

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de La Plata.

NUCLEO DISCIPLINARIO: Ingeniería Agrícola

**TÍTULO: MOVIMIENTO DEL AGUA Y ORIENTACIÓN DE LA POROSIDAD EN UN
SUELO BAJO SIEMBRA DIRECTA CONTINUA**

Autores: Lozano, Luis A., Soracco, C. Germán

Correos electrónicos: luisalbertolozano@agro.unlp.edu.ar; fisica@agro.unlp.edu.ar

PALABRAS CLAVE: conductividad hidráulica saturada – siembra directa – estructura laminar

Introducción

La siembra directa (SD) ocupa en la actualidad alrededor del 70% de la superficie agrícola de la Argentina (AAPRESID, 2006). Por ello el conocimiento de la dinámica hídrica en estos sistemas es fundamental para la economía de dicho recurso. Dicha dinámica dependerá de las características del sistema poroso del suelo (Filgueira *et al.*, 2006). El comportamiento físico y mecánico de los suelos limosos de clima húmedo ha sido estudiado por varios autores. 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 (Voorhees & Lindstrom, 1984; Alakukku, 1998; Topp *et al.*, 2002).

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 entrada de agua en el perfil del suelo, existen diversos estudios que han investigado este proceso 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). También se ha estudiado esta propiedad 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 muestran mayor 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 informan mayor cantidad de bioporos en sentido vertical en SD, resultado del crecimiento de raíces y la actividad de la fauna. Estos bioporos son 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) hallaron similar macroporosidad en SD que bajo labranza convencional, mientras que Douglas *et al.* (1980) y Singh *et al.* (1996) encontraron 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) y otros que indican mayor densidad aparente para suelos de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y San Luis bajo SD (Steinbach & Alvarez, 2007).

Algunos autores informan, en sistemas bajo SD, la presencia de estructura laminar superficial (Andriulo & Rosell, 1988; Senigagliesi & Ferrari, 1993). Dicha estructura se manifiesta con agregados delgados y planos orientados en paralelo a la superficie del suelo. Esta estructura estaría directamente relacionada con modificaciones en las propiedades hidráulicas de estos suelos respecto a suelos con labranzas alternativas.

En cuanto a la orientación de los macroporos, existen trabajos que reportan una orientación preferencial en sentido horizontal de los mismos cerca de la superficie en suelos bajo SD continua (Ball & Robertson, 1994; Sasal *et al.*, 2006). Esto se relacionaría directamente con la estructura laminar que se reporta en suelos bajo SD continua. Para suelos laboreados, los mismos autores, encuentran una mayor orientación vertical de los mismos. Ball & Robertson (1994) estudiaron la orientación de poros del estrato superficial utilizando difusión de gases radiactivos. Midieron 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 continua.

Objetivos

Evaluar el efecto de la SD continua, con y sin descompactación, sobre la variable densidad aparente del suelo.

Evaluar el efecto de la SD continua, con y sin descompactación, sobre la conductividad hidráulica saturada del suelo.

Evaluar la conductividad hidráulica saturada en sentido vertical y horizontal en SD continua con y sin descompactación para determinar la existencia de una orientación preferencial de los poros.

Materiales y métodos

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 lote en cuestión se encuentra a los 34° 18' 10" Latitud Sur y 59° 56' 58" Longitud Oeste. Al

momento de la extracción de muestras los lotes ensayados tenían una historia de 7 años bajo siembra directa. El suelo estudiado es un Argiudol típico (USDA, 2006). 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^{-1} . Al momento del muestreo se observó en el suelo estudiado estructura laminar en los primeros 15 cm de profundidad. Se planteó un diseño experimental completamente al azar, con dos tratamientos: siembra directa sin laboreo de descompactación (SDSD) y con laboreo de descompactación (SDCD). Las tareas de descompactado en el tratamiento SDCD se realizaron cada año en el mes de septiembre. Las parcelas miden 8 metros de ancho por 25 metros de largo. 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 fue entre 0,25 – 0,30 m.

En cada uno de los tratamientos se realizaron extracciones, en el horizonte superficial, de cilindros de suelos sin disturbar, en el mes de Julio. Dichas muestras se extrajeron en dos orientaciones diferentes: vertical y horizontal. Las extracciones se realizaron con cilindros de PVC de 5,88 cm de diámetro por 15 cm de largo. En dichos cilindros se conservó la muestra inalterada. Sobre dichos cilindros se realizaron determinaciones de Conductividad Hidráulica Saturada (K_{sat}) en laboratorio. En el momento de la extracción cada cilindro fue cubierto en su cara interna por una capa delgada de grasa de litio con el fin de facilitar la penetración en el suelo y asegurar que, al momento de determinar la K_{sat} , el flujo se diera únicamente por el espacio poroso de la muestra y no por el espacio existente entre la muestra y el 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. Se introdujo aproximadamente la mitad del largo del cilindro con cuidado y se extrajo con ayuda de pala. Estas muestras fueron extraídas dentro de los primeros 10 cm. En el laboratorio se descartaron las muestras que no llegaron en condiciones de inalterabilidad al momento de la medición.

