

## Anisotropía en la porosidad de un suelo franco limoso bajo siembra directa continua

C. Germán Soracco<sup>1,2</sup>, Luis A. Lozano<sup>1</sup>, Pablo R. Gelati<sup>1</sup>, Guillermo O. Sarli<sup>1</sup>, Roberto R. Filgueira<sup>1,2</sup>

1: CISSAF, Física Aplicada, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Calles 60 y 119, 1900 La Plata, Argentina. E-mail: [fisica@agro.unlp.edu.ar](mailto:fisica@agro.unlp.edu.ar), 2: CONICET

Soracco, C. Germán, Luis A. Lozano, Pablo R. Gelati, Guillermo O. Sarli, Roberto R. Filgueira (2008) Anisotropía en la porosidad de un suelo franco limoso bajo siembra directa continua. Rev.Fac.Agron.\_Vol 107 (1): 1- 6.

La superficie bajo siembra directa (SD) se incrementa continuamente en la Republica Argentina. Existen trabajos que muestran una orientación preferencial de los poros en sentido horizontal cerca de la superficie de suelos bajo SD. El objetivo específico de este trabajo fue evaluar la conductividad hidráulica saturada del horizonte superficial en sentido vertical y horizontal en SD continua con descompactación (SDCD) respecto de un testigo de SD sin descompactación (SDSD) para determinar la existencia de una orientación preferencial de los poros. El suelo donde se realizó el ensayo es un Argiudol típico de la Pampa Ondulada y la textura del horizonte superficial es franco-limoso. Los lotes estudiados tienen una historia de siete años bajo siembra directa. Los muestreos se realizaron al final del ciclo productivo de soja (Julio). Se planteó un diseño experimental completamente al azar, con los tratamientos SDSD y SDCD. Se determinó la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) en laboratorio y la densidad aparente en ambos tratamientos. La densidad aparente resultó significativamente mayor en el tratamiento SDCD. En ambos tratamientos los valores de  $K_{sat}$  fueron significativamente mayores en las muestras extraídas en sentido horizontal respecto de aquellas extraídas en sentido vertical. En SDSD los valores fueron  $192,8 \text{ mm.h}^{-1}$  y  $7,0 \text{ mm.h}^{-1}$ , para muestras horizontales y verticales respectivamente, mientras que en SDCD fueron  $145,5 \text{ mm.h}^{-1}$  y  $6,7 \text{ mm.h}^{-1}$ , respectivamente. No hubo diferencias significativas entre tratamientos para muestras extraídas en el mismo sentido. Esto nos permite afirmar que en el suelo estudiado existe una orientación preferencial de los poros en sentido horizontal cerca de la superficie bajo SD continua, y que el laboreo de descompactación no modificó dicha orientación. El laboreo de descompactación produjo, al final del ciclo, un aumento significativo de la densidad aparente.

**PALABRAS CLAVE:** conductividad hidráulica, densidad aparente, descompactación, ley de Darcy, porosidad, suelo limoso.

Soracco, C. Germán, Luis A. Lozano, Pablo R. Gelati, Guillermo O. Sarli, Roberto R. Filgueira (2008) Anisotropy of the porosity in a silty loam soil under continuous no tillage management. Rev.Fac.Agron.\_Vol 107 (1): 1- 6

The area under no tillage (NT) management increases continuously in Argentina. In some papers have been reported a preferential orientation of the soil pores in horizontal direction near the surface under NT.

The aim of this work was to evaluate the saturated hydraulic conductivity ( $K_{sat}$ ) of the superficial layer in vertical and horizontal direction in NT, with and without loosening practices, in order to determine the existence of a preferential orientation of the porous system. The studied plots had a seven years history under NT. A total randomized design with two treatments was used; NT with and without soil loosening practices (NT and NTLP, respectively).  $K_{sat}$  was determined in laboratory. Additionally, bulk density was measured.

