

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

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

Modalidad: Proyecto.

**EFECTO DE UNA LABOR DE DESCOMPACTACIÓN
SUBSUPERFICIAL SOBRE PROPIEDADES
HIDRÁULICAS DE UN HAPLUDOL TÍPICO DEL SUR
CORDOBÉS.**

Alumno: AMATO, Lucas Emanuel.

DNI: 32.015.872

Director: Ing. Agr. Carmen CHOLAKY.

Co-Director: Ing. Agr. Estela BRICCHI.

Río Cuarto – Córdoba.

Julio/2012.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: *“Cambio en las propiedades hidráulicas de un suelo Hapludol típico del sur oeste de Córdoba, manejado con labranza reducida, por efecto de una labor profunda.”*

Autor: AMATO, Lucas Emanuel
DNI: 32.015.872

Director: Ing. Agr. Carmen CHOLAKY
Co-Director: Ing. Agr. Estela BRICCHI

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

Ing. Agr. Matana Ricardo _____
Ing. Agr. Raül Crespi _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

DEDICATORIA

*A mis padres, Domingo Juan Carlos Amato y Nora Gomez.
Gracias por todo el aguante y cariño que me regalan cada día.*

Lucas Emanuel Amato.

AGRADECIMIENTOS

Especialmente a Carmen Cholaky y Estela Bricchi, por su participación, paciencia y dedicación. A demás quisiera agradecer a todos mis amigos especialmente a María Belen Vasquez Yocco, Lucas Bazán, Verónica Marro y a mi novia Romina Giosue, que de una u otra forma han colaborado, con una excelente predisposición para la realización de esta Tesina.

INDICE GENERAL.

I-	Resumen.....	IX
II-	Summary.....	X
III-	Introducción.....	1
	3.1 Planteo del problema y Antecedentes.....	1
	3.2 Hipótesis.....	5
	3.3 Objetivo General.....	5
	3.4 Objetivos Específicos.....	5
IV-	Materiales y Métodos.....	6
	4.1 Caracterización del área de estudio.....	6
	4.2 Tratamiento y diseño experimental.....	6
	4.3 Determinaciones.....	8
	4.4 Desarrollo de los métodos de cálculos.....	10
	4.5 Análisis estadístico.....	13
V-	Resultados y Discusión.....	14
	5.1 Conductividad Hidráulica.....	14
	5.2 Densidad Aparente.....	16
	5.3 Contenido Hídrico.....	19
	5.4 Sortividad.....	20
	5.5 Distribución de poros por tamaño y contribución al flujo de agua.....	21
	5.6 Profundidad de Humedecimiento y area media de mojado superficial.....	23

VI-	Conclusión.....	25
VII-	Recomendaciones.....	26
VIII-	Bibliografía.....	27
IX-	Anexos.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1	Conductividad hidráulica a 0, 2 y 5 cm de columna de agua (K_s , K_2 y K_5).....	14
Tabla N°2	Densidad Aparente (DAP, $g\ cm^{-3}$).....	17
Tabla N°3	Humedad promedio de los primeros 20 cm de suelo previo a la medición de conductividad hidráulica (H %).	19
Tabla N°4	Sortividad ($cm/t^{1/2}$).....	21
Tabla N°5	Porcentaje del flujo total de agua para cada rango de radio de poros (r).....	22
Tabla N°6	Profundidad media del frente de mojado (cm) y área de mojado media Superficial (cm^2) en relación al nivel detención aplicada en los diferentes sistemas de labranza.....	23

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico N°1	Perfiles de distribución de la Densidad Aparente (Mg/m^3) en el espesor del suelo en el frente de avance del frente de humedecimiento (cm)	18
Gráfico N°2	Perfil de distribución Humedad edáfica (H%), el espesor del suelo en el frente de avance del frente de humedecimiento (cm).....	20

I RESUMEN

RESUMEN

El presente trabajo evaluó el efecto de una descompactación subsuperficial con subsolador alado “Reja Cero” sobre las propiedades hidráulicas de un Hapludol Típico. Se realizó en el Campo de Docencia y Experimentación “Pozo del Carril”, de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC, ubicado en cercanías del paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto. Los tratamientos fueron “Labranza Reducida con labor de descompactación subsuperficial” (LR c/lp) y “Labranza Reducida sin labor de descompactación subsuperficial” (LR s/lp). El diseño experimental fue en parcelas subdivididas dispuestas en bloques completamente aleatorizados, con dos repeticiones espaciales por tratamiento. Se evaluó conductividad hidráulica saturada (K_s) y conductividad hidráulica insaturada a tensiones de 2 y 5 cm de carga (K_2 y K_5 , respectivamente), sortividad (S), contribución del tamaño de poros ($> 750 \mu$, entre 750 y 350μ y $< a 350 \mu$) al proceso de infiltración de agua. Se utilizó un Infiltrómetro de tensión, modificando el factor de superficie, F_1 , a partir de la estimación del área superficial de mojado de cada tratamiento. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos y los valores de K_s , K_2 y K_5 fueron muy bajos para la textura del suelo, indicando un marcado deterioro de la estructura. A mayor tensión de carga, la K disminuyó, mostrando una tendencia a mayores valores en LR s/lp. La S a las tensiones 0 y 2 cm fue mayor en LR s/lp, aunque su magnitud fue muy baja en ambos casos y solo la contribución del tamaño de poros $> a 750 \mu$ al flujo de agua presentó diferencias significativas a favor de LR c/lp. Las propiedades hidráulicas no son afectadas por la labor de descompactación con subsolador alado. La contribución de los macroporos al flujo total de agua es baja y puede asociarse a la baja K que presenta el mismo.

