

## ¿AFECTA EL SISTEMA DE LABRANZA LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN PAMPEANA?

Haydée S. Steinbach y Roberto Alvarez.

Facultad de Agronomía, UBA. Argentina. Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina.

steinbac@agro.uba.ar

### INTRODUCCIÓN

En la Región Pampeana Argentina, aproximadamente el 70% de la superficie bajo agricultura se realiza en siembra directa (SD) (AAPRESID, 2006). Bajo este escenario se genera el interrogante sobre el impacto de la adopción de esta modalidad de labranza sobre las propiedades físicas del suelo, y en que medida este cambio pueda afectar la producción de los cultivos. Recientemente, Alvarez y Steinbach (2006) integrando la información publicada a nivel de la Región Pampeana, encontraron que en promedio los rendimientos del cultivo de soja no se ven modificados por el sistema de labranza. Sin embargo, en trigo y maíz los rendimientos son menores bajo SD cuando no se fertiliza con nitrógeno (N) tendiendo a igualarse cuando los cultivos son fertilizados.

En los casos en que se ha reportado menores rendimientos bajo SD, estos han sido atribuidos a menor disponibilidad de nitrógeno y efectos negativos en las propiedades físicas del suelo (Buschiazio et al., 1998; Ferreras et al., 2000; Díaz Zorita et al., 2002). Las variables comúnmente utilizadas para caracterizar los efectos del manejo en las propiedades físicas del suelo son la densidad aparente, la resistencia mecánica, la estabilidad de agregados y la infiltración. La densidad aparente y la resistencia mecánica han sido reconocidas como indicadores de la restricción del suelo al crecimiento radical (Jones, 1983; Gupta y Allmaras, 1987; Glinski y Liepiec, 1990). En el caso de la resistencia mecánica se ha propuesto como umbral o valor crítico 2 MPa, por arriba del cual el crecimiento de las raíces de los cultivos se vería impedido (Glinski y Liepiec, 1990). La variable estabilidad estructural, caracteriza la estabilidad del sistema de poros edáfico y, por lo tanto, afecta a la infiltración del agua en el suelo (Alvarez y Steinbach, 2006). En consecuencia, cuanto mayor es la estabilidad de estructura del suelo menor es la susceptibilidad a la erosión y mayor la entrada de agua al perfil del suelo (Wischmeier y Smith, 1978). En este sentido, las prácticas de manejo que tiendan a incrementar ambas variables (estabilidad estructural e infiltración) determinarían condiciones edáficas más favorables para el establecimiento y crecimiento de los cultivos.

Distintos grupos de trabajo han estudiado y evaluado en forma independiente el efecto de los distintos sistemas de labranza sobre algunas de las variables antes mencionadas en la Región Pampeana. Sin

embargo, hasta el momento no se ha analizado en forma conjunta la información existente de forma tal que permita establecer en que sentido y magnitud, las propiedades edáficas son afectadas. En este trabajo nos propusimos integrar la información publicada en los últimos 20 años en la región, con el objetivo de estimar el impacto de la adopción de la SD sobre las propiedades físicas del suelo.

### SELECCIÓN DE LOS DATOS

Se recopilaron trabajos con resultados de ensayos realizados que reportaban datos de: densidad aparente, inestabilidad estructural, resistencia mecánica e infiltración para los sistemas de labranza con reja y vertedera (CR) y SD. La selección de los datos se realizó considerando sólo aquellos en los cuales los ensayos presentaban: 1) diseño estadístico y contenían repeticiones por tratamiento de labranza, 2) el sistema de labranza era la única diferencia entre tratamientos y 3) la profundidad de muestreo era igual o superior a la profundidad del tratamiento CR. Para caracterizar

*La siembra directa aumenta la densidad aparente y la dureza del suelo y reduce su porosidad pero estos efectos no llegan a niveles de riesgo agronomico. La estabilidad estructural y la infiltración se incrementan significativamente bajo siembra directa, permitiendo un mayor almacenaje de agua del suelo para los cultivos.*