The  $K_{sat}$  was significantly higher in the samples extracted in horizontal direction than those extracted in vertical direction in both treatments ( $192.8 \text{ mm h}^{-1}$  and  $7.0 \text{ mm h}^{-1}$ , respectively, for NT and  $145.5 \text{ mm h}^{-1}$  and  $6.7 \text{ mm h}^{-1}$  for NTLP). There were no significant differences between treatments for samples extracted in the same direction. This allows us to conclude that in the studied soil under NT a preferential orientation of pores exists in horizontal direction near to the surface, and that the soil loosening practices did not modify the above mentioned orientation.

---

Recibido: 27/11/2007

Aceptado: 25/09/2008

ISSN 0041-8676, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

The presence of a laminar structure was observed in the field in both treatments, which relates directly to the preferential orientation of the pores. The bulk density was significantly higher in the treatment NTLP.

**KEY WORDS:** hydraulic conductivity, bulk density, soil loosening, Darcy's law, porosity, silty loam soils.

## INTRODUCCIÓN

La siembra directa (SD) ocupa en la actualidad alrededor del 70% de la superficie agrícola de la Argentina (AAPRESID, 2006). El comportamiento físico y mecánico de los suelos limosos de clima húmedo ha sido estudiado por varios autores (Voorhees & Lindstrom, 1984; Alakukku, 1998; Topp *et al.*, 2002). Este tipo de suelos predomina en la Pampa Ondulada Argentina. En general, se caracterizan por su susceptibilidad a compactarse y a formar estructura masiva y homogénea. En sitios con larga historia agrícola, se asocian con bajos contenidos de materia orgánica, pobre estabilidad de agregados y reducida capacidad de infiltración.

Las características mineralógicas de estos suelos impiden la regeneración de estructuras degradadas bajo SD continua (Taboada *et al.*, 1998; Sasal *et al.*, 2006). Ni los medios abióticos (expansión-contracción) ni los biológicos (lombrices, raíces) han probado ser efectivos en dicho proceso.

En cuanto a la infiltración, existen diversos estudios que han investigado esta propiedad en suelos bajo SD, dando resultados disímiles. Hay varios estudios que acuerdan que hay mayor tasa de infiltración en suelos bajo SD (Chang & Lindwall, 1992; Benjamin, 1993; Baumhart & Lescano, 1996; Quiroga *et al.*, 1998; Fontanetto & Keller, 1998). En suelos de texturas limosas Horne *et al.* (1992) encontraron, por el contrario, menor tasa de infiltración en siembra directa comparada con labranza mínima y convencional. Esta propiedad también ha sido estudiada en suelos bajo SD de la Pampa Ondulada, existiendo informes de menor infiltración bajo este sistema (Sasal *et al.*, 2006), mientras que existen investigaciones que informan mayor tasa de infiltración en SD para sitios ubicados en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y San Luis (Steinbach & Álvarez, 2007).

En lo que hace a la porosidad, existen varias investigaciones sobre esta propiedad en suelos bajo SD. Algunos investigadores hallaron mayor cantidad de bioporos en sentido vertical en SD, resultado del crecimiento de raíces y la actividad de la fauna. Estos bioporos serían más estables, menos tortuosos y más continuos que los creados bajo labranza (Lal & Vandores, 1990; Gil, 1998; Tebrugge & Abelsova, 1999; Hubbard *et al.*, 2001). Sin embargo otros estudios contradicen lo antedicho. Carter & Kunelius (1986) encontraron similar macroporosidad en SD que bajo labranza convencional, mientras que Douglas *et al.* (1980) y Singh *et al.* (1996) hallaron menor volumen de macroporos en SD respecto a labranza convencional. Asimismo hay estudios que muestran menor macroporosidad bajo SD en suelos de la Región Pampeana (Sasal *et al.*, 2006). Steinbach & Alvarez (2007), en concordancia, determinaron mayor densidad aparente para suelos de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y San Luis bajo SD.

Algunos autores informan la observación a campo de estructura laminar superficial, con agregados delgados y planos orientados en paralelo a la superficie del suelo, bajo siembra directa continua (Andriulo & Rosell, 1988; Senigagliaesi & Ferrari, 1993), lo que estaría directamente relacionado con modificaciones en las propiedades hidráulicas de estos suelos respecto a suelos con manejos alternativos.

