro en seco, negro en húmedo, franco arcillo limoso, estructura en bloques subangulares medios moderados, friable, ligeramente plástico, adhesivo. Equivalente humedad 29,8 %. B1t: 300-500 mm pardo oscuro en seco y en húmedo, arcilloso, estructura en prismas compuestos, regulares, gruesos, fuertes, extremadamente duro en seco. Firme en húmedo. Muy plástico, adhesivo. Abundantes barnices. Equivalente humedad 40,8%. B2t: 500-840 mm, pardo en seco, pardo oscuro en húmedo. Arcillo limoso. Estructura en prismas compuestos regulares. Muy duro en seco, muy firme en húmedo, plástico, adhesivo, abundantes barnices, equivalente humedad 40,7 %.

Se delimitaron tres bloques experimentales de 30 X 90 m, cada uno de los cuales fue dividido en dos sectores: uno de ellos con tratamiento mecánico mediante un escarificador de montantes curvos (denominación comercial "Culti-Vie") a una velocidad de 6 km h⁻¹ con una profundidad media de 30 cm. Dicho tratamiento se designó TE. El otro sector, sin remoción del suelo, se designó como TSE.

Las variables fueron medidas en tres diferentes períodos:

- 1) un mes después del tratamiento de remoción e inmediatamente luego de las operaciones de pulverización y siembra, en julio de 2004 (P1);
- 2) luego de la cosecha de trigo, y antes de la siembra de soja, en diciembre de 2004 (P2);
- 3) antes de la cosecha de soja, cuando el único evento de tráfico desde la siembra consistió en la labor de pulverización, en marzo de 2005 (P3).

La tabla 1 muestra las características de los vehículos:

Tabla 1: principales características de los vehículos.

	Cosechadora	Tractor	Carro Granelero (1 eje)	Sembradora	Pulverizadora
Carga eje delantero (Mg)	11.40	2.78	14.1	10.2	2.2
Carga eje trasero (Mg)	2.80	5.1	-----	-----	1.8
Neumáticos delanteros	30.5x32	14.9x24	23.1x30	12.4x28	12.4x46
Neumáticos traseros	16.9x26	23.1x30	-----	----	12.4x46
Presión de inflado delantera (kPa)	151.7	120.7	160.8	130	120
Presión de inflado trasera (kPa)	114.5	75.8	-----		120
Presión de contacto delantera (kPa)	114	67.6	116,08	98	101
Presión de contacto trasera (kPa)	60.0	62.1	-----	-----	96

La resistencia a la penetración (RP) se midió mediante un penetrómetro Rimick modelo CP 20 bajo norma ASAE S 313.2 desde la superficie hasta una profundidad de 60 cm. Las determinaciones de densidad aparente (DA) fueron realizadas utilizando una sonda gammamétrica Troxler hasta una profundidad de 30 cm. Complementariamente se evaluó el contenido de humedad para cada profundidad, así como la presión de contacto para todos los vehículos. En cada instancia de medición se efectuaron, para cada rango de profundidad, doce determinaciones de penetrometría en cada una de las tres repeticiones. La densidad aparente se determinó mediante tres mediciones para cada estrato y la humedad gravimétrica se obtuvo mediante seis repeticiones para cada profundidad. La información fue analizada mediante análisis de la varianza y las diferencias estadísticas mediante el test de LSD. La presión de contacto fue determinada mediante la metodología propuesta por Jorajuria et al., (1997).

Resultados

Los resultados se presentan en las tablas 2 a 5 .

Tabla 2: Resistencia a la penetración (kPa) para el tratamiento sin escarificado (TSE)

Instancia de medición	Rango de profundidad (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
P1: 07/04	1888 a	1637 b	1703 c	2239 b	2973 b	3633 b
P2: 12/04	2210 b	1406 a	1260 a	1949 a	2732 a	3640 b
P3: 03/05	2213 b	1657 b	1488 b	2003 a	2708 a	3669 b

Letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) de acuerdo al test de LSD.

