

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**

**“Trabajo final presentado
Para optar el grado de Ingeniero Agrónomo”**

**PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE UN HAPLUDOL TÍPICO BAJO
DISTINTOS SISTEMAS DE MANEJO.**

**PELLEGRINI, MATIAS
DNI: 28339214**

Director: Ing. Agr. MSc Estela Brichi

Co-Director: Ing. Agr. Gabriel Esposito.

Río Cuarto, Agosto 2008

INDICE GENERAL

Resumen	III
Summary	IV
CAPITULO 1	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Presentación, importancia del trabajo y antecedentes	1
1.2. Hipótesis	3
1.2.1. Hipótesis general	3
1.2.2. Hipótesis específicas	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
CAPITULO 2	
MATERIALES Y MÉTODOS	5
2.1. Caracterización del área de estudio	5
2.2. Determinaciones realizadas	5
2.3. Desarrollo del método de cálculo	6
2.3.1. Infiltración parcial (I_p)	6
2.3.2. Infiltración acumulada (I_a)	7
2.3.3. Velocidad de infiltración (V_i)	7
2.3.4. Conductividad hidráulica saturada (K_s)	7
2.4. Análisis estadístico	7
CAPITULO 3	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
CAPITULO 4	
CONCLUSIONES	13
BIBLIOGRAFÍA	14
INDICE DE FIGURAS	
Figura 2.1. Esquema del permeámetro de disco	6
INDICE DE TABLAS	
Tabla 3.1. Conductividad hidráulica saturada (K_s en cm h^{-1}) en las tres labranzas	9
Tabla 3.2. Conductividad hidráulica saturada (K_s en cm h^{-1}) según pastoreo	10
Tabla 3.3. Conductividad hidráulica saturada (K_s en cm h^{-1}) según fertilización	10

II

Tabla 3.4. Valores promedios de S (superficie mojada en cm^2) y K_s (en cm h^{-1})
Según pastoreo para cada una de las labranzas

11

Tabla 3.5. Disminución porcentual de la conductividad hidráulica saturada
(K_s en cm h^{-1}) con respecto a la situación ND

12

RESUMEN**PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE UN HAPLUDOL TÍPICO BAJO DISTINTOS SISTEMAS DE MANEJO.**

El objeto del trabajo fue caracterizar la conductividad hidráulica (K_s) en los primeros centímetros de un Hapludol típico con siembra directa (SD), labranza convencional (LC) y labranza reducida (LR), contrastada con una situación no disturbada (ND). En cada labranza los rastrojos son pastoreados (P) y no pastoreados (NP), fertilizado (F) y no fertilizado (NF). Las mediciones se realizaron a campo con permeámetro de disco, en post cosecha, con cuatro repeticiones. La K_s fue estadísticamente igual entre labranzas siendo menor en SD, aunque es la que mostró la menor superficie mojada (S). Tampoco se encontraron diferencias significativas entre P y NP, aunque S es en SD 20% menor en NP que P, en LR la diferencia es 10%, y en LC se invierte la relación siendo en P un 6% mayor. K_s en NF es mayor y estadísticamente diferente a F, sin embargo la S es 20% superior en SD NF comparada con F, mientras que en LR y LC la diferencia es del 22% y 13% respectivamente. La comparación de los tratamientos con ND indica que la capacidad de conducir agua ha disminuido entre un 61% y un 71%. Las prácticas de cultivo del suelo produjeron una fuerte disminución de la K_s superficial. Se concluye en que la SD habría alcanzado un estado estacionario con K_s disminuida y sería conveniente aplicar labranza vertical. El pastoreo de los rastrojos no afectaría la K_s superficial. La relación entre la K_s y S indica que la SD es la más eficiente en la distribución vertical del agua, mientras que la LC sería la menos eficiente y LR tiene mayor valor de K_s y una S intermedia a las otras dos. A los fines de evitar los escapes laterales de agua, se sugiere acoplar al infiltrómetro un cilindro externo a la base del mismo.

Palabras claves: infiltración, labranzas, pastoreo, fertilización.

SUMMARY**HYDRAULIC PROPERTIES OF A TYPICAL HAPLUDOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS.**

The aim of the work was to characterize the hydraulic conductivity (Ks) in the first centimeters of a typical Hapludol with tillage (NT), conventional tillage (CT) and reduced tillage (LR), contrasted with a non-disturbed situation (ND). In each tillage, stubbles are grazed (P) and non-grazed (NP), fertilized (F) and non-fertilized (NF). Measurements were made with hard disc permeameter in the field, in post harvest, with four repetitions. The Ks among crops was statistically similar, being its SD lower, although it actually showed the smallest wet surface (S). Significant differences between P and NP were not found either, although S is in SD 20% lower in NP than P, in LR the difference is 10%, and in LC the relationship is inverted being 6% higher in P. Ks in NF is higher and statistically different from F, however the S is 20% higher in SD NF compared with F, while in LR and LC the difference is 22% and 13% respectively. The comparison among treatment with ND indicates that the capacity to drive water decreases between 61% and 71%. Cultivation practices of soil produced a sharp decline of superficial Ks. The conclusion is that the SD would have reached a steady state with diminished Ks and it would be appropriate to apply vertical tillage. Stubble grazing would not affect the superficial Ks. The relationship between Ks and S indicates that the SD is most efficient in the vertical distribution of water, while the LC would be less efficient and LR have greater value of Ks and S intermediate to the other two. In order to prevent water side leakage, it is suggested to attach an external cylinder to the base of the Infiltrómetro.