En cuanto a la orientación de los macroporos, existen trabajos en los que se encontró una orientación preferencial en sentido horizontal de los mismos cerca de la superficie en suelos bajo SD continua, lo que se relacionaría directamente con la estructura laminar que se reporta en suelos bajo SD continua (Ball & Robertson, 1994; Sasal *et al.*, 2006). Ball & Robertson (1994) estudiaron la orientación de poros del estrato superficial utilizando difusión de gases radiactivos. Midiendo difusividad en los dos ejes, vertical y horizontal. Así llegaron a la conclusión de que existe una orientación preferencial de los poros en sentido horizontal en el estrato superficial en suelos bajo SD continua. Sasal *et al.* (2006) estudiaron lo mismo midiendo retención hídrica a diferentes tensiones en la mesa de tensión a muestras extraídas en los dos ejes en el estrato superficial. Llegaron a la conclusión de que existe una orientación preferencial de los macroporos en sentido horizontal en el estrato superficial de suelos bajo SD. En ambos trabajos no se reportan medidas de conductividad hidráulica. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la SD continua, con y sin descompactación, sobre la orientación del sistema poroso, utilizando la medición de conductividad hidráulica saturada. Adicionalmente, se discute sobre la metodología más adecuada para evaluar dicha orientación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del experimento

El ensayo se realizó en el establecimiento agropecuario "La Fé". Dicho establecimiento está ubicado en las cercanías de la localidad de San Antonio de Areco. El área estudiada se encuentra a los 34° 18' 10" Latitud Sur y 59° 56' 58" Longitud Oeste. Los lotes ensayados tienen una historia de 7 años bajo siembra directa.

Al momento del muestreo (Julio del 2007) se había sembrado trigo, el cual aún no había emergido. El cultivo antecesor fue soja, implantada el año anterior, y antes de ésta se había sembrado maíz.

### Suelo

El suelo estudiado es un Argiudol típico (US Soil Taxonomy), perteneciente a la serie Río Tala (INTA carta de suelos, 1973). La textura del mismo en la profundidad estudiada (0-15 cm) es franco limosa.

El contenido medio de Materia Orgánica en la profundidad estudiada no difiere entre los tratamientos presentes y es de 40 g kg<sup>-1</sup>. Al momento del muestreo

se observó en el suelo estudiado una estructura laminar en los primeros 15 cm de profundidad.

### Equipos Utilizados

El sistema utilizado para remover el suelo en las parcelas de SDCD fue un descompactador de montantes curvos (designación comercial "cultivie"), con dos planos de acción distanciados a 0,6 m, montantes dispuestos en forma convergente, con un distanciamiento entre puntos de vinculación al bastidor de 0,88 m en el plano delantero, determinando una separación de 0,55 m entre órganos activos. En el plano trasero, la distancia entre los puntos de vinculación al bastidor fue de 1,88 m, determinando una separación entre órganos activos de 1,6 m. El despeje del implemento fue de 0,85 m, encontrándose equipado con cuchillas de corte de residuos por delante de la línea de acción de los órganos activos. La profundidad de trabajo efectiva es de entre 0,25 – 0,30 m.

Las muestras para medir conductividad hidráulica en laboratorio fueron extraídas con cilindros de PVC de 5,88 cm de diámetro por 15 cm de largo, en sentido vertical y horizontal, en el estrato superficial.

Se utilizaron cilindros de acero inoxidable de 10 cm de largo y 7,4 cm de diámetro interno para extraer las muestras con las que se determinó densidad aparente.

### Diseño

Se planteó un diseño experimental completamente al azar, con dos tratamientos: siembra directa con laboreo de descompactación (SDCD) y un testigo consistente en siembra directa sin laboreo de descompactación (SDSD). El tratamiento SDCD fue descompactado en el mes de Septiembre de cada año, a partir de 2004. Las parcelas miden 8 metros de ancho por 25 metros de largo. Dichas parcelas se encuentran próximas en el espacio y en la misma posición del paisaje. Los sitios de extracción de muestras se escogieron al azar dentro de cada una de las parcelas. Se seleccionaron 12 sitios donde se extrajeron muestras inalteradas en sentido horizontal y vertical para la determinación de conductividad hidráulica en el laboratorio. De cada parcela se escogieron tres sitios adicionales para la extracción de muestras para determinar densidad aparente.

