

## SUBSOLADO EN SIEMBRA DIRECTA: EFECTOS SOBRE PARÁMETROS FÍSICOS DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO DE SOJA

ADRIÁN VALLEJOS; MARCIO KEES; PEDRO BONDIA; NORA ECHEVERRÍA\*; JUAN SILENZI; CRISTIÁN ZAJAC & MARTÍN DE LUCIA

Recibido: 11-03-14

Recibido con revisiones: 27-08-14

Aceptado: 07-09-14

### RESUMEN

La compactación de suelos constituye un fenómeno frecuente en muchas regiones agrícolas del mundo. En la Argentina esta contingencia se ha incrementado en los últimos años como consecuencia del proceso de expansión de la agricultura y al avance de la siembra directa. El objetivo de este trabajo fue evaluar el resultado del subsolado sobre propiedades físicas de un Paleudol Petrocálcico, su residualidad en el tiempo y rendimiento del cultivo de soja (*Glycine max* [L.] Merr.). Se realizó una labor con arado paratill sobre un suelo en siembra directa en el partido de Tres Arroyos, determinando dos tratamientos, testigo (T) y labrado con paratill (TMD) previo a la implantación de soja. Los resultados del subsolado indicaron: escasa a nula diferencia entre los contenidos gravimétricos de agua en el suelo durante los 18 meses posteriores a la labranza; reducción de la resistencia mecánica a la penetración (RP) hasta los 17,5 cm de profundidad durante 18 meses; disminución de la densidad aparente (DA) en la profundidad de 12 a 17 cm durante el primer cultivo de soja posterior a la labor, mientras que la distribución de poros cambió en los dos horizontes superiores incrementado participación de los macroporos, dicho efecto permaneció al menos por 6 meses. No se observó respuesta en el rendimiento de granos.

**Palabras clave.** Paratill; Densidad aparente; Resistencia a la penetración; Distribución del tamaño de poros.

## DEEP TILLAGE ON DIRECT PLANTING EFFECTS ABOVE SOME PHYSICAL PARAMETERS OF SOIL AND THE YIELD OF SOYBEAN

### ABSTRACT

The compaction of soils is a frequent phenomenon in many agricultural regions of the world. In Argentine this contingency has increased in the last few years as consequence of the increase in agriculture and no tillage increasing. The object of this work was to evaluate the result of deep tillage in physical parameters of an Petrocalcic Paleudoll, its residual in time and yield of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.). A labor was performed with a paratill plow above a soil in no tillage in the county of Tres Arroyos, determining two treatments, control (T) and paratill tilled (TMD) previous soybean seeding. The results of the deep tillage indicated: A low to null difference between the gravimetric contents of water in soil in the three years of measurements; reduction of the soil penetrometer resistance until 17.5 cm of depth during 18 months; a decrease in the bulk density in the depths of 12 to 17 cm during the first soybean yield and later to the labor, the pore size distribution changed in the two upper horizons increasing the participation of macropores, this effect remained at least for 6 months. No response was observed in grain yield.

**Key words.** Paratill; soil bulk density; Penetrometer resistance; Pore size distribution.

## INTRODUCCIÓN

La compactación del suelo constituye un fenómeno frecuente en muchas regiones agrícolas del planeta (Gupta & Allmaras, 1987; Hamza & Anderson, 2005). El fenómeno es considerado uno de los mayores problemas que enfrenta la agricultura mundial, debido a los serios impactos económicos y ecológicos que produce (Soane & Van Owerkerk, 1994).

En la Argentina este suceso se ha incrementado en los últimos años como consecuencia del proceso de agricultura y al avance en la siembra directa. (Álvarez *et al.*, 2009), en el partido de Tres Arroyos (Buenos Aires) la agricultura continua, independientemente del sistema de labranza empleado, ha originado problemas de compactación de los suelos (Manso *et al.*, 2012).

Si bien la siembra directa tiende a mejorar las propiedades del suelo, existen resultados contradictorios en cuanto a sus efectos en algunos parámetros físicos; algunos autores indicaron un aumento en la compactación del suelo debido a este sistema de labranza (Ferrerías *et al.*, 2000; Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003). Este efecto, en muchos casos, se suma a la compactación residual de los sistemas de labranza con arados de reja y vertedera o arados de discos, dado que la mayoría de los suelos no fueron subsolados cuando ingresaron en siembra directa (Vallejos *et al.*, 2010).

Estudios precedentes han demostrado que la compactación afecta a propiedades físicas como estructura, porosidad, velocidad de infiltración, capacidad de retención de agua, densidad aparente (DA) y resistencia mecánica a la penetración (RP) (Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003).

Taboada & Micucci (2002) concluyeron que el efecto de la compactación sobre el rendimiento de los cultivos depende de las condiciones climáticas que interactúan con las propiedades del suelo. Por este motivo, el efecto de la compactación sobre el cultivo es más grave en condiciones de estrés hídrico, mientras que con condiciones climáticas favorables, en muchos casos, no se observan efectos perjudiciales sobre ellos.

La DA y la RP son las variables más utilizadas para la caracterización de la compactación del suelo (Rillo *et al.*, 2008; Balbuena *et al.*, 2009). Se ha comprobado que ambos parámetros están relacionados con el crecimiento radicular y el rendimiento de los cultivos (Unger, 1993).

La compactación del suelo puede ser reducida mediante rotaciones de cultivos y pasturas perennes, control del

tráfico y subsolado. Esta última práctica ha tomado creciente difusión en el mundo en los últimos años (Hamza & Anderson, 2005). En nuestro país la experiencia es más limitada y no siempre fue llevada a cabo con suelos manejados con siembra directa (Álvarez *et al.*, 2009).