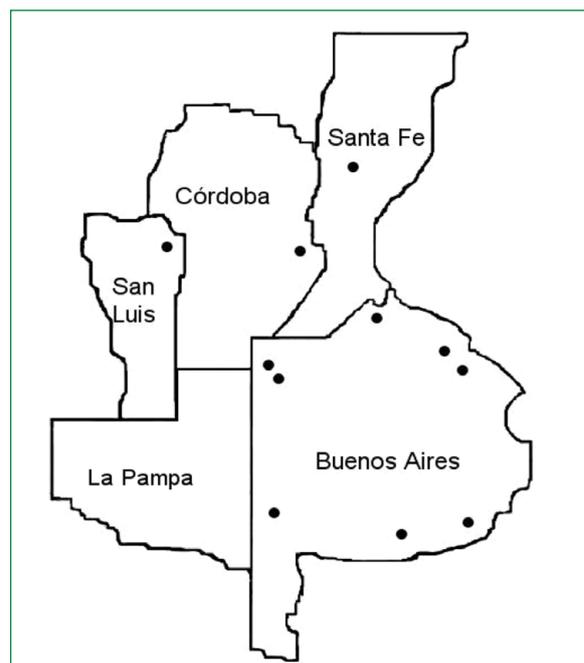


Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios experimentales incluidos en el análisis

la inestabilidad estructural de los suelos se utilizó la variable cambio de diámetro medio ponderado de los agregados (mm), cuanto mayor fue el valor del cambio de diámetro medio ponderado mayor fue la inestabilidad estructural del suelo.

Los trabajos seleccionados fueron generados por grupos de investigación pertenecientes a instituciones públicas, como el INTA y Universidades

Nacionales, de las provincias de Córdoba, Santa Fe, San Luis y Buenos Aires (Fig. 1).

Los sitios experimentales incluidos en este análisis abarcaron un amplio rango de condiciones edáficas, de manejo y años de experimentación (Tabla 1). En el caso de la variable infiltración todos los sitios correspondieron a la zona húmeda con suelos de textura fina (Tabla 1).

Tabla 1. Origen, clasificación de los suelos, contenido de arena (%), tiempo en años de duración del experimento, rotación y profundidad de las muestras de suelo de los ensayos seleccionados, para las variables: densidad aparente, resistencia mecánica, inestabilidad estructural e infiltración.

Localidad	Clasificación de suelo	Serie de suelo	Arena (%)	Tiempo (años)	Rotación	Prof. (cm)
Densidad aparente (Mg/m <sup>3</sup> )						
Balcarce	Paleudol Petrocálcico	Balcarce	39	2.5	T/Sj	3-20
Balcarce	Paleudol Petrocálcico	Balcarce	39	3	T/Sj	3-20
Balcarce	Complejo de suelo	-	-	8	M-Sj-T	3-15
Bordenave	Haplustol éntico	Darragueira	77	6	G-T	0-25
Bordenave	-	17 agosto	46	6	G-T	0-25
Bordenave	-	Bordenave	-	4	T-A	0-20
Rafaela	Argiudol Típico	-	2	9	T/Sj-M	0-15
Rafaela	Argiudol Típico	-	2	9	T/Sj	0-25
Drable	Hapludol Típico	-	49	5	M-Sj	0-30
Drable	Hapludol Típico	-	49	6	M-Sj	0-30
Drable	Hapludol Típico	-	49	12	M/Sj	0-30
E. Echeverría	-	-	-	3	Sg-T/Sj	0-20
E. Echeverría	-	-	-	4.5	Sg-T/Sj-M-Sj	0-20
E. Echeverría	-	-	-	5	Sg-T/Sj-M-Sj	0-20
Luján	Argiudol Típico	Solís	17	0.5	Sj-T	0-18
Luján	Argiudol Típico	Solís	17	0.5	Sj-T	0-18
M. Juarez	Argiudol Típico	M. Juarez	6	18	Sj-Sj	2-12
M. Juarez	Argiudol Típico	M. Juarez	6	15	M-M	0-15
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	M-T/Sj	0-24
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	12	T/Sj-M	0-16
Resistencia mecánica (Mpa)						
Rafaela	Argiudol Típico	-	2	9	T/Sj-M	0-20
Rafaela	Argiudol Típico	-	2	9	T/Sj	0-20
Bordenave	Haplustol Éntico	-	2	3	G/T	0-25
Villa Mercedes	Ustisament Típico	Cramer	77	10	-	0-40
Barrow	Argiudol petrocálcico	-	-	7	G/T	0-40
Balcarce	Complejo de suelos	Balcarce	39	2.5	T/Sj	0-25
Balcarce	Complejo de suelos	Balcarce	39	3	T/Sj	0-25
Balcarce	Complejo de suelos	Balcarce	39	8	M-Sj-T	0-25
Balcarce	Complejo de suelos	Balcarce	39	3.5	T-M	0-35
Balcarce	Complejo de suelos	Balcarce	39	4	T-M	0-35
Villegas	Hapludol Típico*	-	49	5	M-Sj	0-40
Drable	Hapludol Típico*	-	49	6	M-Sj	0-40
Drable	Hapludol Típico*	-	49	12	M-Sj	0-40
Inestabilidad estructural (mm)						
M. Juarez	Argiudol Típico	M. Juarez	6	18	Sj-Sj	0-15
M. Juarez	Argiudol Típico	M. Juarez	6	18	M-M	0-15
M. Juarez	Argiudol Típico	M. Juarez	6	8	Sj-M	0-15

