

EFFECTOS DE LA LABRANZA CONVENCIONAL SOBRE LA SORTIVIDAD Y CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA EN UDOLES DEL SURESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

F N CABRIA y J Ph CULOT

Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. CC. 276 (7620). Balcarce, Argentina.

Recibido 18 de octubre de 1999, aceptado 3 de enero de 2000.

CONVENTIONAL TILLAGE EFFECTS ON SORPTIVITY AND SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY ON UDOLLS IN THE SOUTH-EAST OF BUENOS AIRES PROVINCE.

The objectives of this study were to compare soil infiltration in three soil series, to assess the long-term effect that the conventional tillage has on saturated hydraulic conductivity and to determine whether saturated hydraulic conductivity (K_s) in the principal horizons of the *sequum* is isotropic or not. With this purpose, sorptivity (S), final infiltration (i_f) and saturated hydraulic conductivity (K_{sA} and K_{sB}) were determined. Applying Schwartzendruber equation to infiltration data obtained with the concentric rings methodology, S and i_f were calculated. Undisturbed soil samples in two directional axis, parallel and perpendicular to soil surface were collected and K_{sA} and K_{sB} using Klute, and Dirksen methodology were determined. The results showed that: 1) the soils are different when characterized by S and K_s . 2) conventional tillage has an effect on K_{sA} and K_{sB} on the long term. 3) K_{sA} and K_{sB} magnitudes are co-linear to soil effective depth. 4) Saturated hydraulic conductivity decreased in surface and subsurface horizons under conventional tillage. 5) S is increased in the superficial horizons under conventional tillage. 6) Saturated hydraulic conductivity is isotropic in surface horizonS but not in argillic horizonS.

key words: tillage effect, sorptivity, saturated hydraulic conductivity, permeability relationships.

Palabras claves: labranza convencional, sortividad, conductividad hidráulica saturada, permeabilidad.

INTRODUCCION

En el sector periserrano de la Tandilia, centro-sudeste de la provincia de Buenos Aires, históricamente el tipo de uso de las tierras ha sido mixto agropecuario. Sólo en algunos sectores superficialmente poco importantes la agricultura prevaleció sobre la ganadería.

Con el advenimiento de las nuevas tecnologías, semillas, agroquímicos, maquinarias y riego, entre otras, la actividad agrícola ha sustituido a la ganadera y debido a que el sistema de labranza más utilizado es el convencional (arado de reja y rastra de discos para la preparación de la cama de siembra), existe un alto riesgo de degradar los suelos. De hecho, en los últimos años se ha observado un incremento de la superficie afectada por erosión hídrica, principalmente en los sectores con pendientes considerables y/o en aquellos

en donde suelos de limitada profundidad efectiva están bajo riego.

Según Driessen (1986), el encharcamiento en los suelos sobreviene cuando el caudal crítico es superado, lo cual sucede cuando la intensidad de aplicación de la lámina de riego supera a la conductividad hidráulica saturada (K_s) de la capa del suelo que se está mojando. Esto sucede aún cuando la lámina a agregar está bien estimada. Por otra parte, la velocidad de infiltración del suelo (i_t) disminuye en función del tiempo transcurrido y su valor a tiempos muy prolongados tiende a ser constante. Según Hillel (1982), en ese momento el valor de i_t se corresponde al de K_s , pudiéndose obtener a partir de modelos que ajustan datos de infiltración acumulada (I) recolectados a campo. La factibilidad de aplicar este procedimiento en Udoles con horizonte de

diagnóstico subsuperficial argílico ubicados en el sudeste Bonaerense, ha sido evaluada por Cabria y Culot (1999). Estos autores concluyeron que el procedimiento es correcto sólo bajo un marco metodológico particular que describen. Por su parte, en esos suelos Ferreras (1996) observó que el diseño del espacio poroso es afectado por el sistema de labranza convencional, planteándose el interrogante sobre en qué medida esto afecta al flujo de agua. Los objetivos del presente trabajo fueron determinar en qué medida la labranza convencional afecta a largo plazo las magnitudes de la sorptividad (S) y K_s , y comprobar si el flujo de agua saturado en los horizontes principales del *sequum* es isotrópico.

