

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NOROESTE DE LA
PROVINCIA DE BUENOS AIRES
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

Trabajo Final de Grado:

Efectos residuales de la descompactación mecánica sobre el suelo y el crecimiento de la Soja (Glycine max L. Merr.) en la zona de Pergamino.

DIRECTOR: Ing. Agr. MSc. Carlos A. Senigagliesi (U.N.N.O.B.A)

Co-DIRECTOR: Ing. Agr. MSc. Javier Elisei (I.N.T.A. Pergamino)

ALUMNO: Barbero, Hernán

E-MAIL: barberohernan@yahoo.com.ar

TELÉFONO: (02477) 15-518343

LUGAR Y FECHA: Buenos Aires, Pergamino, 6 de Junio de 2014.

Índice

	página/s
Agradecimientos	3
Resumen	4
Introducción	5
Hipótesis	8
Objetivos	8
Materiales y Métodos	9
Resultados	16
Discusión	22
Conclusiones	26
Bibliografía	27
Anexo	32

Agradecimientos

A mi familia por transmitirme siempre la paciencia, la pasión y la perseverancia para atravesar mi carrera y realizar este trabajo.

A mi novia, por alentarme constantemente, y sacrificar muchas de nuestras horas juntos para que pudiera estudiar tanto durante el transcurso de la carrera, como la gran cantidad de tiempo dedicado a realizar este trabajo.

A los Ing. Agr. Carlos Senigagliesi y Javier Elisei, por tanto apoyo recibido de parte de ellos, dedicando muchas horas para guíarme, con muy buena voluntad y mucho empuje, para que mi trabajo se realice con éxito.

A mis amigos quiénes me brindaron su apoyo incondicional durante toda esta etapa.

Resumen

La compactación del suelo es uno de los inconvenientes resultantes de varios factores, que intervienen limitando la producción de los cultivos en la zona de Pergamino y otras regiones. Produce efectos sobre la fertilidad física del suelo, aumentando la densidad aparente, reduciendo la porosidad, aumentando la resistencia a la penetración y afectando la conductividad hidráulica. Afecta también a los cultivos reduciendo el desarrollo de las raíces, el crecimiento del canopeo y limitando el rendimiento. Una de las alternativas para reducir estos efectos es la descompactación, aplicando una labranza mediante implementos de timón, que trabaja agrietando el suelo y modificando los parámetros de fertilidad citados anteriormente, y como consecuencia impactando sobre el cultivo.

Un objetivo clave desarrollado en este trabajo, es el estudio de los efectos residuales sobre el suelo y el cultivo luego de un año de realizada esta labranza en la zona de Pergamino. Mediante este experimento se logró observar que existen efectos residuales sobre el suelo a partir de realizar estas labranzas, y sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de soja.

Introducción

La región norte de la provincia de Buenos Aires, conformada por Pergamino y los partidos aledaños, se encuentra dentro de la Subregión Pampa Ondulada, caracterizada por un clima húmedo, donde las precipitaciones medias anuales son de 900 mm., distribuidas principalmente entre primavera, verano y otoño, siendo el invierno la estación del año más seca. Los suelos de ésta región se clasifican como Argiudoles típicos, cuya aptitud productiva varía entre I a III. (INTA, 1972).

Los sistemas agrícolas de la región se caracterizan por una amplia adopción y utilización de la siembra directa, insumos agrícolas, cultivos transgénicos y en los últimos años se practica ampliamente el monocultivo de soja. Además, el tránsito agrícola se realiza con maquinaria agrícola cada vez más pesada lo que influye sobre la compactación, especialmente en condiciones de alta humedad del suelo (Gerster, 2009).

Los suelos Argiudoles típicos de esta región se caracterizan por tener una textura franco-limosa en los horizontes superficiales (INTA, 1972). En estos suelos no se producen procesos de congelamiento/descongelamiento y se registra baja actividad biológica dada la secuencia de cultivo adoptada con baja participación de gramíneas (Balbuena y Claverie, 2006).

El balance de materia orgánica para la agricultura en Pergamino para los últimos años es negativo, por ser la soja prácticamente el único cultivo realizado, en comparación con rotaciones que incluyen gramíneas como trigo, maíz o sorgo. (Andriulo et al, 1999).

El contenido de materia orgánica del suelo, es importante para caracterizar la susceptibilidad a la compactación, ya que a medida que aumenta el porcentaje de materia orgánica de un suelo, en una situación con tránsito agrícola intenso, disminuye la densidad aparente del suelo y aumenta el volumen de aire en los poros (Arvidsson, 1998) .

Otro de los factores que influyen sobre la susceptibilidad del suelo a la compactación está determinado por la composición textural, y particularmente por el contenido de limo, y la fracción de fitolitos (limos de origen biológico) que caracterizan la textura de los suelos de esta región según lo investigado por Pecorari et al, 1991.

Las causas descritas anteriormente provocaron un aumento significativo de la compactación superficial y subsuperficial, problema que se encuentra con mucha frecuencia en los suelos de la región.

