

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

“Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

**EFEECTO DEL MANEJO SOBRE LA CONDUCTIVIDAD
HIDRÁULICA DEL PERFIL CULTURAL DEL SUELO**

Estudiante: Fabricio Díaz

DNI 26.393.811

Director: Profesora Estela Bricchi (Ing. Agr. M. Sc.)

Río Cuarto-Córdoba

Noviembre/2006

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

CERTIFICADO DE APROBACION

**EFFECTO DEL MANEJO SOBRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA DEL
PERFIL CULTURAL DEL SUELO**

**Autor: Fabricio Gastón Diaz
DNI: 26393811**

Director: Ing. Agr. M.Sc Estela M. Bricchi

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Ing. Agr. M. Sc. Eugenio Hampp _____

Ing. Agr. M. Sc. José Cisneros _____

Ing. Agr. M. Sc. Miguel _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaria Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

Dedicatoria

A mis viejos, a mi hermana y especialmente para Agustín la razón de mi existir.

Agradecimientos

A mi directora Estela Bricchi por su apoyo incansable.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto por abrirme las puertas, formarme y hacerme sentir parte de ella.

A mis amigos, gracias por sus consejos.

INDICE GENERAL

Resumen	6
Summary	7
1. Introducción	8
Hipótesis y Objetivos.	10
2. Materiales y Métodos	12
Caracterización del área donde se realizó el estudio.	12
Descripción del ensayo experimental.	13
Muestreo y determinaciones realizadas.	13
Análisis estadísticos.	15
3. Resultados y Discusión	16
4. Conclusiones	
5. Bibliografía	20

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Conductividad hidráulica saturada (mm h ⁻¹) en las tres labranzas.	16
Tabla 3.2. Conductividad hidráulica saturada (mm h ⁻¹) en las tres profundidades.	17
Tabla 3.3. Disminución porcentual de la conductividad hidráulica saturada (mm h ⁻¹) con respecto a la situación de ND.	18

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Estructura para realizar las determinaciones de Ks.	14
Figura 3.1. Conductividad hidráulica saturada (mm h ⁻¹). Análisis de la Interacción entre labranzas y profundidades.	18

RESUMEN

El objetivo del trabajo es analizar la capacidad para conducir agua del perfil cultural de un Hapludol típico bajo tres sistemas de labranzas. El trabajo se llevó a cabo en el Campo de Docencia y Experimentación de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto “Pozo del Carril”. El suelo es un Hapludol típico de textura franca arenosa muy fina y se trabajó en una situación agrícola desde 1994 con rotación de cultivos maíz-girasol, incorporándose soja en ciclo 2003-04, sin pastoreo de rastrojo, fertilizados con nitrógeno y fósforo e implantados con tres sistemas de labranza: convencional (LC), reducida (LR) y siembra directa (SD). También se trabajó en una situación no disturbada (ND). Se extrajeron muestras sin disturbar con cilindro de tres profundidades: 0-10cm, 10-20cm y 20-30cm, con tres repeticiones donde se determinó la conductividad hidráulica saturada (Ks). La Ks en SD es mayor y diferente a LR y LC. En cuanto a las profundidades, la Ks es estadísticamente igual en 0-10 y 20-30 cm, mayor y diferente a 10-20 cm. Al comparar las dos primeras profundidades entre labranzas la disminución de Ks es 37%, 45% y 15% en SD, LC y LR respectivamente. Con respecto a ND la Ks disminuyó 56% y 86% según profundidad y labranza. Se concluye que la Ks entre 10-20 cm. de profundidad condiciona la permeabilidad del perfil cultural. La SD sería más eficiente en la primera profundidad. La Ks en el perfil cultural de LR es más homogénea que en SD y LC, donde se estratifica. Por otro lado el análisis de la Ks en el tiempo, indica que se mantiene en SD, mejora en LR y sufre un desmejoramiento en LC.

Palabras claves: Movimiento del agua, labranzas, profundidad.

SUMMARY

The objective of the work was to analyze the capacity of a typical Hapludoll soil to lead water along it under three different tillage systems. The experiment was carried out in the “Pozo del Carril” field, which belongs to the Agronomy and Veterinary Faculty, National University of Río Cuarto. The soil is a typical Hapludoll, with sandy-fine-frank loam. Agriculture is the activity carried out since 1994, with maize-sunflower rotation-crop. In 2003-04 soybean was incorporated to the rotation. Since then, it is fertilized with N and P and it was under no graze management. The crop was cultivated under three different tillage systems: Conventional Tillage (CT), Reduced Tillage (RT) and No-Tillage (NT). A not disturbed situation (ND) was also evaluated. Samples were taken without disturbing the soil with a three depths cylinder at: 0-10cm, 10-20cm and 20-30cm, in three repetitions each sample. Thus, the saturated hydraulic conductivity (Ks) was determined. It turned to be higher and different in NT than in CT and RT. In relation to the depth, the Ks is statistically the same in 0-10 and 20-30 cm, but higher and different in 10-20. In the first two depths among tillages the decrease of Ks is 37, 45 and 15% under NT, CT and RT systems. Regarding to the ND situation, the Ks got 56 and 86% lower, taking into account the depth and tillage system. The conclusion then is that the Ks between 10-20 cm of depth conditions the capacity of the soil to drain water through it. Also, the NT would be more efficient in the first depth tested. The Ks was more homogeneous in the RT rather than in NT and CT systems. On the other hand, the analysis of the Ks in the time indicates it keeps constant in NT, it improves in RT and it gets lower in CT.