MATERIALES Y METODOS

En la estación experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria ubicada en Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina, se seleccionaron al azar ocho pedones para cada una de tres series de suelos. La mitad de los pedones de cada serie representan suelos en los cuales se realizó agricultura continua bajo labranza convencional desde 1984. La rotación de cultivos fue soja, maíz, trigo, girasol y papa, utilizándose arado de reja y rastra de discos para la preparación de la cama de siembra. Los restantes pedones corresponden a suelos ubicados entre las áreas cultivadas de la estación experimental, que al menos en los últimos 20 años no han sido disturbados por labranzas (suelos no labrados).

Los suelos se clasifican como Argiudol Páquico, franco-fino, mixto, térmico, Paleudol Petrocálcico, fino, illítico, térmico y Paleudol Petrocálcico, fino, mixto, térmico, series Mar del Plata, Azul y El Cruce respectivamente (Cabria, Culot 1994). Todos son de aptitud agrícola, pero debido a la presencia de un horizonte petrocálcico difieren en profundidad efectiva. Los suelos Mar del Plata son profundos, sin interrupción del perfil al menos en los primeros 150 cm de profundidad. En cambio, la serie Azul y El Cruce son suelos moderadamente profundos y someros respectivamente, debido a la presencia de un manto de tosca a profundidad variable. La profundidad efectiva de la serie Azul fluctúa entre 70 y 100 cm, la de El Cruce entre 50 y 70 cm.

Los valores de S e i_t utilizados fueron calculados por Cabria y Culot (1999), quienes aplicaron la metodología de Ali y Swartzendruber (1994) modificada en cuanto a los criterios aplicados para retener el valor de aquellos parámetros que simularían apropiadamente el

proceso de infiltración del agua en la capa superficial de los suelos.

K_s se determinó en laboratorio para los horizontes superficiales y subsuperficiales del *solum*, según el método descrito por Klute y Dirksen (1986). Este se aplicó a muestras no disturbadas recolectadas según dos ejes direccionales, paralelo y perpendicular a la superficie del terreno como lo describen Dabney y Selim (1987). De los pedones de cada serie de suelo bajo un uso en particular en los cuales se determinó la infiltración acumulada a campo (I), se seleccionaron dos y se determinó K_s . La fórmula aplicada para corregir el efecto que produce la carga hidráulica de la lámina de agua impuesta al dispositivo utilizado en el laboratorio, fue la propuesta por Klute y Dirksen (1986).

La porosidad total (P_t) se calculó como la diferencia a la unidad que posee la relación densidad aparente/densidad real. La densidad aparente se determinó por el método de los agregados (Blake, Hartage 1986a), utilizando parafina como material impermeabilizante. La densidad real de las partículas que constituyen al suelo se obtuvo aplicando el método del picnómetro (Blake, Hartage 1986b).

Análisis estadístico de los datos

Se ejecutaron análisis de varianza con el objeto de determinar el efecto a largo plazo que la labranza continua ejerce sobre la sorptividad de los horizontes A (S_A) y el flujo de agua saturado de los horizontes principales del *sequum*, A y B_t . También se indagó si el flujo de agua saturado en los horizontes A y B_t puede considerarse isotrópico. Los análisis de varianza se realizaron a partir de valores originales y transformaciones logarítmicas utilizando el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (1988). La comparación de medias se realizó de apares bajo una distribución t ($P < 0.05$).

También se evaluaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas a partir de los residuos. La normalidad se verificó utilizando la opción *Normal* del procedimiento PROC UNIVARIATE del paquete estadístico SAS (1988) y la homogeneidad de varianzas, gráficamente.

RESULTADOS

De acuerdo con el estudio de la normalidad la distribución de frecuencia de K_sA e i_t fue lognormal, no así los residuos de S_A y K_sB (Tabla 1). Los parámetros que caracterizan a la curva de distribución de frecuencia de los residuos que corresponden a K_sB , no fueron estadísticamente distintos de los que posee alguna curva normal de

Tabla 1. Significancia del modelo general y de sus fuentes de variación. Coeficiente de determinación múltiple y de variación porcentual. Normalidad y homogeneidad de varianzas en los residuos.