Existen diversos modelos de subsoladores; el paratill tiene la particularidad de romper una mayor zona del perfil del suelo comparado con los subsoladores rectos y dejar más residuos vegetales en la superficie (Unger, 1993; Busscher *et al.*, 2006). La descompactación mediante paratill genera cambios positivos en las propiedades edáficas (Unger, 1993). Sin embargo, son contradictorios los resultados que existen en cuanto a su perdurabilidad en el tiempo y su impacto en el rendimiento de los cultivos (Álvarez *et al.*, 2009).

En el área sur pampeana la compactación del suelo asociada a los sistemas de labranza tanto convencionales como a la siembra directa es uno de los factores limitantes de la producción y la información existente en cuanto al efecto producido por las labranzas profundas es escasa. En función de ello, se planteó como objetivo evaluar el resultado de la labranza profunda, con Paratill, sobre algunas propiedades físicas de un suelo, su residualidad en el tiempo y rendimiento del cultivo de soja (*Glycine max.* [L.] Merr.).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el establecimiento Don Pedro ubicado en el Sudeste de la provincia de Buenos Aires, partido de Tres Arroyos (38° 16' 46.30" S; 60° 8' 35.35" O), desde noviembre 2010 hasta mayo 2012.

El clima de la zona se clasifica como mesotermal subhúmedo. Presenta un régimen hídrico con disminución de las precipitaciones desde el Este al Oeste. El promedio histórico de lluvias alcanza los 749,4 mm (1938-2011). La temperatura media anual es de 14,9 °C, caracterizando un ambiente templado, con un período libre de heladas de 172 días (Borda, 2011).

El lote utilizado se encontraba en agricultura continua, bajo el sistema de siembra directa por un período de 10 años y con una secuencia de cultivos trigo/soja. Posteriormente a la siembra del ensayo se realizó una rotación soja, cebada/soja, esta secuencia se inició en noviembre de 2010 y finalizó a fines de mayo de 2012 con la cosecha del segundo cultivo de soja.

El paisaje presenta un relieve suavemente ondulado con pendientes que oscilan entre el 1 y el 2%. El suelo fue clasificado como Paleudol Petrocálcico (USDA, 1999) y presentó una secuencia de horizontes Ap (0-10 cm; Franco), Ad (10-20 cm;

Franco arcillo limoso), Bt (20-42 cm; Arcilloso), Bck (42-65 cm; Franco arcillo limoso) y 2 Ckm (+65 cm; petrocálcico). La profundidad efectiva promedio de 60-65 cm fue la limitación permanente más importante, seguida por la limitación climática (PEIndex: 32-35), correspondiéndole una categorización por Capacidad de Uso transicional de IIsC a IIIs. El Índice de Productividad es 51% (0,85 por clima y 0,60 por profundidad). Por su parte, el estudio morfológico del perfil indicó signos ciertos de compactación antropogénica, evidenciados por presentar un horizonte Ad consolidado, duro y masivo que rompe en terrones angulares y sub angulares medios y gruesos y raíces escasas. El horizonte Ap presentó estructuras laminares en superficie en algunos lugares, no obstante presentaba abundante actividad biológica.

### Tratamientos

Para dar respuesta a los objetivos planteados se realizaron dos tratamientos: siembra directa con descompactación mecánica (TMD) y siembra directa sin laboreo de descompactación (T). Para la labor profunda se empleó un tractor de tracción asistida de 212 CV, equipado con rodados traseros 20.8-38 y delanteros 16.9-28, y un paratill de arrastre provisto de ocho timones, distanciados a 52 cm, con disco de cortes delanteros y dos rolos posteriores para el sellado del suelo. Se realizó una única labor a inicios de noviembre de 2010, 15 días antes de la siembra de soja, a una profundidad máxima de 28-30 cm. Según el libro de campo para descripción y muestreo de suelos (Schoeneberger *et al.*, 2002), la labor se realizó con una condición de suelo "húmedo", en los horizontes Ap y Ad, y "mojado" en el horizonte Bt.

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres réplicas, los tratamientos se aplicaron sobre unidades experimentales de ocho m de frente por 30 m de largo. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA). Para el estudio de las medias de los tratamientos de las diferentes variables se utilizó la prueba LSD de Fisher ( $P < 0,05$ ). Los resultados de los análisis se obtuvieron utilizando el programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2011).

### Muestreos y determinaciones

Establecido el ensayo se evaluó humedad gravimétrica (HG) edáfica, DA, RP, y distribución del tamaño de poros, para los distintos tratamientos en tres fechas, emergencia del cultivo de soja (VE) y madurez fisiológica (R8), durante la campaña 2010/2011, y a madurez fisiológica (R8) en la campaña 2011/2012.

### Los métodos utilizados para determinar los parámetros considerados se describen a continuación.

**Humedad gravimétrica.** Se determinó por el método gravimétrico. Se extrajeron muestras de suelo a 7 a 12 cm, 12 a 17 cm y de 22 a 27 cm de profundidad. Se tomaron tres submuestras por profundidad en cada una de las unidades experimentales.

**Densidad Aparente.** Se determinó por el método del cilindro (Blake *et al.*, 1986). Para ello se sacaron tres submuestras al azar por unidad experimental, a las profundidades de 2 a 7 cm, 12 a 17 cm y 22 a 27 cm.