Keys words: Water conduction, tillage, depths.

1. INTRODUCCIÓN

En amplios sectores del territorio nacional se ha detectado la degradación de las tierras manifestada por disminución de las funciones químicas y físicas de los suelos (Casas 1997). Entre estas funciones se destaca la fuerte disminución de la infiltración y conductividad hidráulica (Cisneros *et al.*, 1997) y, si bien por un lado se ha demostrado que las labranzas conservacionistas producen una mejora de esta variable, (Espósito, 2002), por otro lado, Buschiazzo *et al.*, (1998) indicaron que la velocidad de los cambios dicha variable no es igual en todas las condiciones climáticas y de suelo como por ejemplo entre zonas húmedas y secas de la pampa argentina.

En el ambiente natural al que pertenece la llanura bien drenada del centro sur de la provincia de Córdoba las actividades agropecuarias se realizan desde 1890 con reemplazo de la vegetación natural por la cultivada sobre suelos Hapludoles/ustoles típicos. En estos suelos predominan partículas esqueléticas (arenas muy finas y limos) y por ende son suelos que no tienen capacidad de auto estructurarse; por el contrario son altamente susceptibles a deteriorarse tanto morfológica como físicamente (Cantero *et al.*, 1986; Bricchi, 1996).

Con el inicio de las actividades agropecuarias se inició también la mineralización de los compuestos orgánicos que el suelo tenía, sin la adecuada reposición, produciéndose una pérdida de materia orgánica que oscila entre 66 y 80 % y con esto la modificación de la estructura del perfil cultural del suelo (Moreno *et al.*, 1996; Bricchi *et al.*, 2004). Como consecuencia de ello no sólo disminuyó la porosidad total sino también la macro porosidad que es la principal responsable de la conductividad hidráulica del suelo (Bricchi, 1996, Bricchi *et al.*, 2004)

La conductividad hidráulica está relacionada con el tamaño de los terrones, las fisuras entre y dentro de éstos y la bioporosidad. Además, una baja conductividad en alguna de las capas del perfil cultural condiciona el movimiento del agua en todo el perfil del suelo, es decir la permeabilidad del mismo (Bricchi, 1996). Por otro lado, esta autora señaló una relación lineal entre los poros mayores a 60 micras y la conductividad hidráulica saturada (Ks) de un Hapludol típico del Dpto. Río Cuarto, Pcia. de Córdoba.

Cuando la estructura de la superficie del suelo tiene baja estabilidad, manifiesta elevada susceptibilidad a sellarse. Ante esta situación. Bricchi (2004), observó que en condición casi natural la conductividad hidráulica obtenida con lluvia simulada pero con protección esto es sin el impacto de la gota, fue 8 veces mayor frente al mismo suelo sometido a labranza convencional; mientras que cuando durante 7 años se habían aplicado labranzas conservacionistas esta diferencia fue de 6 veces mayor. Por otro lado, cuando la determinación se realizó sin protección, la disminución en la condición casi natural fue de

2.7 veces con lo que se demuestra la susceptibilidad al sellado de este tipo de suelos, aún en condiciones naturales y que se relaciona con la condición esquelética del mismo.

Bricchi (1996) en un Hapludol típico de textura franca arenosa muy fina en condición prácticamente natural, observó una elevada conductividad hidráulica en los primeros 4cm del suelo, (73 mm h^{-1}) que permiten el ingreso de la mayor parte del agua de precipitación y, por otro lado, indicó que la relativa homogeneidad de los valores observados por debajo de los 4cm facilitan una adecuada redistribución del agua ingresada, es decir que en condiciones naturales la permeabilidad no esta controlada por ningún horizonte en particular. Sin embargo, cuando el suelo se compacta, el movimiento de agua en flujo saturado fué fuertemente afectado en los 4cm superiores del perfil debido a las modificaciones en la forma de los poros y a la disminución de los macro poros, mientras que en el piso de arado o H7, esta disminución fue del 93%.

Espósito (2002), que trabajó en el mismo sitio experimental del presente estudio pero luego de los primeros 5 años observó que la labranza sin remoción o siembra directa fué el tratamiento que más facilitó el ingreso de agua al suelo, dado que tuvo los mayores valores de conductividad hidráulica en la capa superficial del suelo. Este autor también observó que la labranza vertical realizada con cincel, favoreció la conducción de agua en los pisos de labranza, mientras que la labranza convencional presentó las peores condiciones en esta variable para todas las profundidades ya que los valores de conductividad hidráulica fueron entre el 54 y el 72 % menores según las capas del perfil cultural que se considere.