Table 1. General model significance and variation sources. Multiple determination coefficient and percentual variation. Normality and homogeneity of residues variance.

	Modelo general			Fuentes de variación					Supuestos	
	SG	R ²	CV	I	II	III	IV	V	N	H de V
S _A	***	0.8227	44.30			NC	**	NC	***	mb
log ₁₀ S _A	***	0.4700	548.79	NS	**	NC	NS	NC	NS	s
K _{sA} e i _t	***	0.7234	83.63	***	**	NS	NS	NS	*	s
Log ₁₀ K _{sA} e i _t	***	0.7754	13.22	***	***	NS	NS	NS	*	b
K _{sB}	***	0.9755	12.58				**	***	***	r
log ₁₀ K _{sB}	***	0.9741	1.95	***	***	***	NS	NS	***	e

S_A: flujo de agua transitorio en el horizonte superficial. log₁₀: transformación logarítmica con base 10. K_{sA} e i_t: flujo de agua saturado en el horizonte superficial. K_{sB}: flujo de agua saturado en el horizonte subsuperficial. SG: significancia del modelo general. R²: coeficiente de determinación múltiple. CV: Coeficiente de variación porcentual. I: efecto del factor suelo. II: factor uso. III: factor método dentro de uso: IV: interacción suelo uso. V: interacción suelo método dentro de uso. N: normalidad. H de V: homogeneidad de varianzas. *** significativo (P<0.001), ** (P<0.01), * (P<0.05). NS: efecto no significativo. NC: no corresponde. s: sesgada. r: regular. b: buena. mb: muy buena. e: excelente.

S_A: transition water flux in the surface horizon. log₁₀: log transformation in the base 10. K_{sA} and i_t: saturated water flux in the surface horizon. K_{sB}: saturated water flux in the subsurface horizon. SG: general model significance. R²: multiple determination coefficient. CV: Variation coefficient in percentage. I: soil type effect. II: soil use effect. III: methodology factor within soil use: IV: soil / soil use interaction. V: interaction of methodology effect / soil use. N: normality. H de V: variance homogeneity. *** significant (P<0.001), ** (P<0.01), * (P<0.05). NS: non significant. NC: not concerned. s: biased. r: fair. b: good. mb: very good. e: excellent.

referencia. Sin embargo, los sesgos entre las magnitudes de las varianzas y el mayor coeficiente de variación del modelo general, justificaron procesar los datos a partir de sus logaritmos. Con esta transformación el coeficiente de variación del modelo general disminuyó y fue más estrecha la homogeneidad entre las varianzas. S_A mostró distribución normal.

Los valores de S_A definieron una interacción significativa, revelando que el efecto de la labranza sobre S_A no es de igual magnitud en los suelos estudiados (Tabla 1). Las diferencias entre S_A de suelos no labrados no fueron significativas (Tabla 2). El incremento de S_A en la serie Mar del Plata labrada fue mucho mayor que en los suelos Azul y El Cruce, estableciendo una diferencia significativa entre estos dos grupos y también entre Mar del Plata labrado y los suelos no

labrados como conjunto.

Cuando los suelos se comparan a partir de K_{sA}, los efectos significativos correspondieron a los factores suelo y uso (Tabla 1). Esto significa que en los suelos estudiados la magnitud del flujo de agua saturado dependió de las características intrínsecas del horizonte A y del tipo de manejo efectuado. Ninguna interacción fue significativa, determinando que el efecto de la labranza sobre K_{sA} en los tres suelos fue semejante en magnitud y dirección. Puede aseverarse que, a excepción de la serie Azul no labrada la cual no se diferenció estadísticamente de los suelos Mar del Plata labrados, los restantes perfiles fueron disímiles cuando se los comparó a partir del flujo de agua saturado de sus horizontes superficiales (Tabla 2). Este disminuyó en todos los casos por el efecto que ocasiona un manejo con

Tabla 2. Porosidad total (Pt), conductividad hidráulica saturada (KsA: mm h⁻¹), sorptividad (S_A: mm h^{-1/2}) y humedad volumétrica (θ_v) en horizontes superficiales.