**Tabla 1 (continuación).** Origen, clasificación de los suelos, contenido de arena (%), tiempo en años de duración del experimento, rotación y profundidad de las muestras de suelo de los ensayos seleccionados, para las variables: densidad aparente, resistencia mecánica, inestabilidad estructural e infiltración.

M. Juárez	Argiudol Típico	M. Juárez	6	9	Sj-M	0-10
M. Juárez	Argiudol Típico	M. Juárez	6	15	M-M	0-15
M. Juárez	Argiudol Típico	M. Juárez	6	17	Sj-Sj	0-15
M. Juárez	Argiudol Típico	M. Juárez	6	6	M-M	0-15
Bordenave	Haplustol Éntico	-	77	5	G-T	0-12
Drable	Hapludol Típico	-	49	6	M-Sj	0-15
Luján	Argiudol Típico	Solís	6	0.5	Sj-T	0-10
Luján	Argiudol Típico	Solís	6	1	Sj-T	0-10
Balcarce		-	39	8	M-Sj-T	0-20
Balcarce	Paleudol Petrocálcico	-	69	2.5	T/Sj	-
Infiltración (mm/h)						
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	12	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	12	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	12	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	12	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	13	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	13	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	13	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	13	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
M. Juárez	-	-	-	1	T/Sj	
M. Juárez	-	-	-	1	T/Sj	
M. Juárez	-	-	-	1	T/Sj	
M. Juárez	-	-	-	2	T/Sj	
M. Juárez	-	-	-	2	T/Sj	
M. Juárez	-	-	-	2	T/Sj	
Rafaela	Argiudol Típicos	-	2	9	T/Sj-M	
Rafaela	Argiudol Típicos	-	2	9	T/Sj-M	
Rafaela	Argiudol Típicos	-	2	9	T/Sj-M	

Complejo de suelos: Argiudol Típico –Paleudol Petrocálcico\* Consociado Thaptoárgico. A: avena, G: girasol, M: maíz, T: trigo, Sg: sorgo, Sj: soja, T/Sj: dos cultivos en un año

### PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para cada una de las variables físicas se establecieron comparaciones entre los sistemas de labranza SD y CR. Se utilizó un test de comparación de pares de datos (pair t-test), se determinó para cada una de las variables el efecto del sistema de labranza ( $P < 0.05$ ). Para cada variable se calcularon las diferencias entre sistemas de labranza, y se correlacionaron con la textura de los suelos y los años de duración

del experimento. En los casos en que el análisis del t-test mostró diferencias significativas por sistema de labranza, se establecieron relaciones por regresión lineal para cada una de las variables entre SD (ordenadas) y CR (abcisas). Las regresiones obtenidas se compararon con la línea 1:1. De esta forma cuando los datos quedaron ubicados más cerca de la línea 1:1 significó poco impacto del sistema de labranza, y cuanto más alejados mayor el efecto del sistema de labranza.