Keywords: infiltration, crops, grazing, fertilization.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación, importancia del trabajo y antecedentes

En la región central de la Republica Argentina, específicamente en el centro sur de la provincia de Córdoba, el estado estacionario natural de los suelos se fue modificando, principalmente por el reemplazo de la vegetación natural y las tecnologías usadas, sobre todo, las labranzas. Estos impactos hicieron que el suelo por etapas sucesivas alcanzara un nuevo estado de equilibrio, cuya característica principal es la disminución de las funciones físicas, químicas y biológicas, en una magnitud equivalente al grado de resistencia al cambio que ofrecía el suelo por su condición de génesis (Bricchi *et al.*, 2003).

Desde mediados del siglo pasado la vegetación natural fue sustituida, y con la colonización que se inició aproximadamente en 1890 se inició también la actividad agropecuaria (agrícola-ganadera). En la década del 60-70 se incrementa el uso agrícola de las tierras, se generaliza la mecanización y los sistemas agrícolas ganaderos se basan en labores intensivos (De Prada, 1994).

En el periodo 70-90 se incrementa la superficie con cultivos anuales de cosecha y se incorpora el cultivo de soja, se utilizan herramientas de mayor peso y a pesar de que en la última década disminuyen las labores por el incremento en el uso de herbicidas, los suelos exhiben procesos de degradación física morfológica, tanto superficial (desagregación, sellos, encostramientos) como subsuperficial (pisos de labranza de elevada resistencia mecánica con marcada disminución de macro poros) (De Prada, 1994; Bricchi, 1996; Bricchi y Cisneros, 1998). Este proceso de degradación de los suelos también se produjo en la región pampeana y afectó en gran medida la infiltración (Michelena *et al.*, 1989).

A partir de los años 90, se propuso a la siembra directa (SD) como sistema de labranza conservacionista, a través del cual la cobertura del rastrojo y la mínima remoción contribuyen a disminuir los riesgos de la erosión y a aumentar los niveles de materia orgánica de los suelos (MOS). Sin embargo, hoy se conoce que no necesariamente los niveles de MOS aumentan en gran proporción, ni que todas las propiedades físicas evolucionan favorablemente cuando la SD se realiza en situaciones de agricultura continua (Álvarez *et al.*, 2004; Micucci y Taboada 2006)

Gran parte de la integridad física, química y biológica de los suelos, se ve condicionada por la composición edafogénica frágil, acentuada por el impacto de un uso y manejo del suelo inapropiado que repercute sobre las propiedades hidráulicas (Mendoza Reinoso y Porcel de Peralta, 1997).

Las labranzas tienen un efecto significativo sobre el movimiento y almacenamiento de agua del suelo debido principalmente a cambios en la porosidad y en la distribución de tamaños de poros (Klute 1982). Precisamente, la infiltración del agua en suelos laboreados es altamente dependiente de los cambios temporales de las propiedades hidráulicas. Existe abundante bibliografía basada en mediciones de macroporosidad y propiedades hidráulicas en suelos bajo diferentes sistemas de labranza en condiciones de laboratorio (Onstad *et al.*, 1987, Powers *et al.*, 1992, Rawls *et al.*, 1983), pero en contrapartida son menos frecuentes los estudios realizados directamente a campo. Ello se debe a que éstas propiedades muestran un alto grado de variabilidad respecto de los parámetros físicos, siendo además dificultosa su medición y muchas veces implican un alto costo (Riley, 1996). Una de las metodologías disponibles en los últimos años son los permémetros de disco, los cuales permiten medir a campo la conductividad hidráulica, la sortividad y la porosidad responsable del flujo de agua a diferentes potenciales mátricos (Perroux y White 1989). De esta manera es posible cuantificar los diferentes flujos de infiltración saturado y no saturado y su diferencia, determinando también el tamaño medio de los poros que caracterizan a dichos flujos.

La conductividad hidráulica en saturación suele ser mayor en suelos recién laboreados convencionalmente (LC), que bajo siembra directa (SD), lo cual fue atribuido al aumento de la macroporosidad (>200 micras) (Shipitalo y Protz 1987; Miller *et al.*, 1998;). En suelos con remoción, estos macroporos son susceptibles al colapso debido a la consolidación de la capa arable. Por otro lado, cuando los suelos no son removidos, como es el caso de la SD, la creación de macroporos depende exclusivamente de factores naturales (Gibbs y Reid 1988). Estos factores se relacionan en gran medida con la formación abiótica de agregados por mecanismos de agrietamiento durante los ciclos de humedecimiento - secado, y su posterior estabilización biológica a cargo de cementantes orgánicos (Dexter 1988, Oades 1993). Estos mecanismos dependen de características texturales (porcentaje de arcilla y mineralogía de dicha fracción), las cuales son consideradas factores clave en la determinación de la aptitud de los suelos para ser manejados con siembra directa continua.