Los parámetros del suelo que determinan el comportamiento del flujo de agua son la conductividad hidráulica y la curva de retención de humedad, siendo la primera una medida de la capacidad del suelo de conducir agua, mientras que la segunda es su capacidad de almacenarla (Klute and Dirksen, 1986).

La caracterización de las propiedades hidráulicas de los suelos es de gran importancia en las ciencias agrarias, ya que en gran medida son las que rigen el crecimiento y desarrollo de los cultivos, la infiltración y movimiento de agua en el perfil tanto en su estado estacionario como transitorio y por lo tanto son un buen reflejo de la estructura del sistema poroso resultante de la yuxtaposición de las partículas del suelo y de los agregados (Elrick y Corey, 1992).

La permeabilidad natural de un suelo o su habilidad para conducir agua, depende de la disposición y geometría del sistema poroso impuesto por la génesis. La magnitud de las modificaciones que se producen sobre este sistema de poros tiene luego relación con el estado original del mismo (Franzmeier 1991). Dependiendo del estado estructural inicial, la deformación de la estructura puede producir aumento o disminución de la permeabilidad, afectando, por lo tanto, el reservorio de agua (Kirby y Blunden, 1991).

Mankin *et al.*, (1996) señalaron que la conductividad hidráulica saturada está inversamente relacionada con la densidad aparente del suelo, y que responde a los efectos del laboreo. Estos autores también indicaron que varios expertos en la materia han encontrado correlación entre la K_s y la macro porosidad del suelo.

La labranza es uno de los factores que afectan fuertemente la macro porosidad del suelo y con ello la infiltración y la conductividad hidráulica saturada. Sin embargo, Azevedo *et al.*, (1998) señalan que los efectos de las labranzas sobre estas características del suelo no son consistentes.

Miller *et al.*, (1999) determinaron que en un suelo franco arcilloso, luego de 24 años de estudios con distintos sistemas de labranza, los valores de conductividad hidráulica saturada fueron mayores en siembra directa que en labranza convencional debido a un mayor porcentaje de poros mayores a 30 micras. Del mismo modo Mahboubi *et al.*, (1993) encontraron en siembra directa que la conductividad hidráulica es 12 veces mayor que en labranza reducida y labranza convencional.

Espósito (2002) no encontró diferencias significativas en la conductividad hidráulica cuando se usó labranza reducida con o sin pastoreo de rastrojos y lo atribuyó por un lado a la labor de repaso con rastra de discos posterior al trabajo del cincel, que provoca una importante disminución en el rastrojo superficial y, por otro lado, a que este sistema de laboreo genera fisuras y vacíos y cuando se realiza durante varios años seguidos se estabilizan favoreciéndose la permeabilidad.

Los incrementos de conductividad hidráulica saturada se han asociado con enmiendas y mulch de origen orgánicos, (Tester, 1990), fundamentalmente materiales fibrosos como pajas (Hafez, 1974). En suelos compactados el agregado de restos orgánicos aumenta la conductividad hidráulica saturada, (Felton y Ali, 1992). En tierras cultivadas con prácticas de labranza conservacionista, se relacionó el aumento de la actividad de lombrices con incrementos de infiltración (Lee 1985), entre 6 veces (Ehlers, 1975) y 15 veces (Kladivko *et al.*, 1986).

Hipótesis y objetivos

Hipótesis General

La historia de uso del suelo y las labranzas condicionan la conductividad hidráulica del perfil cultural.

Hipótesis específicas

1. En el perfil cultural del suelo cultivado se produce una drástica reducción de conductividad hidráulica.
2. La siembra directa genera una mayor conductividad hidráulica en todo

el perfil cultural.

3. Entre 10-20cm. de profundidad en todas las labranzas, se producen los menores valores de conductividad hidráulica y por lo tanto son los que condicionan la permeabilidad del perfil cultural.

Objetivos

Objetivo general

Analizar la capacidad para conducir agua del perfil cultural de un Hapludol típico con tres sistemas de labranzas.

Objetivos específicos

Debido a que no se contaba con la estructura necesaria para realizar las mediciones de Ks utilizando los mismos cilindros construidos para medir porosidad, se plantea el objetivo 1.

1. Construir la estructura necesaria para realizar las mediciones de Ks en diez muestras en simultáneo.
2. Analizar la permeabilidad de cada una de las profundidades en cada labranza y entre las mismas.
3. Evaluar la conductividad hidráulica de cada capa del perfil cultural del suelo.
4. Comparar la conductividad hidráulica y la permeabilidad del perfil cultural entre los tratamientos y una situación de mínima alteración.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Caracterización del área donde se realizó el estudio

El trabajo se llevó a cabo en el Campo de Docencia y Experimentación (CAMDOCEX) de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto “Pozo del Carril”, ubicado en el paraje La Aguada, departamento Río Cuarto (32° 57' Lat. Sur, 64° 50' Long. Oeste).