Table 2. Porosity (Pt), saturated hydraulic conductivity (KsA: mm h⁻¹), sorptivity (S_A: mm h^{-1/2}), and volumetric water content (θ_v) in surface horizons.

	Mar del Plata		Azul		El Cruce	
	Labrada	No labrada	Labrada	No labrada	Labrada	No labrada
Pt	0.4958 a	0.4913 a	0.4644 b	0.4893 ab	0.4126 c	0.5107 d
Ks _A	48.24 b	70.60 a	32.81 c	44.08 b	12.63 d	17.80 e
S _A	299.30 b	88.40 a	102.15 a	41.69 a	83.50 a	32.49 a
θ _v	0.2509 a	0.2944 b	0.2652 a	0.2710 ab	0.2637 a	0.3046 ab

Cada fila corresponde al análisis de una variable. En una fila letras distintas indican diferencias significativas (P<0.05). Mar del Plata: suelo profundo, Azul: moderadamente profundo y El Cruce: somero.

Each row correspond to the analysis of one variable. Within one row, different letters indicate significant differences (P<0.05). Mar del Plata: deep soil, Azul: moderately deep soil and El Cruce: shallow.

labranza convencional continua; y se asocia positivamente con la profundidad efectiva de los suelos. También se confirmó que las direcciones de muestreo no fueron estadísticamente diferentes (Tabla 3).

Las diferencias entre los valores de i_t , KsA_h y KsA_v (infiltración final, conductividad hidráulica paralela y perpendicular a la superficie del suelo

respectivamente) en cada uno de los suelos bajo un uso en particular, no fueron estadísticamente significativas. No hay efecto método (Tabla 3).

Si bien la conductividad hidráulica saturada paralela a la superficie del suelo en los horizontes B_t (KsB_h) de los pedones bajo labranza convencional continua, fue levemente inferior que la de sus homónimos

Tabla 3. Comparación entre el flujo de agua saturado de los horizontes superficiales de los tres suelos estimado a partir de la infiltración acumulada medida a campo (I) y medido en laboratorio sobre muestras no disturbadas recolectadas paralela y perpendicularmente a la superficie del suelo (KsA_h y KsA_v).

Table 3. Comparison between saturated water flux in the surface horizons of three soils. i_t : estimated through field movement of accumulated infiltration. KsA_h y KsA_v : estimated by Klute method on undisturbed samples collected horizontally and vertically, respectively.

	Mar del Plata		Azul		El Cruce	
	Labrada	No labrada	Labrada	No labrada	Labrada	No labrada
i_t	1.74 b	1.81 a	1.58 c	1.63 b	1.03 e	1.23 d
Ks _{Ah}	1.65 b	1.86 a	1.49 c	1.68 b	1.09 e	1.26 d
Ks _{Av}	1.67 b	1.87 a	1.48 c	1.68 b	1.17 e	1.25 d

i_t : infiltración final. Letras distintas indican diferencias significativas (P<0.05). Las magnitudes son el logaritmo decimal del flujo de agua saturado en mm.h⁻¹. Mar del Plata: suelo profundo, Azul: moderadamente profundo y El Cruce: somero.

i_t : Final infiltration. Different letters indicate significant differences (P<0.05). Units are log₁₀ of saturated water flux (mm.h⁻¹). Mar del Plata: deep soil, Azul: moderately deep soil and El Cruce: shallow soil.

no labrados, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Tabla 4). El flujo de agua en los perfiles someros, serie El Cruce, fue estadísticamente distinto del correspondiente a los restantes suelos, diferencia que es independiente del uso. El uso ejerció un efecto significativo sobre la conductividad hidráulica saturada vertical de los horizontes B_t (KsB_v). Cuando los suelos no son perturbados por labranzas, las diferencias entre KsB_v de las tres series de suelo fueron significativas (2.69, 1.74 y 1.08 $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, suelos Mar del Plata, Azul y El Cruce, respectivamente). El efecto de la labranza sobre este parámetro no fue significativo en la Serie Azul, pero sí en las series El Cruce y Mar del Plata (Tabla 4).

