

PROPIEDADES HIDROLÓGICAS EDÁFICAS BAJO DIFERENTES SECUENCIAS DE CULTIVOS EN SIEMBRA DIRECTA

M. Carolina Sasal^{1*}, Mario G. Castiglioni², Jorge Paz Ferreiro³, Marcelo G. Wilson¹
y José Oszust¹

1: Grupo Recursos Naturales y Factores abióticos
INTA – EEA Paraná
Ruta 11, Km 12.5 (3100) Paraná-Entre Ríos, Argentina
e-mail: csasal@parana.inta.gov.ar, web: <http://www.inta.gov.ar/parana/>

2: Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos
Facultad de Agronomía (UBA)
Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina
e-mail: castigli@agro.uba.ar

3: Facultad de Ciencias
Campus de A Zapateira s/n
15071 La Coruña, España
e-mail: jorgepaz@usc.es

Palabras clave: Propiedades hidrológicas edáficas, Escurrimiento, Secuencias de cultivos, Siembra directa.

RESUMEN. *Se determinó el efecto de secuencias de cultivos sobre algunas propiedades de un Arguidol ácuico en siembra directa. Se estudiaron los tratamientos: monocultivo de maíz y soja, pradera, secuencias trigo/soja y trigo/soja-maíz y suelo labrado. Se registraron escurrimientos en parcelas de 100 m². Se determinó a campo conductividad hidráulica saturada (Khc) y sortividad y en laboratorio densidad aparente (Dap), conductividad hidráulica saturada (Kh), porosidad total (PT) y distribución de poros, a 0-4 y 4-8 cm. Las pérdidas de agua bajo monocultivo fueron 6 veces mayores. La Kh fue más elevada bajo pradera y no mostró diferencias entre los demás tratamientos. Hubo asociación significativa entre Khc y Kh, siendo esta última 2,5 veces mayor. El volumen de macroporos fue mayor bajo pradera y no se diferenció entre los restantes tratamientos. Hubo correlación entre Khc, PT y Dap en superficie. La variación del volumen escurrido fue explicado por PT y microporosidad.*

ABSTRACT. *The effect of crop successions on soil physic and hydraulic properties under no tillage on an Aquic Argiudol was assessed here. Treatments were: maize and soybean monocultures, successions wheat/soybean and wheat/soybean-maize, grassland and bare soil. Runoff was recorded on 100 m² plots. Saturated hydraulic conductivity (Khc) and sorptivity were measured in field conditions. Bulk density (Bd), again saturated hydraulic conductivity (Kh), total porosity (TP) and pore size distributions were determined at the 0-4 and 4-8 cm depth in laboratory. Water losses were six-time higher under monoculture than under grassland. The highest Khc was measured under grassland, however no differences were found among the remaining treatments. Kh was 2.5-times higher than Khc and both parameters were significantly correlated. Macropore volume was higher under grassland, whereas other treatments showed no differences. Khc, TP and Bd were correlated at 0-4 cm depth. Most of the runoff variance was explained by TP and microporosity.*

1. INTRODUCCIÓN

En la producción agrícola el agua disponible para los cultivos es un factor determinante de los rendimientos, lo que hace necesario la comprensión de la dinámica hídrica edáfica mediante el estudio de los diferentes procesos involucrados. La tasa de infiltración y la conductividad hidráulica saturada son algunos de ellos, y están condicionadas, entre otras, por el grado de compactación edáfica, la distribución por tamaño de poros, su conectividad y la clase textural de los suelos (Filgueira et al. 2006).

La conductividad hidráulica saturada condiciona la tasa de infiltración, incidiendo por lo tanto en el almacenamiento de agua en el perfil de suelo, en la escorrentía y en el transporte superficial y profundo de plaguicidas, nutrientes y otros solutos. Por ello, es importante el estudio de su variación ante la diferente presión ejercida por los distintos sistemas de uso de la tierra.