**Resistencia mecánica a la penetración.** Se determinó con penetrómetro de cono estandarizado, según norma ASAE 313.2 (ASAE Standard, 1993). Para ello se realizaron cinco determinaciones al azar por unidad experimental a intervalos de 2,5 cm desde la superficie hasta la profundidad de 40 cm.

**Distribución del tamaño de poros.** Se consideró la clasificación propuesta por Greenland (1977), citada por Taboada & Micucci (2008), que se basa en características funcionales de los poros. Estos se clasifican en: poros residuales, menor a 0,5 micrones ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro, poros de almacenamiento (0,5 a 50  $\mu\text{m}$ ), poros de transmisión (50 a 500  $\mu\text{m}$ ) y fisuras (mayores de 500  $\mu\text{m}$ ).

Se determinó por medio de una mesa de tensión de arena para las succiones menores (hasta 0,1 bar) y una olla de presión para las tensiones más altas (Richards, 1947; Klute, 1986). Las tensiones evaluadas fueron: 0,1 kPa (2000  $\mu\text{m}$ ); 0,36 kPa (1000  $\mu\text{m}$ ); 0,61 kPa (500  $\mu\text{m}$ ); 1 kPa (300  $\mu\text{m}$ ); 1,53 kPa (200  $\mu\text{m}$ ); 3,59 kPa (100  $\mu\text{m}$ ); 6,12 kPa (50  $\mu\text{m}$ ); 10 kPa (30  $\mu\text{m}$ ); 33 kPa (9  $\mu\text{m}$ ) y 100 kPa (3  $\mu\text{m}$ ); los valores entre paréntesis son diámetro efectivo de poros y se calculó mediante la ecuación propuesta por Wu *et al.* (1990).

$$d = 0,3/P$$

donde, d = diámetro efectivo de poro en  $\mu\text{m}$ ; P = presión en kPa.

**Rendimiento.** En el momento de madurez fisiológica para las campañas 2010/2011 y 2011/2012 se realizaron las evaluaciones del rendimiento del cultivo. Para ello se delimitaron parcelas de tres m de largo por 0,42 m de ancho (dos líneas de siembra), se cosecharon manualmente y luego se separó el grano mediante una máquina trilladora estática. Las muestras obtenidas fueron secadas a estufa hasta peso constante para luego ajustar los rendimientos a un 13% de humedad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Humedad gravimétrica

Los valores medios de HG (Tabla 1), para las distintas fechas de muestreo, no variaron considerablemente entre los diferentes tratamientos, para cada una de las profundidades estudiadas. Se encontraron diferencias estadísticas significativas, en el espesor 2 a 7 cm, para el año 2010 (VE) y de 12 a 17 cm para el año 2011 (R8), en ambas fechas con mayores valores en TMD. En tanto, en el año 2012 (R8) los registros fueron significativamente más altos en T, solo para el espesor 2 a 7 cm. Los muestreos de humedad fueron realizados para el análisis de la RP, por tanto se buscaba homogeneidad en los valores de humedad.

### Densidad aparente

En la primera fecha de muestreo (VE, año 2010) los resultados indicaron un efecto positivo de la labor, se encontraron diferencias significativas para el espesor de 12 a 17 cm (Tabla 2). Si bien para el espesor 2 a 7 cm no se encontraron diferencias estadísticas, si ocurrió cuando se

analizó con un nivel de significación mayor ( $p < 0,10$ ) evidenciando una tendencia a disminuir la densidad en superficie con la labor.

El efecto de la labor es menor en superficie debido al patrón de roturación del arado, los planos de ruptura de un arco no se superponen totalmente con el otro, quedando zonas aradas por ambos arcos y la mayor parte por un solo arco, este comportamiento fue explicado por Godwin (2007).

En este ensayo en el TMD se observó una disminución promedio de la DA respecto a T de 4,1 y 5,6% para el Ap y Ad respectivamente (Tabla 2), por tanto se podría afirmar que la labor generó descompactación en el epipedon. Resultados similares fueron hallados por Bonel *et al.*, (2004) trabajando con un paratilla a una profundidad de 27 a 30 en un suelo Arguidol vértico.

A la profundidad de 22 a 27 cm la labranza no provocó disminución en la DA, esto podría estar asociado a la baja fisuración producto de un contenido de humedad elevado

Tabla 1. Humedad gravimétrica del suelo para distintas profundidades y fechas de muestreo (%).

Table 1. Gravimetric soil moisture for various depths and sampling dates(%).

Profundidad (cm)	2010 (VE*)		2011 (R8**)		2012 (R8**)	
	T	TMD	T	TMD	T	TMD
2 a 7	19,3 b	23,8 a	16,1 a	17,0 a	26,9 a	21,8 b
7 a 12	23,9 a	24,4 a	17,1 a	17,2 a	17,4 a	17,1 a
12 a 17	25,4 a	26,5 a	17,3 b	20,3 a	17,1 a	16,5 a
17 a 22	26,1 a	26,3 a	19,1 a	19,4 a	17,4 a	16,1 a
22 a 27	29,1 a	28,8 a	20,6 a	20,8 a	18,0 a	17,3 a
+ 27	32,1 a	32,7 a	21,0 a	20,8 a	18,0 a	17,9 a

\*VE: Emergencia. \*\*R8: Madurez Plena. Medias de tratamientos por profundidad y años seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Treatment means in each depth and year, followed by the same letter indicate no significant differences ( $p < 0,05$ ).

Tabla 2. Valores de densidad aparente del suelo ( $Mg\ m^{-3}$ ) para los distintas fechas de muestreo y tres profundidades.