La compactación modifica la organización de los poros del suelo, y la interacción de las fases sólida, líquida y gaseosa disminuyendo la permeabilidad, la conductividad hidráulica y el crecimiento radicular (Passioura, 2002). Las variables hidráulicas serían las más afectadas por este fenómeno. (Soracco et al, 2009).

Existen antecedentes sobre la influencia de la compactación en el crecimiento y desarrollo de varios cultivos. Botta et al, 2004, observaron disminución en los rendimientos a partir de una compactación creciente por intensidad del tráfico. Giardinieri et al, 2004, encontraron que densidades aparentes de $1,5 \text{ Mg/m}^3$ ó superiores disminuyen en un 30% el peso seco de las raíces de maíz y soja. Imvinkelried et al, 2011, determinaron que el índice de área foliar y la

intercepción de la radiación fotosintéticamente activa en soja fueron menores en suelos compactados por tráfico.

Una de las alternativas que existen para disminuir los efectos de la compactación del suelo es la implementación de labranzas a través de escarificadores de suelo, también llamada descompactación de suelo o escarificado. La característica común de estos implementos agrícolas es el equipamiento con arcos o montantes rígidos.

Existen antecedentes, en el norte de provincia de Buenos Aires, sobre los beneficios de la labranza de escarificado en los atributos de cultivo: Finello et al, 2011, observaron aumentos de 286 Kg/ha en rendimiento de soja en suelo escarificado. Terminiello et al, 2011, encontraron mayor altura en plantas y rendimiento en el cultivo de soja en parcelas escarificadas. Ferraris, G., 2004 encontró incrementos en el stand de plantas, menor incidencia de vuelco y mayor rendimiento en maíz en parcelas escarificadas. Alvarez et al, 2004, hallaron mayor RFA y rendimiento en el cultivo de maíz en suelo escarificado en tres localidades del noroeste de la provincia de Buenos Aires. Alvarez, 2013, encontró rendimientos superiores de maíz de 754 Kg/ha en ambientes escarificados en comparación al Testigo sin escarificar.

Además, hay evidencias en la zona de los efectos del escarificado sobre propiedades de suelo. Cerisola et al, 2011 observaron mayor porosidad del suelo y menor densidad aparente en suelos con labranza profunda.

Antecedentes, correspondientes a la región aledaña a Pergamino, indican que los efectos del escarificado de suelo sobre las variables de suelo y cultivo perduran hasta el ciclo del cultivo posterior a la labranza. (Alvarez et al, 2009, Gerster et al,2010).

Por otro lado, Smith et al, 2005 y Vilche et al,2009 comprobaron efectos residuales de escarificado en la región, más allá del período del ciclo del cultivo posterior a la labranza.

Sin embargo, hay escasa información generada en suelos Argiudoles típicos serie Pergamino sobre los efectos residuales de la labranza profunda sobre propiedades de suelo y cultivo. Uno de los antecedentes generados recientemente en Pergamino, se realizó con el objetivo de caracterizar el comportamiento de tres equipos escarificadores y el impacto del escarificado en una rotación maíz-soja (Elisei,J, 2014).

Hipótesis

El escarificado tiene efectos residuales en las propiedades físicas de suelo y cultivo.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la perdurabilidad de los efectos de escarificado sobre propiedades del suelo y el cultivo de soja en un suelo Argiudol típico.

Objetivos específicos

- a) Evaluar la resistencia a la penetración vertical y la tasa de infiltración de agua en el suelo.
- b) Evaluar el perfil hídrico, la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa, y la abundancia de raíces en el cultivo de soja.
- c) Evaluar el rendimiento y componentes del rendimiento del cultivo de soja.

Materiales y Métodos

Tratamientos y diseño del experimento

Se realizó en un experimento de labranzas, cuyo objetivo inicial fue evaluar el comportamiento de 3 equipos escarificadores, realizado en la Estación Experimental de INTA Pergamino, Sección Maquinaria Agrícola, sobre un suelo Argiudol típico serie Pergamino con pendiente entre 0,5 y 1% (relieve plano). Este sufría un deterioro en su condición física por la presencia de estructura laminar alrededor de los 10 cm de profundidad y unidades estructurales difícilmente discernibles en la base del horizonte A. La composición textural y los parámetros iniciales de fertilidad química del lote donde se realizó el ensayo se describen en la Tabla 1 del Anexo. Este ambiente tuvo 7 años de siembra directa con la siguiente secuencia anual de cultivos: soja, maíz, soja, trigo/soja, maíz, soja, soja (este último fue realizado en año 2009).

Los tratamientos de labranzas profunda se realizaron en mayo de 2010 sobre rastrojo de soja. Se sembró un cultivo de maíz en la campaña agrícola 2010-2011. Los efectos residuales del escarificado se midieron antes, durante y después del ciclo del cultivo de soja en la campaña agrícola 2011-2012. Se tomó el tratamiento de labranza con escarificador de timón curvo (E) y un testigo sin labranza (T).

El escarificador estaba equipado con cuatro montantes de lámina curva y rejas (ancho: 7 cm y ángulo 30°). Los montantes se encontraron dispuestos convergentes al centro del equipo, con distancia entre órganos activos de 0,5 m. El despeje del implemento fue 0,9 m.