### Densidad aparente

Se obtuvieron 20 comparaciones de densidad aparente entre SD y CR (Tabla 2). La densidad aparente promedio bajo SD ( $1.33 \text{ Mg/m}^3$ ) fue mayor respecto de las situaciones bajo CR ( $1.28 \text{ Mg/m}^3$ ), representando en promedio un incremento de un 4% por adopción de este sistema. Los valores máximos y mínimos obtenidos en cada sistema de labranza fueron de  $1.48 - 1.21 \text{ Mg/m}^3$  y  $1.46 - 1.06 \text{ Mg/m}^3$ , para SD y CR, respectivamente. Las diferencias en densidad aparente entre SD y CR no se relacionaron con la duración del experimento, en cambio se relacionaron negativamente con el contenido de arena de los suelos ( $R^2 = 0.33, n = 13, p < 0.05$ ), los suelos más gruesos se compactaron menos bajo SD respecto de los más finos.

La densidad aparente en SD se relacionó estrechamente con la densidad aparente bajo CR (Fig. 2). El ajuste obtenido presentó un valor de ordenada al origen positiva y distinta de cero y pendiente menor a 1, determinando un impacto de la SD diferencial para valores altos o bajos de densidad aparente. Para valores bajos de densidad aparente en CR, el incremento en densidad por adopción de SD fue de hasta un 12%, en tanto para valores mayores a  $1.32 \text{ Mg/m}^3$ , la adopción de SD no tuvo efecto sobre la densidad. Por lo tanto, la adopción de SD, para el promedio de los suelos analizados, tuvo un bajo impacto en la densidad aparente y la magnitud del cambio en densidad dependió de la textura del suelo. Tendiendo a compactarse más los suelos de baja densidad al adoptarse SD, no siendo el efecto tiempo dependiente.

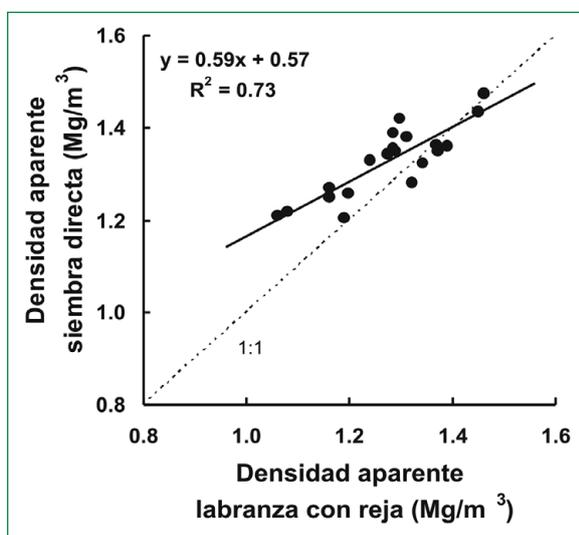


Figura 2. Relación entre densidad aparente bajo SD y bajo CR.