Palabras Claves: descompactación subsuperficial, propiedades hidráulicas, Infiltrómetro de tensión, Conductividad Hidráulica, Sortividad, Diámetro de Poros.

II SUMMARY

SUMMARY

The present study evaluated the effect of a winged subsoiler subsoiling subsurface with "Reja Cero" on the hydraulic properties of a typical Hapludoll. Was performed in the Field of Teaching and Experimentation "Pozo del Carril", Faculty of Agronomy and Veterinary Medicine, UNRC, located near the hamlet La Aguada, Rio Cuarto Department. The treatments were "Reduced tillage with subsoiling subsuperficial work" (LR c / lp) and "Reduced tillage without subsoiling subsuperficial work" (LR s / lp). The experimental design was split plot arranged in randomized complete block with two replications per treatment space. We evaluated saturated hydraulic conductivity (Ks) and unsaturated hydraulic conductivity at a tension load of 2 and 5 cm (K2 and K5, respectively), sorptivity (S), contribution of pore size > 750 μ , 750 to 350 μ and <to 350 μ in the process of water infiltration. Was used Infiltrometer tension, surface modifying factor, F1, from the estimate of the wet surface area of each treatment. There was no statistically significant differences between treatments and the values of Ks, K2 and K5 were very low for soil texture, indicating a marked deterioration of the structure. The higher tension load, the K decreased, showing a tendency to higher values in LR s / lp. S to the tension load of 0 and 2 cm was higher than in LR s / lp, though its magnitude was very low in both cases and only the contribution of the pore size > 750 μ to the flow of water showed significant differences for LR w / lp. The hydraulic properties are not affected by the subsoiling work with winged subsoiler. The contribution of the macropores to the total flow of water is low and may be associated with the low K having the same.

Keywords: decompaction subsurface, hydraulic properties, tension infiltrometer, hydraulic conductivity, sorptivity, Pore Diameter.

III INTRODUCCION

INTRODUCCIÓN

3.1 Planteo del Problema y Antecedentes..

Se estima que más del 40 % del territorio argentino está afectado por procesos de degradación de sus tierras, entre los que se destacan la afectación de las propiedades físicas y químicas naturales de los suelos. SAGyP y CFA, (1995).

La disponibilidad de agua en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana constituye una de las principales limitantes de la productividad de los cultivos (Bono y Alvarez, 2008).

La susceptibilidad a la compactación en los suelos de la Región Pampeana ha sido objeto de interés, principalmente a partir de la creciente adopción de sistemas de labranza reducida y siembra directa (Ferrerías *et al.*, 1998). En Argentina el área total cultivada en siembra directa continua es de 16 millones de hectáreas, mientras que 22 millones de hectáreas son cultivadas usando labranza convencional (Botta *et al.*, 2010).

La siembra directa generalmente ejerce menor intensidad de tráfico que los sistemas de labranza convencional, sin embargo después de varios años de implementar este manejo de manera continua, el rinde de los cultivos tiende a decrecer (Botta *et al.*, 2008). Esto podría deberse a una combinación de diversos problemas como el control de malezas, enfermedades a nivel de raíces, compactación de suelo, maquinaria con elevadas cargas por eje, entre otras.

Los suelos de la Pampa Ondulada se caracterizan por presentar una mayor susceptibilidad a sufrir procesos de degradación física, debido fundamentalmente a su prolongada historia agrícola y su textura limosa (limos finos y muy finos), que le confieren una baja capacidad de regeneración de la estructura y porosidad luego de sufrir la densificación o compactación (Alvarez *et al.*, 2008).

En la región del centro-sur de Córdoba (Cisneros *et al.*, 2004) han estimado incrementos en las tasas de erosión, a pesar de la adopción generalizada de la siembra directa, cuyos efectos benéficos no han logrado mitigar los impactos de cambios de uso ganaderos o mixtos a agrícolas puros. De acuerdo a Cisneros *et al.*, (2008), la siembra directa no ha sido acompañada con una estrategia de aprovechamiento del agua de lluvia y los altos niveles de compactación superficial y subsuperficial del suelo obstaculizan la infiltración del agua de lluvia, lo que aumenta el escurrimiento superficial y facilita los procesos erosivos.

En lo que respecta a la historia, en los sistemas de producción de la región central de Córdoba, durante los últimos treinta años, fueron ocurriendo importantes cambios en el uso

de la tierra, además de un avance de la agricultura sobre áreas ocupadas anteriormente por la ganadería, asociado a un cambio climático (el fenómeno ENSO) (Aoki *et al.*, 2008).

La degradación física del suelo se manifiesta como encostramiento superficial y compactación subsuperficial, esto produce una menor infiltración del agua de lluvia, menor retención de humedad y aumento del escurrimiento superficial (Cisneros *et al.*, 2012).