Fotografía 1. Equipo escarificador.



Fotografía 2. Timones centrales del equipo escarificador.



Para aplicar el tratamiento E se tuvo en cuenta que el suelo hasta la profundidad de labor estuviese en estado friable y que la relación entre la distancia entre púas no fuera mayor a 1,5 de la profundidad de trabajo del equipos. La humedad gravimétrica de suelo al momento de la labranza fue de 15,5 %, 17,7 % , 19,7 % y 21,3 % para los espesores 5-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm respectivamente. La velocidad de avance del equipo fue de 3,5 km.h⁻¹,

alcanzándose una profundidad de trabajo comprendida en el rango de 32 a 35 cm. Las características descritas anteriormente se consideraron las óptimas para la realización de este tipo de labranza.

El cultivo de soja en el sitio de ensayo fue sembrado el día 1/11/2011, se utilizó el cultivar Nidera 4613 RR, sembrado con una distancia entre surcos de 35 cm. Se fertilizó con 70 Kg/ha de en la línea de siembra con un fertilizante cuyo grado fue 0-10,2-0-4,2 (N-P-K-S).

El diseño del experimento correspondió a bloques completamente aleatorizados (DBCA) con cuatro repeticiones, siendo el área de las unidades experimentales (UE) de 30 m de largo por 7 m de ancho.

Variables de estudio: suelo

I) Resistencia a la penetración vertical

Se midió la resistencia a la penetración vertical (RP) mediante la utilización de un penetrómetro digital de cono (Bradford & Klute, 1986), marca Fieldscout SC 900, cuya área de base del cono es 12,83 mm y 30° de ángulo.

Los momentos de obtención de estos datos fueron: previo a la siembra (Agosto 2011), durante el período crítico (Febrero 2012) y en post-cosecha del cultivo de soja (Julio 2012).

Las mediciones se realizaron en una transecta del ancho del implemento a intervalos de 10 cm en sentido horizontal y de 2,5 cm en sentido vertical, hasta una profundidad de 45 cm. Esto se realizó en cada UE. Con los datos de RP expresados en unidades de presión Kilopascales (KPa), se calculó RP promedio de los valores obtenidos entre las 4 repeticiones del experimento para cada nivel de profundidad.

II) Tasa de Infiltración

El ingreso de agua en el suelo se midió en junio de 2011 y junio de 2012 mediante infiltrómetro de anillo simple (USDA, 1999), realizándose tres repeticiones en cada unidad experimental (UE). Los datos se expresaron en mm h^{-1} .

Variables de estudio: cultivo de soja

I) Contenido de humedad del suelo

Se obtuvo la humedad gravimétrica del suelo, midiéndola en los diferentes horizontes hasta 45 cm de profundidad a la siembra y en los siguientes estados fenológicos: V7-R1, V14-R5 y V16-R7 (Fehr & Caviness, 1977). Los horizontes estudiados fueron el A: 0-10 y 10-20 cm de profundidad, B1: 20-30 cm de prof, B21: 30-45. Se contó con un dato por UE

Con el contenido de humedad gravimétrica (%), la densidad aparente (D_{ap}), obtenida antes de la siembra de soja y, el espesor (dm) de cada capa, se obtuvo la lámina total (mm).

III) Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFA)

Se realizaron mediciones de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFA_i), durante el ciclo del cultivo de soja en los estadios fenológicos V4, R3, R5 y R7 realizando cinco mediciones de por UE, una en la parte superior y cuatro en la parte inferior del canopeo. (Caviglia et al, 2004). Estas mediciones fueron realizadas con una barra medidora de flujos de fotones marca Bar-Rad 100. Se realizaron alrededor del mediodía (11:00 h - 13:00 h) en días

totalmente soleados, siguiendo la técnica descrita por Gallo y Daughtry (1986).

La fracción interceptada diaria de la radiación fotosintéticamente activa (RFA_i) durante el desarrollo de los cultivos se calculó en base a la ecuación:

$$RFA_i = (1 - I_t / I_o)$$

Siendo, I_t la RFA incidente debajo de la capa más baja de hojas fotosintéticamente activas y I_o la RFA incidente sobre el canopeo.

Luego por interpolación lineal entre dos medidas consecutivas se calculó fracción interceptada diaria de la radiación fotosintéticamente activa (RFA_i).

La radiación fotosintéticamente activa diaria (RFA) se calculó según la siguiente ecuación:

$$RFA = 0.48 * [RA * (0.18 + 0.61 * hr)]$$

Siendo RA la radiación astronómica y hr la heliofanía relativa, datos provistos por la sección de climatología de la Estación Experimental de INTA Pergamino.

La cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada cada día fue calculada a través del producto entre la radiación fotosintéticamente activa (RFA) diaria y la fracción interceptada diaria de la radiación fotosintéticamente activa (RFA_i). Los resultados fueron expresados acumulativamente en MJ/m² durante los períodos S-V4, V4-R2, R3-R5 y R5-R7.