### Procedimiento de extracción de muestras y determinación de conductividad hidráulica

Cada cilindro fue cubierto en su cara interna por una capa delgada de grasa de litio previo a la extracción con el fin de facilitar la penetración en el suelo, y asegurar posteriormente que el flujo se diera únicamente por el espacio poroso de la muestra y no entre ésta y la cara del cilindro. Se extrajeron 24 cilindros para cada tratamiento, de los cuales 12 se extrajeron en sentido horizontal y 12 en sentido vertical. La ubicación de los sitios de los cuales se extrajeron las muestras dentro de cada tratamiento fue elegida al azar. Para extraer las muestras verticales se procedió de la siguiente forma: una vez elegido el sitio de extracción se limpió la superficie de material vegetal y se introdujo el cilindro con sumo cuidado, hasta aproximadamente la mitad de su largo. Para su posterior extracción se excavó alrededor sacando el cilindro, el cual luego de enrasar la muestra en su cara

inferior, se envolvió en film de polietileno y se colocó en una caja. Para extraer las muestras horizontales se realizó previamente un pequeño pozo en los sitios escogidos, dejando sus paredes lisas y perpendiculares a la superficie. Luego se introdujo el cilindro con cuidado y se extrajo con ayuda de pala. La profundidad a la cual se extrajeron estas muestras horizontales fue dentro de los primeros 10 cm.

Las muestras que no llegaron en condiciones de inalterabilidad al momento de la medición en laboratorio fueron descartadas.

La metodología utilizada para medir  $K_{sat}$  en laboratorio es la descrita en el Manual de laboratorio de Física de Suelos (Forsythe, 1980).

La  $K_{sat}$  es la constante de proporcionalidad de la Ley de Darcy. Su expresión matemática (Jury *et al.*, 1991) es:

$$\frac{Q}{A} = q = -K_{sat} \frac{\Delta H}{D} \quad (1)$$

Donde:

Q: caudal ( $L^3T^{-1}$ )

A: área de la sección transversal del flujo ( $L^2$ )

q : tasa de flujo de agua ( $LT^{-1}$ )

$K_{sat}$ : conductividad hidráulica saturada ( $LT^{-1}$ )

H: carga hidráulica o energía / unidad de peso del agua (L)

D: longitud de la columna de suelo (L)

$\Delta H$ : diferencia en la carga hidráulica (L)

$\frac{\Delta H}{D}$  : gradiente de carga hidráulica (sin dimensiones)

Se usó un dispositivo en el cual los cilindros con las muestras son colocados verticalmente, con la cara inferior apoyada sobre un embudo y a presión atmosférica. Se aplicó una carga hidráulica constante durante la determinación. Dicha carga oscilaba entre 3 y 5 cm por encima de la cara superior del cilindro de suelo. Para aplicar la Ley de Darcy se debe conocer la diferencia de carga hidráulica entre las dos caras de la columna de suelo, y el largo de la misma. La carga hidráulica total es la suma de la carga debida a la presión y de la carga debida a la gravedad. En nuestro caso, la columna de suelo se colocó verticalmente. En la cara superior, la carga debida a la presión ( $H_1$ ) es igual a la carga de agua por encima de la misma (3 a 5 cm) y la carga por la gravedad es igual al largo de la columna de suelo. En la cara inferior, la carga hidráulica es cero. La ecuación de la Ley de Darcy, para este caso es:

$$q = K_{sat} \Delta H / D = K_{sat} (H_1 + D) / D = K_{sat} H_1 / D + K_{sat} \quad (2)$$

Midiendo el volumen de agua que pasa por la columna de suelo por unidad de tiempo, y conociendo el área transversal de la misma, se calcula q. El largo de la columna de suelo y la carga de agua por encima de la cara superior se miden directamente. Despejando de la ecuación (2) se calcula la  $K_{sat}$  para esa muestra.