Desde el punto de vista geomorfológico el área pertenece a la unidad homogénea “Llanura con invierno seco”, cuya superficie dentro de la Pcia. de Córdoba es de 27.760 km² (Becerra, 1999).

El clima es templado subhúmedo, con régimen de precipitaciones monzónico (80% de las lluvias concentradas en el período Octubre – Abril) y con una precipitación media anual de 850 mm. El relieve es normal, moderado a fuertemente ondulado determinando un conjunto de lomadas, con un gradiente del 2 a 3 %. (Becker *et al.*, 2001). El suelo es un Hapludol típico de textura franca arenosa muy fina (Cantero *et al.*, 1984), cuyas principales características son:

Horiz.	Prof. (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Estructura
Ap	0-30	15,3	40,5	44,2	Bloques subangulares, medios, moderados
Bw1	30-43	14,5	39,5	46,0	Bloques subangulares, gruesos, moderados a débiles
Bw2	43-60	11,2	40,0	48,8	Bloques subangulares, gruesos y medios, débiles a moderados
BC	60-74	9,1	39,2	51,7	Bloques angulares, medios, débiles
C	+ 74	8,0	38,5	53,5	Masivo

En cuanto el perfil cultural, Espósito (2002) y Verri (2004) indicaron que en las tres labranzas se produce:

-Una capa denominada H1 en los 10cm superiores del horizonte Ap, cuya principal característica es que en LC y LR los terrones presentan caras más planas y menor porosidad que en SD. Entre estos terrones se encuentra material suelto en las siguientes cantidades relativas: LC>LR>SD.

-Una segunda capa entre 10-20cm de profundidad denominada H6 en SD y LC y H5-6 en LR. En los tres casos los terrones son de caras muy planas destacándose en LC una mayor dimensión de los mismos como así también menor porosidad visible.

-Una tercer capa entre 20-30cm de profundidad denominada H7 en SD y LC y H5-7 en LR donde los terrones presentan caras rugosas.

2.2. Descripción del ensayo experimental

El presente trabajo final se desarrolló en el marco del Proyecto “Efecto de distintos sistemas de labranzas y rotación de cultivos en la calidad del suelo” que integra el Programa: *Desarrollo de alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sustentable en el oeste de Río Cuarto*. En ese marco se trabajó específicamente en la siguiente situación:

1. Agrícola desde 1994 con rotación de cultivos maíz-girasol, incorporándose soja en el ciclo 2003-04. Los rastros no son pastoreados, los cultivos fueron fertilizados con nitrógeno y fósforo y se implantaron bajo tres sistemas de labranza: convencional (LC rastra de discos y arado de rejas), reducida (LR en base a cincel) y siembra directa (SD) .

El diseño experimental es en bloques completos aleatorizados con un arreglo espacial de parcelas subdivididas.

2. También se trabajó en una situación no disturbada (ND) de la siguiente manera: se seleccionó el mismo tipo de suelo, ubicado en la misma unidad de paisaje compuesto y en la misma posición topográfica, en una condición sin disturbios por uso y manejo del suelo en los últimos 40 años.

2.3. Muestreo y determinaciones realizadas

Luego de la cosecha de soja 2003-04, en cada situación se extrajeron muestras de tres profundidades con tres repeticiones cada una:

0 - 10cm (1)

10 - 20cm (2)

20 – 30cm (3)

Las muestras de suelo se obtuvieron sin disturbar con cilindro metálico de 5cm de altura y 5cm de diámetro.

Las profundidades de referencia se seleccionaron teniendo en cuenta las capas de perfil cultural determinadas por Espósito (2002) y Verri (2004).

Se determinó la conductividad hidráulica saturada (K_s) en laboratorio con carga constante siguiendo a Klute and Dirksen, (1986). Cada muestra que se encontraba dentro del cilindro metálico, fue recubierta en su base con tela de nylon sujeta con bandas elásticas y colocada durante 24 hs en bandeja con agua para alcanzar la saturación. Posteriormente en la estructura construida para tal fin para dar cumplimiento al objetivo 1 (Fig. 1) cada muestra se sometió a una carga de agua constante durante 8 hs hasta estabilizar el drenaje. Luego, se midió la cantidad de agua drenada en intervalos de 10 minutos hasta obtener una cantidad constante entre lecturas (alrededor de 15 lecturas). Finalmente, la K_s del suelo se estimó de acuerdo a la Ley de Darcy, a saber:

$$K_s \text{ (cm min}^{-1}\text{)} = \frac{L * V}{S * T * \Delta H}$$

Donde:

L : longitud del cilindro de suelo (cm).

V: volumen del flujo (cm³).

S: Área del cilindro de suelo (cm²).

T: intervalo de tiempo utilizado (min.).