Existen distintas técnicas de laboratorio y de campo que son utilizadas para la determinación de la conductividad hidráulica saturada. A partir del uso del infiltrómetro de disco a tensión se pueden obtener valores representativos de dicha propiedad, ya que no requiere alteración del suelo. También, puede determinarse en laboratorio. En general, los equipos de laboratorio permiten realizar un mayor número de determinaciones y además controlar las condiciones experimentales. Dadas las diferencias existentes entre ambas metodologías es importante poder determinar la relación entre sus resultados.

La producción agrícola bajo siembra directa (SD) contribuye a la conservación del contenido de carbono orgánico y al aumento de la estabilidad estructural, mejorando de esta manera la capacidad de captación del agua para los cultivos. A su vez, la incorporación de este sistema de labranza conduce a la estratificación de las propiedades edáficas, particularmente de la materia orgánica (Franzluebbers, 2003). Dicha estratificación se vincula estrechamente con las propiedades hídricas de los suelos como la infiltración y la retención de humedad (Díaz-Zorita et al. 2004), por lo cual resulta importante su evaluación.

Los cambios edáficos a partir del uso de la tierra no sólo dependen del sistema de labranza instalado, sino también del tipo de suelo, de las condiciones climáticas imperantes, del nivel de degradación inicial de las tierras y de la secuencia y rendimiento de los cultivos (Díaz-Zorita et al., 2004).

Son numerosos los estudios que coinciden que en los suelos bajo SD aumenta la tasa de infiltración y su capacidad de almacenamiento de agua, siendo menores las pérdidas por escorrentía respecto a los suelos bajo laboreo convencional. No obstante esto, es escasa la bibliografía publicada acerca de cómo afectan los distintos cultivos o sus distintas secuencias en el comportamiento hidrológico de los suelos bajo este sistema de labranza.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de distintas secuencias de cultivos sobre diferentes propiedades hidrológicas edáficas, tomando como referencias una pradera de 10 años y una parcela labrada sin vegetación.

2. MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en 6 parcelas experimentales situadas en la Estación Experimental de INTA Paraná para medición de las pérdidas de suelo y volumen del escurrimiento superficial. Tienen una superficie de 100 m² y cada una cuenta con dos piletas para coleccionar el agua de escurrimiento. Las parcelas fueron construidas en 1970 para medir los coeficientes de cultivos para aplicar en la ecuación universal de pérdida de suelo (Convenio FAO-INTA, 1969-1974), sobre un suelo Argiudol ácuico con 3,5% de pendiente (Figura 1). Hasta fines de la década del 90 se cultivaron con sistema de labranza convencional y a partir de entonces cesaron las labores y se continuaron las secuencias de cultivos bajo SD. Los tratamientos fueron: monocultivo de maíz y soja, secuencias trigo/soja (T/S) y trigo/soja-maíz (T/S-M), pradera y suelo labrado.

Se cuenta con registros de escurrimiento anual en cada parcela y para tormentas de distinta intensidad. Para este análisis se utilizaron las pérdidas de agua por escurrimiento superficial correspondientes a la campaña 2006-2007 cuyo registro de lluvia fue muy elevado (1574 mm) con respecto al promedio anual histórico (período 1934/2007: 1027 mm). En la campaña siguiente, 2007-2008, sólo se registraron 745 mm.



Figura 1. Parcelas de escurrimiento de EEA INTA Paraná

En septiembre de 2008, en cada una de estas parcelas se estimó la conductividad hidráulica saturada y sortividad superficial con un permeámetro de disco de 10 cm de diámetro con 5 repeticiones. La sortividad se estimó a partir del registro de la tasa de infiltración ocurrida durante los primeros estadios de dicho proceso. Para el caso de la conductividad hidráulica saturada se utilizó el procedimiento mencionado por Filgueira et al. (2006), teniendo en cuenta la tasa de infiltración de equilibrio.

