

DISTRIBUCIÓN DE POROS EN UNA LADERA DE PAMPA ONDULADA CULTIVADA CON SIEMBRA DIRECTA

MARIO CASTIGLIONI¹; DANIELA MAZZONI¹; CELIO CHAGAS¹; ESTEBAN PALACÍN¹; OSCAR SANTANATOGLIA¹ & MARCELO MASSOBRIO¹

¹ Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. FAUBA. Av. San Martín 4453, (1417 DSE) Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: castigli@agro.uba.ar

Recibido: 30-09-09

Aceptado: 11-11-10

RESUMEN

Para seleccionar las opciones de manejo más adecuadas en suelos erosionados, es imprescindible identificar primeramente que atributos edáficos son modificados a partir de dicho proceso de degradación. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del diferente grado de erosión hídrica en un Argiudol Vértico cultivado con siembra directa, sobre la distribución de poros a dos profundidades (0-5 cm y 5-10 cm). La toma de muestras se realizó sobre tres transectas paralelas siguiendo la dirección de la pendiente. En cada una de ellas y a intervalos de 8 m se determinó el volumen que ocuparon distintas clases por tamaño de poro, la porosidad total y la profundidad al horizonte argílico. También se cuantificó en distintos puntos del área de trabajo la textura de los dos estratos estudiados. Si bien en el área bajo estudio la profundidad al horizonte argílico fluctuó entre 32 y 19 cm y el contenido de arcilla tuvo variaciones del 22,6 (0-5 cm) y 28,0% (5-10 cm), no se observaron diferencias significativas en el volumen ocupado por las distintas categorías de poro estudiadas entre suelos con distinto grado de erosión. Al realizar un reagrupamiento de las observaciones de acuerdo a su porosidad total, se evidenció en cada estrato que las situaciones con mayor porosidad total presentaron un mayor volumen ($P < 0,05$) ocupado por los poros superiores a 51 μm .

Palabras clave. Distribución de poros, porosidad total, heterogeneidad, erosión.

PORE DISTRIBUTION ON A HILLSLOPE UNDER DIRECT SOWING IN THE ROLLING PAMPA REGION OF ARGENTINA

ABSTRACT

In order to select the most appropriate management techniques for eroded soils it is essential to first of all identify those soil attributes modified by this degradation process. The aim of this study was to determine the effect of different degrees of water erosion in a Vertic Argiudoll under direct sowing on the distribution of pores at two depths (0-5 cm and 5-10 cm). Sampling was carried out in three parallel transects in the slope direction. The volume occupied by different pore-size classes, total porosity and depth to the argilic horizon were measured at 8 m-intervals in each transect. Soil texture was also measured at the two depths in different sections of the study area. The depth of the argilic horizon ranged between 32 and 19 cm and clay content varied between 22.6 (0-5 cm) and 28.0% (5-10 cm). However, no significant differences were found in the volume occupied by different pore-size classes between soils with varying degrees of erosion. Grouping the findings in terms of total porosity shows that greater porosity in each stratum is associated with a higher total volume ($P < 0.05$) of pores larger than 51 μm .

Key words. Pore size distribution, total porosity, heterogeneity, erosion.

INTRODUCCIÓN

La porosidad es una propiedad edáfica que tiene una relación directa con la dinámica del agua dentro y fuera del perfil del suelo, siendo su comportamiento decisivo en la generación de escurrimiento, en el movimiento de solutos y en la productividad de los cultivos (Mallants *et al.*, 1997).

Las distintas categorías por tamaño de poro influyen de manera diferente en distintos procesos edáficos como la infiltración, el almacenamiento de agua, el drenaje, el intercambio gaseoso y la resistencia al crecimiento de las raíces.

Si bien las propiedades hidráulicas pueden variar en respuesta a cambios en la posición de los suelos en el paisaje (Vieira *et al.*, 2006), también se mencionan sustanciales modificaciones de las mismas a escala local (Corwin *et al.*, 2006).

