

**ARTICULO CORTO**Sociedad Colombiana  
de la Ciencia del Suelo**ANISOTROPÍA DEL MOVIMIENTO DEL AGUA EN  
SUELOS BAJO SIEMBRA DIRECTA DE ARGENTINA****Luis Alberto Lozano** ✉, **Juan Agustín Oderiz**, **C. Germán Soracco**

Área de Física Aplicada  
Facultad de Ciencias Agrarias y  
Forestales  
Universidad Nacional de La Plata  
Ciltes 60 y 119, (1900)  
La Plata, Buenos Aires, Argentina

✉:

[lozanoluisalberto@yahoo.com.ar](mailto:lozanoluisalberto@yahoo.com.ar)**Palabras claves:**

Conductividad hidráulica  
Estructura laminar  
Anisotropía  
Textura  
Porosidad

**RESUMEN**

*La superficie mundial bajo siembra directa (SD) se ha incrementado en los últimos años. Actualmente ocupa alrededor de 1.000.000 de km<sup>2</sup> con la mitad de esta área ubicada en Sudamérica. En Argentina, 250.000 km<sup>2</sup> (alrededor del 70% del área total cultivada) están bajo SD. La aplicación masiva de este sistema de manejo del suelo fue llevada a cabo sin evaluar cuidadosamente su impacto en las propiedades físicas del suelo. Algunos autores reportaron desarrollo de estructura laminar bajo SD, lo cual es un potencial impedimento para la entrada de agua. La anisotropía de la conductividad hidráulica saturada (Ks) se debe generalmente a la estructura del suelo, que puede presentar un patrón de macroporos con un sesgo direccional. En el presente trabajo, se estudió la estructura y la anisotropía en la Ks de tres suelos de la región pampeana argentina de diferentes texturas bajo SD. El suelo franco y el suelo franco limoso presentaron estructura laminar en los primeros 10 cm del suelo, con una Ks vertical (Ksv) cinco veces menor a la Ks horizontal (Ksh). El suelo franco arenoso presentó estructura en bloques, con Ksv mayor a la Ksh. Este suelo tuvo la mayor Ksv entre los suelos estudiados. Los resultados mostraron que los efectos de la SD sobre la estructura del suelo y las propiedades hidráulicas relacionadas dependen de la textura del mismo, y que el suelo franco arenoso alcanzó mejores condiciones que los suelos más finos, bajo SD.*

**ANISOTROPY OF WATER MOVEMENT IN SOILS UNDER NO TILLAGE MANAGEMENT IN ARGENTINA****Keywords:**

Hydraulic conductivity  
Platy structure Anisotropy  
Texture  
Porosity

**SUELOS ECUATORIALES**  
42 (1): 35-39

ISSN 0562-5351

**ABSTRACT**

*Worldwide, no tillage (SD) area has been increasing continuously in the last few years. Currently this soil management system occupies 1,000,000 km<sup>2</sup> of the global area with one-half of it located in South America. In Argentina, 250,000 km<sup>2</sup> (about 70% of the entire cultivated area of the country) is under SD. The massive application of this management practice was carried out without carefully evaluating its impacts on soils. Surface laminar structure, a potential impediment for water entry into soils, has been reported in soils under SD by some authors. Anisotropy of saturated hydraulic conductivity (Ks) is generally due to the structure of the soil, which may be laminar or platy thus exhibiting a pattern of macropores with a distinct directional bias. Some authors have studied Ks anisotropy in soils with different results. In this research, we studied Ks anisotropy and structure of 3 different textured soils from pampas region, Argentina, under SD. The loam and the silty loam soil presented laminar structure in the first 10 cm with Ks vertical (Ksv) 5 times lower than Ks horizontal (Ksh). The sandy loam soil presented blocky structure, with higher Ksv than Ksh. This soil had the highest Ksv value. The results showed that SD system effects on soil structure and related hydraulic properties depends on soil texture, and that the sandy loam soil reached better conditions than the silty and the silty loam soils, under this system.*

Recibido: Diciembre 2011

Revisado: Febrero 2012

Aceptado: Abril 2012

## INTRODUCCIÓN

La superficie agrícola manejada bajo siembra directa (SD) en el mundo se ha incrementado en los últimos años, llegando en la actualidad a 1000000 km<sup>2</sup>. La mitad de esta área se encuentra en Sudamérica. En Argentina, 250000 km<sup>2</sup> (alrededor del 70% del área cultivada total) están bajo SD (Kassam *et al.* 2009). Así como en otras regiones templadas del mundo, el reemplazo de la labranza convencional (LC) por SD, ha resultado en un mejor control de la erosión, conservación del agua, y ciclado de nutrientes, ahorro de tiempo, reducción en el uso de combustibles fósiles, y un incremento en el secuestro de C (Díaz-Zorita *et al.* 2002, Strudley *et al.* 2008, Álvarez *et al.* 2009). Aunque, en Argentina, las principales razones para la amplia adopción de este sistema fueron de orden comercial y económico.

