

DESCOMPACTACIÓN DEL SUELO Y TRÁFICO DE SIEMBRA. EFECTOS SOBRE EL RENDIMIENTO DE SOJA (*Glycine max L merr*)

TERMINIELLO Antonino¹; Roberto BALBUENA¹; Mauricio ARIATA ¹; Jorge HILBERT²; Jorge CLAVERIE¹; Daniel JORAJURÍA¹

(1)FCAyF/UNLP. Av. 60 y 119, La Plata (1900). TE 0221-4236758 Int. 405.E-mail: amtermi@agro.unlp.edu.ar ;

(2) Instituto de Ingeniería Rural INTA Castelar

RESUMEN

Se realizaron ensayos en campo sobre un suelo argiudol típico, con el objetivo de evaluar los efectos sobre rendimiento del cultivo de soja (*Glycine max L. mer*) en distintas condiciones de suelo, producto del laboreo de descompactación y el tránsito durante la siembra del cultivo, en sistema de siembra directa. Se planteó como hipótesis de trabajo que el pasaje de un descompactador de montante angulado lateral aumenta el rendimiento del cultivo de soja en sistemas de producción bajo siembra directa. Sobre el terreno trabajado se identificaron los sectores transitados por el tractor y la máquina sembradora, los cuales se contrastaron con el testigo sin tránsito.

El diseño experimental utilizado fue en franjas o bloques divididos. Los datos se analizaron estadísticamente mediante un ANOVA, las medias fueron comparadas por el test de LSD ($P \leq 0.05$).

Se determinaron rendimiento, número de plantas por metro cuadrado, número de granos por metro cuadrado y el índice de cono del suelo a lo largo del ciclo del cultivo.

El rendimiento fue un 16,3 % mayor en el terreno trabajado con el subsolador con relación al testigo sin labranza. El perfil bajo siembra directa presentó un índice de cono un 100%, 92%, 84% y 76% mayor que el tratamiento de siembra directa descompactado, en relación a los meses considerados. El pasaje de un descompactador modifica el rendimiento de un cultivo de soja conducido en siembra directa. El tráfico de vehículos de baja carga por eje no afecta el rendimiento del cultivo de soja. El tráfico de tractor, posterior a la labor de descompactación, afecta el número de granos y de plantas por metro cuadrado.

Palabras clave: descompactador, tráfico, índice de cono; rendimiento

Introducción

El sistema de cultivo bajo siembra directa sin roturación previa del terreno ha tenido en la República Argentina un crecimiento sostenido a partir de mediados de la década pasada. En la actualidad, más del 50% de la superficie agrícola es manejada con este sistema (INDEC, 2005), atendiendo a razones de índole económica y de conservación de los recursos naturales. Sin embargo, la preponderancia de planteos de agricultura continua, en rotación soja de primera, maíz trigo-soja de segunda y en muchos casos monocultivo de soja, atenta en cierta medida contra la fertilidad física del suelo. Los suelos manejados en siembra directa presentan en muchas ocasiones, en forma temporal, altos niveles de impedancia mecánica, cuantificada por medio de la resistencia a la penetración, como así también en menor medida incrementos en la densidad aparente (Alvarez et al., 2004; Díaz Zorita et al., 2002). Pese a ello, no siempre se presenta afectación al cultivo en relación con el empeoramiento de los parámetros de caracterización física del suelo, en función de las características hídricas del año, la duración de los efectos y la coincidencia con estadios fenológicos que resulten críticos para el desarrollo del cultivo. La resistencia a la penetración suele ser de las variables explicativas más utilizadas para evaluar la persistencia de la

descompactación y sus valores pueden afectar el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Al respecto Threadgill (1982) concluye que valores superiores a 1,5 MPa comprometen o dificultan el normal desarrollo radicular y por encima de 2,5 MPa el crecimiento puede detenerse.

