

DINÁMICA DEL AGUA EN EL SUELO BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZA EN UNA ROTACIÓN TRIGO-SOJA

J. De Grazia¹, M. B. Barrios¹, P. A. Tiftonell, H. A. Rodríguez¹, H. I. Andrada¹ y F. Fernández¹

(1) Cátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, ruta provincial n° 4 km 2, (1836) Llavallol, Buenos Aires.

E-mail: degrazia@agrarias.unlz.edu.ar.

RESUMEN: La dinámica del agua en el suelo es un sistema de flujos que presenta gran variabilidad espacial y temporal, haciendo muy difícil su estudio. La habilidad con que un suelo puede almacenar y transmitir agua está determinada por sus propiedades hidráulicas, que a su vez dependen de la geometría del espacio poroso, la cual es modificada por las labranzas. La infiltración es la entrada del agua a través de la superficie del suelo, pero su velocidad determina la división del agua entre el drenaje interno y el escurrimiento superficial. El objetivo fue analizar el efecto de diferentes sistemas de labranzas sobre la dinámica del agua en el suelo. El ensayo se realizó en el campo experimental de la CNEA-Ezeiza, sobre un Argiacuol vértico. El día 27/12/2006 se sembró soja de 2º con tres sistemas de labranza: convencional, mínima y siembra directa. Se calcularon las constantes “K” y “n” de la ecuación de Kostiakov, la infiltración acumulada, la velocidad de infiltración y la infiltración básica. Las mediciones se realizaron a la siembra y a la cosecha del cultivo, de 0-10 cm y de 10-20 cm de profundidad. También se llevaron a cabo mediciones sobre un testigo. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Bajo las condiciones del ensayo, con escasa historia agrícola y pocos años bajo siembra directa, la conductividad, el valor “n” y la infiltración básica superficiales no son afectadas por ninguno de los sistemas de labranza evaluados y presentan valores similares a los del testigo.

Palabras clave: *Glicine max* - conductividad hidráulica – velocidad de infiltración – infiltración básica.

INTRODUCCIÓN

El empleo de siembra directa ha mostrado ejercer una acción positiva sobre la captura y almacenaje de las precipitaciones (Chagas et al. 1994, Peiretti 2005 y Barrios et al. 2006). La compactación modifica el estado de agregación y las interacciones existentes entre la fase sólida, líquida y gaseosa, disminuyendo la conductividad, permeabilidad y difusión del agua y del aire a través del sistema poroso del suelo (Soane et al. 1982).

La dinámica del agua en el suelo es un sistema de flujos que presenta una gran variabilidad espacial (anisotropismo) y temporal, haciendo muy difícil su estudio. La disponibilidad de agua para las plantas depende del sistema de raíces presente y de propiedades hidráulicas del suelo tales como la porosidad, la conductividad hidráulica y la capacidad de retención de agua. En nuestro país Filgueiras y Micucci (2004) han desarrollado un método rápido, sencillo y preciso que permite estimar las variables vinculadas a las propiedades hidráulicas del suelo como la infiltración básica, también conocida como conductividad hidráulica a flujo saturado y la sortividad.

La habilidad con que un suelo puede almacenar y transmitir agua está determinada por sus propiedades hidráulicas (capacidad hídrica, conductividad hidráulica), que a su vez dependen de la geometría de su espacio poroso, la cual es modificada por las labranzas (Pla Sentis, 1994). Las propiedades hidráulicas afectan a los procesos hidráulicos como el movimiento del agua dentro del perfil y la infiltración. Por ende las labranzas afectan a estos procesos.

La infiltración se la puede definir como el proceso de entrada del agua a través de la superficie del suelo (Fernández et al. 1971), pero lo más importante es la velocidad con que el agua ingresa al mismo, ya que ésta determina la división del agua precipitada en dos flujos: uno vertical (drenaje interno) y otro paralelo a la superficie (el escurrimiento superficial). La magnitud de estos dos flujos tiene mucha importancia debido al menor aprovechamiento del agua de lluvia por un lado y al peligro de erosión hídrica por el otro.