Algunos trabajos, como el realizado por Michelena *et al.*, (2002), afirman que esta practica de no labranza modifica la estructura del espacio poroso y la dinámica del agua, aumentando la infiltración (macroporos) y el almacenamiento del agua, reduciendo la pérdida de suelo por erosión. Sin embargo varios autores han observado que este sistema tiene algunos efectos no deseados en la condición física del suelo.

Manso *et al.*, (2008) evaluaron la evolución de la densidad aparente (DAP) y de la resistencia a la penetración (RP) luego de 10 años de un ensayo en el que se realizaba siembra directa y labranza convencional y encontraron mayor dureza en el suelo tratado con siembra directa que en labranza convencional, si bien en algunas profundidades las diferencias no fueron significativas. Los resultados que obtuvieron demuestran un incremento en la compactación de los suelos con los años de agricultura, siendo más notorio bajo siembra directa.

En igual sentido Álvarez y Steinbach (2006) estudiaron el impacto de la adopción de siembra directa sobre las propiedades físicas de los suelos pampeanos, a partir de la integración de la información publicada en los últimos 20 años, incluyendo únicamente tratamientos bajo siembra directa, labranza con cincel y labranza con arado de disco o de reja y vertedera. No obtuvieron diferencias entre los tratamientos con cincel y reja, pero si entre estos y siembra directa. Bajo este último tratamiento los valores de DAP fueron mayores.

Algunas prácticas de manejo, tales como sistemas de labranza y rotaciones de cultivos, pueden llegar a modificar las propiedades del suelo desde el punto de vista físico, químico y biológico. Según cómo se implementen cada una de ellas, pueden actuar en forma favorable o desfavorable sobre dichos aspectos. El laboreo afecta la macroporosidad del suelo y, consecuentemente, la tasa de infiltración (Cisneros *et al.*, 2012).

El perfil de humedad del suelo durante el período de infiltración varía continuamente (flujo transitorio) hasta que se alcanza la tasa de infiltración estacionaria. La infiltración del agua del suelo, tanto en su estado transitorio como en el estacionario, es un buen reflejo de la estructura del sistema poroso, resultante de la yuxtaposición de las partículas de suelo y de los agregados (Elrick y Corey, 1992).

Por otro lado, Merrill *et al.*, (2002) expresan que la presencia de cobertura con residuos vegetales es el factor más importante para controlar la escorrentía, favoreciendo la infiltración del agua.

Como consecuencia de operaciones de descompactación se ha verificado aumento en la velocidad de infiltración del agua (Pikul y Aase, 1999), en la conductividad hidráulica de horizontes compactados, disminución de la resistencia a la penetración (Orellana *et al.*, 1990), mayor crecimiento radical (Gill *et al.*, 1996) y aumento del rendimiento del cultivo (Mora *et al.*, 2001).

En un trabajo similar, Alvarez *et al.*, (2006) observo que la velocidad de infiltración se incrementaba notablemente posterior a la realización de una labor de descompactación subsuperficial, respecto a una situación sin descompactar. Sin embargo este comportamiento perduraba muy poco en el tiempo, mostrando hacia final del ciclo de un cultivo marcados descensos en los valores de la variable estudiada, atribuyéndolo a la baja estabilidad que presenta la nueva estructura generada con la labranza.

La descompactación subsuperficial por métodos mecánicos es obtenida principalmente a través del subsolado. Las herramientas de labranza vertical permiten fragmentar las capas del suelo restrictivas sin causar una destrucción severa de los agregados y mantienen la superficie protegida mediante la escasa incorporación de residuos (Balbuena *et al.*, 2009).

Entre las metodologías para evaluar las propiedades hidráulicas del suelo, Diez (2006) plantea que el permeámetro de disco posee suficiente sensibilidad para determinar las diferencias de comportamiento de estas propiedades en un suelo Hapludol típico franco arenoso muy fino. Por su parte, Pellegrini (2008), trabajando en un suelo Hapludol típico del sur oeste de Córdoba sobre un ensayo de labranzas y rotaciones de larga duración, observó que las prácticas de cultivo del suelo produjeron una fuerte disminución de la conductividad hidráulica saturada (K_s) de la capa superficial del suelo, así como también que luego de 14 años de ensayo, la labranza reducida presentó mayor K_s que la labranza convencional y que la siembra directa, aunque todas mostraron un deterioro de esta variable superior al 60% con respecto a una situación con mínimo disturbio y por ende plantea la necesidad de realizar una labranza vertical de descompactación en todos los sistemas de labranza estudiados.

Este mismo autor plantea que todo sistema de laboreo afecta al contenido de agua disponible en el suelo durante el periodo de desarrollo del cultivo a través de sus efectos sobre la infiltración, escorrentía superficial y evaporación. La capacidad de un suelo a la infiltración del agua es un factor importante a controlar en la producción de granos, en especial cuando las sequías son importantes. La selección del método de labranza más conveniente para el cumplimiento de ese objetivo es por lo tanto imperativo.