Table 2. Soil bulk density ( $Mg\ m^{-3}$ ) for different sampling dates and three depths.

Profundidad (cm)	Año 2010		Año 2011 (R8*)		Año 2012 (R8*)	
	Tratamientos					
	T	TMD	T	TMD	T	TMD
0 - 7	1,23 a	1,18 a	1,30 a	1,28 a	1,24 a	1,21 a
12 - 17	1,43 a	1,35 b	1,48 a	1,26 b	1,43 a	1,37 a
22 - 27	1,34 a	1,33 a	1,41 a	1,40 a	1,40 a	1,36 a

Medias de tratamientos, en cada profundidad y años, seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas. ( $p < 0,05$ ). \*R8: Madurez Plena. Treatment means in each depth and year, followed by the same letter indicate no significant differences ( $p < 0,05$ ). \* R8: Full Maturity.

al momento de la labor, que fue calificado como condición mojado. Cuando el suelo se encuentra con alto contenido de humedad, el mismo fluye entre las rejas en forma plástica no provocando el efecto deseado (Balbuena *et al.*, 2009).

En la segunda fecha de medición (R8, año 2011), solo se encontraron diferencias estadísticas a la profundidad de 12 a 17 cm (Tabla 2). La recompactación a la profundidad de 2 a 7 cm no puede adjudicarse a la compresión por cargas naturales, dado que el tránsito durante el período del cultivo fue escaso (solo una aplicación de herbicidas). Por lo tanto, se asume que la densificación es consecuencia propia del sistema de siembra directa por el secado lento del suelo debido a la cobertura vegetal. Según Gerard *et al.* (1966), la velocidad de secado es el factor de mayor gravitación en la densificación y en el aumento de la RP. Estos autores interpretaron que la lentitud del desecamiento del suelo permitiría un acomodamiento y empaquetamiento de las partículas, con mayor posibilidad que entre ellas se establecieran ligaduras físico químicas fuertes.

Desde la siembra a la cosecha de soja en el año 2011, las diferencias en la DA, en la profundidad de 12 a 17 cm se incrementaron durante el ciclo del cultivo, esto podría ser producto del aumento de la actividad radicular debido al menor impedimento para su crecimiento (Taylor & Gardner, 1963; Jorajuría *et al.*, 1997). En este sentido, Pedroza de Azevedo *et al.* (2007) encontraron en un suelo de textura franca arenosa, que las raíces de soja duplicaron su densidad cuando el suelo fue escarificado respecto al no escarificado en siembra directa en el estrato de 0-40 cm.

El crecimiento radicular, asociado con el incremento en la biomasa microbiana y a la producción de sustancias orgánicas, que actúan como ligantes de las partículas de suelo, favorecerían la agregación y la porosidad expresándose como una disminución en la DA (Olness & Archer, 2005).

El análisis en la última fecha de muestreo (R8, año 2012) no encontró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ninguna de las profundidades analizadas (Tabla 2). Por tanto, el efecto de descompactación desaparece antes de los dos años de realizada la labor, Botta *et al.* (2010) informó el mismo comportamiento en un suelo con características texturales similares.

Cabe mencionar que durante el tiempo transcurrido del ensayo, el suelo recibió el tránsito correspondiente a la siembra, pulverización y cosecha del cultivo de cebada y soja, y que probablemente causaron la densificación del mismo.

### Resistencia a la penetración del suelo

El TMD provocó una disminución en los valores de RMP observados en la profundidad 0-7,5 cm. Estas diferencias pueden deberse a los mayores contenidos de humedad gravimétrica observados en TMD (Tabla 1). Desde 7,5 a 15 cm el contraste se atribuye exclusivamente al trabajo de mejoramiento del suelo, en este nivel los registros de RP no fueron interferidos por los valores de humedad. Resultados análogos han sido encontrados por otros autores cuando trabajaron con equipos similares en un suelo Argiudol típico (Terminiello *et al.*, 2007; Rillo *et al.*, 2008).

El análisis estadístico de la RP a las diferentes profundidades encontró diferencias significativas desde los 0 a los 15 cm de profundidad ( $p < 0,05$ ) y tendencias de los 17,5 cm a los 20 cm ( $p < 0,10$ ). Estos resultados quedan avalados al compararlos con los valores de DA que presentaron el mismo comportamiento.

Se observó que desde los 2,5 cm hasta los 10 cm, el tratamiento T registró valores mayores a 1,5 MPa a diferencia del TMD que no alcanzó a 1 MPa (Fig. 1a). Valores mayores a 1,5 MPa dificultarían el crecimiento y desarrollo de las raíces según lo reportado por Jorajuría *et al.* (1997) y Taylor & Gardner (1963). Considerando los rendimientos del cultivo, las plantas no acusaron la restricción impuesta al desarrollo radicular por la impedancia mecánica, las precipitaciones abundantes desde noviembre a fines de enero, 33% superiores al promedio (Borda, 2011), fueron suficientes como para mantener los valores de RP dentro del rango de no restricción al crecimiento radicular; Taylor & Gardner (1963) demuestran claramente la dependencia de la RP con la humedad del suelo, si esta es elevada los valores de penetrometría serán bajos y las raíces crecen sin dificultades.

En el segundo muestreo también se observa un efecto positivo de la labor, el TMD perduró durante todo el ciclo del cultivo (Fig. 1b), coincidiendo con los resultados obtenidos por Terminiello (2007), quien evaluó el efecto de la descompactación del suelo durante el ciclo del cultivo de soja.