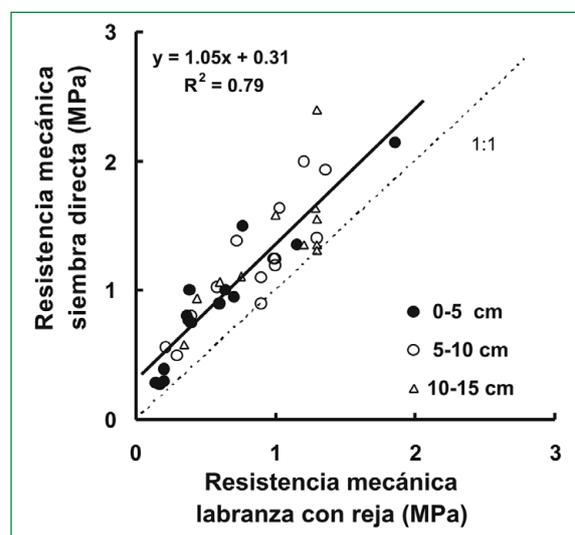


Figura 3. Relación entre la resistencia mecánica bajo SD y CR, para los estratos de suelo de 0-5, 5-10 y 10-15 cm de profundidad.

Tabla 2. Número de comparaciones, valores medios y nivel de significancia del t-test para las variables analizadas.

Variable	Nº de comparaciones	Promedios		Significancia del test de pares de datos
		Siembra directa	Labranza con reja	
Densidad aparente ( $\text{Mg/m}^3$ )	20	1.33	1.28	0.01
Resistencia mecánica de 0-5 cm (Mpa)	13	0.90	0.58	0.01
Resistencia mecánica de 5-10 cm (Mpa)	13	1.21	0.80	0.01
Resistencia mecánica de 10-15 cm (Mpa)	13	1.30	0.97	0.01
Resistencia mecánica de 15-20 cm (Mpa)	13	1.34	1.29	NS
Resistencia mecánica de 20-25cm (Mpa)	11	1.32	1.36	NS
Resistencia mecánica de 25-30 cm (Mpa)	7	1.42	1.66	NS
Resistencia mecánica de 30-35 cm (Mpa)	5	1.28	1.47	NS
Resistencia mecánica de 35-40 cm (Mpa)	5	1.34	1.42	NS
Inestabilidad estructural (mm)	13	1.16	1.78	0.01
Infiltración (mm/h)	27	44.2	30.2	0.01

NS: no significativa

### Resistencia mecánica

Para la variable resistencia mecánica se obtuvieron distintos números de comparaciones de acuerdo al estrato de suelo analizado (Tabla 2). Hasta el estrato de 0-15 cm de profundidad, los suelos bajo SD presentaron mayor resistencia (1.13 MPa) que los suelos bajo labranza (0.79 MPa), en promedio la resistencia mecánica fue 30% mayor en suelos bajo SD respecto de los suelos bajo CR. Los valores máximos y mínimos de ese estrato fueron 2.4-0.27 MPa y 1.86-0.14 MPa para SD y CR, respectivamente. Por debajo de los 15 cm de profundidad, la resistencia mecánica fue similar entre sistemas de labranza (Tabla 2). En ambos manejos, la resistencia mecánica de los suelos aumentó con la profundidad de medición. Las diferencias en resistencia mecánica por efecto de la labranza no se relacionaron ni con los años de experimentación ni con la textura de los suelos. La resistencia mecánica de los estratos 0-5, 5-10 y 10-15 cm, se relacionó estrechamente con la resistencia bajo CR (Fig. 3). La recta de ajuste obtenida se ubicó por arriba y paralela a la línea 1:1, determinando que cada valor de resistencia mecánica bajo CR se corresponda con un valor mayor de resistencia mecánica bajo SD. La función obtenida presentó ordenada positiva y mayor que cero, por lo tanto, el impacto de la SD sobre la resistencia del suelo fue proporcionalmente mayor para las situaciones con menor resistencia mecánica respecto de las de mayor resistencia. Si bien, bajo SD el incremento en la dureza del suelo fue importante, muy pocas situaciones presentaron valores de resistencia mayores al umbral propuesto por la bibliografía (>2 MPa). La SD aumentó la dureza de los suelos, sin embargo por la magnitud de los valores alcanzados no se esperarían importantes efectos negativos sobre el crecimiento de las raíces de los cultivos.