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)

ΔH : 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.

Se determinó densidad aparente superficial de cada tratamiento utilizando el método del cilindro (Blake and Hartge, 1986).

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 Ksat se realizó un ANOVA multifactor, tomando como variable respuesta la Ksat 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

Se encontraron diferencias significativas en la variable densidad aparente entre los tratamientos SDSD y SDCD, siendo en este último significativamente mayor.

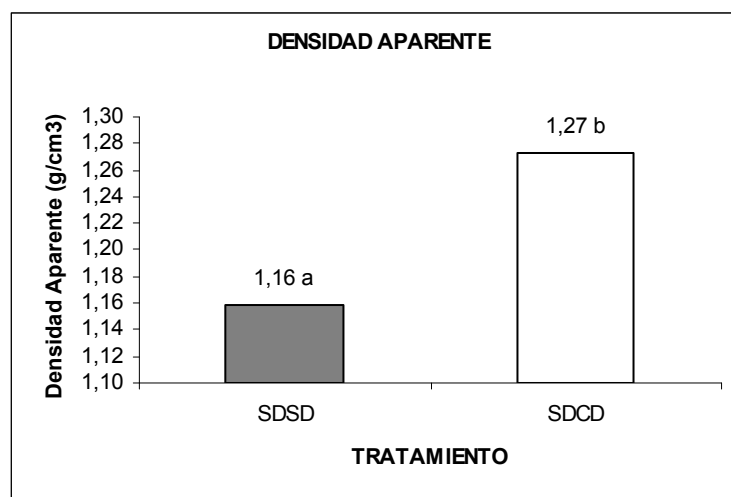


Figura 1. Densidad aparente media por tratamiento. Columnas con letras distintas difieren significativamente en sus medias.

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. No hubo diferencias significativas entre tratamientos para muestras extraídas en la misma orientación (figura 2).

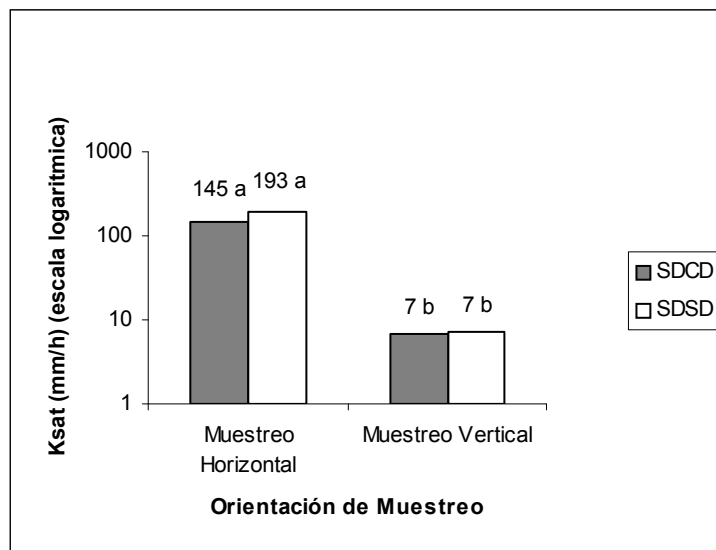


Figura 2. Conductividad hidráulica saturada media según orientación de muestreo y tratamiento. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencia significativa entre medias.

Discusión y Conclusiones:

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 tamaño de poros y la continuidad a partir de variables hidráulicas (Filgueira *et al.*, 2006). La conductividad hidráulica de una muestra dependerá por lo tanto de las características de su sistema poroso. Se puede afirmar que poros de mayor diámetro, con mayor continuidad y orientados en el sentido del flujo de agua, resultarán en una mayor conductividad hidráulica saturada.

La medición de la conductividad hidráulica saturada es una forma de estimar indirectamente la proporción y la continuidad de los macroporos, 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 macroporos y de su continuidad en ambos sentidos.

Por lo tanto los resultados obtenidos en este trabajo nos permiten determinar que en el suelo estudiado bajo siembra directa continua existe una orientación preferencial de los macroporos en sentido horizontal, cerca de la superficie. Esto coincide con lo reportado por otros autores (Ball & Robertson, 1994; Sasal *et al.*, 2006;).