A diferencia de lo sucedido en los horizontes A, en los horizontes B_t el efecto de la dirección de muestreo fue estadísticamente significativo (Tabla 4). En cada serie de suelo bajo un uso en particular, siempre KsB_v fue mayor que KsB_h , fluctuando su cociente entre 1.9 y 2.5 aproximadamente. Esta relación (relación de permeabilidad de Basak) muestra que la conductividad hidráulica saturada vertical en los horizontes argílicos estudiados fue 2 a 3 veces mayor que la horizontal.

Los resultados muestran que la labranza convencional tuvo un efecto disímil sobre Pt en los suelos estudiados. Se observó una tendencia; a medida que la profundidad efectiva disminuye, el espacio poroso en los suelos se reduce y tiende a ser

significativamente distinto del de los homónimos no labrados (Tabla 2).

Finalmente la humedad volumétrica en la capa superficial de un suelo al iniciarse las infiltraciones en el campo, siempre fue menor en los sitios labrados, pero sólo fue estadísticamente distinta en la serie Mar del Plata (Tabla 2).

DISCUSION

Sortividad (S_A)

Philip (1957) demostró que S aumenta cuando el contenido de humedad inicial de un suelo disminuye. La relación que establecieron dichos parámetros en los suelos estudiados, mostró una respuesta en tal sentido. Sin embargo, dado que S representa el efecto que ejerce la succión mátrica y la conductividad sobre el flujo de agua transitorio, existe otro factor que permite justificar su incremento en los suelos labrados. Considerando que los suelos estudiados no son salinos ni sódicos, es posible asumir que la succión del agua en estos suelos estaría estrechamente relacionada con el potencial mátrico. Según Drees *et al.* (1994), la labranza convencional afecta el diseño del espacio poroso, provocando que la red de poros interconectados que caracteriza a los suelos no disturbados, sea parcialmente reemplazada por una porosidad de apilamiento donde los espacios vacíos son de menor tamaño y discontinuos. En los suelos estudiados, el tamaño promedio y la estabilidad en agua de

Tabla 4. Comparación entre el flujo de agua saturado en los horizontes subsuperficiales de los tres suelos al ser medido en laboratorio sobre muestras no disturbadas recolectadas paralela y perpendicularmente a la superficie del suelo (KsB_h y KsB_v).

Table 4. Comparison between saturated water flux of soil subsurface horizons of three undisturbed soil samples.

	Mar del Plata		Azul		El Cruce	
	Labrada	No labrada	Labrada	No labrada	Labrada	No labrada
KsB_h	-0.1549 d	-0.0506 cd	-0.1549 d	-0.0410 cd	-0.4089 e	-0.3565 e
KsB_v	0.2175 b	0.4298 a	0.1553 bc	0.2405 b	-0.0969 d	0.0374 c

Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$). Las magnitudes son el logaritmo decimal del flujo de agua saturado en $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$. Mar del Plata: suelo profundo, Azul: moderadamente profundo y El Cruce: somero. KsB_h horizontal and KsB_v vertical samples. Different letter indicate significant differences ($P < 0.05$). Units are \log_{10} of saturated water flux ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$). Mar del Plata: deep soil, Azul: moderately deep soil and El Cruce: shallow soil.

los agregados es menor luego de 3 a 5 años de iniciado un ciclo agrícola bajo labranza convencional (Suero, Garay 1978); y esta última afecta el diseño del espacio poroso (Ferrerías, 1996). Por lo tanto, los incrementos en la sortividad de los suelos labrados en este estudio, pueden justificarse teniendo en cuenta el efecto que sobre la succión mátrica ejerce el ordenamiento de agregados estructurales disminuidos y el menor contenido de humedad volumétrica inicial.