En nuestro país, la masiva adopción de este sistema se llevó a cabo sin una evaluación cuidadosa de sus efectos sobre las propiedades físicas del suelo. Los resultados de los estudios que se han realizado sobre el efecto de la SD no siempre fueron consistentes entre lugares, suelos, y diseños experimentales (Green *et al.* 2003, Strudley *et al.* 2008). Si bien existe un consenso generalizado de que la SD continua produce modificaciones en el sistema poroso del suelo, no existe el mismo nivel de acuerdo sobre qué sentido tienen estas modificaciones.

Algunas investigaciones en Argentina encontraron una menor porosidad total y mayor densidad aparente (DA) bajo SD (Ferrerías *et al.* 2000, Elissondo *et al.* 2001, Díaz-Zorita *et al.* 2002, Fabrizzi *et al.* 2005, Costantini *et al.* 2006, Sasal *et al.* 2006). La compactación asociada con la SD produce una reconfiguración del sistema poroso (Horton *et al.* 1994, Strudley *et al.* 2008). Strudley *et al.* (2008), en una revisión de los efectos de los sistemas de labranza sobre las propiedades hidráulicas del suelo, concluyeron que la SD incrementaría la conectividad de los macroporos. Otros autores, sin embargo, encontraron que la SD genera una estructura laminar del suelo en los primeros cm, con una conectividad preferencial de macroporos en dirección horizontal (Ball y Robertson 1994, Drees *et al.* 1994, Bonel *et al.* 2005, Sasal *et al.* 2006, Soracco *et al.* 2010). Esta conectividad preferencial en dirección horizontal produce una menor infiltración (Sasal *et al.* 2006, Álvarez *et al.* 2009, Soracco *et al.* 2010).

Una forma de medir la conectividad preferencial del sistema poroso es determinar la conductividad hidráulica saturada (Ks) en muestras indisturbadas extraídas en dirección vertical y horizontal (Soracco *et al.* 2010). En general, se asume que el desarrollo de este tipo de estructuras bajo SD depende de la textura del suelo, en particular del contenido de limo. Díaz-

Zorita y Grosso (2000) concluyeron que suelos con alto contenido de limo deberían tener alto contenido de carbono orgánico para adaptarse a SD continua sin riesgo de compactación superficial. La hipótesis de este trabajo fue que la anisotropía de la Ks depende de la textura del suelo.

Los objetivos de este trabajo fueron medir la DA y la Ks vertical y horizontal de suelos de distinta textura de la región pampeana argentina, para determinar el efecto de este sistema de manejo sobre la configuración del sistema poroso superficial del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en tres suelos de la región pampeana bajo SD con diferentes texturas. El sitio 1 se encuentra localizado a los 34°18' latitud S, 59°56' longitud O. El suelo en este sitio es un Argiudol típico (USDA 2006), con un horizonte A de textura franco limosa con 23% de arcilla, y 64% de limo (35% limo fino, 2-20 µm), y un contenido de materia orgánica de 40 g kg<sup>-1</sup>. El sitio 2 se encuentra a los 35°14' latitud S, 59° 11' longitud O. El suelo fue clasificado como Argiudol típico (USDA 2006), con un horizonte A de textura franca con 20% de arcilla, y 48% de limo (21% limo fino, 2-20 µm), y un contenido de materia orgánica de 51 g kg<sup>-1</sup>. El sitio 3 se encuentra a los 35° 18' latitud S, 59° 35' longitud O. El suelo fue clasificado como Hapludol éntico (USDA 2006), con un horizonte A de textura franco arenosa con 10% de arcilla, y 19% de limo (9% limo fino, 2-20 µm), y un contenido de materia orgánica de 27 g kg<sup>-1</sup>.

Los contenidos de materia orgánica son los medidos al momento del muestreo. La mineralogía superficial de estos suelos está principalmente compuesta de illita en la fracción arcilla (0-2 µm) y de fitolitos en la fracción de limos finos (2-20 µm) (Taboada *et al.* 1998).