La capacidad de absorber agua del suelo por infiltración no es constante y disminuye con el tiempo (Baver et al. 1973). Muchos investigadores han tratado de modelizar el fenómeno de infiltración a través de formulaciones matemáticas usando algunos supuestos y simplificaciones entre los que se puede mencionar a Horton (1933; 1939), Green y Ampt (1911) o Kostiakov (1932), citados por Baver et al. (1973). Entre las fórmulas propuestas por estos investigadores, se destaca la ecuación de Kostiakov:

$$L = K * T^n$$

donde:

L: es la lámina infiltrada.

T: es el tiempo.

K: conductividad hidráulica. Parámetro que depende de la estructura y la condición del suelo en el momento en que se aplica el agua (Gavande et al. 1972).

n: es un parámetro que depende de los cambios de estructura del suelo, resultantes de la mojadura (Gavande et al. 1972).

Esta fórmula no tiene un fundamento físico ni es dimensionalmente homogénea, pero se ajusta muy bien al fenómeno de infiltración dentro de los límites agronómicos (Fernández et al. 1971). La velocidad de infiltración depende de muchos factores, como ser la altura de la columna de agua, la temperatura del agua y del suelo, la estructura y la compactación, la textura, la estratificación, el contenido de humedad, la agregación y la actividad microbiana (Gavande et al. 1972), además de los distintos manejos y sistemas de labranza a los que es sometido el suelo.

Los cambios en la geometría del espacio poroso (compactación, piso de arado) inducidos por las labranzas producen en la capa arable un incremento en la capacidad del suelo para retener agua a bajas succiones incrementando la infiltración. Por debajo de la capa arable la capacidad de retención de agua es menor haciendo disminuir la misma (Pla Sentis, 1994).

Es preciso encontrar indicadores confiables y prácticos en el estudio de la evolución de los suelos en general, y de la dinámica del agua edáfica en particular (Gil, 2001). El objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto de diferentes sistemas de labranzas sobre la dinámica del agua en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo y tratamientos

El ensayo se instaló a comienzos del año 2005, en el campo experimental de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) ubicado en el Partido de Ezeiza, Provincia de Buenos Aires, incluido en la subregión de Pampa Ondulada (34°49' 00" LS, 58°3 4' 17" LW). El área del ensayo está ocupada por un suelo Argiacuol vértico (Soil Survey Staff 1999), moderadamente bien drenado, con relieve normal y una pendiente media del 1%. El perfil presenta la siguiente secuencia de horizonte: Ap de 0-13 cm, A2 de 13-24 cm, BA de 24 a 34 cm, Bt1 de 34-53 cm, Bt2 de 53-75 cm, BC de 75-95 cm y C de 75 cm en adelante. La reacción en todo el perfil es de neutra a ligeramente ácida. El contenido de materia orgánica de 0 a 20 cm de profundidad es de 3,01%. El contenido de fósforo y nitrógeno es moderado. Presenta rasgos de hidromorfismo (moteados de Fe y Mn) a la partir del horizonte BA.

El área del ensayo tiene una historia de muchos años de ganadería con baja carga de pastoreo sobre el pastizal natural y un cultivo de soja de 1º durante el 2005, para el cual se roturó y emparejó el suelo con dos pasadas de rastra de disco.

El día 27/12/2006 se sembró soja de 2º (*Glicine max*) variedad 4201 resistente a glifosato, a 25 cm de distancia entre hileras con tres sistemas de labranza: labranza convencional (LC), labranza mínima (LM) y siembra directa (SD).

La labranza convencional consistió de una pasada con arado de reja y vertedera y dos con rastra de disco. En la LM se realizaron dos pasadas de rastra de disco, y las parcelas destinadas a SD fueron tratadas con 3 L ha⁻¹ de glifosato inmediatamente después de la cosecha del trigo antecesor. La aplicación del glifosato y las labores del suelo se realizaron entre el 6/12/2006 y el 27/12/2006. La cosecha se realizó el 30/05/2007. El cultivo de trigo antecesor tuvo un rendimiento en grano de 5,6 tn ha⁻¹ y produjo 4,8 tn MS ha⁻¹ de rastrojo.

Muestreo y determinaciones

A partir de los datos experimentales tomados a campo con un infiltrómetro de disco se calcularon las constantes "K" y "n" de la ecuación de Kostiakov (Fernández et al. 1971), luego se calculó la infiltración acumulada, la velocidad de infiltración y la infiltración básica o conductividad hidráulica a flujo saturado.