Conductividad hidráulica saturada en horizontes superficiales (Ks_A)

Ks_A en los suelos estudiados fue disímil, disminuyó a largo plazo debido a la labranza convencional y esta reducción no se correspondió necesariamente con menores valores de porosidad total. Ehlers (1975), Shipitalo Protz (1987), Packer *et al.* (1992), Drees *et al.* (1994), Azooz y Arshad (1996) y Van den Bygaart *et al.* (1999) observaron que la labranza convencional reorganiza el diseño del espacio poroso y cuantificaron cambios en el tamaño, la cantidad y/o el tipo de espacios vacíos. Drees *et al.* (1994) determinaron que el espacio poroso total en los suelos labrados puede ser mayor que en los no labrados, no obstante, el tamaño promedio de los poros es significativamente menor. Stanley (1974) comprobó que en los suelos no disturbados el crecimiento radial de las raíces era mayor y que el incremento en el diámetro de los macroporos no se correspondía necesariamente con un aumento en la porosidad total debido a la densificación preferencial del sector circundante que rodea a las paredes de los poros. Por su parte, Dunn y Phillips (1991) encontraron que más del 70% del flujo a 0,06 kPa de tensión se realiza a través de un escaso número de macroporos de gran porosidad efectiva y que ésta es mayor en los suelos no labrados. Teniendo en cuenta los conceptos vertidos, y que el caudal de agua transportado en un poro ideal se relaciona potencialmente con el radio del mismo (ley de Poiseuille), es posible justificar por qué independientemente del incremento o la disminución del espacio poroso total, la magnitud de Ks_A fue mayor en los suelos no labrados. Además dichos conceptos permiten comprender por que no fue colineal la relación entre la diferencia de

los valores de Ks_A y el comportamiento de la porosidad total en función de la profundidad efectiva de los tres suelos estudiados.

Los valores de Ks_A calculados difieren por exceso e invierten las tendencias de los informados por Ferrerías (1996). Esta determinó la conductividad hidráulica saturada en una asociación de suelos Azul - Balcarce bajo labranza convencional y siembra directa. Los resultados que obtuvo fueron 9,163 mm h⁻¹ y 4,87 mm h⁻¹ respectivamente. En cambio, nosotros obtuvimos un valor de 44,08 mm h⁻¹ y de 32,81 mm h⁻¹ para la serie Azul no labrada y labrada respectivamente, mientras que para la serie El Cruce, suelo similar a Balcarce pero con el flujo de agua más restringido, fue de 17,80 mm h⁻¹ y 12,63 mm h⁻¹ respectivamente. Ninguna combinación entre estos valores en alguna asociación de suelos puede igualar los resultados informados por Ferrerías (1996). Estas diferencias entre las magnitudes de Ks_A pueden explicarse a partir de nuestros resultados previos (Cabria, Culot 1999). Allí demostramos que la metodología de ajuste para el cálculo de los parámetros hidráulicos que aplicó Ferrerías (1996), sobrestima S_A y subestima Ks_A . Con respecto a la inversión entre los resultados obtenidos por Ferrerías (1996) y los de este trabajo, hecho también observado por otros autores (Pagliai *et al.* 1983 y Radcliff *et al.* 1988, entre otros), ha sido explicada por Murphy *et al.* (1993), Singh *et al.* (1996) y Van den Bygaart *et al.* (1999). Se adjudicó este tipo de divergencias, al efecto perjudicial transitorio que se manifiesta en las etapas iniciales del proceso que se da, al incorporar suelos fuertemente desestabilizados por el uso continuo de labranzas convencionales a sistemas más conservacionistas. Este efecto se manifiesta a corto y mediano plazo, situación en la cual se encontraban los suelos estudiados por Ferrerías (1996).

Las diferencias entre los valores de i_t , Ks_{A_h} y Ks_{A_v} (infiltración final, conductividad hidráulica paralela y perpendicular a la superficie del suelo respectivamente), en cada uno de los suelos bajo un uso en particular no fueron estadísticamente significativas. No hubo efecto método o dirección de muestreo, lo cual significa que el flujo de agua saturado en dichos horizontes

es isotrópico.