Otro aspecto que ha cobrado relevancia en los últimos años es la compactación de los suelos como consecuencia del tránsito de tractores y máquinas agrícolas. Botta et al. (2004), Jorajuría y Draghi (1997) Domínguez Britos et al. (2000) citan efectos negativos del tránsito de vehículos sobre parámetros físicos del suelo y rendimiento de cultivos en distintos sistemas productivos y condiciones de suelo. La carga sobre el eje y la presión en el área de contacto rueda suelo han sido indicadas como responsables principales de la compactación a nivel subsuperficial y superficial respectivamente. (Smith y Dickson, 1990). Hakkansson et al. (1987) recomienda limitar la masa sobre el eje a valores de 6 Mg a los efectos de no generar problemas de compactación subsuperficial. Pese a ello, el tránsito repetido en una misma senda puede ocasionar problemas de compactación subsuperficial que afecten las propiedades físicas del suelo y disminuyan el rendimiento potencial de los cultivos.

Los problemas de compactación presentan diferentes alternativas de solución, muchas de las cuales incluyen la intervención con implementos de labranza profunda, de distintos diseños de órganos activos. Spoor et al. (2003) recomienda que el trabajo de descompactación del suelo sea de "fisuramiento" y no de "roturación". Conceptualmente, el autor priorita a través de dichas recomendaciones la persistencia de la labor en el tiempo, a través de no disminuir de manera drástica la capacidad portante del suelo ante nuevas cargas ejercidas por el paso posterior de tractores y máquinas agrícolas. Los implementos recomendados a tales efectos son escardillos subsuperficiales, subsoladores alados y subsoladores de montante inclinado lateralmente.

En relación con los efectos de la compactación y descompactación de suelos sobre el rendimiento de cultivos, Willis et al. (1999) determinaron que el tratamiento de labranza profunda, durante el primer año, produjeron un aumento de 0,4 Mg.ha⁻¹ con respecto a los no subsolados. Sin embargo, el testigo no compactado alcanzó mejores rendimientos que los tratamientos de labranza. Asimismo, Munkholm et al. (2005), trabajando sobre un suelo arenoso, con presencia de piso de arado, informaron que el rendimiento del cultivo tendió a ser mayor en el testigo no descompactado. Por lo contrario, Botta et al. (2006) hallaron un efecto positivo del pasaje de descompactadores rígidos rectos sobre el rendimiento de girasol, con incrementos del 24% y del 13% para el primer y segundo año después de haber sido realizada la labranza respectivamente. En este mismo sentido, Varsa et al. (2007) presentan resultados positivos sobre el rendimiento de maíz para el tratamiento de descompactación profunda sobre un suelo Franco limoso. Busscher et al. (2006) también reportaron incrementos en el cultivo de soja de 0,36 Mg.ha⁻¹ para los tratamientos realizados con paratill en relación con los no trabajados en profundidad

Se planteó como hipótesis de trabajo que el pasaje de un descompactador de montante angulado lateral aumenta el rendimiento del cultivo de soja en sistemas de producción bajo siembra directa. El objetivo del presente trabajo fue la evaluación de los efectos sobre rendimiento del cultivo en distintas condiciones de suelo, producto del laboreo de descompactación y el tránsito durante la siembra bajo el sistema de siembra directa.

Materiales y Métodos

El ensayo se realizó en el establecimiento "La Fe" de la localidad de San Antonio de Areco, Provincia de Buenos Aires (34° 18' 10" LS 59 56' 58" LO). El lote presenta una historia de cinco años de siembra directa y al momento del ensayo se encontraba cubierto de residuos

de cosecha de maíz (*Zea mais max L*). El suelo es franco limoso, clasificado como Argiudol típico (Soil Taxonomy, 1999) pertenece a la Serie Río Tala, con la siguiente descripción analítica del perfil: **A₁₁**: Franco limoso. Estructura en bloques subangulares medios moderados. Friable, ligeramente plástico, adhesivo. Equivalente humedad 27,3 %.**A₁₂**: Franco arcillo limoso. Estructura en bloques subangulares medios moderados. Friable. Ligeramente plástico, adhesivo. Equivalente humedad 29,8 %.**B_{1T}**: Arcilloso. Estructura en prismas compuestos, regulares, gruesos. Extremadamente duro en seco. Firme en húmedo. Muy plástico, Abundantes barnices. Equivalente humedad 40,8%. **B_{2T}**: Arcillo limoso. Estructura en prismas compuestos regulares. Muy duro en seco. Muy firme en húmedo. Plástico, adhesivo. Abundantes barnices. Equivalente humedad 40,7 %.