IV) Abundancia de raíces

Se elaboraron perfiles de abundancia de raíces en R5. Se estudió la morfología y distribución espacial de raíces, en una trinchera, mediante una cuadrícula de metal de 0,7 m de ancho y 0,5 m de profundidad con celdas cuadradas de 5 cm de lado (Alvarez et al, 2009). La misma se centró en la mitad del entresurco para el cultivo de soja evaluándose dos surcos. El testeo se realizó en forma visual a través de una escala de 0 a 4, donde:

0 = ausencia de raíces

1 = una raíz fina

2 = más de una raíz fina

3 = una raíz intermedia a gruesa con ramificaciones finas

4 = más de una raíz intermedia a gruesa con ramificaciones finas

Luego, por cada espesor de 5 cm de profundidad de la cuadrícula, se sumaron los valores de las celdas y se calculó el porcentaje con respecto al mayor valor de calificación de abundancia que podría tomar (4 [mayor calificación posible de AR en una cuadrícula] x14 [cantidad de cuadrículas por fila]=56) y se obtuvo el perfil de abundancia de raíces por UE. Finalmente se calcularon los porcentajes promedio de las 4 repeticiones para los dos tratamientos evaluados. Los resultados fueron expresados en porcentaje (%) de abundancia de raíces.

V) Rendimiento y componentes de rendimiento

El rendimiento y sus componentes se determinaron en muestras de dos metros cuadrados en cada UE. Los valores se expresaron en peso seco. Se realizaron tres determinaciones en cada UE. Los datos de rendimiento (R), número de

granos (NG) y peso de granos (PG) se expresaron en Kg/ha, ng m^{-2} y g por cada 1000 semillas respectivamente.

Análisis e interpretación de los resultados

La significancia estadística de los efectos de los tratamientos se realizó en base al modelo t de Student con un nivel de significancia de 0.05.

Resultados

Propiedades físicas de suelo

Resistencia a la penetración vertical

En la Tabla 1 se observan los valores promedio para cada tratamiento en los tres momentos de muestreo. En Agosto 2011 el tratamiento E evidenció valores inferiores de RP ($p < 0.05$) con respecto al tratamiento T entre 2.5 y 30 cm de profundidad del perfil.

El tratamiento T presentó valores de RP aproximados a 1500 KPa entre los 10 y los 20 cm de profundidad demostrando la existencia de una capa con alta resistencia a la penetración.

En el estado fenológico R5 del cultivo de soja (Febrero 2012) se hallaron menores valores del tratamiento E en el rango de profundidad de 5 - 17.5 cm. Si bien no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en los valores de RP entre T y E para el espesor de 20 - 45 cm, los valores de RP de E fueron menores con respecto a los de T. Esto se habría sido explicado por la menor humedad del suelo debido a la escasez de aportes de precipitaciones, condición que se exploró particularmente durante el mes de enero de 2012.

Es de destacar que se observó un aumento de los valores de RP en R5, en ambos tratamientos, y para todas las profundidades del perfil estudiado, con respecto a la etapa analizada anteriormente. En Junio 2012, el tratamiento E continúa presentando valores inferiores con respecto a T en los espesores 10 - 17.5 cm y 27.5 - 32.5 cm. Si bien no se observaron diferencias significativas para los niveles de profundidad restantes, los valores de RP para el tratamiento Escarificado (E) fueron menores con respecto al Testigo (T).

Durante Junio 2012 se observó una disminución de los valores de RP en los dos tratamientos, en todo el perfil con respecto a la etapa R5 (Febrero 2012). Asimismo hubo un aumento de los valores de RP en los dos tratamientos y en todas las profundidades con respecto a Agosto 2011.

Tabla 1. Resistencia a la penetración vertical (RP) correspondiente a los períodos previo a la siembra del cultivo de soja (Agosto 2011), en el estado fenológico R5 (Febrero 2012), y en luego de la cosecha del cultivo soja (Junio 2012)

Prof. (cm)	Agosto 2011.		Febrero 2012 (R5)		Junio 2012.							
	T	E	T	E	T	E						
0	82	a ⁽¹⁾	39	a	121	a	136	a	262	a	187	a
2.5	375	a	167	b	579	a	330	a	651	a	539	a
5	972	a	493	b	1570	a	1184	b	1302	a	1126	a
7.5	1344	a	690	b	2898	a	1753	b	1991	a	1442	b
10	1638	a	914	b	3651	a	2120	b	2383	a	1588	b
12.5	1643	a	983	b	3630	a	1971	b	2335	a	1615	b
15	1598	a	939	b	3212	a	1904	b	2234	a	1541	b
17.5	1664	a	875	b	2861	a	1803	b	2180	a	1519	b
20	1638	a	909	b	2572	a	1769	a	2013	a	1538	a
22.5	1449	a	1013	b	2262	a	1807	a	1670	a	1412	a
25	1345	a	1003	b	1986	a	1623	a	1507	a	1296	b
27.5	1316	a	1021	b	1987	a	1662	a	1557	a	1237	b
30	1359	a	1076	b	1946	a	1645	a	1661	a	1328	b
32.5	1465	a	1177	a	1977	a	1605	a	1661	a	1459	a
35	1613	a	1317	a	2026	a	1690	a	1761	a	1618	a
37.5	1731	a	1475	a	2075	a	1794	a	1856	a	1751	a
40	1854	a	1613	a	2168	a	1955	a	1924	a	1808	a
42.5	1964	a	1750	a	2184	a	2067	a	2017	a	1910	a
45	2052	a	1849	a	2296	a	2088	a	2120	a	2010	a

⁽¹⁾ Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos dentro de cada fila.