Analizando las profundidades, se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos hasta los 20 cm ( $p < 0,05$ ). Si bien los valores de RP superaron los 1,5 MPa para ambos tratamientos, esto fue producto del bajo contenido hídrico que presentaba el suelo al momento del muestreo. En este sentido, es importante señalar la dimensión de la diferencia entre tratamientos y el tiempo que perduró la misma, y no la magnitud de los valores de la RP como impedancia mecánica.

La comparación entre tratamientos en el espesor de 7 a 12 cm es muy confiable ya que los contenidos de humedad son muy próximos. Por debajo de esta profundidad se interpreta la existencia de una diferencia significativa a favor de TMD pero, posiblemente, algo exaltada por la mayor humedad. Para el horizonte Bt no se encontraron diferencias significativas.

En la tercera fecha de muestreo, si bien existió una tendencia a que el suelo con TMD tenga valores menores de RP (Fig. 1c), esta sólo mostró diferencias significativas para las profundidades de 7,5 cm, 10 cm y 17,5 cm ( $p < 0,05$ ) y a 12,5 cm y 15 cm cuando se utilizó un  $(p < 0,10)$ . Para los primeros 5 cm debe señalarse que, en ese momento y en ese espesor de suelo, T presentó una humedad 26,9% contra 21,8% de TMD, es probable que con humedades similares las lecturas de TMD hubiesen sido inferiores respecto de T.

Del análisis de resultados se destacan dos cuestiones. Una marca que el efecto residual del TMD, en la profundidad de 0 a 17,5 cm, fue de 18 meses como mínimo. La otra señala que la RP fue un indicador más sensibles que la DA para detectar diferencias entre tratamientos.

Álvarez *et al.* (2009), en condiciones similares de suelo y manejo, encontraron diferencias entre el subsolado y el testigo en los primeros 5 cm de profundidad, luego de dos años del tratamiento mecánico.

#### Distribución del tamaño de Poros

En las Figuras 2 a, b y c puede observarse el efecto de la labor durante el primer muestreo (año 2010) en los horizontes estudiados. Al momento de la emergencia del cultivo, el impacto mayor fue para los horizontes Ap y Ad, no encontrándose efecto sobre el horizonte Bt.

Según la clasificación de poros propuesta por Greenland (1977), y la información de las Figuras 2 a y 2 b podemos afirmar que la labor alteró la distribución de poros de los horizontes Ap y Ad. Para el caso del primer horizonte aumentaron los poros mayores de 300  $\mu\text{m}$  (transmisión y fisura), en el caso del horizonte Ad aumentaron los mayores de 2000  $\mu\text{m}$  (fisuras) y los de 300 a 30  $\mu\text{m}$  (poros de retención y transmisión).

En el horizonte Ap los poros de retención (30 y 0,5  $\mu\text{m}$ ) disminuyeron con la labranza, un comportamiento similar

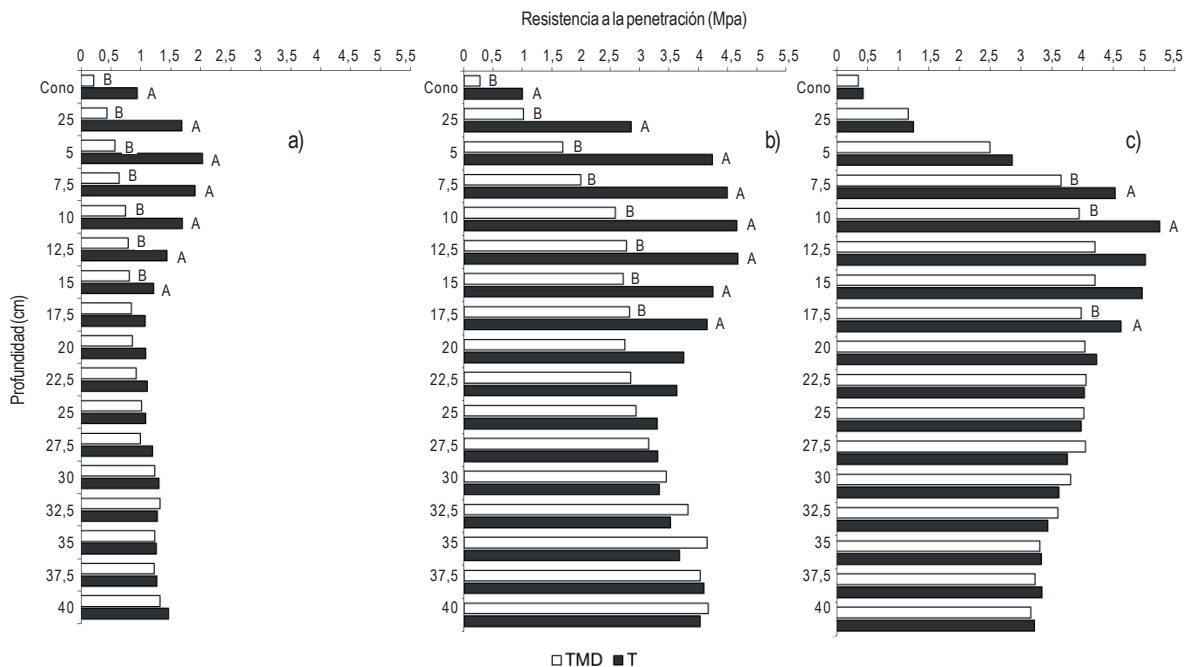


Figura 1. Resistencia a la penetración del suelo, a) primer muestreo (VE, 2010), b) segundo muestreo (R8, 2011); c) tercer muestreo (R8, 2012). Medias de tratamientos, en cada profundidad y año, seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Figure 1. Soil penetration resistance, a) first sampling (VE 2010); b) second sampling (R8, 2011); c) third sampling (R8, 2012). Treatment means, in each depth and years, followed by the same letter indicate no significant differences ( $p < 0.05$ ).