Sobre el terreno se establecieron dos tratamientos de labranza: 1) Siembra directa (SD) 2) Siembra directa descompactado (SDD) y tres situaciones de tránsito producidos en la labor de siembra que fueron tomados como subtratamientos: a) Huellas del Tractor (HT); b) Huella de la Sembradora (HS); c) Sin Huella (SH). Para los mismos se utilizaron los siguientes conjuntos: a) Tractor-descompactador: Tractor FWD, Valmet 885, 65 Kw. de potencia, rodado delantero 13x24R1 y traseros 15x34R1. Peso sobre el tren anterior 1,7 Mg, sin lastre, y 2,1 Mg, con lastre; Peso sobre el tren posterior sin lastre 2,6 Mg y 3,2 Mg con lastre. Descompactador de montantes curvos (designación comercial "Cultivie"), con la siguiente configuración: Rodado 6.50 x 16. Dos Planos de acción distanciados a 0.6 m. Montantes dispuestos en forma convergente, con un distanciamiento entre puntos de vinculación al bastidor de 0.88 m en el plano delantero, determinando una separación de 0.55 m entre órganos activos. En el plano trasero, el distanciamiento entre los puntos de vinculación al bastidor fue de 1.88 m, determinando una separación entre órganos activos de 1.6 m. El despeje del implemento fue de 0.85 m., encontrándose equipado con cuchillas de corte de residuos por delante de la línea de acción de los órganos activos. La profundidad de trabajo fue de 300 mm y la velocidad de desplazamiento del conjunto de 1,67 m.s⁻¹ b) Tractor-sembrador: Tractor John Deere 3420, rodado delantero 7.50 x 16, rodado trasero 18.4 x 34. Trocha: 1.85 m. Peso sobre el tren anterior sin lastre 1,1 Mg. y con lastre 1,5 Mg. Peso sobre el tren posterior, sin lastre, 2,3 Mg y 3,5 Mg con lastre.. Sembradora John Deere 1560, rodado delantero y trasero 12.5 x 15. Trocha delantera: 0.55 m, trocha trasera: 2.60 m. Distancia entre líneas de siembra: 0.38 m. Cantidad de surcos: 11. Peso total 3,9 Mg. La ubicación de los subtratamientos de tránsito puede observarse en la Figura 1

Se sembró una variedad del grupo de maduración 4, con una densidad de siembra teórica de 80 kg ha⁻¹, equivalente a 20 semillas por metro. El diseño experimental utilizado fue en franjas o bloques divididos. Se establecieron 3 bloques con 2 parcelas cada uno de 8 metros de ancho y 50 metros de largo.

Los datos se analizaron estadísticamente mediante un ANOVA, las medias fueron comparadas por el test de LSD ($P \leq 0.05$). Sobre el cultivo se evaluó el número de plantas por metro cuadrado, el número de granos por metro cuadrado y el rendimiento. Para ello, dentro de cada subparcela se establecieron cuatro sectores de medición para cada uno de los subtratamientos.

Como variable explicativa se realizaron mediciones de resistencia a la penetración con un penetrómetro de cono electrónico RIMIX CP20, construido bajo Norma ASAE S313.3, con principio de medición de profundidad por ultrasonido. Los datos de penetrometría fueron analizados en referencia a la humedad gravimétrica del suelo y se tomaron hasta los 400 mm de profundidad