Tasa de infiltración

Previo a la siembra de soja (Junio 2011) y luego de la cosecha de soja (Junio 2012) los valores de tasa de infiltración fueron significativamente superiores ($p < 0.05$) en el tratamiento E (Tabla 2).

Tabla 2. Tasa de infiltración del suelo en Junio de 2011 y Junio de 2012.

Tratamientos	Infiltración	
	mm h ⁻¹	
	2011	2012
T	32 b ⁽¹⁾	37.6 b
E	448.2 a	265.9 a

⁽¹⁾ Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos dentro de cada columna

Análisis de las propiedades del cultivo de soja

Contenido de humedad

En la Tabla 3 se presentan el contenido de agua del suelo como lámina actual (mm) en los diferentes espesores de suelo hasta 170 cm de profundidad para ambos tratamientos en los cuatros momentos de muestreo. A la siembra se observa mayor ($p < 0,05$) contenido de agua entre 0-10,10-20 y 30-45 cm de espesor de suelo en el tratamiento T, mientras que, a 20- 30 cm de espesor de suelo es mayor ($p < 0,05$) en el tratamiento E.

En el estadio V7-R1 del cultivo de soja y a los 10- 20 y 30-45 cm de espesor de suelo el contenido de humedad fue mayor ($p < 0,05$) en el tratamiento T.

En el estadio V14-R5 del cultivo de soja y a los 10- 20 y 30-45 cm de espesor de suelo el contenido de humedad fue mayor ($p < 0,05$) en el tratamiento T.

Durante V16-R7 se observa mayor ($p<0,05$) contenido de agua entre 0-10,10-20 y 30-45 cm de espesor de suelo en el tratamiento T.

Tabla 3. Lámina total en (mm) entre 0 y 45 cm de profundidad.

Profundidad (cm)	S		V7-R1		V14-R5		V16-R7									
	T	E	T	E	T	E	T	E								
	mm															
0-10	31.2	a ⁽¹⁾	28.2	b	18	a	16.8	a	28.8	a	26.5	a	38.6	a	34.73	b
10-20	34.4	a	31.8	b	25.9	a	23.7	b	31.8	a	27	b	37.1	a	32.4	b
20-30	35.5	a	34.1	a	29.9	a	26.7	a	32.3	a	30.5	a	37.3	a	35.4	a
30-45	52.2	a	46.8	b	49.1	a	33.8	b	56	a	43.5	b	60.2	a	54.3	b

⁽¹⁾ Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$) entre tratamientos dentro de cada columna

Teniendo en cuenta la relación directa entre el contenido de humedad y el aporte de las precipitaciones ocurridas, en la Tabla 4 , se exhiben los datos obtenidos de precipitaciones decádicas desde la siembra hasta la cosecha del cultivo de soja.

Tabla 4 . Precipitaciones decádicas (mm) en el sitio del ensayo durante el ciclo del cultivo de soja, entre noviembre 2011 y marzo 2012.

Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero		Marzo						
mm														
30	7	16	0	1	13	0	30	52	156	32	84	77	-	-
V4		R2		R3		R5		R7						

Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa

En la Tabla 5 se presentan los valores de la RFA_i de los tratamientos durante del cultivo de soja. Se observaron diferencias significativas ($p<0,05$) en los períodos S-V4, V4-R2, R3-R5 y R5-R7, en todos los casos, con valores

mayores en el tratamiento E con respecto a T.

Tabla 5. Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFA i) en 4 períodos del ciclo del cultivo de soja.

Tratamientos	S - V4	V4- R2	R3 - R5	R5 - R7
	Mjm ⁻²			
T	39.73 b ⁽¹⁾	88.75 b	194.01 b	219.78 b
E	54.34 a	103.38 a	213.9 a	241.05 a

⁽¹⁾ Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos dentro de cada columna

Abundancia de raíces

En la Tabla 6 se presenta la abundancia de raíces de ambos tratamientos en los diferentes espesores del perfil. Se observaron valores superiores significativos ($p < 0,05$) en el tratamiento E en los rangos 15-20 cm y 25-30 cm, mientras que, en el tratamiento T fue superior ($p < 0,05$) en el espesor 10-15 cm.

Tabla 6. Abundancia de raíces del cultivo de soja en el estadio R5 (%).