La maquinaria utilizada en los diferentes laboreos posee gran peso y muchas veces se utiliza fuera de los rangos de humedad aconsejados. Todo lleva a un aumento en la densificación de los suelos, tanto en superficie como subsuperficialmente. Las variables hidráulicas serían las más

afectadas por este fenómeno. Para mejorar esta situación, Balbuena *et al.*, (2009) proponen la utilización de labores de descompactación como una de las alternativas de manejo de esta problemática. El efecto de descompactación favorecería la entrada de agua en el perfil del suelo (Alakukku *et al.*, 2003).

Los procesos de compactación afectan el flujo de agua en los suelos. Esta alteración se produce por una reconfiguración del espacio poroso (Strudley *et al.*, 2008).

Existen antecedentes donde, mediante el cincelado, es posible aflojar capas densificadas hasta profundidades de 0,25 m, favoreciendo el desarrollo radicular y aumentando los rendimientos (Clark *et al.*, 1993).

Cassel y Wagger (1996) encuentran mayor infiltración acumulada en el suelo preparado con arado de cincel y arado de disco en comparación al no laboreado. Días *et al.* (2003) reportan mayores tasas de infiltración e infiltraciones acumuladas cuanto mayor disturbio presenta el suelo, bajo distintos sistemas de labranza. Asimismo, Días *et al.* (2004) señalan el mantenimiento de una mayor velocidad de infiltración del agua en el suelo donde se realizó escarificación vertical.

Blevins *et al.* (1983 a) expresan que la labranza no tuvo efectos sobre la densidad aparente de los suelos en la capa arable, entre 0 a 15 cm de profundidad. En cuanto a la conductividad hidráulica en suelo saturado, las mediciones demostraron un mejor movimiento de agua en el perfil en siembra directa en comparación con labranzas convencionales (Blevins *et al.*, 1983 b).

La cantidad y tamaño de poros es sumamente importante para el crecimiento de las raíces y el movimiento de agua y solutos en el suelo (Logsdon, 1996).

La compactación de suelos influye en el rendimiento de los cultivos por los cambios que representa en la densidad aparente, en la consistencia de los suelos, en la distribución de poros y el tamaño de agregados. Estos cambios afectan el drenaje, la disponibilidad de agua, aire, la exploración radical y la infiltración del agua, debido a la estrecha relación existente entre: infiltración, densidad aparente, porosidad estructural y contenido de humedad del suelo. (González Roelants, 1997)

En forma más general, la velocidad de infiltración (definida como el volumen de agua que se mueve hacia el interior del suelo a través de los poros por unidad de superficie y por unidad de tiempo) depende, entre otros factores, de la textura, de la estabilidad estructural, del grado de compactación, del contenido de humedad, de la altura de la lámina de agua, del contenido de sodio intercambiable y de la temperatura del agua (Hillel, 1998).

En definitiva, los cambios producidos por labranzas en la cantidad, tamaño y continuidad de los poros tienen una gran influencia sobre las propiedades hidráulicas de la superficie del suelo,

pero en diversos estudios se ha demostrado que el efecto de las labranzas sobre la velocidad de infiltración puede ser contradictorio (Jones *et al.*, 1994).

3.2 Hipótesis

La labranza de descompactación subsuperficial mejora las propiedades hidráulicas de un Hapludol típico manejado con labranza reducida durante 15 años y modifica la distribución de tamaño de poros que contribuye a estas propiedades.

3.3 Objetivo general

✓ Evaluar el efecto de la descompactación subsuperficial sobre las propiedades hidráulicas y la distribución de tamaño de poros que contribuyen a la velocidad de infiltración de un Hapludol típico del sur oeste de Córdoba, manejado con labranza reducida.

3.4 Objetivos específicos

- ✓ Ajustar la metodología de medición a las condiciones existentes en el ensayo.
- ✓ Evaluar los parámetros de infiltración, velocidad de infiltración y conductividad hidráulica.
- ✓ Evaluar en cada situación la contribución de poros de radio mayor a 750 micrómetros y entre 300 y 750 micrómetros en el movimiento del agua.

IV MATERIALES Y METODOS

4 - MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Caracterización del área de estudio

El trabajo se realizó en el Campo de Docencia y Experimentación (CAMDOCEX) “Pozo del Carril”, de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC; ubicado en las cercanías del paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto (33° 57’ Lat. Sur, 64° 50’ Long. Oeste).

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 balance hídrico presenta un déficit de entre 50 y 300 mm/año de acuerdo a la cantidad precipitada. Las principales adversidades climáticas son: sequías, heladas extemporáneas, granizo y la intensidad de las precipitaciones (Degioanni, 1998).

El paraje La Aguada se encuentra dentro de la unidad cartográfica MJte-7, y dentro de esta el área bajo estudio presenta un relieve fuertemente ondulado, con lomas pronunciadas, en donde el suelo representativo es un Hapludol típico, bien a algo excesivamente drenado, profundo (+ de 100 cm), franco arenoso en superficie, franco en el subsuelo, moderadamente bien provisto de materia orgánica, alta capacidad de intercambio catiónico, y elevada susceptibilidad a la erosión hídrica (INTA-Agencia Córdoba Ambiente, 2006).