Para evaluar el impacto del uso y manejo del suelo y de los procesos naturales en las propiedades hídras de los primeros centímetros, existen numerosas técnicas de medición, las cuales presentan ventajas e inconvenientes. En condiciones de laboratorio, una de las técnicas más utilizada es el uso de los cilindros que contienen muestras inalteradas, en la que se determina la K_s con carga constante siguiendo a Klute and Dirksen, (1986). Esposito (2002) trabajando con esta técnica en un Hapludol típico, encontró que en la primera porción del perfil cultural la conductividad hidráulica tomaba el mayor valor en siembra directa cuando los rastrojos no eran pastoreados, de tal forma que superaba en un 42%, 130% y

403% a la labranza vertical (independientemente del uso de rastrojo), siembra directa con pastoreo de rastrojo y labranza convencional respectivamente.

Díaz (2006), en el mismo sitio experimental donde trabajó Esposito y donde se realizó el presente estudio, utilizando la misma técnica que Esposito (2002), trabajando en las situaciones fertilizadas y no pastoreadas, determinó que la K_s en SD es mayor y diferente a LC y LR, también evidenció que la K_s es estadísticamente igual en las profundidades 0-10 y 20-30 cm, mayor y diferente a 10-20 cm y concluye que la K_s entre 10-20 cm de profundidad condiciona la permeabilidad del perfil cultural.

Sin embargo, el uso del cilindro suele provocar modificaciones en la estructura de la muestra. Por otra parte, aquellas técnicas que determinan las propiedades hídricas en condiciones no confinadas e inalteradas, tales como el simulador de lluvia, infiltrómetro de goteo y permeámetro de disco, presentan ventajas sobre el tradicional método del doble anillo (Taboada Castro *et al.*, 1998).

En este sentido, los permeámetros de disco están siendo utilizados en forma creciente para mediciones *in situ* de las propiedades hidráulicas del suelo saturado e insaturado (Perroux y White, 1988; Ankeny *et al.*, 1991).

Díaz (2006), en un Hapludol típico franco arenoso muy fino, con tres historias de uso: Mínima alteración (MA), Agrícola (A), Ganadero-Agrícola (GA), realizó mediciones con permeámetro de disco a tres tensiones: 0, 2 y 5 cm y determinó la conductividad hidráulica saturada (K_s) e insaturada del suelo (K_2 : 2 cm, K_5 : 5 cm). La K_s presentó diferencias significativas a favor de MA que superó en un 135% y 108% a GA y A. En K_2 , se registró un comportamiento similar al planteado en K_s con diferencias del 127% y 235%, a favor de la situación MA. La K_5 no mostró diferencias significativas entre situaciones y se debería a que en MA la disminución de conductividad es del 94% cuando se excluyen los poros mayores a 300 μ de radio, y por ende estaría más condicionada por la textura que por la estructura del suelo, lo que explicaría las diferencias no significativas, ya que la textura es similar en las tres situaciones de uso.

1.2. Hipótesis

1.2.1. Hipótesis general:

Las prácticas de manejo del suelo condicionan en sus primeros centímetros los parámetros hidráulicos.

1.2.2. Hipótesis específicas:

- En las situaciones de labranzas se obtendrán menores valores de conductividad hidráulica saturada comparados con la situación no disturbada.
- Cuando los rastros de cosecha son pastoreados se producen los menores valores de K_s .
- La siembra directa produce los mayores valores de K_s comparados con las situaciones de LR y LC y esto se relaciona con una mayor cantidad de macroporos.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Caracterizar la K_s en los primeros centímetros de un Hapludol típico sometido a distintos manejos.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Evaluar en cada situación y en los primeros centímetros de suelo los parámetros hidráulicos.
- Comparar los valores de los parámetros hidráulicos entre las situaciones estudiadas.
- Estimar el deterioro de los parámetros hidráulicos evaluados tomando como referencia una situación de mínima alteración.

CAPITULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Caracterización del área de estudio

El trabajo se realizó en el mes de agosto de 2007, en el campo de docencia experimentación “Pozo del Carril” de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, de la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicado 45 Km. al oeste de Río Cuarto en el paraje La Aguada (32° 57' de latitud sur, 64° 50' de longitud oeste y 680 msnm), departamento de Río Cuarto, provincia de Córdoba, Argentina, en un suelo Hapludol típico de textura franco arenoso muy fino. Se trabajó en una situación agrícola desde 1994 con rotación de cultivos maíz- girasol, incorporándose soja en el ciclo 2003-04. En el mismo se tomaron tres sistemas de labranzas: siembra directa (SD), labranza convencional (LC rastra de discos y arado de rejas) y labranza reducida (LR en base a cincel), contrastada con una situación no disturbada (ND) por uso y manejo del suelo en los últimos 40 años, ubicado en la misma unidad de paisaje compuesto y en la misma posición topográfica.