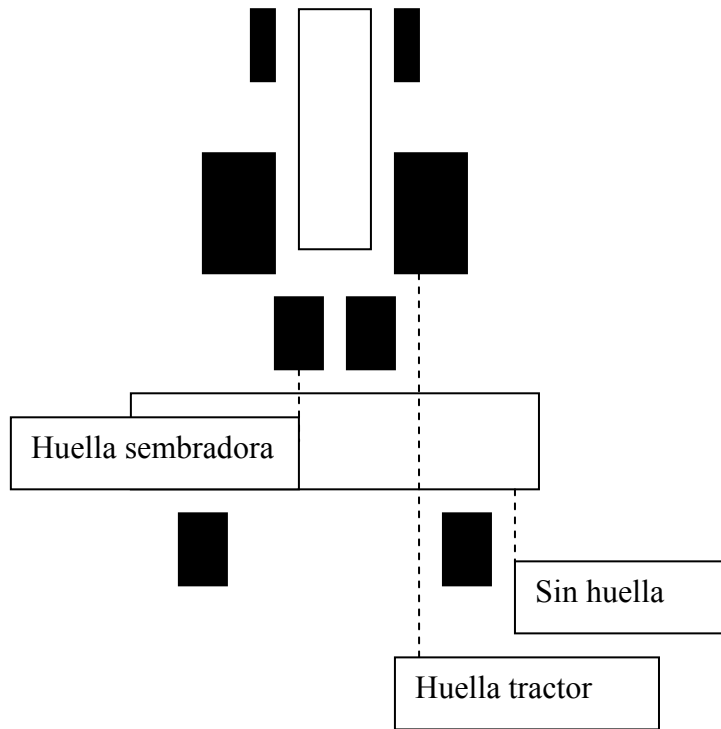


Figura 1: Ubicación de los subtratamientos de tránsito

Resultados

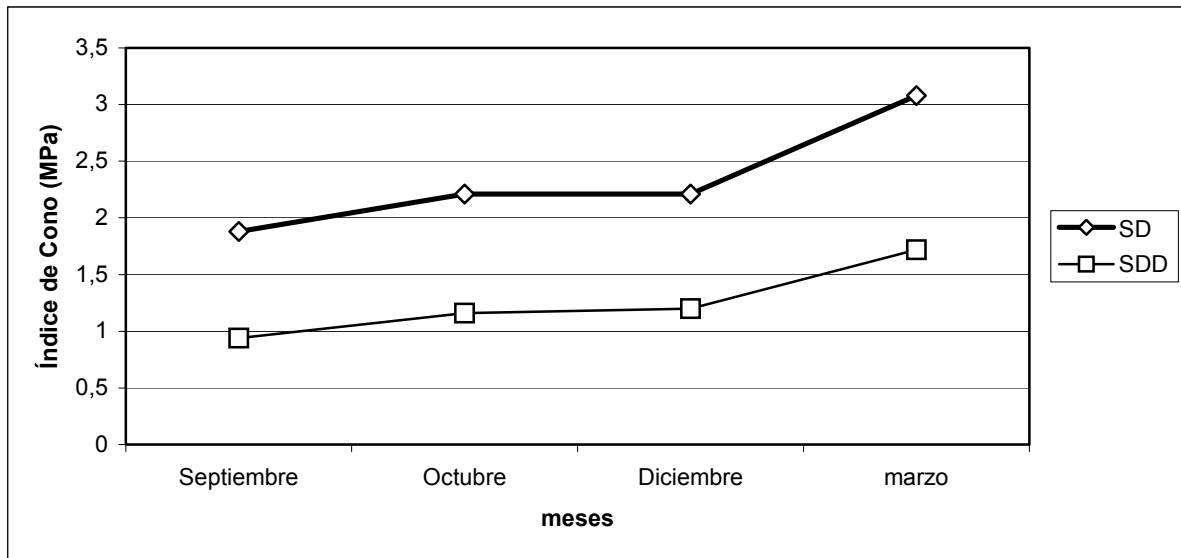


Gráfico 1: Evolución del índice de cono (IC) durante el ciclo del cultivo
Referencias: SD: Siembra Directa; SDD: Siembra Directa Descompactado

En el Gráfico 1 se visualiza la evolución del índice de cono correspondiente a los primeros 0,4 m del perfil. Es de destacar que el suelo bajo siembra directa sin descompactar mantuvo a lo largo de todo el ciclo del cultivo valores superiores a 1,5 MPa, indicado como retardatorio del crecimiento radical y superó a partir del mes de enero los valores de 2 a 2,5 MPa mencionados como limitantes del mismo (Threadgill; 1982).