Finalizados los ensayos de infiltración y 24 hs después, en el mismo sitio, se extrajeron muestras con cilindros de 5 cm de diámetro y 3 cm de altura a las profundidades de 0-4 cm y 4-8 cm. Con los cilindros se determinó: densidad aparente (Dap) por el método del cilindro, conductividad hidráulica saturada (Kh) por el método de la columna de agua constante (Klute y Dirksen 1986) y distribución de poros por tamaño en celdas Tempe a 6 kPa para estimar la macroporosidad ($>50 \mu\text{m}$) y con ollas de presión a 33 y 1500 kPa para estimar mesoporosidad (entre 10 y $50 \mu\text{m}$) y microporosidad ($<10 \mu\text{m}$). La porosidad total (PT) se midió como la humedad volumétrica a saturación.

Para interpretar el efecto de las secuencias de cultivos sobre las propiedades de suelo se utilizó el análisis de la varianza (ANOVA), aplicando el test de comparación múltiple de medias LSD ($p<0.05$) utilizando el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute 1989). Se realizaron correlaciones lineales entre las conductividades hidráulicas a campo y en laboratorio y de ambas con el resto de las propiedades edáficas medidas mediante el procedimiento COR de SAS (SAS Institute 1989).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Escurrimiento

En la Tabla 1 se presentan los valores de escurrimiento totales para la campaña 2006-2007 y la relación entre la lluvia y el escurrimiento. Los monocultivos presentaron pérdida de agua 6 veces mayor que la pradera. Las secuencias de cultivos tuvieron pérdidas similares e intermedias. El suelo laboreado registró el volumen escurrido más elevado.

En general, se sostiene que bajo SD continua la cobertura superficial de residuos de cosecha y el incremento en los niveles de materia orgánica en los primeros centímetros del suelo producen el aumento de la tasa de infiltración y de la capacidad de almacenamiento de agua y la reducción de la escorrentía. Sin embargo, en este estudio las pérdidas de agua en los monocultivos de soja y maíz fueron equiparables a obtenidas bajo estos cultivos, pero con laboreo (Frye et al., 1985).

Tabla 1. Valores de escurrimiento y de pérdida de suelo totales del período y la relación entre la lluvia y el escurrimiento en parcelas de escurrimiento

| Tratamiento | Escurrecimiento (mm) | Escurrecimiento/ lluvia efectiva (%) |
|-------------|-------------------------|--|
| Labrado | 413 | 30 |
| Maíz | 339 | 24,5 |
| Soja | 328 | 24 |
| M-T/S | 178 | 13 |
| T/S | 180 | 13 |
| Pradera | 48 | 3 |

La mejora más importante del sistema de cultivo sobre la sustentabilidad del sistema, fundamentalmente en suelos con capacidad de almacenamiento disminuida por erosión, es la disminución del escurrimiento y el consecuente incremento en la infiltración (Frye et al., 1985). La producción de materia seca total del período de estudio fue 21.382, 5.895, 8.670 y 6.214 kg ha⁻¹ para maíz, soja y la secuencia T/S de M-T/S y T/S, respectivamente. Así, el maíz continuo con más de 3 veces la producción de materia seca que los demás sistemas tuvo un escurrimiento y una pérdida de suelo equiparables a la soja continua. En consecuencia, más importante que la cantidad de materia seca cubriendo el suelo durante el ciclo del cultivo sumado a los residuos sobre la superficie después de su cosecha, resulta el tiempo de ocupación con cultivos y raíces vivas.

3.2. Ensayos de conductividad hidráulica y sortividad a campo

En la Tabla 2 se presentan los valores medios de K_{hc}, K_h y sortividad con sus respectivos coeficientes de variación. Se observa que el movimiento de agua a flujo saturado determinado a campo fue significativamente mayor ($p < 0.05$) en la pradera respecto a los demás tratamientos, mientras que la distinta sucesión de cultivos no afectó este parámetro. También se observa que los dos usos de la tierra que presentan mayor contraste (pradera y labrado) fueron los que menor variabilidad presentaron en los resultados, de tal manera que tanto la remoción del suelo y su posterior exposición al impacto de la gota de lluvia como la cobertura permanente con pradera, lograron el mismo grado de homogeneización de esta propiedad, aunque con valores de K_{hc} distintos.