Conductividad hidráulica saturada en horizontes subsuperficiales (K_sB)

A diferencia de lo acontecido en los horizontes A, la dirección de muestreo al determinar K_s sobre muestras no disturbadas de horizontes B_p , permiten comprobar que el flujo de agua saturado no es isotrópico. En cada suelo bajo un determinado uso, siempre K_s vertical supera a K_s horizontal. Estos resultados encuentran justificación en el concepto de grado de paralelismo desarrollado por Basak (1972). El concepto enuncia que si un material constituido por partículas de aspecto laminar es puesto bajo presión, las partículas individuales tienden a ubicarse paralelamente entre sí con el eje mayor direccionado perpendicularmente al sentido de la carga. De este modo, el aspecto morfológico en láminas concéntricas que poseen los argilanes que revisten las paredes internas de los poros, aspecto común de observar en los horizontes B_t de los suelos infiltrados (Pazos 1981), resultaría de la presión que ejerce el crecimiento radial de las raíces sobre el complejo arcillo-húmico iluvial allí floculado. Considerando el ensayo realizado por Basak (1972), nuestro K_s horizontal en los horizontes B_t equivale a su K_s vertical, mientras que su K_s radial equivale a K_s vertical de este estudio. Si se calcula la relación entre éstas para cada horizonte como el cociente entre sus logaritmos, su valor es relativamente constante. En cambio, la magnitud de K_s horizontal y vertical en los suelos labrados siempre fue menor que en sus homónimos no labrados. Este comportamiento es una característica de materiales floculados (Basak 1972), lo cual en este trabajo se interpreta como un indicio de la gran influencia que los barnices de arcilla ejercen sobre el flujo de agua saturado horizontal en los horizontes B_t argílicos. Así, la permeabilidad diferencial debida a la orientación que adquieren los dominios de arcillas que conforman los látices ubicados en las paredes de los poros y en las caras de los agregados, permite comprender el menor flujo saturado horizontal respecto del vertical. En cambio, el crecimiento radial de las raíces que es mayor en los suelos no labrados (Stanley 1974), genera un aumento en el tamaño de

los poros conductivos preexistentes, lo cual permite justificar el mayor flujo saturado vertical que poseen los horizontes B_t de suelos no labrados.

CONCLUSIONES

La labranza convencional ejerce a largo plazo un efecto sobre el flujo vertical del agua en los suelos estudiados cuando es caracterizado a partir de S y K_s . Los suelos son disímiles si se caracterizan a partir de S_A , K_sA y K_sB . El incremento de S_A en los suelos labrados se puede deber a la mayor succión mátrica que generaría la porosidad no conductiva proveniente del apilamiento de agregados de menor tamaño y al menor contenido de agua volumétrica. K_sA y K_sB son colineales con la profundidad efectiva de los suelos. K_sA disminuye en los suelos labrados. El flujo de agua saturado en los horizontes superficiales es isotrópico y no lo es en los subsuperficiales argílicos. La relación K_sB vertical / K_sB horizontal junto al concepto de grado de paralelismo de Basak (1972) y el de deformación de la matriz del suelo de Stanley (1974), permiten justificar por que el flujo de agua saturado en los horizontes B_t no es isotrópico. La causa de que K_sB se encuentre restringido en sentido horizontal, es la orientación que adquieren los dominios de arcillas que conforman los látices ubicados en las paredes de los poros y en las caras de los agregados.