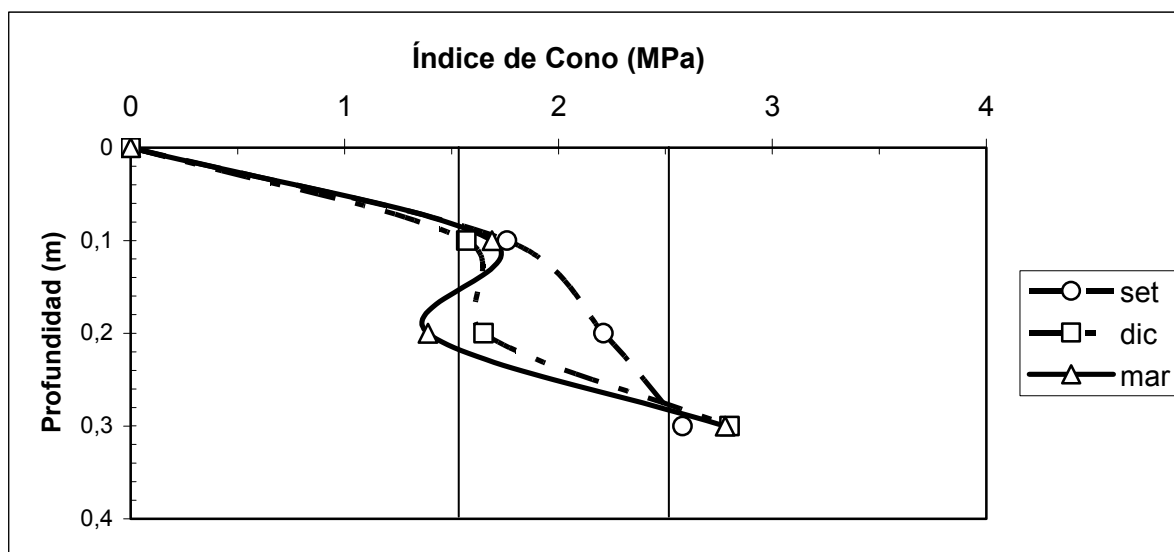


Gráfico 2. Índice de cono del suelo bajo siembra directa sin tránsito (SDSH)

Los valores de IC para el estrato en evaluación para el subtratamiento sin tránsito durante el ciclo del cultivo se detallan en el Gráfico 2. En el mismo se visualiza que, pese a los altos contenidos de humedad, registrados a lo largo de la totalidad del ciclo (22% a 26% durante setiembre y diciembre y 17% a 19% en marzo) se superaron siempre los valores de 1,5 MPa a nivel superficial y 2,5 MPa en profundidad.

Tabla 1: Rendimiento del cultivo en relación a tratamientos y subtratamientos

Tratamientos	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	Subtrat.	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	Subtrat.	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)
SD	4,11 a	SDDHT	4,65 a	SDHT	4,05 a
SDD	4,78 b	SDDHS	4,83 a	SDSH	4,14 a
		SDDSH	4,85 a	SDHS	4,15 a

Valores medios seguidos de diferente letra inicial en cada columna consignan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según el Test de LSD. SD: siembra directa; SDD: Siembra Directa Descompactado; HT: Huella Tractor; HS: Huella Sembradora; SH: Sin Huella.

En la Tabla 1 se muestran los valores de rendimiento del cultivo para los distintos tratamientos y subtratamientos considerados, encontrándose únicamente diferencias significativas entre los tratamientos de labranza considerados (SD y SDD) sin que exista interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos. El coeficiente de variación se mantuvo en todos los casos por debajo del 17%

Tabla 2: Plantas por metro cuadrado en relación a tratamientos y subtratamientos

Tratamientos	plantas (m ²)	Subtrat.	Plantas (m ²)	Subtrat.	plantas (m ²)
SD	23,3 a	SDDHT	23,8 a	SDHT	21,7 a
SDD	26,5 b	SDDHS	26,1 ab	SDSH	23,3 ab
		SDDSH	29,4 b	SDHS	25,0 b

Valores medios seguidos de diferente letra inicial en cada columna consignan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según el Test de LSD. SD: siembra directa; SDD: Siembra Directa Descompactado; HT: Huella Tractor; HS: Huella Sembradora; SH: Sin Huella.

Tabla 3: Granos por metro cuadrado en relación a tratamientos y subtratamientos

Tratamientos	granos (m ²)	Subtrat.	granos (m ²)	Subtrat.	granos (m ²)
SD	2044,67 a	SDDHT	2140,02 a	SDHT	1777,27 a

SDD	2643,83	b	SDDHS	2549,24	a	SDHS	2027,22	ab
			SDDSH	3242,24	b	SDSH	2329,51	b

Valores medios seguidos de diferente letra inicial en cada columna consignan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según el Test de LSD. SD: siembra directa; SDD: Siembra Directa Descompactado; HT: Huella Tractor; HS: Huella Sembradora; SH: Sin Huella.