Cada sistema de labranza a su vez está subdividido por diferentes situaciones de manejo: pastoreado (P) y no pastoreado (NP), fertilizado (F) y no fertilizado (NF), con dos repeticiones por tratamiento.

2.2. Determinaciones realizadas

Las mediciones se realizaron a campo con permeámetro de disco (Perroux y White, 1988), en post cosecha del cultivo de maíz 06-07, En cada parcela se hicieron cuatro repeticiones y se midieron parámetros de flujo saturado:

- Infiltración parcial (Ips)
- Infiltración acumulada (Ias)
- Velocidad de infiltración (Iis)
- Conductividad hidráulica saturada (Ksat)

El permeámetro de referencia (Figura 2.1) consiste de un disco de 12.5 cm de diámetro cubierto en su base por una fina membrana de nylon (M) con poros de 20 μm de diámetro. El tubo (RD) sirve de Mariotte y posee una entrada móvil de aire (C1) que se usa para ajustar el potencial agua en la base de la malla de nylon. El tubo (RA) sirve de depósito

de agua para la infiltración y lleva una escala graduada que permite leer los volúmenes de agua infiltrada en función del tiempo.

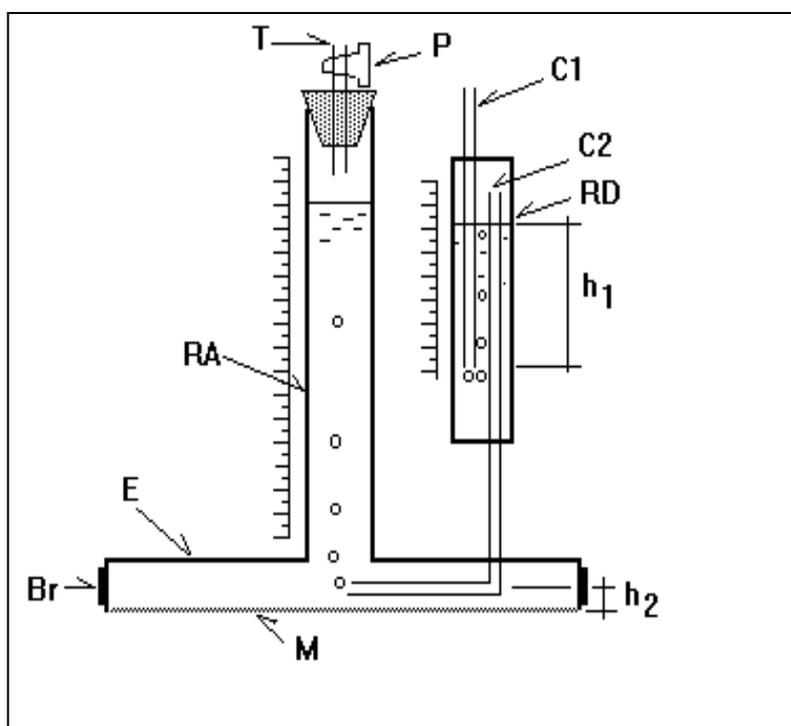


Figura 2.1. Esquema del permeámetro de disco. RA: depósito de alimentación; RD: Mariotte; M: membrana de nylon; C1: capilar móvil para ajustar potencial; C2: capilar de aireación; T: tubo de llenado; P: robinete o pinza de Mohr; Br: base de goma para sujetar malla; E: base no saturada, $h_0 = h_2 - h_1$, h_0 es negativa para $h_1 > h_2$

Las lecturas o ensayos se realizaron en el término de una semana durante la estación seca (salida del invierno), con el propósito de tener una humedad edáfica lo más estable posible durante el período de determinaciones y evitar la influencia de precipitaciones.

2.3. Desarrollo de los métodos de cálculo

2.3.1 Infiltración parcial (I_p)

Se calcula a partir de cada una de las lecturas registradas usando la siguiente relación:

$$I_p \text{ (cm)} = (L_n - L_{n-1}) s / S \quad (1)$$

Donde L_n y L_{n-1} (cm) representan una lectura y su inmediata anterior en los tiempos t_n y t_{n-1} respectivamente; s es la superficie interna del reservorio de agua (22.6 cm^2); S se consideró como la superficie mojada determinada al final de cada ensayo en cada tratamiento medido en cm^2 , con el propósito de poder interpretar la relación entre la distribución de agua en el sentido lateral y vertical. En este sentido se debe considerar que en el presente estudio

la superficie mojada siempre superó al S tomado como constante según el manual del instrumental usado y por ende los valores de Ks resultaron siempre de menor magnitud ya que la superficie mojada es mayor que S (Gil, comunicación personal).

2.3.2 Infiltración acumulada (Ia)

Es la suma de cada uno de los valores de infiltración parcial hasta un tiempo t_n :

$$Ia \text{ (cm)} = Ip_n + Ip_{n+1} \quad (2)$$

2.3.3 Velocidad de infiltración (Vi)

Es la relación entre la infiltración parcial y el tiempo transcurrido entre lecturas:

$$Vi \text{ (cm h}^{-1}\text{)} = Ip / (t_n - t_{n-1}) = (L_n - L_{n-1}) s / (t_n - t_{n-1}) S \quad (3)$$

2.3.4 Conductividad hidráulica saturada (Ks)

Se estima a partir de las mediciones de Ia(t) en la etapa final de infiltración. Es la pendiente de la sección lineal de la infiltración acumulada graficada en función del tiempo y presenta unidades de (cm h⁻¹).