Tabla 3: Resistencia a la penetración (kPa) para el tratamiento escarificado (TE)

Instancia de medición	Rango de profundidad (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
P1: 07/04	944 a	1231 a	1260 b	1707 b	2514c	3384 c
P2: 12/04	1157b	1183 a	983 a	1509 a	2262 b	3082 b
P3: 03/05	1204 b	1405 b	1174 b	1330 c	2095 a	2727 a

Letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) de acuerdo al test de LSD.

Tabla 4: Contenido de humedad (% w/w) para cada instancia de medición.

Instancia de medición	Rango de profundidad (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
P1: 07/04	25 b	25 b	28 b	27 a	32 a	33 a
P2: 12/04	25 b	27 c	29 b	32 b	32 a	33 a
P3: 03/05	23 a	22 a	24 a	25 a	27 b	30 a

Letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) de acuerdo al test de LSD.

Tabla 5: Densidad aparente en seco ($Mg\ m^{-3}$) para ambos tratamientos en las tres instancias de medición.

Rango de profundidad (cm)	TSE			TE		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
0-10	1.306 a	1.534 b	1.445 b	1.257 c	1.330 a	1.340 a
10-20	1.338 a	1.421 a	1.404 a	1.088 b	1.255 c	1.270 c
20-30	1.434 a	1.445 a	1.480 a	1.308 a	1.250 b	1.246 b
30-40	1.384 a	1.406 a	1.410 a	1.345 a	1.206 b	1.106 c

Letras diferentes en las filas indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) de acuerdo al test de LSD.

Discusión

La información obtenida en la primera instancia de medición muestra que la resistencia a la penetración para el tratamiento escarificado (Tabla 3) resultó menor para todos los rangos de profundidad comparada con el tratamiento sin remoción (Tabla 2), con una reducción media del 24%.

En concordancia con dichos resultados, la densidad aparente experimentó para el tratamiento escarificado una reducción del 3.5%.

Los resultados indicarían que la labor de escarificado persiste aún luego del tráfico subsecuente. Aún casi cinco meses más tarde (P2) con un contenido de humedad muy similar al medido en P1, el suelo sin escarificado mostró una significativa disminución en la resistencia a la penetración para los rangos de profundidad de 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm, con una media del 15%.

El suelo escarificado evidenció la misma tendencia, con una reducción del 11%, excepto en el estrato superficial (0-10 cm), donde los cambios no resultaron detectables.

En la instancia de medición P3, el suelo sin laboreo evidenció incrementos en la resistencia a la penetración en tres rangos intermedios de profundidad (10-20, 20-30 y 30-40 cm) como presenta la Tabla 2. Esos cambios en la respuesta del suelo con respecto a la resistencia a la penetración no se vieron reflejados por los valores de densidad aparente (Tabla 5) donde no se registraron diferencias significativas para las tres instancias de medición. Por otra parte, la resistencia a la penetración correspondiente al tratamiento escarificado (Tabla 3), no evidencia cambios en el estrato superficial (0-10 cm), pero si muestra un incremento del 16% en los intervalos de 10-20 y 20-30 cm. Esto podría atribuirse a que esos estratos presentaron los menores contenidos de humedad: 22 y 24% (Tabla 4). En acuerdo con esta hipótesis ad hoc, no se registraron diferencias significativas en la densidad aparente (Tabla 5) para los mencionados estratos para las dos últimas instancias de medición.