La Tabla 3 y la Tabla 4 muestran la incidencia de los distintos tratamientos y subtratamientos sobre algunos parámetros de rendimiento del cultivo. No se encontraron interacciones significativas entre tratamientos y subtratamientos.

Discusión

Tal como se desprende del Gráfico 1, el tratamiento mecánico de descompactación perduró durante todo el ciclo del cultivo, con valores estadísticamente significativos y menores de índice de cono, en relación al tratamiento que no recibió laboreo, para todo el horizonte de trabajo del descompactador. El perfil bajo SD presentó un índice de cono un 100%, 92%, 84% y 76% mayor que el tratamiento SDD, en relación con los meses considerados. Además, los valores del parámetro mencionado se mantuvieron por debajo de los citados como limitantes para el crecimiento radical durante todo el ciclo y, solamente, superaron el nivel de 1,5 Mpa al final del ciclo del cultivo de soja, en concordancia con la reducción de humedad que varió entre el 18% y el 21% para los distintos estratos de medición.

Como puede observarse en la Tabla 1 el tratamiento de descompactación produjo incrementos en el rendimiento del cultivo con diferencias estadísticas significativas. El aumento resultó en promedio del 16,3% a favor del tratamiento con cultivo (SDD) en relación al testigo no descompactado (SD). Los resultados difieren de los encontrados por Munkholm et al (2005), puesto que en los mismos, en general, el rendimiento del cultivo tendió a ser mayor en el testigo no descompactado, lo cual podría atribuirse a las diferencias en el tipo de suelo y la presencia del piso de arado, en función de la dinámica de la humedad al producirse la rotura de la capa compactada. También resultan contrapuestos, parcialmente, con los obtenidos por Willis et al (1999) puesto que en ellos el testigo, no compactado, alcanzó mejores rendimientos que los tratamientos de labranza. En cambio el rendimiento en el subtratamiento SDDSH fue un 17,1% mayor que el subtratamiento SDSH. Sin embargo, los resultados alcanzados por el tratamiento de labranza profunda, muestran coincidencias con lo determinado durante el primer año, ya que produjeron un aumento de 0,4 Mg.ha⁻¹ con respecto a los no subsolados. Esto podría implicar la existencia de un grado de pre-compactación restrictivo para el desarrollo del cultivo de soja en la condición testigo, dado por el tránsito de tractores y máquinas agrícolas desde que se inició en el predio el sistema de siembra directa de cultivos. Los valores de IC para el estrato en evaluación para el subtratamiento sin tránsito durante el ciclo del cultivo se detallan en el Gráfico 2. En el mismo se visualiza que, pese a los altos contenidos de humedad, registrados a lo largo de la totalidad del ciclo (22% a 26% durante setiembre y diciembre y 17% a 19% en marzo) se superaron siempre los valores de 1,5 MPa a nivel superficial y 2,5 MPa en profundidad. Por lo contrario, los efectos de la labranza resultan semejantes a los obtenidos por Botta et al (2006) sobre el rendimiento de girasol y Varsa et al., (2007) sobre el rendimiento de maíz para el tratamiento de descompactación profunda. A su vez, los resultados de rendimiento también tienen correlación con los informados por Busscher et al (2006) quienes reportaron incrementos en el cultivo de soja de 0,36 Mg.ha⁻¹ para los tratamientos realizados con paratill en relación con los no trabajados en profundidad.

Tal como se desprende de la Tabla 1 ningún subtratamiento de tránsito produjo reducciones significativas en el rendimiento del cultivo. Ello puede atribuirse a los reducidos niveles de carga sobre el eje del tractor y de la máquina utilizados. Ambos vehículos presentaron valores inferiores a los citados por Hakkansson et al., (1987) como causales de