Los fitolitos son cuerpos mineralizados o silicificados integrantes de los tejidos orgánicos de origen vegetal y junto con otros biolitos y vidrios volcánicos, con los que coinciden en tamaño, dominan la fracción mineral de menor densidad del suelo y están presentes ampliamente en la región pampeana. Las formas de fitolitos de gramíneas más comunes en los suelos se caracterizan por poseer bordes biselados, aristas agudas y puntas finas, formando bastoncillos alargados e irregulares, agujas, esferas, etc., que serían las responsables, junto con los otros minerales de baja densidad (vidrios volcánicos), de conferir al suelo una elevada porosidad textural de tipo lacunar, debido al ensamblaje del esqueleto con la arcilla (Cosentino y Pecorari 2002). Estos limos finos confieren al suelo una mayor fragilidad estructural.

El clima en la región estudiada es templado (raramente la temperatura es menor a 0°C), y la precipitación anual es de aproximadamente 1000 mm.

Los 3 sitios estaban bajo SD por más de 5 años al momento del muestreo, y con la misma rotación de cultivos de 3 años de duración: 1° año: maíz, 2° año: soja, 3° año: trigo-soja de segunda (dos cultivos en el mismo año). En los 3 sitios las malezas fueron controladas con herbicidas, y la siembra y cosecha de los cultivos fue mecanizada. Previo a la implementación de la SD los 3 sitios habían sido manejados con LC, cuyo manejo implica la preparación del terreno con un arado de rejas y vertedera, seguido de una labor con rastra de discos y dientes, con la misma rotación de cultivos.

En cada sitio se determinó visualmente la estructura del horizonte A. En los 3 sitios se extrajeron muestras indisturbadas (diámetro: 5 cm, alto: 5 cm) en los primeros 10 cm de suelo, en dirección vertical y horizontal, durante el barbecho del segundo año de rotación (5 muestras por orientación y por sitio, un total de 30 muestras). Los lugares de muestreo fueron elegidos al azar, evitando huellas visibles. Sobre estas muestras se determinó la  $K_s$  usando el método de la carga constante (Klute y Dirksen 1986). Se calculó la anisotropía como la relación entre la  $K_s$  vertical ( $K_{sv}$ ) y la  $K_s$  horizontal ( $K_{sh}$ ). Sobre las mismas muestras se determinó la DA usando el método gravimétrico (Blake y Hartge 1986), para lo cual se las llevó a peso seco en estufa (105°C, 24 h).

Para determinar si la orientación de muestreo afectaba la  $K_s$ , se utilizó el test de medias LSD ( $P=0.05$ ) con dirección de muestreo como factor, para cada sitio por separado. Se llevaron a cabo dos Análisis de la Varianza (Sokal y Rohlf 1995), con clase textural como factor, para determinar el efecto de la misma sobre los valores de DA y de  $K_s$  vertical. Los análisis se realizaron sobre los logaritmos de los valores de  $K_s$  ya que la distribución de frecuencia fue log-normal, lo cual es usual para esta propiedad (Bagarello *et al.* 2006). La DA estaba normalmente distribuida, por lo cual no se realizaron transformaciones sobre esta propiedad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La observación de la estructura superficial del suelo reveló la presencia de estructura laminar en el sitio 1 y 2, mientras que en el sitio 3 la estructura fue en bloques en los primeros 10 cm (Figura 1). Esto está de acuerdo con lo reportado previamente por varios autores (De Battista *et al.* 2005, Sasal *et al.* 2006 Soracco *et al.* 2010). Sin embargo, estos autores encontraron desarrollo de estructura laminar en suelos franco limosos, con contenidos de limo de 60% o más. En este trabajo encontramos desarrollo de estructura

laminar en un suelo franco (sitio 2), con contenido de limo de menos de 50%. Este resultado es importante ya que indica que el problema del desarrollo de este tipo de estructura no se circunscribe solo a los suelos de mayor contenido de limo. Sin embargo, debe destacarse el alto contenido de limo fino de este suelo (21%).

En los suelos de la región pampeana se ha reportado que los limos finos son principalmente fitolitos, que confieren al suelo de porosidad lacunar y fragilidad estructural (Cosentino y Pecorari 1992). En futuros estudios acerca del efecto de la SD sobre la estructura del suelo el contenido de limos finos y la mineralogía deberían ser tenidos en cuenta para arribar a conclusiones más abarcadoras del problema.



Figura 1. Fotografías de agregados de los primeros 10 cm de cada suelo. En el sitio 1 y 2 es evidente la estructura laminar. En la fotografía del sitio 1 la longitud del marco es de 70 mm x 24 mm.