Las características del perfil representativo del sitio donde se llevó a cabo el presente estudio fueron descritas por Becker (2006) y se presentan en el Anexo II.

4.2 Tratamientos y diseño experimental

El programa de investigación donde se incluyó este trabajo se puso en marcha en agosto de 1994. Incluye tres usos: agrícola, agrícola ganadero y una situación de mínimo disturbio; tres sistemas de labranzas: siembra directa (SD), labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC) y desde el año 2007 se realiza, en una parte de cada tratamiento, una labor de descompactación subsuperficial; dos dosis de fertilización: con y sin incorporación de nitrógeno y fósforo; y dos manejos del resto de cosecha: pastoreo y no pastoreo.

Las labores mecánicas realizadas difieren según sea el sistema de labranza. La condición del suelo en las cuales son realizadas las mismas es en estado friable y su antelación en el tiempo depende de las condiciones de humedad del suelo y de los objetivos perseguidos por las mismas.

En siembra directa no existe laboreo alguno del suelo, solamente se realiza la siembra con una sembradora adaptada para tal fin. En este programa se realizó la siembra en plano con una sembradora marca Bertini (Mod. 10000 D) neumática, de siete surcos a 0,70 m entre líneas de siembra.

El kit de siembra está constituido por: una cuchilla de microlabranza (corta rastrojo), posteriormente un sistema de doble disco (abre surco sembrador y fertilizador en la línea de siembra) y luego las ruedas tapadoras del surco dentadas; el control de profundidad de la semilla se realiza a través de una leva central graduada.

Para poder realizar la fertilización al costado de la línea de siembra, se agrega un doble disco fertilizador agarrado del chasis, y las cuchillas de microlabranza (corta rastrojo) son colocadas delante de los mismos en la barra porta cuchillas.

Los fertilizantes a base de fósforo y nitrógeno son colocados al momento de la siembra, ubicados al costado y por debajo de la línea del cultivo, para el caso del fosforo y en la línea de siembra en el caso del nitrógeno, para todos los tratamientos.

Las dosis aplicadas fueron determinadas en función de los rendimientos potenciales de los cultivos y de las condiciones del suelo.

El control de malezas se realizó en forma química.

En el tratamiento de labranza reducida se realizaron dos labores de arado cincel para llegar a los 0,2 m de profundidad en el momento de barbecho; y a continuación un repaso con rastra de disco de tiro excéntrico con el mínimo cruce de los cuerpos, según las condiciones superficiales del suelo. Finalmente se realizó la siembra con la máquina de siembra directa anteriormente descrita.

El control de malezas durante el barbecho se realizó mediante las labores mecánicas mencionadas; en preemergencia de los cultivos y de las malezas se realizó control químico.

La labranza convencional comprende una labor de arado de reja y vertedera, en el momento de barbecho con un repaso de rastra de disco de tiro excéntrico. Luego se realiza la siembra con la sembradora mencionada anteriormente.

El control de malezas en este caso fue similar al descrito en la labranza reducida.

La labor de descompactación profunda realizada en LR y SD se llevó a cabo mediante un escarificador-descompactador tipo “reja cero” (Cisneros et al; 1998), a una profundidad teórica de 0,3 m, con rolos dispuestos detrás de dicha herramienta con el objetivo de cerrar los surcos originados por las rejas y reacondicionar la superficie del suelo y rastrojo.

La herramienta consiste en rejas rectas aladas en forma de “T” invertidas que presentan filos longitudinales y horizontales, dispuestas sobre un bastidor de arado de cincel con una separación

entre reja de 0,36 m. La labor se realizó en el mes de agosto de 2008 en una condición del suelo friable. (Ver fotos 1, 2, 3, 4 y 5 Anexo III)

El ensayo se desarrolló utilizando un diseño experimental en parcelas subdivididas dispuestas en bloques completamente aleatorizados, con dos repeticiones espaciales por tratamiento (Ver Anexo I).

El presente trabajo se realizó en una rotación agrícola fertilizada, sin pastoreo de rastrojo de cosecha, con los siguientes tratamiento: “Labranza Reducida con labor de descompactación” (LRc/lp) con escarificador reja cero y “Labranza Reducida sin labor de descompactación” (LRs/lp), con dos repeticiones para cada tratamiento.

Tanto la labor con cincel como con escarificador descompactador se realizaron en condiciones de suelos friable, fisurando hasta los 20 cm de profundidad. Esta última labor se realizó en noviembre de 2009. Sobre los tratamientos se sembró un cultivo de soja durante la primera quincena de diciembre, que hacia inicio del período reproductivo (primera semana de febrero de 2010) se perdió totalmente a partir de la caída de piedra (Ver foto 6 Anexo III)

4.3 Determinaciones

En los dos tratamientos de labranza mencionados, a nivel superficial, se realizaron mediciones de las propiedades hidráulicas del suelo, con tres subunidades de muestreo por tratamiento y repetición, donde se evaluaron 3 tensiones: 0, 2 y 5 cm (Ver figura 13, 14, 15 y 16 Anexo III).

Para ello se utilizó un permeámetro de disco (Perroux y White, 1988), que 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 μ 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 1).