### Procedimiento de extracción de muestras y determinación de Densidad Aparente

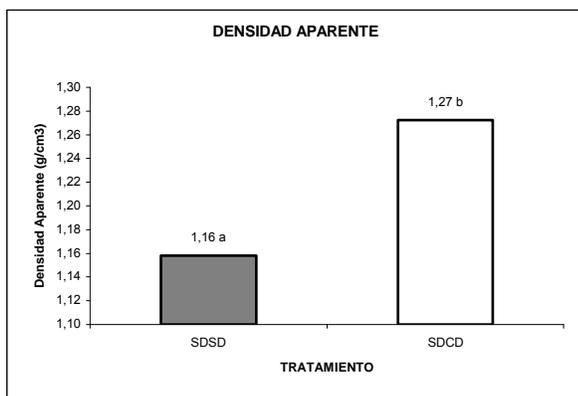
Se determinó densidad aparente superficial (primeros 10 cm) de cada tratamiento utilizando el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986). Este consiste en hincar el cilindro en el suelo y retirarlo cuidadosamente del mismo. Luego se enrasan sus bordes. La muestra obtenida se seca 24 hs en estufa a 105°C y luego se pesa. El cociente entre la masa seca y el volumen del cilindro es la densidad aparente de la muestra.

### Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados mediante un ANOVA y un test de medias para buscar diferencias significativas entre los tratamientos ( $\alpha=0,05$ ). Los datos se analizaron con el software estadístico Statgraphics 5.1. Para el análisis de  $K_{sat}$  se realizó un ANOVA multifactor, tomando como variable respuesta la  $K_{sat}$  y como factores que la modifican el sistema de labranza (SDSD y SDCD) y la orientación de muestreo (vertical y horizontal). Se analizó la presencia de interacción entre los factores, siendo la misma no significativa.

## RESULTADOS

La densidad aparente fue significativamente mayor en SDCD que en SDSD (Figura 1).



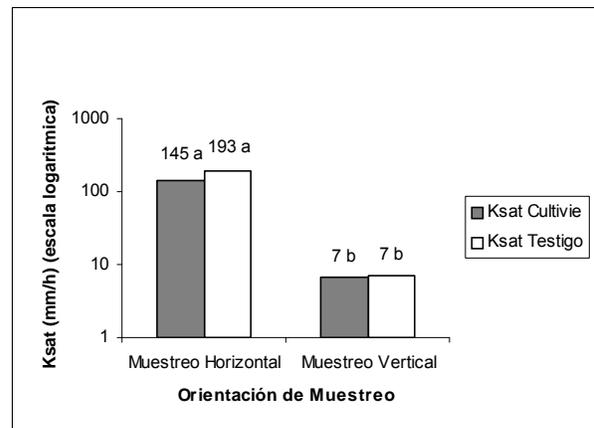
**Figura 1.** Densidad aparente media por tratamiento en los primeros 10 cm. Columnas con letras distintas difieren significativamente en sus medias ( $\alpha=0,05$ ).

**Figure 1.** Mean bulk density values for each treatment. Different letters show significant differences ( $\alpha=0.05$ ).

La conductividad hidráulica saturada fue significativamente mayor en la orientación de muestreo en sentido horizontal respecto a la orientación de muestreo en sentido vertical en ambos sistemas de labranza (Tablas 1 y 2).

La dispersión en la variable medida resultó mayor en las muestras extraídas en sentido horizontal (tablas 1 y 2).

Debe destacarse que en ambos tratamientos se observó a campo la presencia de estructura laminar, con agregados delgados y planos orientados en forma paralela a la superficie del suelo entre los 2-3 cm y los 10- 15 cm de profundidad.



**Figura 2.** Conductividad hidráulica saturada media según la orientación de la toma de muestras para SDSD (Testigo) y SDCD (Cultivie). Las letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre medias ( $\alpha=0,05$ ).

**Figure 2.** Mean saturated hydraulic conductivity values according to the sampling orientation for SDSD (Testigo) and SDCD (Cultivie). Different letters show significant differences ( $\alpha=0.05$ ).

## DISCUSIÓN

Dado que la infiltración es una consecuencia de las condiciones del suelo, particularmente del sistema poroso, puede realizarse una caracterización del mismo en lo que hace a la distribución de tamaños poros y la continuidad a partir de variables hidráulicas (Filgueira et al., 2006). La conductividad hidráulica de una muestra de suelo dependerá por lo tanto de las características de su sistema poroso. La medición de esta variable es una forma de estimar indirectamente la proporción y la continuidad de los poros, y si ésta se mide en muestras extraídas en sentido vertical por un lado, y horizontal por el otro, se pueden sacar conclusiones acerca de la orientación de los poros y de su continuidad en ambas direcciones.