compactación a nivel subsuperficial. A su vez, la presión en el área de contacto tampoco representa valores que impliquen riesgos de compactación a nivel superficial (Smith y Dickson, 1990) dada la alta capacidad portante del suelo, característica de los sistemas de siembra directa, en acuerdo con lo indicado por Domínguez Britos et al. (2000). A su vez, un pasaje de vehículos de baja carga sobre el eje, no resulta suficiente para causar compactación a nivel subsuperficial, tal como fue detallado por Jorajuría y Draghi (1997), quienes concluyeron que 10 era el número de pasadas crítico para que se pudiera emular el efecto de altas cargas en el eje. No obstante ello, para ambos tratamientos se observa un ordenamiento de los valores en función de la masa de los vehículos con menores valores de rendimiento para la huella de tractor en relación al testigo. Esto podría sugerir que, de aumentar el peso de los vehículos utilizados, podrían incrementarse las diferencias en el rendimiento. Para el caso del tratamiento mecánico del suelo y posterior tránsito de siembra, estas diferencias podrían ser mayores debido a la menor capacidad portante que presentaría el sustrato por el pasaje del descompactador. Para el caso del ensayo, esas diferencias fueron de 4,13% para el tratamiento con labranza y del 2,41 % para el tratamiento sin descompactación, en relación al testigo correspondiente. Al respecto Munkholm et al., (2005) reportan mayores rendimientos para trigo en los tratamientos descompactados que recibieron, posteriormente, tránsito con cargas menores a 6 Mg por eje en relación al tratamiento descompactado y transitado con cargas por eje mayores a dicho valor. La ausencia de diferencias producto del tránsito, en el tratamiento descompactado muestra también la eficiencia de la roturación en relación con su persistencia, confirmando lo expresado por Spoor et al. (2003) ya que el efecto de "fisuramiento" del montante angulado curvo no disminuyó la capacidad portante del suelo para los niveles de cargas ejercidas por el paso posterior del tractor y la máquina sembradora.

En la Tabla 2 puede observarse el efecto del tratamiento de labranza y del tránsito de la labor de siembra sobre el recuento de plantas por metro cuadrado. Se obtuvieron diferencias estadísticas significativas tanto a nivel de tratamientos como para los subtratamientos. En referencia a los tratamientos de labranza se evidenció un mayor recuento de plantas para SDD. El mismo pudo deberse al efecto de roturación y/o fisuramiento provocado por el pasaje del descompactador que dejó al suelo en mejores condiciones estructurales para favorecer una mayor emergencia de plántulas. Esta hipótesis puede consolidarse con el hecho que la sembradora carecía de cuchillas de corte de rastrojo y roturación del suelo las cuales, trabajando por debajo de la profundidad de siembra y en forma previa al pasaje del tren sembrador, tienden a generar una zona de mejores condiciones para la implantación del cultivo, independientemente del sistema de labranza utilizado.

A nivel de subtratamientos de tránsito sobre el terreno previamente descompactado, se obtuvieron diferencias estadísticas significativas a favor del testigo sin tránsito en relación al subtratamiento de tráfico del tractor. Esta situación podría evidenciar la sensibilidad de la variable en estudio frente al tránsito del vehículo con mayor peso sobre un sustrato que, de acuerdo a lo enunciado en párrafos precedentes, se encontraría en una situación estructuralmente más desventajosa para soportar el pasaje de vehículos debido al efecto del laboreo de descompactación. Realizando el mismo análisis de subtratamientos en relación a la situación de tránsito de la labor de siembra sobre el tratamiento sin laboreo mecánico, se observa que la situación de mayor intensidad de tránsito sigue siendo la que presentó el menor número de plantas pero, en este caso, con diferencias estadísticas significativas en relación al tratamiento que implicó el tránsito de la sembradora. Una posible explicación a esta situación la podríamos encontrar en el hecho que todos los tránsitos de rodados se efectuaron en forma previa al pasaje del tren de siembra. Posiblemente este hecho favoreció la restauración de la capilaridad en la zona de contacto suelo-semilla, traduciéndose en una mejor emergencia de plántulas.