Una de las causas que puede generar dichos cambios son las variaciones en la profundidad del horizonte superficial, como consecuencia del distinto grado de erosión hídrica sufrida por los suelos. Esta modificación en el espesor de dicho horizonte puede ocasionar cambios en su contenido de carbono (Fenton *et al.*, 2005; Massobrio *et*

al., 2006), en su textura (Tengberg *et al.*, 1997, 1998), en su densidad aparente (Gollany *et al.*, 1992; Tengberg *et al.*, 1998), en el agua disponible para los cultivos (Jones *et al.*, 1997; Lal, 1998), en la estabilidad de los agregados (Gollany *et al.*, 1992), en el índice de expansión-contracción del suelo (Barbosa *et al.*, 1997) y en la conductividad hidráulica saturada (Lowery *et al.*, 1995); repercutiendo a su vez en los rendimientos agrícolas (Lal, 1998; Papiernik *et al.*, 2005). La magnitud de este último comportamiento se encuentra supeditada a los atributos que definen la calidad de cada suelo (Tengberg *et al.*, 1997, 1998), a la variación de las condiciones climáticas y al efecto de los fertilizantes (Lal *et al.*, 2000).

La Argentina es uno de los países con mayor área cultivada bajo siembra directa (Soracco *et al.*, 2010). Esta tecnología se ha aplicado ampliamente en la Pampa Ondulada, donde las características del paisaje predisponen a la pérdida de suelo por erosión hídrica. Este proceso de degradación genera normalmente patrones de profundidad al horizonte argílico heterogéneos en su distribución espacial (Bujan *et al.*, 2003), por lo cual se pueden visualizar a cortas distancias diferencias en el espesor del horizonte superficial.

Existe una fuerte necesidad de identificar entre aquellos atributos que definen la calidad del suelo y que inciden en la producción agrícola, cuales son modificados por procesos de degradación como el de erosión hídrica. Esta información es esencial para el desarrollo de tratamientos de restauración y para la selección de aquellas opciones de manejo que favorezcan los rendimientos de los cultivos en suelos erosionados (Lal *et al.*, 2000).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del diferente grado de erosión hídrica en un Argiudol Vértico cultivado con siembra directa, sobre la distribución de poros a dos profundidades (0-5 cm y 5-10 cm).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un lote correspondiente al establecimiento Los Patricios (San Pedro, provincia de Bs. As.), el que se encuentra en una ladera perteneciente a una microcuenca de primer orden, la que vierte sus escurrimientos en el sector medio de la traza del Arroyo del Tala.

La serie de suelo presente es Ramallo (Argiudol Vértico, franco, illítico, térmico) y sus fases por erosión hídrica (Buján *et al.*, 2003). La pendiente de la ladera es de 1,16%, siendo la agricultura continua el uso del lote en los últimos quince años, con una sucesión de cultivos trigo/soja - maíz - soja. El sistema de labranza empleado hasta el año 1999 fue el convencional, mientras que a partir de dicho momento la implantación de cultivos se realiza a través de la siembra directa.

Para cumplir con los objetivos propuestos se tomaron siete muestras a intervalos equidistanciados de 8 m, en cada una de tres transectas orientadas en el sentido de la pendiente (Fig. 1).

Las muestras fueron tomadas con cilindros de PVC de 5 cm de diámetro y 3,5 cm de alto a dos profundidades: 0 a 5 cm y 5 a 10 cm. Una vez en el laboratorio se saturó el suelo con agua destilada y posteriormente fue sometido a distintas tensiones (0; 0,001; 0,006; 0,020; 0,028 y 1,5 MPa), para obtener distintos puntos de la relación contenido de agua-tensión (Klute, 1986).

En cada uno de los puntos donde se tomaron las muestras se hicieron observaciones en el perfil del suelo, para determinar la profundidad al horizonte argílico y así poder determinar su grado de erosión hídrica. Adicionalmente se tomaron muestras de suelo en distintas posiciones del área bajo estudio y a dos profundidades (0-5 y 5-10 cm), para la determinación de su textura.