Si se considera el perfil de suelo por debajo de la profundidad de labor (Tabla 3), y no obstante la disminución en el contenido de humedad (Tabla 4), los estratos correspondientes a 30-40, 40-50 y 50-60 cm muestran diferencias estadísticas significativas en la disminución de la resistencia a la penetración para las diferentes instancias de medición. Entre P2 y P3 la reducción promedio fue de un 10% y una reducción similar ocurrió en los tres estratos entre P1 y P2. La respuesta del suelo en el tratamiento sin laboreo para los mismos estratos, resultó diferente ya que no se detectaron cambios significativos en la resistencia a la penetración. La disminución detectada por debajo de la profundidad de trabajo deberá ser tomada en cuenta en futuros ensayos. Podría hipotetizarse que la labor incrementa la difusión de oxígeno y mejora el proceso de nitrificación, incrementando la fertilidad actual en capas mas profundas que las alcanzadas por los órganos activos del escarificador. Si se toman en cuenta solamente los estratos superficiales (0-10 y 10-20 cm) resulta evidente que el suelo escarificado muestra un significativo incremento en la compactación luego del tráfico, evidenciado tanto por la resistencia a la penetración como por la densidad aparente. Entre la primera y última instancia de medición el incremento promedio entre 0 y 20 cm fue, para el suelo sin escarificado, del 7.5% mientras que para el suelo con tratamiento mecánico resultó del 17%. Una tendencia similar puede observarse en la densidad aparente. La tabla 5 muestra, para los estratos superficiales, incrementos promedio del 7.5% y del 10%, para los tratamientos sin y con laboreo, respectivamente. Lo expuesto concordaría con lo puntualizado con Schäfer-Landefeld et al., (2004), quienes concluyen que los incrementos en la compactación superficial son mayores en suelos previamente descompactados comparados con suelos sin remoción.

Si se consideran los estratos más profundos en el suelo bajo el tratamiento TE los resultados difieren de lo observado por Schäfer-Landefeld et al., (2004). La diferencia más importante es la disminución de la compactación en los estratos por debajo de la profundidad de labor (30 cm), como indican tanto la resistencia a la penetración como la densidad aparente (Tablas 3 y 5).

Algunas diferencias respecto de lo informado por Arvidsson et al., (2001) pueden deberse a que no obstante no alcanzar la maquinaria utilizada en el presente trabajo tan considerable carga por eje (35 Mg), el número de pasajes implicaría una similar intensidad de tráfico. Sin embargo, no se registraron incrementos en las capas de 40- 50 y 50- 60 cm. Además en el tratamiento TSE, la resistencia a la penetración disminuyó un 4.5% para el rango de profundidades considerado, mientras que el suelo bajo laboreo dicha variable disminuyó un 18%.

Conclusiones

El escarificado periódico disminuye la compactación inducida por el tráfico agrícola contribuyendo a la sustentabilidad del sistema.

El suelo escarificado presenta mejores condiciones físicas durante el ciclo de un doble cultivo anual.

El suelo escarificado reduce la compactación por debajo de la profundidad del órgano activo.

Bibliografía

ARVIDSON, J. 2001. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden. II Soil displacement during wheeling and model computations of compaction. *Soil & Tillage Research*. 60 (1): 67-78.

ASAE Standars. 1992. ASAE S 313. Soil Cone Penetrometer. p. 611

HÅKANSSON, I.; VOORHESS, W.; RIES, H. 1988. Vehicle and wheel tractors influencing soil compaction and crops response in different traffic regimes. *Soil and Tillage Research* 11 (3-4): 239-282.

JORAJURÍA, D.; DRAGHI, L.; ARAGÓN, A. 1997. The effect of vehicle weight on the distribution of compaction with depth and the yield of a Lolium/Trifolium grassland. *Soil & Tillage Research*, 41(1): 1-12.

JORAJURIA, D. 2005. Agricultural soil compaction beneath vehicular traffic. A review. En: *Trafficked Agricultural Soil Rheology*. Sc. Editor: D. Jorajuria. ISBN: 950-34-0334-0. EDULP. 39-55.

JORAJURIA, D. 2004. La resistencia a la penetración como parámetro mecánico del suelo. En: *Metodologías físicas para la evaluación del suelo: penetrometría e infiltrometría*. Editores: Filgueira, R; Micucci, F. Editorial: EDULP. Pp: 43-53.

SCHÄFER-LANDEFELD, L.; BRANDHUBER R.; FENNER S.; KOCH H.J.; STOCKFISCH, N. 2004. Effects of agricultural machinery with high axle load on soil properties of normally managed fields. *Soil & Tillage Research* 75: 75-86

SOIL TAXONOMY. 1999. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Second edition by Soil Survey Staff, number 436.