Un análisis similar puede efectuarse con respecto al número de granos por metro cuadrado (Tabla 3), este parámetro también fue afectado por el tratamiento de labranza, alcanzándose diferencias estadísticas significativas del orden del 29 % a favor del pasaje del descompactador. A nivel de subtratamientos, este parámetro parecería ser más sensible al tráfico de vehículos cuando el suelo presenta una menor capacidad de soporte producto del pasaje del descompactador. Tal situación se verifica en las diferencias estadísticas significativas que se encontraron en el tránsito del tractor y la sembradora con respecto al testigo sin transitar. Para el tratamiento SD, esas diferencias se expresan con significancia estadística para el pasaje del tractor, con menores valores en relación al testigo sin traficar. Lo enunciado en los párrafos precedentes confirma la incidencia negativa que tiene el pasaje de vehículos de mayores cargas por eje sobre el parámetro números de granos por metro cuadrado, independientemente de la condición de labranza del terreno

Conclusiones

El pasaje de un descompactador mejora el rendimiento de un cultivo de soja conducido en siembra directa, en condiciones de alta impedancia del suelo como consecuencia de lograr un mayor número de plantas y granos por unidad de superficie.

El efecto de fisuramiento - roturación de la labranza con descompactadores de montante angulado lateral perdura durante el ciclo de un cultivo de soja conducido en siembra directa.

El tráfico de conjuntos tractor sembradora de baja carga por eje durante la siembra no afecta el rendimiento del cultivo de soja.

El tráfico de tractor, posterior a la labor de descompactación, reduce el número de plantas por metro cuadrado y afecta el número de granos por metro cuadrado en un sistema de siembra directa independientemente del pasaje del descompactador.

Bibliografía

ÁLVAREZ, CR; GUTIÉRREZ BOEM, FH; TABOADA, MA; PRYSTUOA, P; OCAMPO, J.F. 2004. Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina, p. 238.

BOTTA, G.F., JORAJURIA, D., BALBUENA, R., ROSATTO, H., 2004. Mechanical and cropping behavior of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max L.*) yields. *Soil and Tillage Research*, v. 78, p. 53–58.

BOTTA, G.F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R., RESSIA, M.; FERRERO, C., ROSATTO, H.; TOURN, M. 2006, Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annus L.*) yields *Soil and Tillage Research*, v. 91, p. 164-172.

BUSSCHER, W.J ; BAUER, P.J.; FREDERICK, J.R. 2006. Deep tillage management for high strength southeastern USA Coastal Plain soils. *Soil and Tillage Research*, v. 85, p. 178–185.

DÍAZ-ZORITA, M; GA DUARTE ; GROVE, JH. 2002. A review of no Hill systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*, v 65 (1), p 1-18.

DOMÍNGUEZ BRITOS, J.; RESSIA, J.M.; JORAJURÍA, D.; BALBUENA, R.; MENDIVIL, G. 2000. Reología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. Avances en Ingeniería Agrícola. II Congreso Americano de Ingeniería Agrícola, p. 110-115.

HÅKANSSON, I.; VOORHESS, W.; ELONEN, P.; RAGHAVAN, G.S.V.; LOWERY, B.; VAN WIJK, A.L.M.; RASMUSSEN, K Y RILEY, H. 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. Soil and Tillage Research, v10, p. 259-268.

JORAJURÍA, D.; L. M. DRAGHI. 1997. The Distribution of Soil Compaction with Depth and the Response of a Perennial Forage Crop. Journal of Agricultural Engineering Research, v. 66, p. 261-265.

MUNKHOLM, L. J.; PER SCHJONNING A; JORGENSEN M.; THORUP-KRISTENSEN, K. 2005. Mitigation of subsoil recompaction by light traffic and on-land ploughing II. Root and yield response. Soil and Tillage Research, v. 80, p.159–170.

SMITH, D. L. ; J. W. DICKSON.1990. Contribution of vehicle weight and ground pressure to soil compaction. Journal of Agricultural Engineering Research, v. 46, p. 13-29.

SPOOR G.; F. TIJINK, G.J.; WEISSKOPF P. 2003. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. Soil & Tillage Research, v. 73, p. 175–182.

THREADGILL, E.D. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. Transaction of the ASAE, v25, p. 859-863.

VARSA, E.C.; CHONG, S.K.; ABOLAJI, J.O.; FARQUHAR, D.A.; OLSEN, F.J. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) root rowth and production. Soil and Tillage Research, v. 43, p. 219-228.

WILLIS, M.S.; HALL, D.J.M.; MCKENZIE, D.C.; BARCHIA I. 1997. Erratum to "Soybean yield as affected by crop rotations, deep tillage and irrigation layout on a hardsetting Alfisol". Soil and Tillage Research, v. 44, p. 151-164.