ΔH : diferencia en la carga hidráulica (cm)

Como fue expresado en objetivos específicos se procedió a la diagramación y fabricación de una estructura para 10 determinaciones al mismo tiempo, según se indica en la Fig. 1.



Figura 2.1. Estructura para realizar las determinaciones de Ks

La estructura consta de:

1. Recipiente de 20 litros que aporta agua al sistema por orificios cercanos a la base.

2. Una batea plástica donde se coloca el recipiente 1. cuya función es mantener la carga constante (ΔH) en el sistema.

3. Un soporte de hierro nivelado que soporta un caño conectado a la batea y con diez canillas ubicadas a lo largo del mismo para alimentar con agua a cada muestra a carga constante.

4. Un soporte de madera para colocar los 10 embudos de aluminio. En la base de cada embudo se adhirió una placa construida en yeso donde con taladro se realizaron

orificios de tamaño semejante a los que poseen los embudos Buchner, sirviendo así de soporte de los cilindros con muestras y asegurando la conducción continua del agua.

5. Cilindro metálico que contiene la muestra de suelo sin alterar.

6. Trozo de manguera de caucho que se coloca en la parte superior de cada cilindro, en la que se insertó y soldó un pico para el ingreso del agua a la muestra, desde la canilla del caño como se indica en 3.

2.4. Análisis estadístico

Para analizar los datos se empleó el concepto de un diseño completamente aleatorizado con arreglo espacial, donde los factores son LABRANZA y PROFUNDIDAD. El modelo estadístico así planteado se usó para cada una de las profundidades y labranzas por separado y sus respectivas interacciones.

El análisis estadístico se realizó a través del software estadístico InfoStat (1998), utilizando el modelo general lineal, prueba de comparaciones múltiples de Tuckey, Duncan y LSD Fisher.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3.1 se indica la K_s en cada labranza, donde puede observarse que en SD es mayor y estadísticamente diferente a las otras dos. Esta diferencia es del 28% entre la primera y el promedio de las otras dos. En este sentido Espósito (2002) en igual situación que el presente estudio, pero a los 5 años de iniciados los tratamientos encontró diferencias semejantes entre SD y LR, aunque fueron más amplias con respecto a LC, aspecto que atribuyó a la mayor proporción de macroporos medidos en la primer labranza mencionada. Sin embargo este mismo autor señaló que cuando los rastros son pastoreados la K_s en SD disminuye un 57%, mientras que se mantiene igual en LR y LC.

Otros autores como Miller *et al.*, (1999) determinaron en un suelo franco arcilloso, luego de aplicar durante 24 años distintos sistemas de labranza, que los valores de conductividad hidráulica saturada fueron mayores en siembra directa que en labranza convencional debido a que en la primera se produjo un porcentaje más elevado de poros mayores a 30 micras. Resultados semejantes fueron hallados por Ramírez Pisco *et al.*, (2004). Por otro lado Mahboubi *et al.*, (1993) encontraron que en siembra directa la conductividad hidráulica es 12 veces mayor comparada con labranza reducida y convencional. Sin embargo, Azevedo *et al.*, (1998) señalan que los efectos de las labranzas sobre la conductividad hidráulica no siempre son consistentes, ya que dependen no sólo del tipo de suelo sino también de la condición física del mismo al momento de iniciar los tratamientos.

Tabla 3.1. Conductividad hidráulica saturada ($K_s = \text{mm h}^{-1}$) en las tres labranzas.

Labranzas	K_s
SD	36,16 a
LR	25,39 b
LC	26,51 b

Letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según el test LSD Fisher.
SD = Siembra Directa; LR = Labranza Reducida; LC = Labranza convencional.

Con relación a las profundidades, (Tabla 3.2) se encontró que la K_s es estadísticamente igual en 0-10 y 20-30cm y diferente a 10-20cm, lo que demuestra que el sector compactado o de pisos de labranzas detectado en el método del perfil cultural (Espósito 2002, Verri 2004) es el menos permeable de todo el perfil cultural evaluado, ya que conduce un 39% menos de agua comparado con el valor promedio de las otras dos profundidades.

Es importante además destacar que entre 20-30cm se obtiene el mayor valor, ya que hacia la base de esa profundidad es menor el efecto de las labranzas y sistemas de cultivos aplicados, no sólo en los años de ensayo sino también en la historia de uso y manejo del lote.

Tabla 3.2. Conductividad hidráulica saturada ($K_s = \text{mm h}^{-1}$) en las tres profundidades.

PROFUNDIDAD (cm)	K_s
20-30	36,23 a
0-10	31,16 a
10-20	20,67 b

Letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según el test LSD Fisher.