Profundidad (cm)	AR (%)	
	T	E
0-5	54.76 a ⁽¹⁾	56.15 a
5-10	62.33 a	64.88 a
10-15	57.86 a	48.19 b
15-20	30.36 a	38.09 b
20-25	21.94 a	22.61 a
25-30	10.71 a	25.1 b
30-35	19.6 a	16.07 a
35-40	13.09 a	11.89 a
40-45	6.25 a	8.01 a
45-50	4.76 a	5.36 a

⁽¹⁾ Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos dentro de cada fila.

Rendimiento y componentes de rendimiento

En la Tabla 7 se presentan los rendimientos y componentes de rendimiento del cultivo de soja ante los dos tratamientos. El tratamiento E tuvo valores superiores ($p < 0.05$) de Rendimiento y Número de granos con respecto al tratamiento T en un 13 % y 12 % respectivamente. No se observaron diferencias significativas en el componente peso de 1000 semillas.

Tabla 7. Rendimiento (R), Número de granos (NR) y Peso de granos (PG) del cultivo de soja en los tratamientos Testigo (T) y Escarificado (E).

<u>Tratamientos</u>	<u>R</u>	<u>NG</u>	<u>PG</u>
	<u>Kg ha⁻¹</u>	<u>ng m⁻²</u>	<u>g.1000s⁻¹</u>
T	1800.29 a ⁽¹⁾	1352.8 a	133.4 a
E	2042.29 b	1514.7 b	134.5 a

⁽¹⁾ Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos dentro de cada columna.

Discusión

En el presente experimento se observaron efectos residuales del escarificado de suelo sobre la condición física del suelo durante el segundo año posterior a su realización.

Los valores de RP en el tratamiento E en la mayoría de los momentos y profundidades evaluados no superaron los 2000 KPa de magnitud, considerado limitante para el crecimiento de las raíces (Gupta & Allmaras, 1987; Hamblin, 1985), no siendo así para el tratamiento T.

Los valores de RP fueron menores en el tratamiento E previo a la siembra, durante el cultivo y luego de la cosecha del cultivo de soja. Esto es comparable con lo observado por Morrás et al., 2012, evaluando efectos de la descompactación sobre propiedades físicas de un suelo franco limoso, veinte meses después de la labor profunda, corroboraron menor RP y densidad aparente entre 0 y 30 cm de profundidad del perfil en las parcelas escarificadas. Asimismo, en estas parcelas, cinco años después, la RP hasta los 20 cm de profundidad fue menor y la conductividad hidráulica fue mayor. Asimismo, Smith et al, 2005, encontraron menor resistencia a la penetración entre la superficie y los 50 cm, al año y a los dos años de realizada la labranza con Cultivie en la secuencia soja, sorgo respectivamente.

De la misma manera, se observó que el aflojamiento generado en las parcelas escarificadas continúa produciendo mayores valores de tasas de infiltración de agua, durante el segundo año de realizada la labor profunda en comparación a las parcelas del tratamiento T. En la evaluación realizada en Junio de 2011 la tasa de infiltración de agua fue 14 veces mayor en el tratamiento E, con

respecto al T. Luego, en Junio 2012, la tasa de infiltración de agua en el tratamiento E siguió siendo mucho mayor con respecto a T, en una magnitud de 7,5 veces. Estas mediciones fueron las esperables en base a los antecedentes de la región. Irurtia et al., 2008, trabajando sobre Argiudoles típicos escarificados, hallaron luego de seis años, un aumento de la infiltración de hasta tres veces respecto a la situación de referencia en la zona por donde había pasado el montante y la púa del implemento.

Asimismo, esta mejora en la condición física del suelo durante el cultivo de soja en las parcelas escarificadas impactó en una mayor abundancia y distribución más homogénea de raíces en los primeros 30 cm de profundidad del perfil edáfico. Esto se debió al efecto residual del aflojamiento y agrietamiento producto de la labranza de escarificado. En cambio en el tratamiento T se observó mayor concentración de raíces hasta 15 cm de profundidad disminuyendo abruptamente hasta 30 cm de profundidad, en parte explicado por la presencia de estructura laminar y capas compactadas en el horizonte A. Vilche et al, 2009, en Argiudoles vérticos, hallaron incrementos significativos en la longitud de raíces en el estadios R3 y R7 del cultivo de soja, seis, diecinueve y treinta meses luego de la labranza profunda en comparación al tratamiento testigo.

La mejor condición física del suelo y su efecto en el enraizamiento del cultivo de soja en las parcelas escarificadas mejoraron el funcionamiento del mismo confirmando efectos residuales sobre el cultivo. Se observó durante todo el ciclo del cultivo de soja, menor lámina de agua (mm) entre la superficie y los 45 cm de profundidad en el tratamiento E, lo que habría implicado una mayor utilización de este recurso por parte del cultivo.

Es importante mencionar diferentes hechos al respecto. En base a lo observado a la siembra, las menores magnitudes de lámina (mm) en el tratamiento E podrían deberse a la evaporación de agua del suelo y a la evapotranspiración del cultivo realizado en el ciclo anterior anterior (maíz). Luego se relevó que las magnitudes de lámina (mm) disminuyeron entre la siembra y R1, para los dos tratamientos, debido al bajo aporte de las precipitaciones que se produce en este período. Sin embargo en R1, también fue menor la magnitud de lámina en el tratamiento E, a pesar de una progresiva disminución de la humedad en el perfil, y esto se apoyó en la mayor tasa de infiltración de agua provocada por los efectos residuales del escarificado. A los 18 meses de realizada la labranza, el efecto residual de ésta, siguió manteniendo un agrietamiento que permite una rápida entrada del agua al suelo.