Tabla 2. Valores medios de conductividad hidráulica medida a campo (K_{hc}) y en laboratorio (K_h) y la sortividad con sus respectivos coeficientes de variación. Los dos últimos parámetros obtenidos del espesor 0-4 cm.

| | K _{hc} (mm h ⁻¹) | C.V. (%) | K _h (mm h ⁻¹) | C.V. (%) | Sortividad (mm h ^{-1/2}) | C.V. (%) |
|---------|--|-------------|---|-------------|---------------------------------------|-------------|
| Labrado | 18.41 b | 22 | 89.15 b | 89 | 0.0246 a | 24 |
| Maíz | 26.79 b | 44 | 48.70 b | 140 | 0.0210 a | 53 |
| Soja | 27.36 b | 49 | 29.76 b | 134 | 0.0274 a | 36 |
| M - T/S | 34.82 b | 52 | 30.16 b | 77 | 0.0220 a | 31 |
| T/S | 23.26 b | 67 | 6.32 b | 87 | 0.0230 a | 47 |
| Pradera | 87.23 a | 22 | 374.56 a | 53 | 0.0309 a | 32 |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Respecto a la sortividad, esta representa el movimiento de agua de los primeros estadios del proceso de infiltración, y está determinada principalmente por diferencias de tensión en el agua edáfica. Debido a ello es importante el rol que juega tanto el contenido de agua inicial del suelo como la textura del mismo. En este sentido la granulometría no varió entre parcelas, mientras que la humedad inicial fluctuó tanto entre como dentro de las mismas. El intervalo de contenido de agua gravimétrica estuvo entre el 5 y 17%, y su variabilidad si bien no explica la dispersión de resultados de sortividad encontrada, es mayor dentro de cada parcela que entre tratamientos. La falta de diferencias estadísticas de sortividad entre los tratamientos analizados, indica que esta propiedad no está condicionada por el uso de la tierra en este tipo de suelo.

En cuanto a su capacidad de separar las distintas situaciones bajo estudio, el análisis de la K_h muestra tendencias similares a las encontradas a campo. Sin embargo, se observa que los valores difieren respecto a la

Khc, dependiendo del tratamiento analizado. Hubo una asociación significativa entre la Khc y Kh ($p < 0.01$, $r = 0.72$), siendo esta última 2,5 veces mayor. La soja continua y M-T/S tuvieron valores de Khc y Kh similares, mientras que T/S fue la única que presentó valores bajos en la Kh. Por su parte, el suelo labrado y la pradera fueron los que presentaron los mayores valores en esta determinación con respecto a Khc.

Se observó que el logaritmo natural de la Khc puede ser un buen predictor de los escurrimientos de las parcelas ($r = -0.83$, $p < 0.05$). Contrariamente los valores obtenidos en laboratorio no mostraron una asociación significativa con los escurrimientos ocurridos.

En todos los tratamientos la dispersión de los resultados fue mayor en la determinación de laboratorio, mientras que la pastura persistió con su menor variabilidad. El aumento del C.V. en el tratamiento labrado se debe a que la medición de Kh se realizó en los primeros centímetros de suelo, y por lo tanto queda minimizado el efecto homogeneizador del encostramiento causado por el impacto de la gota de lluvia en superficie.

En la Tabla 3 se muestran los valores de Kh correspondientes al espesor 4-8 cm. En profundidad tampoco existieron diferencias en el movimiento de agua entre las secuencias de cultivos. Blanco-Canqui et al (2004) mencionan diferencias entre el monocultivo de soja y el de maíz en la conductividad hidráulica saturada. Estos autores también encontraron que el tratamiento labrado y sin vegetación presentaba menores valores de movimiento de agua respecto a los cultivados con soja y maíz.