La interacción labranza por profundidad (Figura 3.1.), muestra que las únicas diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento de K_s se producen entre SD 20-30cm que tiene el mayor valor y SD 0-10cm y LC 10-20cm. Estas diferencias son del 26% en el primer caso y del 53% en el segundo

El análisis por profundidad indica que en 0-10cm no hay diferencias entre labranzas coincidiendo con Espósito (2002). En 10-20cm tampoco se presentan diferencias significativas, sin embargo los valores son sensiblemente menores. Al comparar ambas profundidades entre labranzas la disminución de K_s es 37%, 45% y 15% en SD, LC y LR respectivamente, proporciones que indicarían que en LR se produce una condición más homogénea en la porosidad, mientras que en las otras labranzas la tendencia es a la estratificación de la misma. Por otro lado Espósito (2002) a los 5 años de estudio y cuando se dejaba todo el rastrojo sobre superficie encontró diferencias del 43% en SD, 14% en LC y 38% en LR. Esto indicaría que en SD la tendencia se mantiene con leve mejora, en LC se manifiesta un marcado desmejoramiento y en LR un marcado mejoramiento en la variable estudiada y entre las dos primeras profundidades.

Estos resultados indicarían que los efectos benéficos de SD sobre la K_s se observan si se mantienen importantes volúmenes de rastrojos en superficie, de acuerdo a lo planteado por Obi (1999) y Corsini y Ferraudo (1999).

Los resultados obtenidos demuestran cómo el antiguo piso de labranza secundaria o piso de rastra, ubicado entre los 10 y 20cm de profundidad, está funcionando con una K_s algo superior en las labranzas conservacionistas que en LC. Ello podría deberse a una mayor exploración radical en SD (Rasse and Smucker, 1998) y efecto del cincel en LR, sin embargo Mahboubi et al., (1993) encontró que la conductividad en SD no es diferente a lo que se encuentra en LR a esta profundidad. En este sentido se debe destacar que a esta profundidad

en SD la disminución de K_s es marcada y por ende no se demuestra la hipótesis específica 2 en cuanto a que sería la labranza que genera la mayor K_s en todo el perfil cultural.

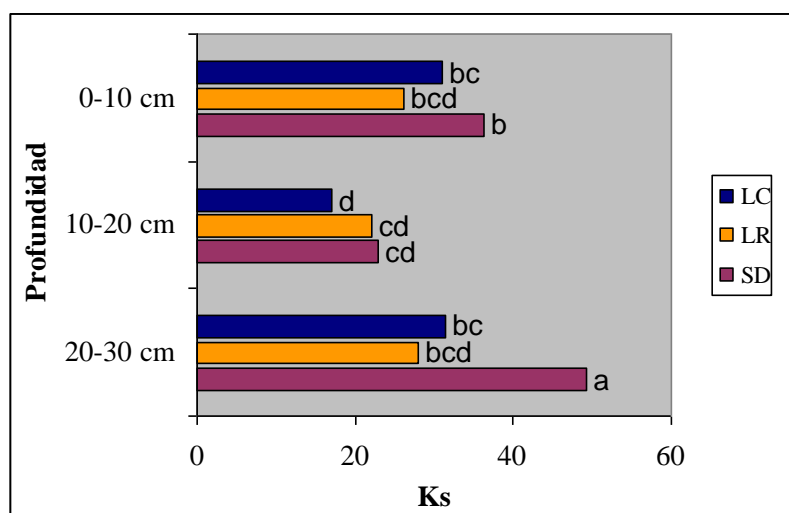


Figura 3.1. Conductividad hidráulica saturada ($K_s = \text{mm h}^{-1}$). Análisis de la Interacción entre labranzas y profundidades

Letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según el test LSD Fisher.
SD = Siembra Directa; LR = Labranza Reducida; LC = Labranza convencional.

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 y así indicar las disminuciones porcentuales por labranza y profundidad (Tabla 3.3). En general se observa que la capacidad de conducir agua ha disminuido entre un 56% y un 86%.

Tabla 3.3. Disminución porcentual de la conductividad hidráulica saturada ($K_s = \text{mm h}^{-1}$) con respecto a la situación ND.

LABRANZA	PROFUNDIDAD (cm)		
	0-10cm.	10-20cm.	20-30cm.
LC	-63%	-86%	-81%
LR	-69%	-82%	-83%
SD	-56%	-82%	-71%

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

Si se analiza por profundidad, se observa que en 0-10cm la disminución de K_s puede considerarse similar en LR y LC y mayor a SD. Sanzano *et al.*, (2004) en Haplustoles típicos franco limosos de la región subhúmeda seca de Tucumán encontraron en los 10cm

superiores disminuciones de K_s del 73% en pastura, 75% en siembra directa y 83% en labranza convencional con respecto a un monte natural de vegetación xerófila

Si se tiene en cuenta que la situación de partida fue la misma para todos los tratamientos, se puede considerar que la SD produjo un incremento en los macroporos que son los principales responsables del flujo saturado de agua, como fue demostrado por Espósito (2002) en el mismo ensayo. Por otro lado Bricchi (1996) señaló una relación lineal entre los poros mayores a 60 micras y la conductividad hidráulica saturada (K_s) en un suelo Hapludol típico del Dpto. Río Cuarto, Pcia. de Córdoba.