También se puede afirmar, a partir de los resultados obtenidos, que el laboreo de descompactación no modificó dicha orientación preferencial de los macroporos.

Hillel (1998) dice que la anisotropía generalmente es debida a la estructura del suelo, la cual puede ser laminar, columnar, etc., y por lo tanto exhibir un patrón de microporos o macroporos con una tendencia direccional marcada.

Al igual que lo observado en este trabajo, varios 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 los laboreos de descompactación.

Esta estructura está directamente relacionada con la orientación preferencial de los macroporos, siendo los poros inter-agregados de mayor diámetro y más continuos que los poros intra-agregados. Si estos agregados, como ya se dijo, están orientados de forma paralela a la superficie del suelo esto determina una orientación preferencial de los espacios inter-agregados paralela a la superficie del suelo.

Por lo tanto se concluye que en el suelo estudiado, bajo siembra directa continua, hay diferencia entre el movimiento del agua en sentido vertical respecto al sentido horizontal.

En cuanto a la densidad aparente, podemos afirmar que la descompactación produjo una densificación superficial significativa respecto al tratamiento sin descompactación, al momento del muestreo. 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.

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., Rosell, R.A., 1988. Propiedades físicas edáficas en dos sistemas de labranza. *Turrialba* 38, 365-375.
- AAPRESID. 2006. www.aapresid.org.ar
- Ball, B.C., Robertson, E.A.G., 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 Res.* 32, 51-60.
- Baumhart, R.L., Lescano, R.J., 1996. Rain infiltration as affected by wheat residues amount and distribution in ridged tillage. *Soil Sci. Am. J.* 60, 1908-1913.

Benjamin, J.G., 1993. Tillage effects on near-surface soil hydraulic properties. *Soil Tillage Res.* 26, 277-288.

Blake, G.R., Hartge, K.H., 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., Kunelius, H.T., 1986. Comparison of tillage and direct-drilling for Italian ryegrass on the properties of a fine sandy loam soil. *Can. J. Soil Sci.* 66, 197-207.

Chang, C., Lindwall, C., 1992. Effects of tillage and crop rotation on physical properties of a loam soil. *Soil Tillage Res.* 22, 383-389.

Douglas, J.T.; Goss, M.J., Hill, D., 1980. Measurements of pore characteristics in a clay soil under ploughing and direct drilling including use of radioactive tracer (^{144}Ce) technique. *Soil Tillage Res.* 1: 11-18.

Filgueira, R.R.; Soracco, C.G., Sarli, G.O., Fournier, L.L., 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 (1), 39-48.

Fontanetto, H., Keller, O., 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 No. 13*, pp. 29-33.

Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics.* Ed. Academic Press. Pp. 173-201.

Hubbard, R.K., R.R. Lowrance, and R.G. Williams. 2001. Preferential Flow in a Coastal Plain Soil as Affected by Tillage. *2nd International Symposium on Preferential Flow*, January 2001, Honolulu, Hawaii. P. 261-264.

Jury, W.A., Gardner, W.R., Gardner, W.H., 1991. *Soil Physics. Fifth Edition.* John Wiley & sons, inc. pp. 77-82.

Lal, R., Vandores Jr, D.M., 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, Ormeno O, Peinemann N. 1998. Efectos de la siembra directa sobre las propiedades físicas de los suelos. En: Panigatti, Marelli, Buschiazzi, Gil (eds.) *Siembra directa* pp. 29-33.

Sasal, M.C., Andriulo, A.E., Taboada, M.A., 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil Tillage Res.* 87, 9-18.

Senigagliesi, C., Ferrari, M., 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., Chanasik, D.S., Mc Gill, W.B., 1996. Soil hydraulic properties of an Orthic Black Chernozem under long-term tillage residue management. Can. J. Soil Sci. 76, 63-71.

Steinbach, H.S., Alvarez, R., 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., Micucci, F.G., Cosentino, D.J., Lavado, R.S., 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., Abelsova, J., 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 GC, Wires KC, Angers DA, Carter MR, Culley JLB, Holmstrom DA, Kay BD, Laf Ond GP, Langille DR, McBride RA, Patterson GT, Perfect E, Rasiah V, Radd AV, Webb KT. 2002. Changes in Soil Structure. <http://sis.agr.gc.ca/cansis/publications/health/chapter06.html>

USDA. 2006. Keys to soil taxonomy. 10th ed. 332 p. USA.

Voorhees WB, Lindstrom MJ. 1984. Long-term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. Soil Sci. Soc. Am. J. 48, pp. 152-156.