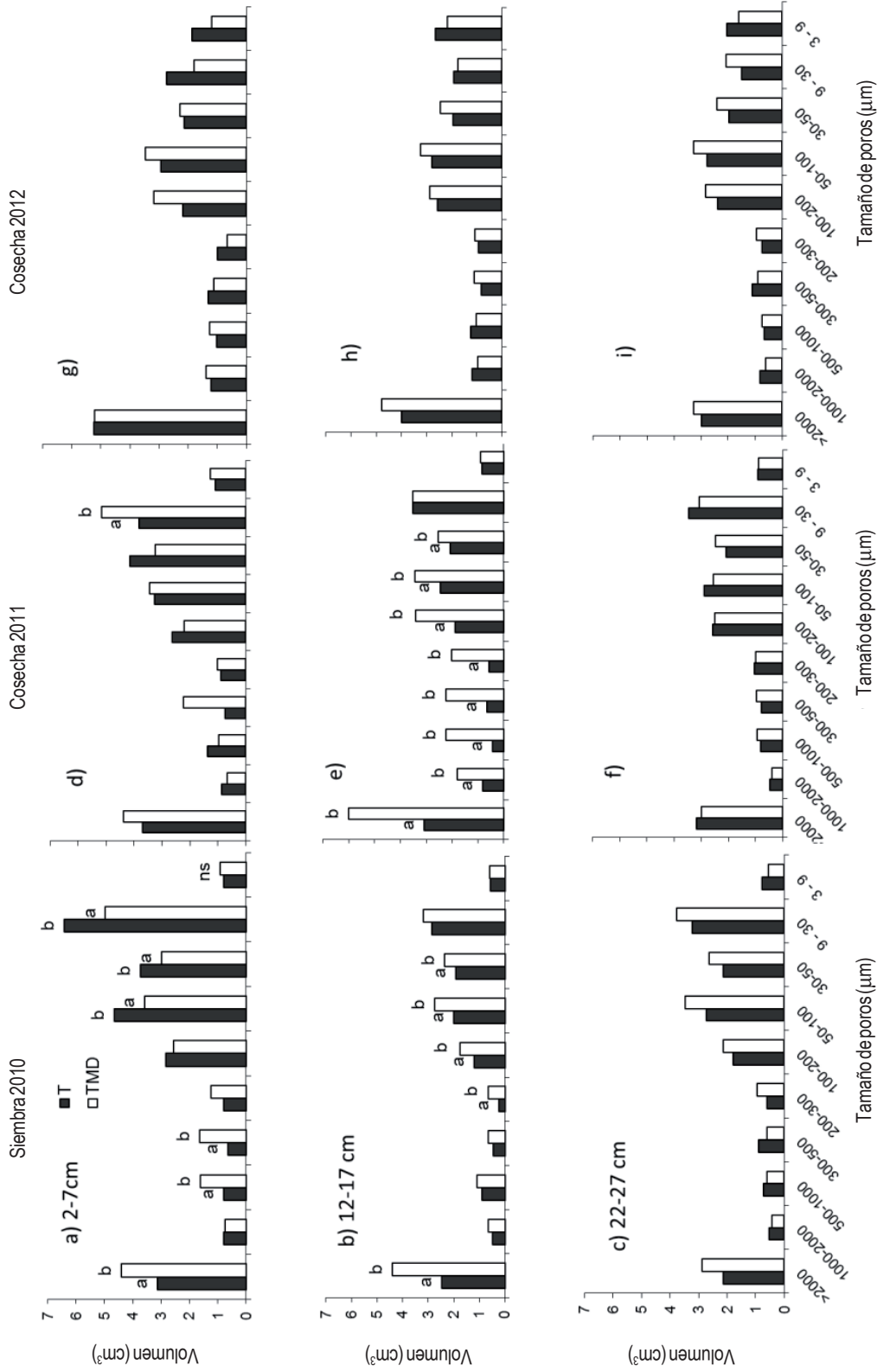


Figura 2. Porosidad del suelo medida a la siembra (año 2010) y cosecha (años 2011 y 2012), para el tratamiento mecánico de descompactación (TMD) y el testigo (T), para las profundidades 2 a 7 cm, 12 a 17 cm, y 22 a 27 cm. Medias de tratamientos seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Figure 2. Soil porosity measured at moment of the soybean sowing (year 2010) and harvester (2011 and 2012), for the mechanical treatment of descompactation (TMD) and control (T), at depth 2 to 7 cm, 12 to 17 cm, 22 to 27 cm. Treatment means followed by the same letter indicate no significant differences ( $p < 0.05$ ).

fue encontrado por Xu & Mermoud (2001), donde con el subsolado se incrementó la cantidad de poros mayores de 50  $\mu\text{m}$  y disminuyen los poros menores de 10  $\mu\text{m}$ .