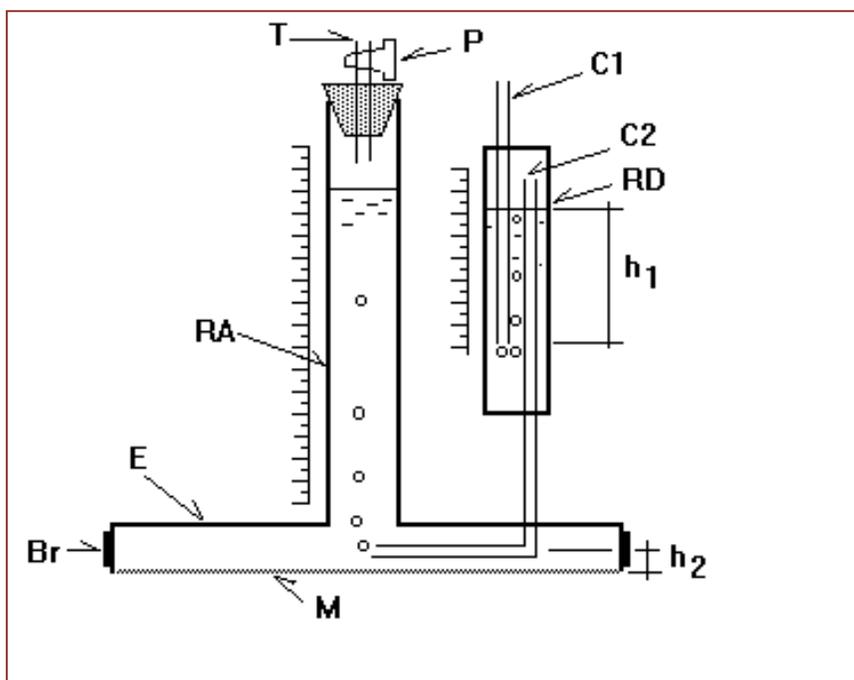


Figura 1: Esquema del permeámetro de disco. RA: depósito de alimentación; RD: Mariotte; M: membrana de nylon; C1: capilar móvil para ajustar potencial; C2: capilar de aireación; T: tubo de llenado; P: robinete o pinza de Mohr; Br: base de goma para sujetar malla; E: base no saturada, $h_0 = h_2 - h_1$, h_0 es negativa para $h_1 > h_2$.

A partir de la toma de datos de la cantidad de agua que ingresa al perfil de suelo en un tiempo dado, del diámetro de mojadura superficial y del frente de humedecimiento, se estimó:

- ✓ infiltración acumulada (I_a),
- ✓ velocidad de infiltración (V_i);
- ✓ conductividad hidráulica (K_s);
- ✓ superficie mojada (S_m) determinada al final de cada ensayo, con el propósito de poder interpretar la relación entre la distribución de agua en el sentido lateral y vertical;
- ✓ Sortividad (S);
- ✓ el diámetro de poros involucrados en la conducción de agua a las diferentes tensiones de aplicación (total de poros, poros $> 0,075$ cm y $> 0,03$ cm de radio, para las tensiones de 0, 2 y 5 cm, respectivamente).

En cada ensayo, se tomaron muestras de suelo para estimar el contenido hídrico inicial (g/g) a través del método gravimétrico. Se determinó además la densidad aparente según el método del cilindro (Blake y Hartage, 1986), y la porosidad total según Danielson y Sutherland (1986). Las 3 determinaciones se realizaron en las profundidades entre 0 - 5; 5 - 10; 10 - 15 y 15 - 20 cm. Para el análisis estadístico se promediaron los valores de cada una de estas tres variables hasta la profundidad de mojado.

Luego de cada medición, se registraron mediante observación directa los datos de diámetro de la superficie de mojado y de la profundidad hasta donde alcanzo el frente de humedad (ver foto 7, 8, 9, 10, 11 y 12 Anexo III).

4.4 Desarrollo de los métodos de cálculo

✓ Infiltración parcial (Ip)

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

$$I_p(\text{cm}) = (L_n - L_{n-1}) \cdot F_1 \quad (1)$$

$$F_1 = S_r / S_d \quad (2)$$

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_r es la superficie interna del reservorio de agua $S_r=22,9 \text{ cm}^2$; S_d es la superficie del disco (123 cm^2).

Como se instaló una capa de arena por debajo del disco se consideró la superficie $S_{da}= 188.7 \text{ cm}^2$; luego F_1 , (S_r/S_{da}) tomó el valor de 0.121.

Sin embargo, como el área de mojado superficial fue mayor que la superficie S_{da} , se midió el diámetro del círculo descrito por el flujo de agua horizontal y se re calculó S_{da} para cada tratamiento promediando los valores medios obtenidos a campo, con lo cual se estimó un nuevo valor de F_1 medio, que solo varió entre las tensiones aplicadas en ambos tratamientos (Anexo IV).