2.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó a través del software InfoStat (2002) utilizando el modelo general lineal, prueba de comparaciones múltiples de Tuckey, Duncan y LSD Fisher.

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3.1 se indica la K_s en cada labranza, donde puede observarse que no hay diferencias estadísticas entre las mismas y que la SD tiene el menor valor. Si bien como fue expresado en el ítem 2.3.1 los valores de K_s del presente estudio son de baja magnitud debido a que fueron calculados considerando la superficie mojada de cada ensayo el que siempre fue superior a la del disco del permeámetro que es una constante. Estos valores coinciden con los observados por Venialgo *et al.*, (2004) quienes, en un Argiustol údico del Chaco además de la no significancia estadística, en labranza cero o SD indicaron una disminución de infiltración del orden del 50% cuando la compararon con LC.

Por otro lado Richmond y Rillo (2005), encontraron que la SD de siete años con historia de labranza mínima no presentó una ventaja sobre la mínima continua en su aporte a una mayor capacidad de infiltración del suelo, atribuible a que la situación en SD presentó una mayor densidad aparente y a que hasta el presente está prevaleciendo la compactación producida por el ordenamiento de las partículas de suelo en éste sistema y que los beneficios en la agregación del suelo, la formación de macro y mesoporos que naturalmente genera el sistema de SD no se ven reflejados de manera constante. Bricchi (1996) indicó que los suelos esqueléticos como los franco arenosos muy finos del centro sur de Córdoba, no tienen capacidad de auto estructurarse y cuando son sometidos a disturbio sufren colapso de estructura y sus partículas tienden a reacomodarse según clima, humedad y tecnología. En este sentido podría relacionarse a un estado de apelmazamiento superficial por falta de remoción, en el caso de SD.

En el mismo proyecto de investigación donde se realizó el presente trabajo en las situaciones F y NP a los 10 años de tratamiento, Díaz (2006) determinó la K_s en laboratorio con carga constante siguiendo a Klute and Dirksen, (1986), no encontrando diferencias significativas entre labranzas en los diez primeros centímetros de suelo.

Con fines comparativos, cabe mencionar experiencias con infiltrómetro de disco conducidas sobre un suelo de textura franco limosa, en donde la media de ocho determinaciones de conductividad a saturación, en una superficie inicial recién labrada, ascendió a $7,25 \text{ cm h}^{-1}$, mientras que sobre una costra sedimentaria, también con ocho determinaciones, se obtuvo una media de $0,89 \text{ cm h}^{-1}$ (Taboada Castro *et al.*, 1998).

Tabla 3.1. Conductividad hidráulica saturada (Ks en cm h⁻¹) en las tres labranzas.

Labranzas	s
LR	,39a
LC	,30a
SD	,05a

Letras distintas indican probabilidad según el test LSD
LC = Labranza
SD = Siembra Directa.

diferencias significativas al 5% de Fisher.
Convencional; LR = Labranza Reducida;

En las situaciones bajo pastoreo (Tabla 3.2), se observa que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, resultado que no coincide con el de Taboada (2007) en un Argiudol ya que en SD, la infiltración fue 31 % menor en un sistema con pastoreo comparado con agricultura continua mientras que en un Hapludol la diferencia fue del 63% y en ambos casos resultaron diferentes estadísticamente. Daniel *et al.* (2002) mostró que la actividad del pastoreo puede degradar la estructura, incrementar la densidad aparente y reducir la infiltración.

Los efectos causados por el tránsito y el pisoteo de hacienda afectan primordialmente a la estructura del suelo considerando a la misma como el resultado neto de la acción competitiva entre fuerzas degradantes y fuerzas regenerativas. Es fundamental comprender cómo funcionan en cada suelo estas acciones competitivas, pues de ellas depende la susceptibilidad de un suelo a sufrir, por ejemplo, daños por compactación. Por otro lado la respuesta del suelo al tránsito por animales depende del contenido hídrico que posee cuando es pastoreado. Así, cuando el suelo está próximo a la sequedad, su capacidad portante es máxima, y de este modo, la probabilidad de que sufra daño estructural es mínima. En cambio, cuando el suelo está húmedo, su capacidad portante es menor, y se vuelve propenso a sufrir compactación superficial (Taboada 2007). En este sentido en el presente estudio el pastoreo de los rastrojos se realizó durante la estación seca (invierno) y por ende el pisoteo no habría afectado a la conductividad hidráulica superficial.

En un Criortent acuíco franco arenoso Pietola *et al.* (2005) encontró en una situación con intenso pastoreo y por ende también intenso pisoteo cuando el suelo se encontraba húmedo que la infiltración era 20% menor comparado con una pastura natural sin pisoteo.

Tabla 3.2. Conductividad hidráulica saturada (Ks en cm h⁻¹) según pastoreo.