La  $K_s$  fue anisotrópica en los 3 sitios (Tabla 1). La  $K_{sv}$  fue menor que la  $K_{sh}$  en los dos sitios con estructura laminar, lo cual está de acuerdo con previos reportes (Sasal *et al.* 2006, Soracco *et al.* 2008, Soracco *et al.* 2010). Esto reviste un problema para la fertilidad física del suelo, ya que esta mayor conectividad de poros en dirección horizontal determina una menor tasa de infiltración (Sasal *et al.* 2006, Álvarez *et al.* 2009, Soracco *et al.* 2010).

En el sitio 3, con una estructura superficial en bloques, la  $K_{sv}$  fue mayor a la  $K_{sh}$ . Esta diferencia se puede atribuir a la presencia de bioporos verticales, producto de la actividad de la fauna edáfica y de la descomposición de raíces. En este sitio se observó abundante presencia de fauna edáfica y la presencia de bioporos verticales. Los mismos son muy importantes para movimiento del agua, su entrada, y la aireación del perfil. Al comparar la  $K_{sv}$  entre sitios, la misma fue alrededor de 10 veces mayor en el sitio 3.

Si bien no se midió infiltración a campo en este trabajo, reportes previos indicaron que suelos con menor  $K_{sv}$  en laboratorio tienen menores tasas de infiltración (Soracco *et al.* 2010). Esto indica que el suelo franco arenoso fue el que alcanzó mejor condición física bajo SD, lo cual está de acuerdo con lo reportado por Díaz-Zorita y Grosso (2000), quienes enfatizaron que la SD se adapta mejor en estos suelos. El comportamiento diferencial del sitio 3 puede deberse al menor contenido de limo fino, y mayor contenido de arena, lo cual le otorga una mayor aireación y mayor estabilidad estructural. Así mismo las diferencias entre los tres sitios pueden deberse a la

Tabla 1. Textura, Estructura, DA ( $\text{g cm}^{-3}$ , media±desvío estándar), Ksv y Ksh ( $\text{cm h}^{-1}$ , media±desvío estándar), y relación entre Ksv y Ksh (Anisotropía), por sitio.

Sitio	Textura	Estructura	DA	Ksv	Ksh	Anisotropía
1	Franco limoso	laminar	1.17±0.08b	0.93±0.36b	5.96±2.81	0.16 s
2	Franco	laminar	1.26±0.10a	0.34±0.08c	1.92±0.67	0.18 s
3	Franco arenoso	bloques	1.25±0.07a	9.53±2.08a	3.25±1.19	2.93 s

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre sitios para esa propiedad. En anisotropía, s significa diferencias significativas entre Ksv y Ksh (test LSD,  $P=0.05$ ).

condición del suelo al momento de iniciar la SD. Sin embargo, los tres sitios estaban bajo el mismo manejo, y con la misma rotación de cultivos bajo LC.

La DA fue menor en el suelo franco limoso (Tabla 1). Esto indica que este suelo tiene una mayor porosidad total. Sin embargo, esto no determinó una mayor Ksv, lo cual demuestra la importancia de medir otras propiedades que incluyan la conectividad y funcionalidad del sistema poroso, como la anisotropía en la Ks (Sasal *et al.* 2006, Soracco *et al.* 2010). En este sentido, Dörner y Horn (2009) concluyeron que los cambios en la geometría y la continuidad del sistema poroso no se limitan a modificaciones del volumen de poros, sino que pueden producir anisotropía en la Ks y la permeabilidad al aire, lo cual está de acuerdo con lo hallado en este trabajo.

Alaoui *et al.* (2011) indicaron que la DA, como indicador de la compactación del suelo, no da información de cambios en la distribución de tamaño de poros, su conectividad, y que por lo tanto su utilidad para caracterizar los efectos de la compactación en la conducción y almacenaje de agua es baja. Por esta razón la DA sola no es siempre un indicador sensible de los efectos de la compactación del suelo sobre las propiedades de transporte del mismo (Horn *et al.* 2003).

Los resultados encontrados son relevantes, ya que aportan información acerca de las modificaciones generadas por la SD en el sistema poroso del suelo y las propiedades físicas asociadas, y su relación con la textura del mismo.