✓ Infiltración acumulada (Ia)

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

$$Ia(cm) = Ip_n + Ip_{n+1} \quad (3)$$

✓ Velocidad de infiltración (Vi)

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

$$Vi(cm.h^{-1}) = \left[\frac{Ip}{(t)_n - t_{n-1}} \right] \quad (4)$$

✓ Conductividad hidráulica saturada (Ks)

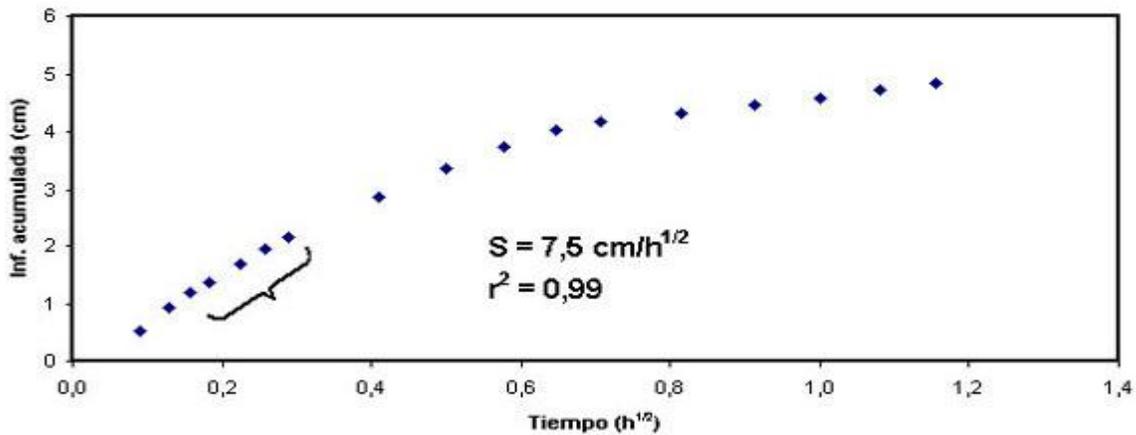
Se estimó a partir de las mediciones de $Ia(t)$ en la etapa final de infiltración. Es la pendiente de la sección lineal de la infiltración acumulada graficada en función del tiempo y presenta unidades en $(cm\ h^{-1})$.

✓ Conductividad hidráulica no saturada (K_2 y K_5)

Se estimó a partir de las mediciones de $Ia(t)$ en la etapa final de infiltración, a partir de la aplicación de tensiones de carga de 2 y 5 cm de altura, correspondiendo a K_2 y K_5 , respectivamente. Es la pendiente de la sección lineal de la infiltración acumulada graficada en función del tiempo y presenta unidades en $(cm\ h^{-1})$.

✓ Sortividad (S)

La Sortividad se calculó a partir de de las mediciones de $I f(t)$, realizadas durante la primera etapa de la infiltración. Para el cálculo de S se graficó la I_a sobre el eje de ordenadas (y), en función de la raíz cuadrada del tiempo ($t^{1/2}$) sobre el eje de abscisas (x). La pendiente de la porción lineal es la sortividad y presenta unidades de longitud/tiempo^{1/2}.



✓ Radio de poros

Las diferentes tensiones de aplicación de agua en la superficie del suelo permitieron excluir del proceso de infiltración de agua poros de distintos diámetros. A partir de la ecuación de capilaridad se calculó el radio de poro (r) correspondiente a una determinada tensión de aplicación de agua:

$$r = -\frac{2 \sigma \cos \alpha}{\rho g h} \cong -\frac{0,15}{h} \quad (5)$$

Donde σ es la tensión de agua en la superficie [MT^{-2}]; α es el ángulo de contacto entre el agua y la pared del poro; ρ es la densidad del agua [ML^{-3}]; g es la aceleración debido a la gravedad [LT^{-2}], y h es la tensión (cm de agua) en el permeámetro de disco.

✓ Porcentaje de flujo total según tamaño de poro

Para analizar en cuánto contribuyeron al flujo total de agua los diferentes rangos de tamaño de poros, se calculó la diferencia de conductividad hidráulica entre dos tensiones (dos límites de poros) dividido por la conductividad hidráulica a saturación (tensión cero). (ecuaciones 6 y 7).

$$CP_{0-2cm} = \frac{K_{0cm} - K_{2cm}}{K_{0cm}} \quad (6)$$

$$CP_{0-2cm} = \frac{K_{2cm} - K_{5cm}}{K_{0cm}} \quad (7)$$

Donde: CP_{0-2cm} = contribución porcentual de poros > a 0,075 μ . (%).

K_0 = conductividad hidráulica saturada (tención 0 cm); K_2 = Conductividad hidráulica insaturada (Tensión 2cm); K_5 =Conductividad hidráulica Insaturada (Tensión 5 cm)

4.5 Análisis estadístico

Todos los datos fueron analizados según el paquete estadístico InfoStat versión 2011 (DiRienzo *et al.*, 2009), siguiendo un diseño experimental en parcelas subdivididas dispuestas en bloques completamente aleatorizados, con dos repeticiones espaciales por tratamiento. Se realizó el Análisis de la Varianza y comparación de medias mediante el test LSD, al 5 % de probabilidad.