	Pa storeo	s	
Letras distintas indican probabilidad según el test LSD Fisher.	N		diferencias significativas al 5% de P = Pastoreado; NP = No pastoreado.
	P	,26a	
	P	,25a	

En la Tabla 3.3. se indica la Ks en los tratamientos de fertilización, donde puede observarse que en la situación NF es mayor y estadísticamente diferente a F, en un 19,4%. Estos resultados no son coincidentes con los encontrados por Ouattara *et al.* (2007) en un Luvisol franco arenoso (semejantes a Argiudoles) donde la infiltración en algunos ciclos resultó superior en la situación fertilizada versus la no fertilizada. Otros autores como Cameira *et al.* (2003) encontraron variabilidad en el tiempo de valores de Ks, relacionados con la fertilización, atribuibles a reacomodamientos, y distribución por tamaños del espacio poroso inducido por las prácticas culturales y las precipitaciones en coincidencia con Angulo-Jaramillo *et al.* (1997).

Tabla 3.3. Conductividad hidráulica saturada (Ks en cm h⁻¹) según fertilización.

Fertilización	S	Ks
NF	678 a	1,39a
F	593 b	1,12b

Letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según el test LSD Fisher. NF = No fertilizado; F = Fertilizado.

Tanto en las interacciones de labranza por fertilidad por pastoreo, como en pastoreo por labranza y pastoreo por fertilización no se encontraron diferencias significativas entre las mismas.

La relación de la K_s con los escapes laterales de agua (superficie mojada S) para labranzas según NP y P se indica en la Tabla 3.4, en la cual se destaca que en NP la S es estadísticamente diferente entre las labranzas siendo aproximadamente un 50% menor en SD, comparada con LC y, si bien no existen diferencia de K_s el menor valor se corresponde con el menor de S en el caso de SD, mientras que en LC con un valor intermedio de K_s tiene el mayor valor de S y por ende sería el tratamiento con mayor dificultad para la percolación que podría estar relacionada con una mayor estratificación en el perfil cultural. Un análisis diferente merece la LR que con un S un 25% mayor que la SD tiene una K_s un 29% superior

Siguiendo el análisis de la misma Tabla, en la situación P la S es igual en LC y LR y diferente a SD que es un 18% menor, mientras que el valor de K_s es en la última 24% menor.

Tabla 3.4 Valores de S (superficie mojada en cm^2) y K_s (en cm h^{-1}) según pastoreo para cada una de las labranzas

Tratamiento	NP		P	
	S	K_s	S	K_s
SD	415 c	1,07 a	589 b	1,04 a
LR	554 b	1,49 a	713 a	1,36 a
LC	816 a	1,23 a	726 a	1,37 a

LC = Labranza Convencional; LR = Labranza Reducida; SD = Siembra Directa; P = Pastoreado; NP = No pastoreado; K_s = conductividad hidráulica saturada (K_s en cm h^{-1}).

Como fue expresado en materiales y métodos, las determinaciones de K_s se realizaron también en una situación sin disturbio (ND), cuyos valores se consideran como 100% a los fines de compararlos con los obtenidos en los tratamientos de labranzas e indicar las disminuciones porcentuales en las mismas (Tabla 3.5). En general se observa que la capacidad de conducir agua ha disminuido entre un 61% y un 71%.

Richmond y Rillo (2005) observaron que una situación sin disturbio, presentó una elevada capacidad de infiltración básica, que resultó aproximadamente tres veces superior a la medida en las situaciones de agricultura continua, tanto en SD como LM.

Por otro lado Díaz (2006), en el mismo ensayo del presente estudio encontró que en los primeros diez centímetros de suelo, la K_s disminuía un 56% en SD, 63% en LC y 69% en LR. Diferencias de magnitudes similares fueron encontradas por Aoki y Sereno (2003) cuando analizaron el comportamiento de la K_s en situación de bosque natural y sobre monocultivo de soja en un suelo Haplustol típico franco limoso y por Cisneros *et al.* (1997) también en un Haplustol típico pero con textura franco arenosa muy fina, aunque estos últimos autores utilizaron otra metodología.

Leduc *et al.* (2001) observaron que los cambios de uso de bosque natural a cultivos agrícolas generalmente producen modificaciones muy marcadas de las propiedades hidráulicas de la superficie del suelo particularmente disminución de la infiltración e incremento de la escorrentía. En ése sentido en un Hapludol típico de similar granulometría al utilizado en el presente estudio, Bricchi (1996) encontró una disminución del 93% en la conductividad hidráulica -medida en laboratorio-, luego de 80 años de cultivos. En Haplustoles típicos franco limosos de la región subhúmeda seca de Tucumán, Sanzano *et al.* (2004) encontraron disminuciones de conductividad hidráulica del 73% en pastura, 75% en siembra directa y 83% en labranza convencional con respecto a un monte natural de vegetación xerófila, mientras que en la misma región García *et al.* (1993) luego de 10 años de agricultura registraron una disminución promedio del 94%.

Tabla 3.5. Disminución porcentual de la conductividad hidráulica saturada (K_s en cm h^{-1}) con respecto a la situación ND.