A partir de la información obtenida de la relación contenido de agua-tensión de cada una de las muestras extraídas, se determinó el volumen de las siguientes categorías por tamaño de poro: mayores a 312 μm (>312), de 312 a 52 μm (312-52), de 52 a 15 μm (52-15), de 15 a 11 μm (15-11), de 11 a 0,2 μm (11-0,2) y menores a 0,2 μm (<0,2), y su porosidad total.

Para determinar en que medida la magnitud del proceso erosivo influye sobre la distribución de poros, se compararon los resultados del volumen ocupado por cada una de las categorías mencionadas entre aquellas situaciones que manifestaron distinto

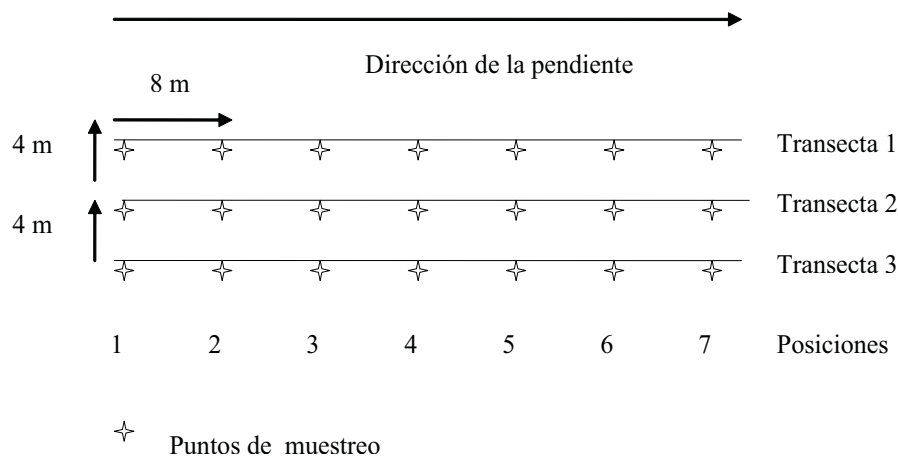


Figura 1. Diseño del muestreo realizado.
Figure 1. Design of sampling.

grado de erosión. A su vez se hizo un análisis de correlación, para determinar la vinculación entre la magnitud de dicho proceso con el aumento o disminución de alguna de las categorías de poro estudiadas (Snedecor & Cochran, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis textural realizado en ambas profundidades del ambiente bajo estudio mostró una composición promedio igual a: 13,4% de arena; 58,2% de limo y 28,3% de arcilla, variando la misma entre profundidades en no más del 3%. El contenido de arcilla en el estrato superficial osciló entre 24,8 y 30,4%, mientras que en el de 5 a 10 cm los valores extremos fueron 25,0 y 32,0%.

La profundidad al horizonte argílico fluctuó entre 32 y 19 cm (Tabla 1), no estando las variaciones observadas asociadas directamente a la dirección de la pendiente (Fig. 1). Según estos resultados las fases por erosión moderada y severa de la serie Ramallo, son las presentes en el área analizada. El horizonte BA de esta serie se encuentra a 27 cm, por lo cual los sitios que presentaron más pérdida de material superficial deberían presentar un enriquecimiento en arcilla en el horizonte A mayor que los restantes, como consecuencia de la mezcla producida cuando el lote se labró con reja y vertedera.

De acuerdo a los resultados de la Tabla 1, las observaciones realizadas se distribuyeron en dos grupos: aquellos suelos con una profundidad al horizonte Bt entre 18,5 y 19,5 cm (promedio: 19,1 cm) y aquellos con este horizonte entre 23,5 y 32,0 cm (promedio: 26,5 cm), descartándose las restantes observaciones que no se ajustaran a este criterio.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la comparación de medias de las distintas categorías de poros entre ambos grupos de suelos y a las dos profundidades analizadas.