Las mediciones y determinaciones se realizaron al momento de la siembra y de la cosecha del cultivo y para dos profundidades: de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. Todos los muestreos y determinaciones realizadas también se llevaron a cabo sobre un área externa al ensayo que no presenta alteración antrópica, por lo que se lo consideró como testigo (Te) sin disturbar. Este sector está ocupado por el mismo tipo de suelo y presenta la vegetación natural de la zona: tala (*Celtis espinosa*) y estipa (*Stipa ssp.*).

Análisis estadístico y diseño experimental

El diseño experimental consistió en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En los casos en que la variable fue analizada al momento de la siembra y de la cosecha del cultivo, se utilizó un diseño experimental en parcelas divididas. Los efectos del sistema de labranza fueron evaluados estadísticamente a través del análisis de varianza. Las medias significativamente diferentes entre sí fueron separadas usando el test de Tukey (p<005) para los diferentes parámetros de los suelos estudiados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según Gavande (1972), los suelos que presentan valores absolutos del parámetro "n" de la ecuación de Kostiakov menores a 0,6 tienen baja estabilidad de estructura. Cuando en este tipo de suelo se incrementa el contenido hídrico, los agregados estallan y las partículas disueltas en el agua van obturando los poros, por lo cual disminuye la velocidad con que el agua ingresa al perfil.

En todos los sistemas de labranza evaluados en este ensayo, para las dos profundidades y en ambos momentos de medición, se observaron valores del parámetro "n" menores a 0,6 (Tabla 1). El único caso en que dicho valor superó al 0,6 fue en el testigo de 10-20 cm de profundidad.

Estos resultados estarían indicando por un lado algún impedimento físico que puede estar relacionado con la estabilidad de la estructura y por el otro, la presencia de una elevada proporción de arcillas expandentes (Montmorillonita), que al hincharse con el paulatino humedecimiento del suelo, producen una disminución del diámetro de los poros por los cuales se puede mover el agua, afectando la velocidad de infiltración. Los bajos valores del parámetro "n" observados y su relación con el elevado contenido de arcillas expandentes, estarían de acuerdo con las características vérticas que presenta el perfil del suelo donde están ubicadas las parcelas experimentales.

La conductividad hidráulica, el valor "n" e infiltración básica de 0 a 10 cm de profundidad no fueron afectadas por el sistema de labranza ni al momento de la siembra ni de la cosecha del cultivo. De 10 a 20 cm de profundidad la LM presentó los mayores valores y la SD valores intermedios. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre profundidades para el promedio de los sistemas de labranza. Se observó una disminución significativa de la infiltración básica superficial promedio entre el inicio y el fin del ciclo del cultivo determinada por la LM y la SD (Tabla 1).

Tabla 1: Parámetros de la ecuación de Kostiakov de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm de profundidad para diferentes sistemas de labranza al momento de la siembra y de la cosecha del cultivo de soja de 2º.

Momento de muestreo	Variable (Unidades)	K (mm h ⁻¹)	n	Inf. básica (mm h ⁻¹)
<i>Profundidad 0 - 10 cm</i>				
Siembra	LC	28,4 a	-0,34 a	47,2 a
	Sistema de labranza LM	24,4 a	-0,29 a	41,4 a
	SD	28,0 a	-0,29 a	48,1 a
	Te	26,5 a	-0,36 a	42,2 a
	Promedio de 0 a 10 cm	26,8	-0,32	44,7
<i>Profundidad 0 - 10 cm</i>				
Cosecha	LC	27,2 a	-0,33 a	43,2 a
	Sistema de labranza LM	13,6 a	-0,42 a	21,2 a
	SD	14,0 a	-0,39 a	22,3 a
	Te	26,5 a	-0,36 a	42,2 a
	Promedio de 0 a 10 cm	20,3	-0,38	32,2
<i>Profundidad 10 - 20 cm</i>				
Cosecha	LC	13,3 b	-0,46 b	20,3 b
	Sistema de labranza LM	23,1 a	-0,27 a	41,0 a
	SD	16,2 ab	-0,52 ab	25,3 ab
	Te	11,5 b	-0,80 b	15,7 b
	Promedio de 10 a 20 cm	16,0	-0,51	25,6
<i>Comparación entre profundidades</i>				
<i>Significancia (F)</i>		ns	ns	ns
<i>Comparación entre momentos de muestreo</i>				
<i>0 a 10 cm de profundidad (F)</i>		ns	ns	*

Para cada profundidad, promedios seguidos de letras distintas indican diferencias significativas entre sistemas de labranza según Tukey ($p < 0,05$). LC: labranza convencional; LM: labranza mínima; SD: siembra directa y Te: testigo. K: conductividad hidráulica; n: parámetro de la ecuación de Kostiakov; Inf. básica: infiltración básica. Comparación entre profundidades para cada momento de muestreo y comparación entre momentos de muestreo para cada profundidad: (ns) no significativo y (*) significativo ($p < 0,05$).