Labranza	Disminución de K_s
LC	-64%
LR	-61%
SD	-71%

LC = Labranza Convencional; LR = Labranza Reducida; SD = Siembra Directa.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES

1. Las prácticas de cultivo del suelo produjeron una fuerte disminución de la K_s superficial.
2. Luego de 14 años de estudio la SD habría alcanzado un estado estacionario donde la K_s superficial ha disminuido y por ende sería conveniente plantear labranza vertical en esta y las otras labranzas y continuar evaluando la variable con mayor repetición por tratamiento.
3. El pastoreo de los rastrojos no afecta la K_s superficial posiblemente debido a que el pisoteo que el mismo produce se efectúa en el momento de mayor sequedad del suelo y por un corto período.
4. De la relación entre la K_s y S surge que la SD tiene los menores valores de K_s y S , la LR el mayor valor de K_s y una situación intermedia de S con respecto a las otras dos y la LC tiene un valor intermedio de K_s y el mayor de S . Esto indicaría que la primera labranza es más eficiente en la distribución vertical del agua que infiltra, mientras que en este sentido la LC sería la menos eficiente.
5. A los fines de evitar los escapes laterales de agua, se sugiere acoplar al infiltrómetro un cilindro por fuera de la base del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ, C.R., F.H. GUTIERREZ BOEM., M.A TABOADA., P, PRYSTUPA Y P.L. FERNANDEZ. 2004. Propiedades físicas químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. Acta **Congreso XIX de Ciencia del suelo**, Paraná, Entre Rios. 238.

ANGULO-JARAMILLO, R., F. MORENO, B. E. CLOTHIER, J. L. THONY, G. VACHAUD, E. FERNANDEZ-BOY, J. A. CAYUELA. 1997. Seasonal variation of hydraulic properties of soil measured using a tensión disk infiltrometer. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 61, 27-32.

ANKENY, M.D., T.C. KASPAR, AND R. HORTON. 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 55:467-470.

AOKI, A. M. y R. SERENO. 2003. Modificaciones de la conductividad hidráulica y porosidad del suelo, estimadas mediante infiltrómetro de disco a tensión. Taller de Física de Suelos: Metodologías físicas para investigación de propiedades del suelo; unificación de procedimientos. **AACS y UNLP-FCAF**. La Plata, Argentina.

BRICCHI, E. 1996. **Relaciones entre la compactación, morfología y propiedades físicas de un Hapludol típico de Río IV**. Tesis para obtención del título Magíster Scientiae – Área Ciencias del Suelo. UBA

BRICCHI, E. 2004. Hydrological behaviour of sealing under different soil management conditions in the center south Córdoba , Argentina. Invited presentations College on Soil Physics 2003. (Ed. DM Gabriels, GC Ghirardi, DR Nielsen, I Pla Sentis, EL Skidmore) **The Abdus Salam ICTP**. Trieste Italia.

BRICCHI, E. Y J. CISNEROS 1998. Soil porosity modification induced by compaction. **International Soil. Sci. Soc. Am. J.** CD Sci. Reg. 2309. 7 pp.

BRICCHI, E., F. FORMIA., G. ESPOSITO., L. RIBERI Y H. AQUINO 2003. Efecto del uso, las labranzas y el pastoreo de los rastrojos sobre el carbono orgánico y la estructura del suelo. **Spanish Journal of Agricultural Research**. (En prensa).

CAMEIRA, M. R., R. M. FERNANDO, L. S. PEREIRA. 2003. Soil macropore dynamics affected by tillage and irrigation for a silty loam alluvial soil in southern Portugal. **Soil Tillage Research** 70, pag 131-140.

CISNEROS, J. M., C. CHOLAKY, E. BRICCHI, O. GIAYETTO, J. J. CANTERO. 1997. Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Haplustol típico del centro de Córdoba. **Rev. UNRC XVII** (1): 13-22.

DANIEL, J.A., POTTER, K., ALTOM, W., ALJOE, H., STEVENS,R., 2002. Longterm grazing density impacts of soil compaction. Trans. **ASAE** 45, 1911-1915.

DE PRADA, J.1994. **Proyecto de ordenamiento y de conservación de suelos**. Gral. Deheza, Córdoba, Argentina. Tesis MS. (No public.). Inedita.

DEXTER A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Till. Res.**, 11:199-235.

DIAZ, F. 2006. **Efecto del manejo sobre la conductividad hidráulica del perfil cultural del suelo**. Trabajo final para optar el título de Ing. Agrónomo. FAV. UNRC. Río Cuarto, Córdoba. 16pp

DIEZ, A.2006. **Propiedades Hidráulicas de un Hapludol típico bajo dos sistemas de manejo**. Trabajo final para optar el título de Ing. Agrónomo. FAV. UNRC. Río Cuarto, Córdoba.

ESPOSITO, G. P. 2002. **Propiedades hidrofísicas de suelo asociadas a diferentes sistemas de labranza en cultivo de maíz**. Tesis de Maestría. Universidad de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 133pp.