Tabla 3. Valores medios de conductividad hidráulica medida en laboratorio (Kh) y su coeficiente de variación obtenidos del espesor 4-8 cm.

| | Kh (mm h ⁻¹) | C.V. (%) |
|---------|-----------------------------|-------------|
| Labrado | 96.3 ab | 44 |
| Maíz | 24.1 b | 182 |
| Soja | 4.3 b | 167 |
| M – T/S | 77.9 ab | 80 |
| T/S | 2.9 b | 31 |
| Pastura | 291.2 a | 106 |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

3.3. Distribución de poros

En la Figura 2 se observan las diferencias encontradas entre los distintos tratamientos en la distribución de las categorías de poros del espesor 0-4 cm. El porcentaje de macroporos fue menor ($p < 0.05$) en la soja continua respecto a la pradera y al suelo labrado, mientras que las restantes parcelas con cultivos también tuvieron menor proporción de macroporos, pero solamente en relación a la pradera. Benjamín et al. (2007) indican que la acción favorable que pueden aportar distintos cultivos sobre la formación de poros es muy lenta. Es por ello, que mencionan que para la creación de redes de poros más continuas y estables es más efectiva la acción de la vegetación perenne.

El porcentaje de mesoporos fue mayor en la rotación T/S-M respecto a las demás, con excepción de la soja continua. Por su parte los tratamientos con cultivos tuvieron un porcentaje de microporos similar al de la pradera a excepción de la soja continua que se asemejaron al de la parcela descubierta. A su vez estos resultados nos señalan, al igual que lo hallado con la Khc, que la influencia de los cultivos en estos suelos es baja sobre la formación y estabilización de las distintas categorías de poros.

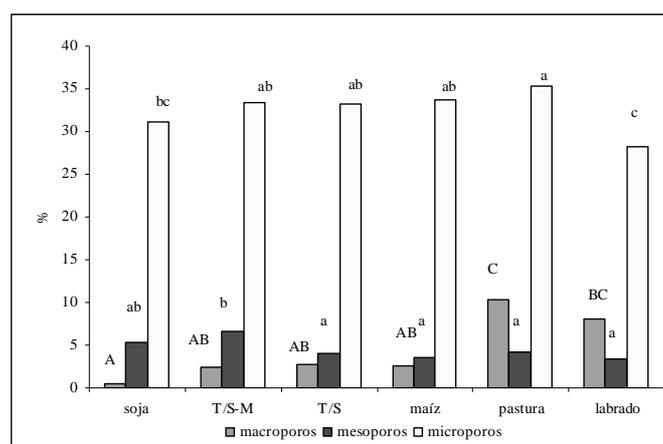


Figura 2. Distribución de categorías de poros del espesor 0-4 cm. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada categoría de poros ($p < 0.05$).

En la Figura 3 se observan las diferencias encontradas entre los distintos tratamientos en la distribución de las categorías de poros del espesor 4-8 cm. La pradera se diferenció en menor medida de los otros tratamientos en el porcentaje de macroporos respecto al espesor superficial, mientras que en el suelo desnudo las diferencias fueron mayores.

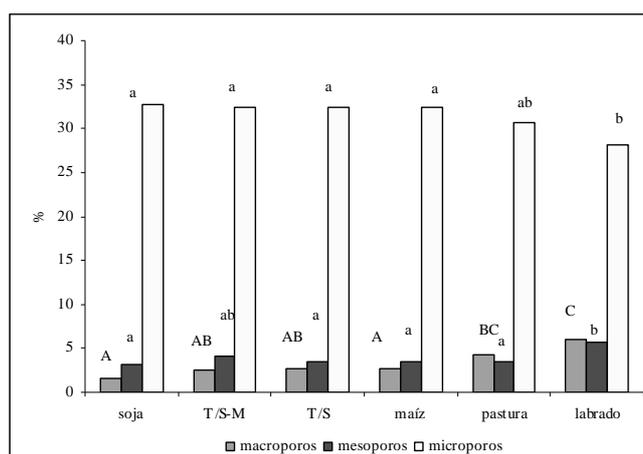


Figura 3. Distribución de categorías de poros del espesor 4-8 cm. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada categoría de poros ($p < 0.05$).