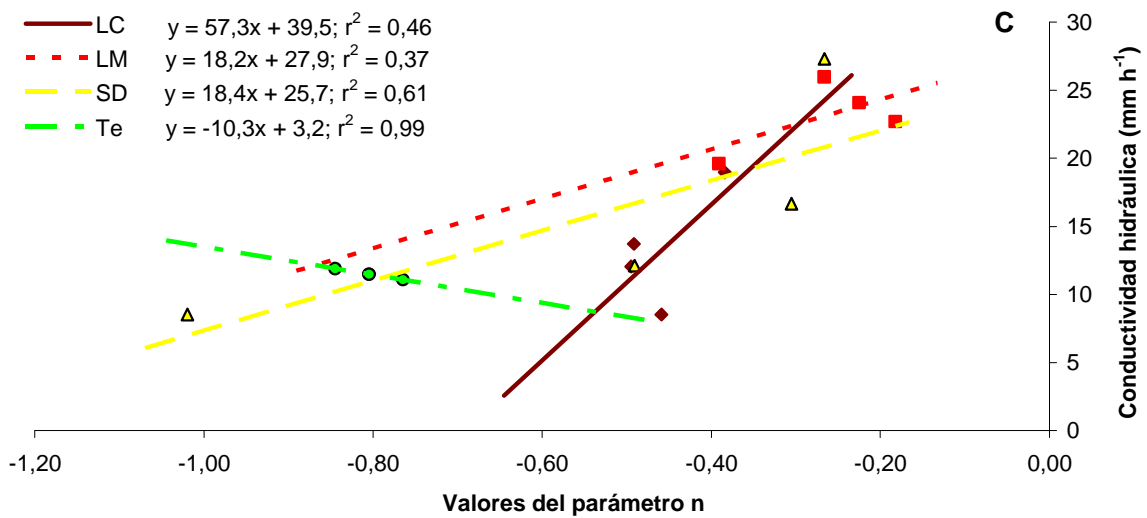
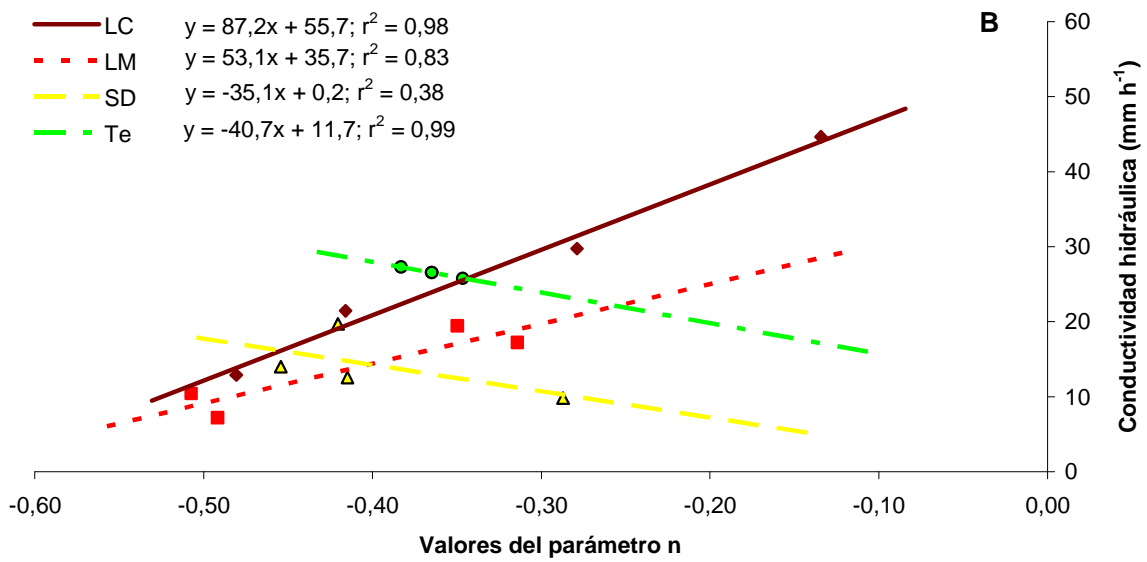
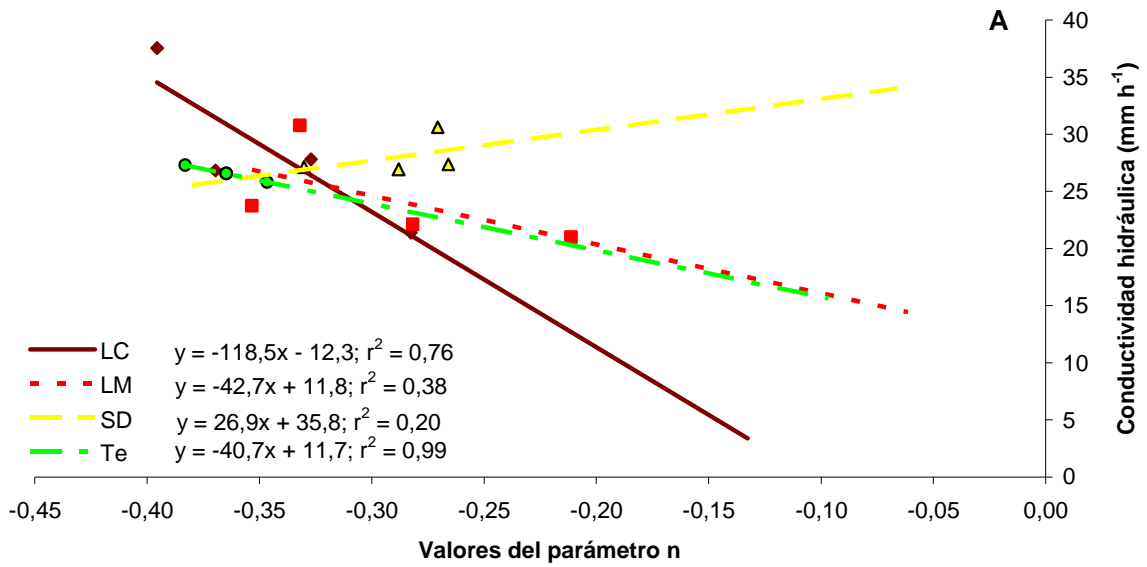