REFERENCIAS

- Ali A, Swartzendruber D. 1994. An infiltration equation to assess cropping effects on soil water infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1218-1223.
- Azooz R, Arshad M. 1996. Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. *Can. J. Soil. Sci.* 76: 143-152.
- Basak P. 1972. Soil structure and its effects on hydraulic conductivity. *Soil Sci.* 114: 417-422.
- Blake G, Hartage K. 1986a. Clod Method. In: *Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods, Agronomy Monograph N° 9, 2nd Edition.* Ed. A. Klute. Am. Soc. of Agronomy, Soil Sci. Soc. of America, Madison, WI, USA. 363-375.
- Blake G, Hartage K. 1986b. Picnometer Method. In: *Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods, Agronomy Mono-*

- graph N° 9, 2nd Edition. Ed. A. Klute. Am. Soc. of Agronomy, Soil Sci. Soc. of America, Madison, WI, USA. 377-382.
- Cabria F, Culot J Ph. 1994. Selección y utilización de características edáficas para discriminar series de Argiudoles en el Sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo*. 12: 41-55.
- Cabria F, Culot J Ph. 1999. Sorptividad y conductividad hidráulica saturada en Udoles del sudeste Bonaerense, Argentina. *Ciencia del Suelo*. 17 (1): 8-19.
- Dabney S, Selim H. 1987. Anisotropy of a fragipan soil: Vertical vs. horizontal hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 3-6.
- Drees L, Karathanasis A, Wilding L, Blevins R. 1994. Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 508-517.
- Driessen P. 1986. The water balance of the soil. In: *Modelling of agricultural production: Weather, soils and crops*. Eds. H. van Keulen and J. Wolf. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, the Netherlands. 76-116.
- Dunn G, Phillips R. 1991. Macroporosity of a well-drained soil under no-till and conventional tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 817-823.
- Ehlers W. 1975. Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Sci.* 119: 242-249.
- Ferreras L. 1996. Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de suelos del sudeste Bonaerense. Tesis de Maestría. Escuela para gradados. Convenio Facultad de Agronomía (UBA). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.
- Hillel D. 1982. *Introduction to Soil Physics*. Academic press Inc. 1250 Sixth Avenue, San Diego, California 92101. 364p.
- Klute A, Dirksen C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: Ed. A. Klute. *Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods*, Agronomy Monograph N° 9, 2nd Edition. Am. Soc. of Agronomy, Soil Sci. Soc. of America, Madison, WI, USA. 687-734.
- Murphy B, Koen T, Jones B, Huxedurp L. 1993. Temporal variation of hydraulic properties for some soils with fragile structure. *Aust. J. Soil Res.* 31: 179-197.
- Packer I, Hamilton G, Koen T. 1992. Runoff, soil loss and soil physical property changes of light textured surface soils from long-term tillage treatments. *Aust. J. Soil Res.* 30: 789-806.
- Pagliai M, La marca M, Lucamante G. 1983. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. *J. Soil Sci.* 34: 391-403.
- Pazos M. 1981. Micromorphology and mineralogy of the sand fraction of some Mollisols of Argentina. M.Sc. Thesis State University of Ghent. Belgium. 124 pp.
- Philip J. 1957. The theory of infiltration. 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci.* 84: 257-264.
- Radcliff D, Tollner E, Hargrove W, Clark R, Golabi M. 1988. Effect of tillage practices on infiltration and soil strength of a typic Hapludult soil after ten years. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 798-804.
- SAS Institute. 1988. *SAS/STAT user's guide*. Version 6.04 ed. SAS Inst., Cary, NC.
- Shipitalo M, Protz R. 1987. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. *Can. J. Soil Sci.* 67: 445-456.
- Singh B, Chanasky D, McGill W. 1996. Soil hydraulic properties of an Orthic Black Chernozem under long-term tillage and residue management. *Can. J. Soil Sci.* 76: 63-71.
- Stanley A. 1974. Influence of the plant root on ion movement in soil. In: Carson E.W. eds. *The plant root and its environment*. Virginia polytechnic institute and state University. University Press of Virginia, Charlottesville. pp. 525-564.
- Suero E, Garay A. 1978. Estado estructural del horizonte superficial de suelos Argiudoles del SE. bonaerense. II. Modificaciones producidas por el manejo a que han sido sometidos los suelos. *Actas 8ª Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo*. Bs. As. Argentina.
- Van den Bygaart A, Protz R, Tomlin A. 1999. Changes in pore structure in a no-till chronosequence of silt loam soils, southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.* 79: 149-160.