Como puede observarse en la misma, no hubo diferencias significativas en el volumen ocupado por los distintos tamaños de poro entre los dos grupos seleccionados y a las dos profundidades del estudio. Al realizar un análisis de correlación entre la profundidad al horizonte argílico y el volumen ocupado por cada categoría de poro, no se observó una vinculación significativa entre ambos parámetros.

Lowery *et al.* (1995) trabajando con un suelo de textura similar al del presente trabajo, encontraron un enriquecimiento en arcilla del 27% en el horizonte superficial de la fase severamente erosionada, aumentando en estos casos la retención hídrica, la densidad aparente y fundamentalmente el contenido de agua a 1,5 MPa.

Tabla 1. Profundidad al horizonte argílico (cm) en distintas posiciones de cada transecta (T).

Table 1. Distance to argilic horizon (cm) in different positions of each transects (T).

Posición	T 1	T 2	T 3
1	29,0	26,5	24,0
2	26,0	19,0	19,0
3	20,5	21,5	19,0
4	26,0	19,0	21,0
5	32,0	19,0	21,0
6	23,5	19,5	25,0
7	18,5	19,5	23,0

Tabla 2. Valores medios correspondientes al volumen ocupado por distintas categorías de poros ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) y porosidad total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) de los suelos con distinta profundidad al horizonte Bt.

Table 2. Medium values for the volume occupied by different pore categories ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) and total porosity ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) of soils with different depth to the Bt horizon.

Tamaño de poros (μm)	> 312	312-52	52 -15	15 -11	11- 0,2	< 0,2	Porosidad total
Profundidad 0-5 cm							
Bt a 19 cm	0,065a	0,093a	0,062a	0,015a	0,174a	0,162a	0,572 a
Bt a 27 cm	0,051a	0,069a	0,054a	0,015a	0,173a	0,152a	0,513 a
Profundidad 5-10 cm							
Bt a 19 cm	0,042a	0,046a	0,042a	0,018a	0,156a	0,184a	0,487 a
Bt a 27 cm	0,041a	0,041a	0,036a	0,010a	0,140a	0,178a	0,445 a

Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo parámetro entre suelos con distinta profundidad al horizonte argílico. ($P < 0,05$).

Lal *et al.* (2000) determinaron incrementos en el contenido de arcilla del 55% en el horizonte superficial de una fase severamente erosionada, correspondiente a un suelo franco limoso de Ohio. Como consecuencia se pudo comprobar una reducción significativa en la porosidad total, en el contenido de agua a capacidad de campo y en el porcentaje de carbono orgánico del suelo erosionado. Sin embargo, en dicho trabajo no se visualizaron modificaciones significativas en el contenido de agua a 1,5 MPa y en el agua disponible determinada en forma gravimétrica. Similares resultados encontraron Kreznor *et al.* (1989) y Tengberg *et al.* (1997, 1998) respecto al enriquecimiento de arcilla del horizonte superficial y Gollany *et al.* (1992) y Jones *et al.* (1997) respecto al agua disponible.

Si bien estos trabajos evidencian un enriquecimiento en arcilla y una disminución en la porosidad total del horizonte superficial a medida que este disminuye su espesor, las experiencias no coinciden en cuanto a los efectos de la erosión sobre algunos parámetros de la relación contenido de agua-tensión.

En el presente trabajo se observó dentro del área bajo estudio una variación en el contenido de arcilla del 22,6 y 28,0% para los estratos de 0 a 5 cm y 5 a 10 cm, respectivamente. En un trabajo previo realizado en la misma ladera, Massobrio *et al.* (2006) encontraron una fuerte vinculación entre la profundidad al horizonte argílico y el contenido de carbono orgánico superficial. Sin embargo y de acuerdo a lo visto con anterioridad, la heterogeneidad en estos parámetros no afectó la porosidad total ni la distribución de poros en ambos estratos de suelo analizados.