GARCIA, J.R, C. BLECKWEDEL, D. GIMENEZ; M.R. CACERES y A.M. PIETROBONI. 1993. La degradación de los suelos agrícolas del Este Tucumano. Actas **XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo**. Salamanca-España. 1280-1285.

GIBBS, R.J. Y J.B. REID. 1988. A conceptual model of changes in soil structure under different cropping systems. Adv. **Soil Sci.**, 8: 123-149.

INFOSTAT VERSION 1.1 2002 **Grupo Infostat**. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Primera Ed. Ed. Brujas. Argentina. Pp 266.

KLUTE 1982. Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review. Pages 29-44 in P.W. Unger and D.M. Van Doren. Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. **ASA Spec. Publ. N°44**. ASA, Madison, WI.

KLUTE, A. and C. DIRKSEN. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: Klute, A. (Ed), **Methods of soil analysis, 2nd ed.** Agron 9, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp.: 687-460-733.

LEDUC, C., G. FAVREAU y P. SCHROETER. 2001. Long-term rise in a shahelian water-table: the continental terminal in south-west Niger. **J. Hydrol.** 243:43-54.

MENDOZA REINOSO, R. I. Y R. F. PORCEL DE PERALTA. 1997. Caracterización de los suelos. En: Manual de control de la erosión hídrica. **FCA – SeCyT-UNCba.**, Córdoba. Capítulo 2.

MICHELENA, R., C. IRURTIA., R. MON., A. PITTALUGA 1989. Degradación de los suelos en el norte de la región pampeana. Public. Técnica EEA-INTA Pergamino numero 6, Pergamino, Buenos Aires.

MICUCCI, F.G. Y M.A. TABOADA. 2006. Soil physical properties and soybean (glycine max) root abundance in conventionally- and zero tilled soils in the humid Pampas of Argentina. **Soil and Tillage Research** 86: 152-162.

MILLER J.J, LARNEY F.J., LINDWALL C.W.; 1998. Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta. **Can. J. of Soil Sci** 78: 643-648.

OADES, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**. 56: 377-400.

ONSTAD C.A., VOORHEES W.B., RANDALL G.W. 1987. Hydraulics soil parameters affected by tillage. p. 96-112. **En** Logan T.J.(ed). **Effects of conservation tillage on groundwater quality: Nitrates and pesticides**. Lewis Publ. Chelsea, MI.

OUATTARA K., B. OUATTARA, G. NYBERG, M.P. SEDOGO, A. MALMER. 2007. Ploughing frequency and compost application effects on soil infiltrability in a cotton-maize (*Gossypium hirsutum* – *Zea mays* L.) rotation system on a Ferric Luvisol and Ferric Lixisol in Burkina Faso. **Soil and Tillage Research** 95, pag 288-297.

PERROUX K.M., WHITE I. 1989. Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1205-1215.

PERROUX, K. M. Y I. WHITE. 1988. Design for disc permeameters. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 52: 1205-1215. Brewer R. 1964. Fabric and mineral analysis of soil. John Wiley and sons. From Glossary of Soil Science Terms, 1997.

PIETOLA L., H. RAINER and M.YLI-HALLA. 2005. Effects off trampling by cattle on the hydraulic and mechanical propertis of soil. **Soil and Tillage Research**, volume 82, pag 99-108.

POWERS W.L., BAER J.U., SKOPP J. 1992. Alternative soil water release parameters for distinguishing tillage effects. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 56: 873-878.

RAWLS W.J., BRAKENSIEK D.L., SONI B. 1983. Agricultural management effects on soil water processes. I: Soil water retention and Green and Ampt infiltration parameters. *Trans. ASAE* 26: 1747-1752.

RICHMOND P. y S. RILLO. 2005. Evaluación de la infiltración basica en suelos Hapludoles sometidos a diferentes historias de manejo. UEEA INTA 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina.

RILEY H., 1996. Estimation of physical properties of cultivated soils in south-east Norway from readily available soil information. **Norw. J. Agr. Sci.** N°25, 51 pp.

SANZANO, G. A., R. CORBELLA, J. GARCÍA y G. FADDA. 2004. La degradación física de Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. **XIX C.A.C.S.** Paraná, Entre Ríos, Argentina.

SHIPITALO M.J. AND PROTZ R., 1987. Comparision of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. **Can.J. Soil Sci.** 67: 445-456.

TABOADA CASTRO, M., M. LADO LINARES., A. DIEGUEZ VILLAR. Y A. Paz Gonzalez. 1998. Evolución temporal de la infiltración superficial a escala de parcela. Pp. 101-127 **En** Paz González, A. y M. T. Taboada Castro. (Eds.). **Avances sobre el estudio de la erosión hídrica.** La Coruña, España.

TABOADA, M.A. 2007. Efecto del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. **4^o Simposio de Ganadería en siembra directa**, Aapresid, Potrero de Funes, San Luis. Pag 71-83.

VENIALGO, CRISPIN A., S.I. IBALO, N.C. GUTIERREZ, O. INGARAMO, N, GIARDINIERI. 2004. Evaluación de labranzas y secuencias de cultivos: su evaluación por la infiltración del agua. Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos. **F.C.A** ,Corrientes, Argentina.