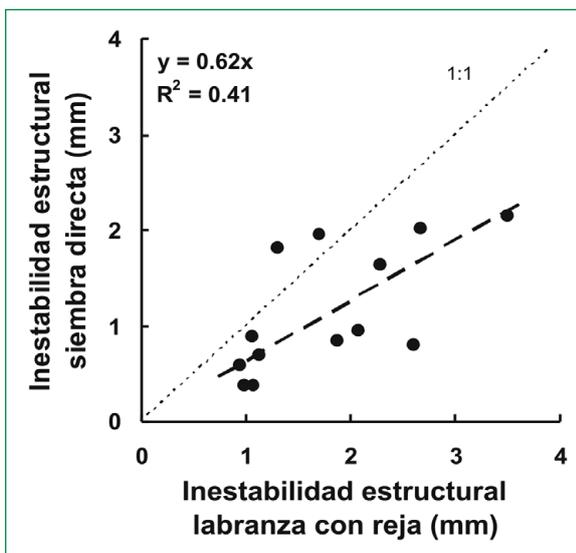


Figura 4. Relación entre la inestabilidad estructural bajo SD y CR.

### Inestabilidad estructural

Se obtuvieron 13 comparaciones de inestabilidad estructural entre SD y CR, donde los suelos bajo SD presentaron en promedio valores de inestabilidad menor, 1.16 mm, respecto de los suelos bajo CR, 1.78 mm (Tabla 2). Los valores máximos y mínimos para SD y CR fueron de 2.15 -0.38 mm y 3.5-0.94 mm respectivamente. La inestabilidad bajo SD se relacionó con la inestabilidad bajo CR, el ajuste obtenido presentó ordenada igual a cero y pendiente menor que 1, determinando que los suelos bajo SD fueran aproximadamente un 40% más estables respecto de las situaciones bajo CR (Fig. 4). Las diferencias en inestabilidad estructural entre CR y SD no se relacionaron con la textura de los suelos, pero si se relacionaron con la duración de los experimentos ( $R^2 = 0.56$ ,  $n=13$   $p < 0.05$ ), cuanto más años bajo SD la inestabilidad de los suelos fue menor. La no disrupción del suelo por labores mecánicas y la acumulación de materia orgánica (Steinbach y Alvarez, 2006) en los estratos superiores son algunas de las causas asociadas a la mayor estabilidad estructural en SD. En consecuencia, bajo SD se incrementa la estabilidad del sistema de poros determinando una mayor resistencia a la erosión y al planchado, y favoreciéndose además el estado hídrico del suelo.

### Infiltración

Se obtuvieron 27 comparaciones para la variable infiltración, el promedio de las cuales mostró que bajo SD la tasa de infiltración fue mayor respecto de la CR (Tabla 2). La relación entre la infiltración bajo SD y CR, indicó que en las situaciones sin labranza la infiltración es aproximadamente un 40% mayor respecto de las situaciones labradas con reja (Fig. 5). No se pudo establecer relaciones con la textura

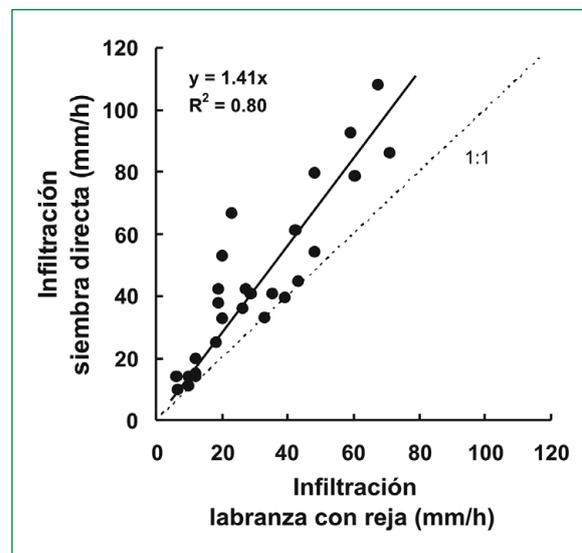


Figura 5. Relación entre la infiltración bajo SD y reja.

del suelo debido a que se contó con pocos sitios de distinto origen para el análisis, en su mayoría fueron de textura fina. Las diferencias en infiltración entre sistemas de labranza se relacionaron positivamente con la duración de los experimentos ( $R^2 = 0.21$ ,  $n = 27$ ,  $p < 0.05$ ). Cuantos más años bajo SD mayor fue el incremento en la tasa de infiltración del suelo. El importante aumento en la tasa de infiltración por adopción de SD, probablemente asociado a la mayor estabilidad del suelo, tendría un efecto positivo tanto por la menor pérdida de suelo debido a un menor escurrimiento superficial, y por la mayor disponibilidad de agua para el crecimiento de los cultivos.