Asimismo, la menor magnitud de lámina de agua (mm) a partir de R1 hasta R5 para el tratamiento E, implicaron una probable mayor absorción de agua por parte de las raíces. Esto fue dado por un mayor desarrollo radicular entre 0 y 45 cm de profundidad, como consecuencia de los efectos residuales de la labor de escarificado.

Los aumentos de lámina en los dos tratamientos a partir de R5, fueron explicados por el aumento del aporte por las precipitaciones. Estas comenzaron a incrementarse e impactaron en los contenidos de humedad de suelo hasta 45 cm de profundidad.

La mayor absorción de agua por parte del cultivo en las parcelas escarificadas impactó en una mayor RFA_i durante el ciclo del cultivo de soja y fundamentalmente en el período crítico del mismo. Sadras et al., 2004,

corroboraron que el impacto de la labranza profunda del suelo en la producción de los cultivos fue a través de la captación de recursos y no sobre la eficiencia de uso de los mismos.

El incremento en la captación de recursos por parte del cultivo de soja en el tratamiento E aumentó su rendimiento en un 11.8 % como consecuencia del mayor número de granos en comparación al tratamiento T. Vilche et al, 2009, encontraron mayores rendimientos en el cultivo de soja luego de diecinueve y treinta meses de realizada la labor profunda del suelo con respecto al Testigo en un 17 % y 9.8 % respectivamente en un ambiente de siembra directa en el sur de Santa Fe. Asimismo, Reeder et al., 1993, evidenciaron incrementos del 6.1 % y 1.8 % en la secuencia soja-maíz respectivamente luego de la labranza profunda en un suelo Argiacuol típico.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que existen efectos residuales en la condición física del suelo y en las propiedades del cultivo de soja ante el escarificado practicado en un suelo Argiudol típico, Serie Pergamino, con compactación subsuperficial. Al segundo año de haberse realizado la labranza de escarificado de suelo y bajo las condiciones edáficas y climáticas del experimento se evidenció en las parcelas escarificadas menores valores de RP y mayores tasas de infiltración mientras que en el cultivo de soja se incrementó la RFA_i, el consumo de agua, el número de granos y el rendimiento de grano. El experimento sobre el cual se realizó este trabajo, dado la continuidad en el tiempo, permitirá medir el efecto del escarificado a más largo plazo.

Bibliografía

- Álvarez, C.; Gutierrez Boem, F.; Taboada, M.; Prystupa, P.; Ocampo J. 2004. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. Pp.238. Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Álvarez C., Taboada, M.; Bustingorri, C. y Gutiérrez Boem, F.2006. Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. Ciencia del Suelo 24(1).
- Álvarez C.; Torres Duggan, M.; Chamorro, E.; D'ambrosio, D.; Taboada, M. 2009. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos.
http://suelos.org.ar/publicaciones/vol_27n2/Alvarez%20et%20al%20159-169.pdf
- Álvarez, C. 2013. Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: Caracterización, génesis y manejo. Informaciones Agronómicas de Hispoanoamérica n°10-IPNI.
- Andriulo, A.; Mary, B. & Guérif, J. 1999. Modeling soil carbón dynamics with various cropping sequences on the Rolling Pampas. Agronomie 19, 365-377.
- Arvidsson, J. 1998 .Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments. Soil & Tillage Research 49, 159-170.
- Balbuena, R.; Claverie, J. 2006. Descompactación mecánica del suelo. Curso de mecanización agrícola. Convenio Argentina-Venezuela. INTA Manfredi.

- Botta, G.F.; Jorajuria, D.; Balbuena R.; Rosatto, H. 2004. Mechanical and cropping behavior of direct drilled under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max L.*) yields. *Soil & Tillage Research* 78, 53–58.
- Bradford, J.M.; Klute, A. 1986. Penetrability. *American Society of Agronomy*.
- Caviglia, O. P., Sadras V. O. y Andrade F. H. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double cropped wheat-soybean. *Field Crops Research*, vol. 87, 117-129.
- Cerisola, C.; Draghi L.; Terminiello, A.; Jorajuría, D.2011. Compactación en siembra directa. Desafío hacia la producción agropecuaria sostenible. Curso de manejo y conservación de suelos. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. U.N.L.P.
- Elisei, J. 2014. Efecto del uso de diferentes escarificadores sobre propiedades físicas de suelo y de cultivo en la secuencia maíz-soja. Tesis Magister. Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Agrarias. Zavalla. Santa Fe. Argentina.
- Fehr W R, Caviness C E, Burmood DI T& Pennington J S. 1971.Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max (L.) Merrill*. *Crop Sd.* 11:929-31.
- Ferraris, G. 2004. Descompactación de suelos bajo siembra directa continua. INTA Pergamino.
<<http://www.inta.gov.ar/PERGAMINO/actividad/publicaciones>>
- Finello, M; Ramos, J.; Céccoli, G. & Invinkelried, H. 2011. Efecto residual de labranzas verticales en el sistema radical y rendimiento de un

cultivo de soja. Universidad Nacional del Litoral - Facultad de Ciencias Agrarias.