El horizonte Ap presentó estructuras laminares en superficie en algunos lugares, no obstante presentaba abundante actividad biológica, por ello el pasaje de la herramienta generó fraccionamiento y fisuras en los agregados, dando como resultado la formación de poros mayores a 300  $\mu\text{m}$  (Kay, 2002). El horizonte Ad se encontraba consolidado y hubo un mayor efecto de la interferencia entre arcos del Paratill generando mayor remoción del suelo (Godwin, 2007; Vallejos *et al.*, 2010). Por lo tanto, se generaron mayores líneas de ruptura formando bloques, probablemente con líneas de fallas dentro de los mismos, con el consecuente incremento en los volúmenes de poros de fisura.

En el horizonte Bt (Fig. 2 c) no se registraron cambios en ninguna de las categorías de poros estudiados debido a la plasticidad del horizonte y para el contenido de humedad al momento de la labor, bajo esta condiciones el suelo fluye entre las rejas en forma plástica no provocando fracturamiento (Balbuena *et al.*, 2009).

Al momento previo de la cosecha del cultivo de soja durante el año 2011, se realizó el segundo muestreo de porosidad (Figs. 2d, e y f).

El horizonte Ap volvió a compactarse probablemente producto de factores naturales, como fue explicado en el apartado de DA, dado que el tránsito no fue importante en este período. Puede observarse en la Figura 2a la ausencia de diferencias en todas las categorías de poros estudiadas para los dos tratamientos.

En el horizonte Ad la situación fue diferente (Fig. 2e), se encontraron diferencias significativas en todas las categorías de poros a excepción de los poros de almacenamiento (0,5 a 50  $\mu\text{m}$ , según Greenland 1977). Las diferencias en las categorías de poros de fisura y transmisión,

pueden ser explicadas por la actividad biológica, según Hamblin (1985) poros mayores a 500  $\mu\text{m}$  corresponden a actividad de la mesofauna (lombrices y hormigas), poros entre 50 y 500  $\mu\text{m}$  a raíces y poros de 20 a 50  $\mu\text{m}$  a pelos radiculares. A partir de estos resultados podemos afirmar que el TMD tuvo un efecto positivo sobre el horizonte Ad incrementando categorías de poros relacionadas a la mesofauna y colonización de raíces. Los poros de almacenamiento, al igual que en el muestreo anterior no mostraron incrementos.

En el horizonte Bt no se registró variación en ninguna de las categorías de poros estudiadas (Fig. 2f). Como fue explicado anteriormente la humedad del suelo y la alta plasticidad de este horizonte explicarían la falta de respuesta al TMD en este estrato de suelo.

Previo a la cosecha de soja se realizó el tercer y último muestreo para porosidad (año 2012), a partir de la información presentada en las Figuras 2g, 2h y 2i, se puede afirmar que el efecto de la labor había desaparecido, los valores obtenidos coinciden con los registros de DA (Tabla 2), probablemente el tránsito realizado durante los tres cultivos favorecieron la recompactación del horizonte AP y Ad.

#### Rendimiento del cultivo

El rendimiento del cultivo de soja durante el período 2010/2011, no demostró diferencias estadísticas entre los tratamientos, superó solo en 50  $\text{kg ha}^{-1}$  al testigo (Tabla 3) resultados similares fueron publicados por Álvarez (2009) para cultivos de soja en suelos Argiudoles típicos, no obstante, Terminiello (2007) obtuvo diferencias en rendimiento mayores a 640  $\text{kg ha}^{-1}$ , en un suelo Argiudol típico de la pampa ondulada, cuando estos fueron tratados con herramienta de labranza profunda. La respuesta del cultivo de soja al subsolado parecería ser errática, dependiendo de la situación climática y la historia del lote, por tanto la soja no sería recomendable como el primer cultivo en la secuencia posterior al subsolado.

En la campaña 2011/2012 si bien se produjo una mayor diferencia a favor del TMD obteniendo 124  $\text{kg ha}^{-1}$  en comparación al testigo no se encontraron diferencias estadísticas entre los mismos (Tabla 3). Las escasas precipitaciones durante los primeros periodos fenológicos del cultivo pudieron haber estimulado a las raíces a profundizar la exploración del perfil, encontrando en los tratamientos de descompactación menores impedimentos para su crecimiento pudiendo de esta manera llegar a estratos inferiores con mayor contenido de humedad.

Tabla 3. Promedios de rendimientos del cultivo de soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para los años 2011 y 2012.

Table 3. Average soybean yields ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) for 2011 and 2012.

Años	Tratamientos		Rendimiento	
	2011	2012	2011	2012
TMD	2638 a	2192 a		
T	2588 a	2005 a		

Medias de tratamientos en cada año seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Treatment means in each year followed by the same letter indicate no significant differences ( $p < 0.05$ ).



## CONCLUSIONES

El Tratamiento mecánico de descompactación tuvo una influencia marcada sobre los parámetros físicos evaluados.

Los efectos de la labranza profunda con paratill perduraron durante el primer ciclo del cultivo de soja. En la segunda instancia de medición, no se encontraron diferencias de DA entre tratamientos, no obstante la RP y la porosidad expresaron diferencias entre los tratamientos. Para la última fecha de muestreo solamente la RP evidenció efectos residuales del TMD.