Figura 1: Relación entre la conductividad hidráulica y los valores del parámetro n de la ecuación de Kostiakov para los diferentes sistemas de labranza y el testigo. A: al momento de la siembra de 0 a 10 cm de profundidad; B y C: al momento de la cosecha de 0 a 10 y de 10 a 20 cm de profundidad, respectivamente.

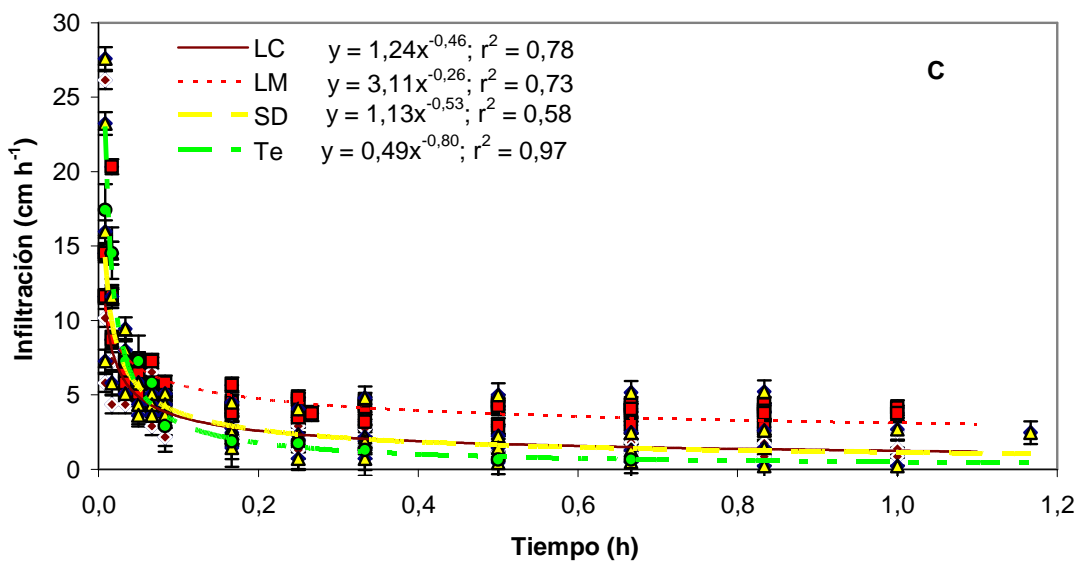
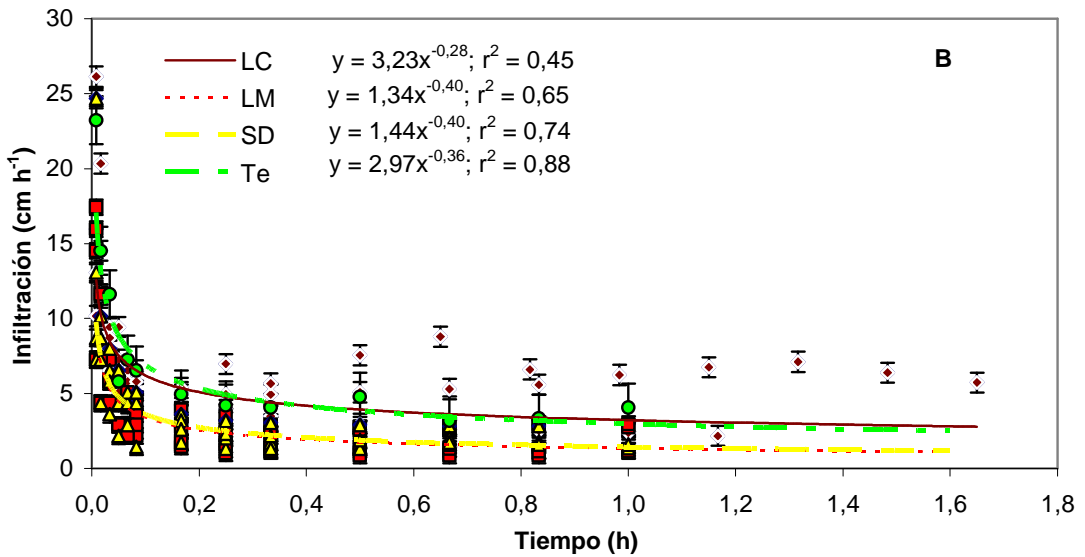
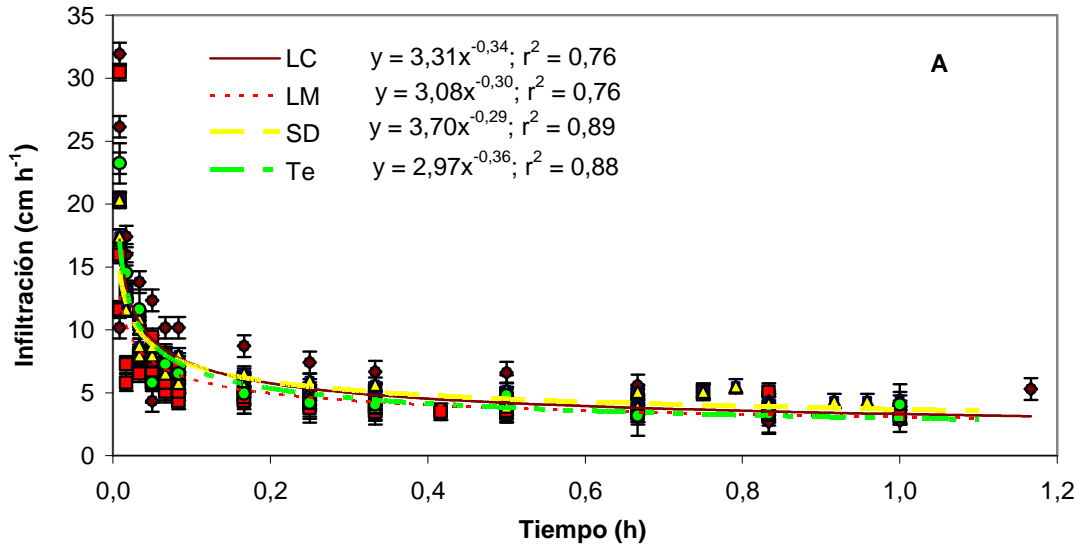


Figura 2: Velocidad de infiltración para diferentes sistemas de labranza. A: al momento de la siembra de 0 a 10 cm de profundidad; B y C: al momento de la cosecha de 0 a 10 y de 10 a 20 cm de profundidad, respectivamente.