## CONCLUSIONES

La información aquí presentada, muestra que bajo SD la densidad aparente del suelo es mayor respecto de las situaciones labradas, sin embargo, a nivel agronómico, el impacto es bajo especialmente en los suelos de textura más gruesa. En este sentido, la porosidad de los suelos de textura fina se vería levemente disminuida, por adopción de SD y en menor medida aún en los suelos de textura más gruesa. Contrariamente, el impacto sobre la dureza del suelo fue mayor. Bajo SD, los suelos presentaron mayor dureza respecto de los labrados con reja, independientemente de la textura del suelo. Pocas situaciones presentaron valores de resistencia superiores a 2 MPa, por lo que debería investigarse con mayor profundidad en que medida los umbrales críticos propuestos para esta variable son aplicables a los suelos de la región. El aumento en la estabilidad estructural y el incremento en la tasa de infiltración del suelo por adopción de SD fueron agronómicamente significativos (40%), determinando que los suelos bajo este manejo sean menos susceptibles a la erosión hídrica y "planchado" y, en consecuencia, puedan almacenar mayor cantidad de agua para los cultivos.

## AGRADECIMIENTO:

Este trabajo fue subsidiado por la Universidad de Buenos Aires (UBACyT G004) y CONICET (PIP 02050).

## BIBLIOGRAFÍA

- AAPRESID. 2006. Asociación Argentina de Productores en SD. [www.aapresid.org.ar](http://www.aapresid.org.ar).
- Alvarez R. y H.S. Steinbach. 2006. Manejo agronómico y disponibilidad de nitrógeno en el suelo, Capítulo 11. En: *Materia Orgánica: valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Editor: Roberto Alvarez. Editorial Facultad de Agronomía, UBA. Pág. 137-164.
- Buschiazio D.E., J.L. Panigatti y P.W.Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49: 105-116.
- Díaz Zorita M., G.A. Duarte y J.H. Grove. 2002. A review of no till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65: 1-18.
- Ferreras L.A., J.L. Costa, F.O. García y 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.
- Glinski J. y J. Lipiec. 1990. *Soil Physical conditions and plant roots*. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 250 pp.
- Gupta S.C. y R.R. Allmaras. 1987. Models to asses the susceptibility of soils to excessive compaction. *Adv. Soil Sci.* 6: 65-100
- Jones C.A. 1983. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47. 1208-1211.
- Steinbach H.S. y R. Alvarez. 2006. Changes in Soil Organic Carbon Contents and Nitrous Oxide Emissions after Introduction of No Till in Pampean Agroecosystems. *J Environ Qual.* 35:3-13
- Wischmeier W.H. y D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA, *Supersedes Agriculture Handbook 282*, USA, pág 58. 

## Suscripción



Si Ud. desea recibir Informaciones Agronómicas del Cono Sur, por favor complete el cupón y envíelo por correo, fax o correo electrónico a:

IPNI Cono Sur, Av. Santa Fe 910, (B1641ABO) Acassuso, Argentina

Tel./Fax: (54) 011-4798-9939 Correo Electrónico: [lpisauri@ipni.net](mailto:lpisauri@ipni.net)

Nombre y Apellido: .....

Institución o Empresa: .....

Principal Actividad: .....

Calle: ..... Nro.: ..... C.Postal: .....

Localidad: ..... Provincia: .....

E-mail: ..... Teléfono: .....

¡MUCHAS GRACIAS!