## REFERENCIAS

- ALAOUI A, LIPIEC J, GERKE HH (2011) A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: A hydrodynamic perspective. *Soil Till. Res.* 115-116: 1-15.
- ÁLVAREZ CR, TABOADA MA, GUTIÉRREZ BOEM FH, BONO A, FERNANDEZ PL, PRYSTUPA P (2009) Topsoil Properties as Affected by Tillage Systems in the Rolling Pampa Region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 1242-1250.
- BAGARELLO V, ELRICK DE, IOVINO M, SGROI A (2006) A laboratory analysis of falling head infiltration procedures for estimating hydraulic conductivity of soils. *Geoderma* 135: 322-334.
- BALL BC, ROBERTSON EAG (1994) Effects of soil water hysteresis and the direction of sampling on aeration and pore function in relation to soil compaction and tillage. *Soil Till. Res.* 32: 51-60.
- BONEL BA, MORRÁS HJM, BISARO V (2005) Modificaciones de la microestructura y la materia orgánica en un Argiudol bajo distintas condiciones de cultivo y conservación. *Ci. Suelo* 23: 1-12.
- BLAKE GR, HARTGE KH (1986) Bulk density. En: *Methods of Soil Analysis, Part 1*, 363-376 pp. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph N° 9. Segunda edición.
- COSENTINO DJ, PECORARI C (2002) Limos de baja densidad: impacto sobre el comportamiento físico de los suelos de la región pampeana. *Ciencia del suelo (Argentina)* 20(1): 9-16.
- COSTANTINI A, DE-POLLI H, GALARZA C, PEREYRA ROSSIELLO R, ROMANIUK R (2006) Total and mineralizable soil carbon as affected by tillage in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 88: 274-278
- DE BATTISTA JJ, PECORARI C, ALBRECHT R (2005) Evaluación del estado estructural de suelos con agricultura continua en siembra directa. INTA, EEA Rafaela. Información técnica N° 205. 12 páginas.
- DÍAZ-ZORITA M, GROSSO GA (2000) Effect of soil texture, organic carbon and water retention on the compactability of soils from the Argentinean pampas. *Soil Till. Res.* 54: 121-126.
- DÍAZ-ZORITA M, DUARTE GA, GROVE JH (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
- DÖRNER J, HORN R (2009) Direction-dependent behaviour of hydraulic and mechanical properties in structured soils under conventional and conservation tillage. *Soil Till. Res.* 102: 225-232.
- DREES LR, KARATHANASIS AD, WILDING LP, BLEVINS RL (1994) Micromorphological Characteristics of Long-Term No-Till and Conventionally Tilled Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 508-517.
- ELISSONDO E, COSTA JL, SUERO E, FABRIZZI KP, GARCÍA F (2001) Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. *Ci. Suelo* 19: 11-19
- FABRIZZI KP, GARCÍA FO, COSTA JL, PICONE LI (2005) Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage

- systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81: 57-69
- FERRERAS LA, COSTA JL, GARCIA FO, PECORARI C (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
- GREEN TR, AHUJA LR, BENJAMIN JG (2003) Advances and challenges in predicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. *Geoderma* 116: 3-27.
- HORN R, WAY T, ROSTEK J (2003) Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. *Soil Till. Res.* 73: 101-106.
- HORTON R, ANKENY MD, ALLMARAS RR (1994) Effects of compaction on soil hydraulic properties, 141-165 pp. En: SOANE BD, OUWERKERK C (eds). *Soil compaction in crop production*. Elsevier, Amsterdam.
- KASSAM A, FRIEDRICH T, SHAXSON F, PRETTY J (2009) The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agr. Sustain.* 7: 292-320.
- KLUTE A, DIRKSEN C (1986) Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. En: *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph no. 9. ASA-SSSA, Madison, USA.
- SASAL MC, ANDRIULO AE, TABOADA MA (2006) Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 87, 9-18.
- SOKAL RR, ROHLF FJ (1995) *Biometry*. Ed. Freeman. 887 pp.
- SORACCO CG, LOZANO LA, SARLI GO, FILGUEIRA RR (2008) Anisotropía en la porosidad del suelo en siembra directa. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 107: 1-6.
- SORACCO CG, LOZANO LA, SARLI GO, GELATI PR, FILGUEIRA RR (2010) Anisotropy of Saturated Hydraulic Conductivity in a soil under conservation and no-till treatments. *Soil Till. Res.* 109: 18-22.
- STRUDLEY MW, GREEN TR, ASCOUGH II CA (2008) Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil Till. Res.* 99: 4-48.
- TABOADA MA, MICUCCI FG, COSENTINO DJ, LAVADO RS (1998) Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.* 49: 57-63.
- USDA (2006) *Keys to soil taxonomy*. 10th ed. 332 pp. USA.