El lote bajo estudio cuenta con nueve años bajo siembra directa, por lo que algunos de los factores que regu-

laron la formación de poros en el horizonte superficial fueron distintos a los que incidieron en las otras investigaciones mencionadas previamente, las que se desarrollaron bajo sistemas de implantación de cultivos con mayor remoción del suelo. Es sabido además que la textura no es el único factor edáfico que afecta la retención hídrica, por lo que se han desarrollado diversas ecuaciones de predicción del contenido hídrico a diferentes tensiones incluyendo otros parámetros como el contenido de materia orgánica, la densidad aparente, el tipo de estructura, la posición que ocupan los suelos en el paisaje, etc.

Tomando en cuenta estas consideraciones se reagruparon las observaciones realizadas de acuerdo a su diferente porosidad total, conformando en cada uno de los estratos analizados dos situaciones distintas: una conformada por aquellas de menor valor para este parámetro y la otra que agrupara las de mayor porosidad (Tabla 3). En la Tabla 3 se observa el resultado de las comparaciones realizadas de los volúmenes ocupados por las diferentes categorías de poro entre ambos grupos y a las dos profundidades analizadas.

Como puede observarse en la misma, los suelos con menor porosidad total tuvieron reducciones significativas en el volumen que ocupan los poros mayores a 51 μm , independientemente de la profundidad considerada. A su vez el análisis de correlación efectuado en ambos estratos, mostró una vinculación significativa entre la porosidad total y el volumen ocupado en cada una de las categorías de poro estudiadas (Tabla 4).

Bajo el sistema de labranza siembra directa y dentro del intervalo de valores de profundidad al horizonte argílico y contenidos de arcilla observados en el presente estudio, el grado de erosión sufrido por el suelo no fue un factor decisivo que influyera sobre la distribución de

Tabla 3. Valores medios correspondientes al volumen ocupado por distintas categorías de poro ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) de acuerdo a su porosidad total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

Table 3. Medium values for the volume occupied by different pore categories ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) according to their total porosity ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

Tamaño de poros (μm)	> 312	312-52	52 -15	15 -11	11- 0,2	< 0,2	Porosidad total
Profundidad 0-5 cm							
< Porosidad	0,047b	0,064b	0,057a	0,016a	0,172a	0,151a	0,508 b
> Porosidad	0,079a	0,099a	0,062a	0,017a	0,180a	0,174a	0,610 a
Profundidad 5-10 cm							
< Porosidad	0,022b	0,024b	0,038a	0,010a	0,150a	0,189a	0,433 a
> Porosidad	0,057a	0,061a	0,041a	0,017a	0,158a	0,180a	0,514 a

Letras distintas indican diferencias significativas para un mismo parámetro entre suelos con distinta porosidad total ($P < 0,05$).

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre la porosidad total y el volumen ocupado por distintas categorías de poro (0-5 y 5-10 cm).

Table 4. Correlation coefficients between total porosity and the volume occupied by different pore categories (0-5 y 5-10 cm).

Díámetro de poros (μm)	> 312	312-52	52 -15	15 -11	11- 0,2	< 0,2
Profundidad 0-5 cm						
Porosidad total	-0,59**	-0,67**	-0,52**	-0,22ns	-0,51**	-0,39*
Profundidad 0-5 cm						
Porosidad total	-0,66**	-0,81**	-0,46**	-0,40**	-0,49**	-0,19ns

Significancia estadística: ** (P<0,01) * (P<0,05) ns(no significativo).

poros. Mayor importancia en su regulación fueron los procesos que generaron cambios en la porosidad total del suelo, sin que este último parámetro respondiera a la mayor o menor profundidad del horizonte superficial.

CONCLUSIONES

El diferente grado de erosión sufrido por la serie Ramallo en el ambiente de ladera analizado, no influyó significativamente en la generación de cambios en la porosidad total y en la distribución de poros.