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten afirmar que en suelos bajo siembra directa continua existe una orientación preferencial de los poros en sentido horizontal, cerca de la superficie.

Esto coincide con lo reportado por otros autores (Ball & Robertson, 1994; Sasal et al., 2006). Sin embargo, deben destacarse las diferencias en las metodologías utilizadas. Ball & Robertson (1994), extrajeron muestras de suelos en siembra directa en ambos sentidos para luego medir la difusividad de un gas a través de ellas. De este modo, una mayor difusividad del gas en las muestras correspondientes a uno de los sentidos de muestreo se pudo interpretar como una orientación preferencial de poros y una mayor conectividad de los mismos en ese sentido.

**Tabla 1.**  $K_{sat}$  para el tratamiento SDSD (Testigo).

**Table 1.** Statistical summary for  $K_{sat}$  in SDSD.

Orientación	Número de muestras	$K_{sat}$ media (mm h <sup>-1</sup> )	Desvío estándar (mm h <sup>-1</sup> )	Valor máximo (mm h <sup>-1</sup> )	Valor mínimo (mm h <sup>-1</sup> )
Horizontal	10	192,8	145,5	441,1	42,7
Vertical	12	7,0	9,1	30,0	0,3

**Tabla 2.**  $K_{sat}$  para el tratamiento SDCD (Cultivie).

**Table 2.** Statistical summary for  $K_{sat}$  in SDCD.

Orientación	Numero de muestras	$K_{sat}$ media (mm h <sup>-1</sup> )	Desvío estándar (mm h <sup>-1</sup> )	Valor máximo (mm h <sup>-1</sup> )	Valor mínimo (mm h <sup>-1</sup> )
Horizontal	7	145,5	201,4	585,6	10,4
Vertical	11	6,7	7,4	25,6	0,6

Sasal *et al.* (2006) extrajeron muestras superficiales en sentido vertical y horizontal para luego determinar la retención hídrica a diferentes potenciales, para conocer así la distribución de tamaño de poros de esas muestras. Estos autores reportaron valores porcentuales de volumen de poros de diámetros mayores que 60  $\mu\text{m}$  para muestras de suelos superficiales en siembra directa, tomadas en direcciones horizontal y vertical. La relación entre estos porcentajes fue del orden de 2 a favor de las muestras obtenidas horizontalmente.

Dado que los suelos estudiados en nuestro trabajo y el investigado por Sasal *et al.* (2006) son similares, se pueden extraer algunas conclusiones adicionales. En un trabajo anterior de nuestro grupo (Soracco *et al.*, 2007) se midió la infiltración básica en el mismo suelo, mediante un infiltrómetro de disco a tensión, y se obtuvieron valores entre 1 y 3 cm/h, que están en concordancia con aquellos obtenidos por Sasal *et al.* (2006) para la misma variable, obtenidos con el mismo instrumento, cuyos valores resultaron alrededor de 3 cm/h. En el presente trabajo, el flujo saturado horizontal obtenido experimentalmente fue del orden de 25 veces mayor que en la dirección vertical (Tablas 1 y 2). Recordando la teoría de Poiseuille del flujo saturado, y extrapolando los resultados obtenidos por Sasal *et al.* (2006), se puede concluir que no es posible explicar en nuestro caso tal cambio en el flujo solamente a partir de los porcentajes de volumen de poros mayores a 60  $\mu\text{m}$ . Se debe admitir que en el caso de muestreo horizontal, la media de la distribución de poros, se encuentra desplazada hacia valores mayores que aquella correspondiente a la porosidad vertical. Otro dato importante a tener en cuenta es que la porosidad total del suelo en nuestro caso varió entre 52 y 56% y en el caso de Sasal *et al.* (2006) entre 52 y 54%.

Por otra parte, se puede afirmar, a partir de los resultados obtenidos en este trabajo, que el laboreo de descompactación no modificó dicha orientación preferencial de los poros.