Hubo correlación entre K_{hc} y PT y D_{ap} de los primeros 5 cm. La PT y los poros $< 10 \mu m$ superficiales explicaron la variación del volumen anual escurrido.

4. CONCLUSIONES

Si bien, los tratamientos analizados presentaron diferencias importantes en los escurrimientos anuales, las propiedades hidrológicas edáficas estudiadas no permitieron diferenciar el efecto de las secuencias de cultivos bajo SD. Por ello, se destacó la importancia de evaluar aspectos vinculados a los sistemas de producción como tránsito, aporte de residuos y actividad de las raíces.

Los monocultivos presentaron pérdidas de agua 6 veces mayor que la pradera. En este sentido, los valores de

las propiedades hidrológicas edáficas en la pradera se diferenciaron positivamente de los otros tratamientos evaluados, por lo que la inclusión de praderas en las secuencias de cultivos en siembra directa sería recomendable.

La parcela desprovista de vegetación, expuesta al impacto de gota de lluvia, disminuyó sensiblemente su capacidad de infiltración por la formación de un sello superficial. Esta formación logró que los valores de infiltración fueran bastante homogéneos dentro de la parcela, mientras que debido a su escaso desarrollo en profundidad no pudo ser detectada en la cuantificación de los distintos tamaños de poros.

La macroporosidad no resultó sensible a los sistemas de cultivo. Sin embargo, la microporosidad tuvo relación con el volumen de agua anual escurrido.

Si bien, hubo asociación entre los métodos de campo y laboratorio para medición de la conductividad saturada, sólo la primera fue explicada por la variación de la porosidad de los primeros centímetros del suelo.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado con fondos correspondientes a los proyectos UBACyT G 406, Regional INTA ERIOS02, Nacional INTA AEGA1663 y CGL CGL2005 - 08219 -C02-01-HID. Agradecemos la colaboración de María Liliana Darder, Néstor Garciarena y Carlos Acosta.

REFERENCIAS

- Blanco-Canqui H., C. J. Gantzer, S. H. Anderson, and E. E. Alberts. 2004. Tillage and Crop Influences on Physical Properties for an Epiqualf. Soil Sci. Soc. Am J. 68:567-576.
- Benjamin J.G., M. Mikha, D. C. Nielsen, M. F. Vigil, F. Calderón, W. B. Henry. 2007. Cropping Intensity Effects on Physical Properties of a No-till Silt Loam. Soil Sci. Soc. Am. J. 71:1160-1165.
- Díaz-Zorita, M; Barraco, M; Alvarez, C. 2004. Efecto de doce años de labranzas sobre un hapludol del noroeste bonaerense. Ciencia del Suelo 22: 11-18
- Filgueira, R., Soracco, C. G., Sarli, G. O., Fournier, L. 2006. Estimación de propiedades hidráulicas de suelos por mediciones a campo y el uso de modelos de flujo estacionario y transitorio. Ciencia del Suelo 24 (1): 39-48.
- Franzluebbers AJ. 2003. Conservation tillage and stratification on soil properties: a summary of the special issue in Soil and Tillage Research. ISTRO 16th Conference, Brisbane, Australia. En CD.
- Frye W.W., Bennett O.L. y G.J. Buntley. 1985. Restoration of crop productivity on eroded or degraded soils. In: Soil Erosion and crop productivity (Follet and Stewart eds). ASA-CSSA-SSSA. Madison, USA. 335-356.
- Klute A, Dirksen C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. En: Klute (cd.) Methods of soil analysis. Part 1 2nd ed. Agron. Monogra. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA. PP687-734.
- SAS Institute Inc. 1989. SAS/STAT User's guide, Version 6. 4th edition. Vol. 2. Cary, NC: SAS Institute Inc. 846 pp.