Los poros mayores a 51 μm fueron los más sensibles en ambos estratos analizados a las modificaciones ocurridas en la porosidad total del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos UBACyT G 406 y G 016

BIBLIOGRAFÍA

- Barbosa, OA; MA Taboada; MA Rodríguez & DJ Cosentino. 1997. Regeneración de la estructura en diferentes fases de degradación de un suelo franco limoso de la Pampa Ondulada (Argentina). *Ciencia del Suelo* 15: 81-86.
- Bujan, A; OJ Santanatoglia; C Chagas; M Massobrio; M Castiglioni; MYañez; H Ciallella & J Fernandez. 2003. Soil erosion evaluation in a small basin through the use of ^{137}Cs technique. *Soil & Tillage Research* 69(1-2): 127-137.
- Corwin, DL; J Hopmans & GH de Rooij. 2006. From field to landscape-scale vadose zone processes: Scale issues, modeling and monitoring. *Vadose Zone Journal* 5: 129-139.
- Fenton, TE; M Kazemi & MA Lauterbach-Barrett. 2005. Erosional impact of organic matter content and productivity of selected Iowa soils. *Soil & Tillage Research* 81: 163-171.

Gollany, HT; TE Schumacher; MJ Lindstrom; PD Evenson & GD Lemme. 1992. Topsoil depth and desurfacing effects on properties and productivity of a Typic Argiustoll. *Soil Science Society of America Journal* 56: 220-225.

Jones, AJ; R Lalç & DR Huggins. 1997. Soil erosion and productivity research: a regional approach. *American Journal of Alternative Agriculture* 12: 185-192.

Klute, A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods. In: A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd Ed. Agronomy* 9: 635-662.

Lal, R. 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences* 17: 319-464.

Lal, R; M Ahmadi & RM Bajracharya. 2000. Erosional impacts on soil properties and corn yield on alfisols in central Ohio. *Land Degradation & Development* 11: 575-585.

Lowery, B; J Swan; T Schumacher & A Jones. 1995. Physical properties of selected soils by erosion class. *Journal of Soil and Water Conservation* 50(3): 306-311.

Mallants, D; BP Mohanty; A Vervoort & J Feyen. 1997. Spatial analysis of saturated hydraulic conductivity in a soil with macropores. *Soil Technology* 10: 115-131.

Massobrio, M; MG Castiglioni; J Rois; C Chagas; E Palacin; A Bujan & O Santanatoglia. 2006. Heterogeneidad espacial: Incidencia del uso de la tierra en la generación de patrones espaciales. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. En actas.

Papiernik, SK; MJ Lindstrom; JA Schumacher; A Farenhorst; KD Stephans; TE Schumacher & Lobb. 2005. Variation in soil properties and crop yield across an eroded prairie landscape. *Journal of Soil and Water Conservation* 60: 388-95.

Snedecor, GW & WG Cochran. 1989. *Statistical methods. 8th Edn* (Iowa State University Press/AMES).

Soracco, CG; LA Lozano; GO Sarli; PR Gelati & R Filgueira. 2010. Anisotropy of Saturated Hydraulic Conductivity in a soil under conservation and no-till treatments. *Soil & Tillage Research* 109: 18-22.

Tengberg, A; MA Stocking & M da Virga. 1997. The impact of erosion on the productivity of a Ferralsol and a Cambisol in Santa Catanina, southern Brazil. *Soil Use & Management* 13: 90-96.

Tengberg, A; J Ellis-Jones; R Kioma & M Stocking. 1998. Applying the concept of agrodiversity to indigenous soil and water conservation practices in eastern Kenya. *Agricultural Ecosystems & Environment* 70: 259-272.

Vieira, SR; CR Grego; GM Siqueira; FM Miguel & FA Pavlu. 2006. Variabilidad especial del almacenamiento de agua del suelo bajo siembra directa. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. En actas.