Hillel (1998) habla de la existencia de suelos homogéneos (igual  $K_{sat}$  en diferentes puntos) e isotrópicos (suelos con igual  $K_{sat}$  en todas las direcciones) y de suelos que pueden no presentar ninguna de estas dos propiedades. En nuestro caso, estamos en presencia de suelos anisotrópicos (mayor  $K_{sat}$  horizontal que vertical).

Al igual que lo observado en el presente trabajo, otros autores reportan la observación a campo de estructura laminar superficial, con agregados delgados y planos orientados en paralelo a la superficie del suelo bajo SD continua (Andriulo & Rosell, 1988; Senigagliesi & Ferrari, 1993). Esta situación no fue modificada por el laboreo de descompactación.

Esta estructura está directamente relacionada con la orientación preferencial de los macroporos, siendo los poros inter-agregados de mayor tamaño y más continuos que los poros intra-agregados.

En cuanto a la densidad aparente medida luego de la cosecha, podemos afirmar que la descompactación produjo finalmente una densificación superficial significativa respecto al tratamiento sin descompactación. Este hecho hace necesario que en el futuro se realice una investigación sobre la dinámica temporal de la variable densidad aparente en el suelo estudiado, atendiendo a las relaciones existentes con otras variables como: contenido de materia orgánica y su análisis de las distintas fracciones, estabilidad de agregados, mineralización de la materia orgánica, entre otras. De esta forma se tendrá una idea más acabada del efecto de la descompactación en sistemas de siembra directa y la razón por la cual algunos meses luego de realizada la misma los valores de densidad aparente son mayores a los del testigo sin descompactar.

## CONCLUSIONES

En siembra directa continua el laboreo de descompactación tuvo efectos significativos sobre la variable densidad aparente medida al final del ciclo, siendo estos valores mayores respecto al testigo.

En siembra directa continua se pudo verificar que la conductividad hidráulica saturada fue significativamente mayor en sentido horizontal respecto al valor de la misma variable en sentido vertical. Esta diferencia fue de más de un orden de magnitud.

El tratamiento de siembra directa continua con laboreo de descompactación se comportó de forma similar al tratamiento sin descompactar en cuanto a la conductividad hidráulica medida en las direcciones vertical y horizontal, respectivamente.