- Gallo, W.P; Daughtry, C.S.T. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in crop canopies. *Agronomy Journal* 78:752-756.
- Gerster, G. 2009. Compactación por tránsito de maquinarias en un Argiudol típico. Tesis Magíster. Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Agrarias, Zavalla, Sta. Fe, Argentina.
- Gerster, G.; Bacigaluppo, S., Bodrero, M.; Salvagiotti, F.2010. Secuencia de cultivos, descompactación mecánica y rendimiento de soja en un suelo degradado de la región pampeana. Para mejorar la producción n° 45 INTA E.E.A. Oliveros 2010
- Giardineri, N.Ch.; Gutiérrez, N.C.; Venialgo, C.A. 2004. Influencia de la compactación sobre el crecimiento radical en maíz y soja.. *Comunicaciones científicas y tecnológicas. U.N.N.E.*
- Gupta, SC & RR Allmaras. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. *Adv. Soil Sci.* 6: 65-100.
- Hamblin, AP. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. *Adv. Agron.* 38: 95-158.
- I.N.T.A. 1972. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3360-32 (Pergamino)
- Imvinkelried, H.; Dellaferrera, I.; Hermann, O. ; Imbert, S. , Imhoff, S. 2011. Efecto de la compactación y la fertilización sobre los componentes del rendimiento y la eficiencia de intercepción de la radiación en el cultivo de soja.

- Irurtia CB; Mon R; Gonzalez N y Elisei J. 2008. Efectos físicos residuales en un Argiudol típico después de seis años de subsolado en condiciones de tránsito agrícola controlado. XXI Congreso de la AACCS. Actas en CD.

- Morrás H; Kraemer F; Bressan, E y Morrás P. 2012. Efectos de la descompactación y aplicación de yeso en un Argiudol cultivado en siembra directa. Actas XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina.

- Passioura, J.B. 2002. Soil condition and plant growth. Plant, Cell and Environment 25, 311-318.

- Pecorari, C.; Guerif, J.; Stengel, P.1991. Fitólitos en los suelos pampeanos argentinos: Influencia sobre las propiedades físicas determinantes de los mecanismos elementales de la evolución de la estructura. Informe Técnico n° 260. E.E.A. I.N.T.A. Pergamino.

- Reeder RC; Wood RK y Finck CL. 1993. Five Subsoiler Designs and their effects on soil properties and crop yields. American Society of Agricultural Engineers. 36(6):1525-1531.

- Sadras VO; O'Leary GJ y Roget DK. 2004. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. Field Crops Research. 91: 131-148.

- Smith, J.E.; Hilbert, J.A.; Aucana, M.O.; Irurtia, C.B.; Mon, R.; Mousegne F. 2005. Descompactación por medio de subsolado y enmienda profunda. <http://anterior.inta.gov.ar/iir/info/documentos/labranza/resubsolado.htm>

- Soracco, G.; Filgueira, R.R; Sarli, G.O.; Fournier, L.L.; Gelati, P. R.; Hilbert, J. 2009. Persistencia del efecto del subsolado sobre el movimiento del agua en el suelo en siembra directa. Uso de dos modelos teóricos. <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v27n1/v27n1a09.pdf>

- Terminiello, A.; Claverie, J.; Ariata, M; Balbuena. R. 2011. Descompactación del suelo y su relación con parámetros biológicos de un cultivo de soja. (*Glicyne max Merrick*) X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR

- USDA. 1999. Soil Quality Test Kit Guide. USDA-Agriculture Research Service. SCS. USA. 82pp

- Vilche, M.S.; Montico, S.; Alzugaray, C. 2009. Efecto de la perdurabilidad de la labranza profunda sobre el rendimiento y el consumo de agua en el cultivo de soja (*Glycine max L. Mer*).

Anexo

Tabla 1. Composición textural del suelo, campo San Jorge, E.E.A Inta Pergamino

Horizonte		A		B1	B21 t
Espesor	cm	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40
Arena	%	17,4	17,7	15,1	14,7
Arcilla	%	22,9	23,4	30,7	37,4
Limo	%	59,7	58,9	54,1	47,9
COT	g kg ⁻¹	15,3	14,5	11,5	10,3
EE	%	14,5	11,1	11,9	13,3
pH en agua (1:2.5)	-	5,6	5,6	5,9	6,1
Conductividad eléctrica	dS m ⁻¹	0,09	0,08	0,08	0,08
Nitrógeno orgánico total	g kg ⁻¹	1,3	1,3	1,0	0,9
P extractable	mg kg ⁻¹	10,1	5,0	5,4	3,3
S de sulfatos	mg kg ⁻¹	1,0	3,0	2,0	3,0