En la profundidad 10-20cm las disminuciones de K_s con respecto a ND son más marcadas que en la parte superficial siendo los porcentajes de disminución iguales en SD y LR y menores en LC. Esto podría estar relacionado con el incremento en poros de drenaje rápido encontrados por Espósito (2002) en las labranzas conservacionistas comparadas con LC, si bien se producirían, por actividad biológica en el caso de SD y por efecto mecánico en el caso de LR.

En la profundidad 20-30cm también se manifiestan disminuciones importantes de K_s aunque sigue siendo la SD la más favorable. Bricchi (1996) en un Hapludol típico franco arenoso muy fino encontró que a esta profundidad se producía una disminución de K_s del orden del 84% al comparar una situación compactada con una prístina. Es importante indicar que como puede observarse en la Tabla 3.2 esta profundidad es la que presenta los mayores valores de K_s del perfil cultural lo que hacía suponer un menor efecto de las labranzas y sistemas de cultivos. Sin embargo esto no es así, ya que se produce una marcada disminución con respecto a ND.

En este sentido Greacen y Sands, (1980) y Nimmo y Akstin, (1988) establecieron que los sectores compactados del perfil reducen la conductividad hidráulica saturada debido a la disminución de tamaños y a la modificación de la geometría de los poros, mientras que McKeyes, (1985) y Canarache *et al.*, (1984), explicaron que estas disminuciones son logarítmicas con respecto a cambios en densidad aparente ya que encontraron en un suelo franco limoso que las densidades que pasan de $1,20 \text{ gr.cm}^{-3}$ a $1,50 \text{ gr.cm}^{-3}$ producen disminución de conductividad hidráulica de hasta 95 %.

4. CONCLUSIONES

La K_s entre 10-20cm de profundidad adquiere los menores valores y por ende condiciona la permeabilidad del perfil cultural, aspecto que no pudo ser revertido con los sistemas de labranzas utilizados.

En la profundidad 0-10cm evaluada si bien la K_s no es estadísticamente diferente entre labranzas, se destaca un valor más elevado en SD.

Si bien la conducción del agua en LR es más homogénea que en SD y LC, no se observa un incremento significativo entre 10-20cm de profundidad con lo que se demuestra que no se habría logrado cambiar el estado de equilibrio del piso de labor inicia, con respecto a su porosidad, a pesar de haber realizado la labranza vertical en todos los ciclos y hasta la profundidad de 25-27cm.

La comparación de la K_s a los 5 y 10 años de estudio entre las profundidades 0-10 y 10-20 en cada labranza, permite mostrar que en SD se produce un incremento leve, en LR se produce un aumento elevado y en LC una fuerte disminución.

Los resultados obtenidos permiten sugerir la reconsideración -en el marco del programa de investigación que se ejecuta desde hace 12 años-, nuevas combinaciones de labranzas tendientes a mejorar la condición física del perfil cultural.

5. BIBLIOGRAFÍA

- AZEVEDO, A., R. KANWAR, and R. HORTON 1998. Effect of cultivation on hydraulic properties of an Iowa soil using tension infiltrometers. En *Soil Science* 163: 22-28.
- BECERRA, V. 1999 *Plan Director. ADESUR* (Asociación Interinstitucional para el Desarrollo del sur de Córdoba). Dpto. de Prensa y publicaciones. Universidad nacional de Río Cuarto. 51-68.
- BECKER, A.R.; CANTU, M.P.; SCHIAVO, H.F. y J.I. OSANA 2001 Evaluación de la pérdida de suelo por erosión Hídrica en la región pedemontana del suroeste de Córdoba, Argentina. **XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la ciencia del Suelo**. CD. Trabajo VII 41-44.
- 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 cinditions in the center south Córdoba, Argentina**. Inveted presentations College on Soil Physics 2003. D:M:Gabriels, G Ghirardi, D:R:Nielsen, I. Pla Sentis, E.L. Skidmore Eds. The Abdus Salam ICTP. Trieste. Italia.18:77-83.
- BRICCHI, E., F. FORMIA, G. ESPOSITO, L. RIBERI y H. AQUINO. 2004. **The effect of topography, tillage and stubble grazing on soil structure and organic carbon levels**. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2 (3), 409-418.
- BUSCHIAZZO, D. E., J. L. PANIGATTI y F. J. BABINEC. 1996. **Labranzas en la región semiárida argentina**. Extra, Santa Rosa (LP). Pp. 363-375.
- CANARACHE A., COLIBAS I., COLIBAS M., HOROBEANUI., PATRU V., SIMOTA H. y T. TRANDAFIRESCI. 1984. Effect of compaction by wheel traffic on soil physical properties and field of maize in Romania. **Solil and Tillage Res. 4**: 199-213.
- CANTERO A.; BRICCHI E., BECERRA V., CISNEROS J. Y H GIL. 1986. **Zonificación y descripción de las tierras del Departamento Río Cuarto**, Talleres gráficos de la UNRC, adhesión del Bicentenario de la Fundación de la ciudad de Río Cuarto, 80 pags y un carta.
- CANTU, M.P. 1992 Holoceno de la Prob. De Córdoba. **Manual: Holoceno de la República Argentina**. Tomo 1. Ed. Doctor Martín Irondo. Simposio Internacional sobre el Holoceno en América del Sur. Paraná, Argentina.
- CASAS, R. 1997. **Causas y evidencias de la degradación en la Región Pampeana**. Hacia una agricultura productible y sostenible en la Pampa. *CPIA* 5:99-164.