**Agradecimientos**

Al CONICET y a la UNLP por el apoyo económico recibido. Al M. Sc. Ing. Agr. Jorge A. Hilbert por permitir el acceso a los ensayos que dirige.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Alakukku, L.** 1998. Properties of compacted fine-textured soils as affected by crop rotation and reduced tillage. *Soil Tillage Res.* 47: 83-89.
- Andriulo, A.E. & R.A. Rosell.** 1988. Propiedades físicas edáficas en dos sistemas de labranza. *Turrialba* 38: 365-375.
- AAPRESID.** 2006. [www.aapresid.org.ar](http://www.aapresid.org.ar)
- Ball, B.C. & E.A.G. Robertson.** 1994. Effects of soil water hysteresis and the direction of sampling on aeration and pore function in relation to soil compaction and tillage. *Soil Tillage Research* 32: 51-60.
- Baumhart, R.L. & R.J. Lescano.** 1996. Rain infiltration as affected by wheat residues amount and distribution in ridged tillage. *Soil Science Society of America Journal* 60: 1908-1913.
- Benjamin, J.G.** 1993. Tillage effects on near-surface soil hydraulic properties. *Soil Tillage Res.* 26: 277-288.
- Blake, G.R. & K.H. Hartge.** 1986. Bulk density. *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Agronomy Monograph N° 9. Second edition. Pp. 363-376.
- Carter, M.R. & H.T. Kunelius.** 1986. Comparison of tillage and direct-drilling for Italian ryegrass on the properties of a fine sandy loam soil. *Canadian Journal of Soil Science* 66: 197-207.
- Chang, C. & C. Lindwall.** 1992. Effects of tillage and crop rotation on physical properties of a loam soil. *Soil Tillage Res.* 22: 383-389.
- Filgueira, R.R., C.G. Soracco, G.O. Sarli & L.L. Fournier.** 2006. Estimación de propiedades hidráulicas de suelos por mediciones a campo y el uso de modelos de flujo estacionario y transitorio. *Ci. Suelo (Argentina)* 24: 39-48.
- Fontanetto, H. & O. Keller.** 1998. Evolución de propiedades físicas y químicas del suelo con diferentes secuencias de pasturas y cultivos en siembra directa. In: *Viabilización de la siembra directa en sistemas mixtos de producción.* INIA, La Estanzuela, Colonia.
- Forsythe, W.** 1980. FÍSICA DE SUELOS. Editorial IICA. Pp. 171-179.
- Gil, R.C.** 1998. Effect of no-tillage on physical and chemical characteristics of soils in Argentina. *JIRCAS Working Report* 13: 29-33.
- Hillel, D.** 1998. *Environmental Soil Physics.* Ed. Academic Press. Pp. 173-201.
- Horne, D.J., C.W. Ross & K.A. Hughes.** 1992. Ten years of a maize/oats rotation under three tillage systems on a silt loam New Zealand. 1. A Comparison of some soil properties. *Soil Tillage Res.* 22: 131-143
- Hubbard, R.K., R.R. Lowrance & R.G. Williams.** 2001. Preferential Flow in a Coastal Plain Soil as Affected by Tillage. 2<sup>nd</sup> International Symposium on Preferential Flow, January 2001, Honolulu, Hawaii. P. 261-264.
- Jury, W.A., W.R. Gardner & W.H. Gardner.** 1991. *Soil Physics.* Fifth Edition. John Wiley & sons, inc. pp. 77-82.
- Lal, R. & D.M. Vandores Jr.** 1990. Influence of 25 years of continuous corn production by three tillage methods on water infiltration for two soils in Ohio. *Soil Tillage Res.* 16: 71-84.
- Quiroga, A., O. Ormeno & N. Peinemann.** 1998. Efectos de la siembra directa sobre las propiedades físicas de los suelos. En: Panigatti, Marelli, Buschiazzo, Gil (eds.) *Siembra directa* pp. 29-33.
- Sasal, M.C., A.E. Andriulo & M.A. Taboada.** 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil Tillage Res.* 87: 9-18.
- Senigagliesi, C. & M. Ferrari.** 1993. Soil and crop responses to alternative tillage practices. In: Buxton, D.R., Shibles, R., Forsberg, R.A., Blad, B.L., Asay, K.H., Paulsen, G.M., Wilson, R.F. (Eds.), *International Crops Science I.* Crop Science Society of America Inc., Madison, WI, pp. 27-35.
- Singh, B., D.S. Chanasik & W.B. Mc Gill.** 1996. Soil hydraulic properties of an Orthic Black Chernozem under long-term tillage residue management. *Canadian Journal of Soil Science* 76: 63-71.
- Soracco C.G., R. R. Filgueira, G. O. Sarli, L. L. Fournier, P. R. Gelati & Jorge A. Hilbert.** 2007. Efecto de la Descompactación sobre el Movimiento del Agua en el Suelo en Siembra Directa.
- Steinbach, H.S. & R. Alvarez.** 2007. ¿Afecta el sistema de labranza las propiedades físicas de los suelos de la región pampeana? *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 33: 7-12.
- Taboada, M.A., F.G. Micucci, D.J. Cosentino & R.S. Lavado.** 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Tillage Res.* 49: 57-63.
- Tebrugge, F. & J. Abelsova.** 1999. Biopores increase seepage-the influence of soil tillage on biogenic pores and on unsaturated infiltration capacity of soils. *Landtechnik* 54 (1), 13-15, 58.
- Topp G.C., K.C. Wires, D.A. Angers, M.R. Carter, J.L.B. Culley, D.A. Holmstrom, B.D. Kay, G.P. Laf Ond, D.R. Langille, R.A. McBride, G.T. Patterson, E. Perfect, V. Rasiah, A.V. Radd & K.T. Webb.** 2002. Changes in Soil Structure. <http://sis.agr.gc.ca/cansis/publications/health/chapter06.html>
- Voorhees W.B. & M.J. Lindstrom.** 1984. Long-term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 152-156.