En la figura 1 se observa la relación entre la conductividad hidráulica y los valores que adquiere el parámetro n de la ecuación de Kostiaikov para cada uno de los sistemas de labranza y el testigo. De acuerdo con lo reportado por Gavande (1972), a menores valores absolutos de dicho parámetro, se produce una disminución de la conductividad hidráulica determinada por la menor estabilidad estructural.

Al momento de la siembra esta tendencia fue observada en todos los tratamientos evaluados a excepción de la SD que mostró un comportamiento inverso (Figura 1A). Al momento de la cosecha, sólo se observó para SD y el Te cuando se analizó de 0 a 10 cm de profundidad y para el Te al analizarlo de 10 a 20 cm (Figura 1B y 1C).

La velocidad de infiltración superficial no mostró diferencias significativas entre sistemas de labranza, ni al momento de la siembra ni al momento de la cosecha del cultivo de soja (Figura 2A y 2B). Para la profundidad de 10-20 cm la labranza mínima presentó mayor velocidad de infiltración que el testigo. La SD y LC tuvieron un comportamiento intermedio, sin diferenciarse significativamente de ninguno de los tratamientos (Figura 2C). No se observó diferencias estadísticamente significativas entre las dos profundidades evaluadas.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del ensayo, con escasa historia agrícola y pocos años bajo siembra directa, la conductividad hidráulica, el valor " n " de la ecuación de Kostiaikov y la infiltración básica superficiales del suelo no son afectadas por ninguno de los sistemas de labranza evaluados y presentan valores similares a los del testigo.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrios M.B., Bozzo A.A., Debelis S.P., Pereyra, A.M. and A. Buján.** 2006. Soil physical properties of the soil and root activity in a soybean second crop/maize rotation under direct sowing and conventional tillage. Spanish Journal of Agricultural Research 4(4):355-362.
- Baver L.D., Gardner W.H. and W.R. Gardner.** 1973. Física de suelos. UTHEA. México. 529 pp.
- Chagas C.I., Marelli, H.J. y O.J. Santanatoglia.** 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. Ciencia del Suelo 12:11-16.
- Fernández P.C., Luque J.A. y J.D. Paoloni.** 1971. Análisis de la Infiltración y su aplicación para diseño de riego en el valle inferior del Río Colorado. Publicación n° 130 INTA. Pp 29 pp.
- Filgueiras R. y F.G. Micucci.** 2004. Metodologías físicas para la investigación: penetrometría e infiltración. Editorial Grafica Print Graf. La Plata, Buenos Aires, Argentina. 180 pp.
- Gavande S.A.** 1972. Física de Suelos. Principios y Aplicaciones. Ed. Limusa Wiley. Pp. 199-232.
- Gil R.C.** 2001. La Siembra Directa y el Funcionamiento Sustentable del Suelo. La condición física del suelo, el agua y la producción de los cultivos. Actas del I Seminario AAPRESID para Estudiantes. Rosario, Santa Fe, Argentina. Pp. 19-29.
- Peiretti R.A.** 2005. No Till Improves Soil Functioning and Water Management. Available at sdrob@idi.com.ar: FAO E-Conference Site <http://www.fao.org/ag/agl/agll/soilmoisture/üiilexstm>.
- Pla Sentís I.** 1994. Curso sobre efectos de la labranza en las propiedades físicas de los suelos. Instituto de Suelos. C.I.R.N. INTA Castelar. Capitulo II. Labranzas y Propiedades Físicas de los Suelos. 20 pp.
- Soil Service Staff.** 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. USDA, Soil Conservation Service. Washington D.C. 869 pp.
- Soane B., Blackwell P., Dickson J.W. and D.J. Painter.** 1982. Compaction by agricultural vehicles: a review. Scottish Institute of Agricultural Engineering. Tec. Report N° 5.