- CISNEROS, J. M., C. CHOLAKY, O., GIAGYETTO Y J. J. CANTERO 1997. Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un suelo Hapludol típico del Centro de Córdoba. **Rev UNRC 17 (1):**13-22.
- CORSINI P. C. y A. S. FERRAUDO 1999. Effects of tillage systems on bulk density, aeration porosity and root development of corn in a typic Haplortox soil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 34(2):**289-298.
- EHLERS, W., 1975. Observation on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. **Soil Science, 119:** 242-249.
- ELRICK, D.E. and W.D. COREY., 1992. Infiltration From Constant-Head Permeameters and Infiltrimeters. Advances in Measurements Properties: Bringing Theory Into Practice. **SSSA Special Publication no. 30:** 69-103.
- ESPOSITO, G., 2002. **Propiedades hidrofísicas de los suelos asociados a diferentes sistemas de labranzas en cultivo de maíz.** Trabajo de tesis para la obtención del título de Magíster en Producción Vegetal. Fac. Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- FELTON, G.K. y M. ALI, 1992. **Hydraulic parameter response to incorporated organic matter in the B-horizon.** American Society of Agricultural Engineers 2950 Niles Rd., ST. Joseph, MI 49085-9659 USA.
- FRANZMEIER, D.P., 1991. Estimation of hydraulic conductivity from effective porosity data for some Indiana Soils. **Soil Sci. Soc. of Am. J. 55:** 1801-1803.
- GREACEN E. L. y R. SANDS 1980. **Compaction of forest soils.** Aust. J. Soil. Res. 18: 163-89.
- HAFEZ, A.A.R. 1974. Comparative changes in soil-physical properties induced by admixtures of manures from various domestic animals. **Soil Science 118(1) :**53-59.
- KIRBY, J.M. y B.G.BLUNDEN, 1991. Interaction of soil deformations structure and permeability. Aust. J. **Soil Res. 29:** 891-904.
- KLADIVKO, E.J.; MACKAY, A.D. y J.M. BRADFORD, 1986. Earthworms as a factor in **The reduction of soil crusting.** Soil Sci. Am. J., 50:191-96.
- 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.
- LEE, K.E., 1985. **Earthworms- Their ecology and relationships with soils and Land Use.** Academic Press, New York, NY,411pp.
- MAHBOUBI A., R. LAL and N. FAUSSEY 1993. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. **Soil Sci. Soc. Am. J. 57:** 506-512.

- MANKIN, K. R., A. D. WARD and K. M. BOONE 1996. Quantifying changes in soil physical properties from soil and crop management: a survey of experts. En **Transactions of the ASAE. Vol. 39(6):2065-2074.**
- MC KYES E. 1985. **Soil cutting and tillage.** Development in Agriculture Engineering 7. Elsevier.
- MILLER J., F. LARNEY and C. LINDWALL 1999. Physical properties of a Chernozemic clay loam soil under long-term conventional tillage and no-till. **Can. J. Soil Sci. 79(2): 325-331.**
- MORENO, C. CHOLAKI, M. LESSER y J. MARCOS 1996. Efecto de la labranza sobre el contenido de carbono orgánico y su implicancia en la estabilidad estructural. **XV Congreso argentino de la ciencia del suelo.** Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- NIMMO J. R. y K. C. AKSTIN 1988. Hydraulic conductivity of a sandy soil at low water content after compaction by various methods. **Soil Sci. Soc. Am. J. 52:** 303-310.
- OBI, M. 1999. The physical and chemical responses of a degraded sandy clay loam soil to cover crops in southern Nigeria. **Plant & Soil. 211(2):165-172.**
- RAMIREZ PISCO R., M. A. TABOADA y R. GIL 2004. Efecto a largo plazo de la labranza convencional y la siembra directa sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico. **XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos.** Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- RASE, D. and A. SMUCKER 1998. Root recolonization of previous root channels in corn and alfalfa rotations. **Plant & Soil. 204:** 203-212.
- SANSANO G. A., R. CORBELLA, J. GARCIA y G. FADDA. La degradación física de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. **XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos.** Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- TESTER, C.F., 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. **Soil. Sci. Soc. Am. J. 54:** 827-831.
- VERRI L. J., 2004. **Efecto del uso y manejo sobre la materia orgánica total y sus fracciones en un Hapludol típico.** Trabajo de final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.