Los tratamientos no mostraron diferencias estadísticas en los rendimientos del cultivo de soja para ninguna de las campañas analizadas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Agr. Miguel A. Muda por la financiación de la totalidad de los trabajos de campo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, CR; M Torres Dugan; ER Chamorro; D' Ambrosio & MA Taboada. 2009. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: Efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. *Ci. Suelo* (Argentina) 27(2): 159-169.
- ASAE, Standards. 1993. Soil Cone Penetrometer S 313.2. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan, USA.
- Balbuena, RH; GF Botta & ERD Rivero. 2009. Herramientas de labranza para la descompactación del suelo agrícola. 1era ed. Buenos Aires. Orientación gráfica editora. 216 p.
- Blake, GR, KH Hartge, A & Klute. 1986. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods, 1.
- Bonel, BA; J Denoia; M Costanzo; G Giubileo & G. Zerpa. 2004. Efecto de la Labor de Escarificado Sobre un Argiudol Vertico Bajo Siembra Directa Continua. *Cien. Inv. Agr.* 31(3): 187-196.
- Borda, MR. 2011. INFORME AGROMETEOROLÓGICO: MARZO 2011. INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow <http://inta.gob.ar/unidades/724000/agrometeorologia-barrow/view.27/06/2014>
- Botta, G.; A Talón-Becerra; X Lastra-Bravo & M Tourn. 2010 Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction soybean (*Glycine max* L.) yields in Argentinean pampas. *Soil Till. Res.* 110: 167-174.
- Busscher, W; J Bauer & PJ Frederick Jr. 2006. Deep tillage for high strength southeastern USA Coastal Plain soils. *Soil Till. Res.* 85: 78-185.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar> 03/10/2011.
- Ferreras LA; JL Costa; FO Garcia & C Pecorari. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern «Pampa» of Argentina. *Soil Till. Res.* 54: 31-39.
- Gerard, CJ; WR Cowley & GW Kunse. 1966. Influence of drying conditions on non capillary porosity. *Soil Sci.* 102: 59-63.
- Greenland, DJ. 1977. Soil damage by intensive arable cultivation: temporary or permanent? *Phil. Trans. Roy. Soc. London B* 281: 193-208.
- Godwin, RJ. 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure & implements forces. *Soil Till. Res.* 97: 331-340.
- 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: 95-152.
- Hamza, MA & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82: 121-145.
- Jorajuría, D; L Draghi & A Aragon. 1997. The effect of vehicle weight on de distribution of compaction with depth and the yield of Lolium / trifolium grassland. *Soil Till. Res.* 41: 1-12.
- Kay, BD & AJ VandenBygaart. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organica matter. *Soil Till. Res.* 66: 107-118.
- Klute, A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods. p. 635-661. In: A. Klute (ed). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd edition Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Lampurlanés, J & C Cantero-Martínez. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop managements systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95: 526-536.
- Manso, L; H Forjan; G Studdert, & S San Martino. 2012. Efecto de sistemas de labranza contrastantes sobre algunas propiedades de un Molisol de Tres Arroyos bajo distintos usos previos. *Rev. FCA UNCUYO* 44(1): 85-99.
- Olness, A; & D Archer. 2005. Effect of organic carbon on available water in. *Soil Sci.* 70: 90-101.
- Pedroza de Azevedo, DM; LF Carvalho Leite; M Lopes Teixeira Neto & JS Danta. 2007. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. *Revista Ciência Agrônômica* 38(1): 32-40.
- Richards, LA. 1947. Pressure-membrane apparatus-construction and use. *Agr. Eng.* 28: 451-454.
- Rillo, S; P Richmond & M Mazzai. 2008. Descompactación en suelos franco arenosos en siembra directa: efectos sobre la DA, resistencia a la penetración, y el rendimiento del cultivo de maíz. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación experimental Pergamino.
- Shoeneberger, PJ; DA Wysocki; EC Benham & WD Broderson (eds). 2002. Field book for describing and sampling soil, Versión 2.0. Natural Resource Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

- Soane, B & C Van Owerkerk. 1994. Soil compaction problems in soil agriculture. In: Soane, B & Van Owerkerk, C (eds). *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier, Ámsterdam, pp. 1-22.
- Taboada, MA & FG Micucci. 2002. Fertilidad física de los suelos. Editorial Facultad de Agronomía Buenos Aires.
- Taboada, MA & SN Micucci. 2008. Aireación del suelo: parámetros e influencia sobre los cultivos. En: Taboada MA y CR Álvarez (eds) *Fertilidad Física de los Suelos* 2da edn. 126-130 pp. Facultad Agronomía (UBA).
- Taylor, HM; & HR Gardner. 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.* 96(3): 153-156.
- Terminiello, A; R Balbuena; M Ariata; J Hilbert; J Claverie & D Jorajuría. 2007. Descompactación del suelo y tráfico de siembra. Efectos sobre el rendimiento de soja (*Glycine max* L merr). In: congreso argentino de ingeniería rural. 9. Congreso del Mercosur. 1. 2007 09 19-22, 19 al 22 de septiembre de 2007. Córdoba. Ar.
- Unger, PW 1993. Paratill effects on loosening of Torrtic Paleustoll. *Soil Till. Res.* 26: 1 -9.
- USDA. United States Department of Agriculture. 1999. *Soil Taxonomy, Second Edition. A basic system of soil classification for making and interpretation soil surveys*. NRCS. Agricultura.
- Vallejos, A; C Zajac; JC Silenzi & NH Echeverría. 2010. Descompactación de un suelo y demanda energética de un arado paratill a tres profundidades y dos anchos de labor. *Agro-Ciencia* 26(2): 99-108.
- Wu, L; JA Vomocil & W Childs. 1990. Pore size, aggregate size, and water retention. *Soil Sci. Am. J.* 54: 952-956.
- Xu, D & A Mermoud. 2001. Topsoil properties as affected by tillage practices in North China. *Soil Till. Res.* 60(1): 11-19.