V RESULTADOS

5 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Conductividad hidráulica

Los valores de conductividad hidráulica no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de labranza y presentaron en ambos casos valores de escasa magnitud si se consideran la granulometría de los horizontes superficiales del suelo (14,09% de arcilla, 27,21 % de limo y 56,6 % de arena muy fina) (ver capítulo IX, Anexo II). En este sentido Aoki y Sereno (2005) trabajando en un suelo Haplustol típico franco limoso (13% de arcilla, 68% de limo, 19% de arena muy fina) del centro de Córdoba plantean que los valores de conductividad hidráulica obtenidos no difieren de los valores encontrados por otros investigadores de la Argentina, oscilando entre 20 y 40 mm aproximadamente, al igual que lo medido por Diez (2006) en un Hapludol típico de textura franca arenosa muy fina (16% de arcilla, 41% de limo, 33% de arena muy fina) quien obtuvo valores de conductividad hidráulica que oscilaron entre los 30 mm h⁻¹ y los 70 mm h⁻¹ en una condición bajo agricultura y cuasi prístina, respectivamente). Este comportamiento podría estar asociado a características de la estructura de los horizontes como el perfil de distribución de la densidad aparente (DAP) en profundidad, al contenido hídrico del suelo al momento de medición, así como a los elevados coeficientes de variación que presentaron los resultados (tabla 1). El efecto de la DAP y del Contenido Hídrico será analizado en los apartados 5.2 y 5.3 del presente capítulo.

Tabla N°1: Conductividad hidráulica (K_s, K₂ y K₅) a 0, 2 y 5 cm de tensión, respectivamente en los dos sistemas de labranza.

Tratamientos	K_s (h: 0 cm) (mm h ⁻¹)	K₂ (h: 2 cm) (mm h ⁻¹)	K₅ (h: 5 cm) (mm h ⁻¹)
LR s/lp	14.40	12.11	9.95
LR c/lp	10.59	8.98	7.70
R²	0.34	0.31	0.2
C.V. (%)	30.38	30.69	38.59

LR s/lp: labranza reducida sin labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

LR c/lp: labranza reducida con labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

C.V (%): Coeficiente de variación en porcentaje, (p= 5%).

La baja conductividad hidráulica podría estar asociada a condiciones de inestabilidad estructural debido a la disminución de materia orgánica por el intenso uso y manejo al que ha estado sometido este suelo (Aparicio y Costa, 2007). Lardone (2009) estimó un 1,61 % de materia orgánica en los primeros 7 cm del mismo suelo y tratamiento de labranza que el del presente trabajo, pudiéndose esperar una reducción marcada en las capas subsuperficiales tal como lo señalan Alvarez y Steinbach (2006), en cuanto a que los sistemas de labranza conservacionistas tienden a estratificar la materia orgánica del suelo concentrándola en los primeros cm del mismo. En un trabajo realizado por Velazquez (2011) en el mismo sitio experimental y tratamiento obtuvo un diámetro medio ponderado en los primeros 5 cm del perfil de 1,48 mm lo que representa una pérdida de la estabilidad estructural del 45,8 % respecto a la misma situación bajo mínimo disturbio.

En este sentido, (Bricchi, 1996) en un Hapludol típico de similar granulometría al del presente estudio, encontró una disminución del 93% en la conductividad hidráulica (medida en laboratorio), luego de 80 años de agricultura. En igual sentido Bricchi *et al.*, (2004) en un suelo de similares características al del presente trabajo observó que la conductividad hidráulica luego de 7 años de labranzas conservacionistas disminuyó un 54% respecto a una situación cuasi natural, mientras que con labranza convencional la reducción fue del 87%.

Por su parte, y de manera coincidente con el presente trabajo, Ledesma *et al.*, (2006) evaluaron la velocidad de infiltración con permeámetro de discos en un suelo degradado (Ustocrepte udico), Serie Cerrillo, con diferentes sistemas labranzas, y no encontraron diferencias significativas entre tratamientos, pero sí observaron una variación espacial significativa entre el surco y el entresurco.

Se han realizado muchos estudios sobre las propiedades hidráulicas en relación a labranzas y los resultados son contradictorios, con altos coeficientes de variación en sus análisis estadísticos, al igual que en el presente trabajo. Ledesma *et al.*, (2006), Jette (2000) y Thonno (2001) obtuvieron elevados coeficientes de variación en la evaluación de la velocidad de infiltración saturada con permeámetro de disco, con valores superiores al 50%, atribuyéndolo a la elevada variabilidad espacial y temporal que presenta esta variable.

En los dos tratamientos de labranza se produjo una disminución de la conductividad hidráulica a medida que aumentó la tensión de aplicación de agua desde el permeámetro (tabla 1). Esto indica una influencia diferencial del rango de tamaño de poros a diferentes succiones, de modo que al incrementarse la tensión se produce una reducción de la velocidad de infiltración debido a que quedan excluidos los poros más grandes en el transporte de agua (Aoki y Sereno, 2004).

En cuanto a los tratamientos los resultados indicaron una leve tendencia a que en LR s/lp la conductividad hidráulica fue levemente superior respecto al tratamiento que recibió una descompactación subsuperficial con subsolador alado (tabla 1). Este comportamiento podría estar asociado a una mejor continuidad de poros en la situación con menor remoción, así como a una disminución más marcada de la relación macroporosidad/microporosidad en el tratamiento con descompactación como consecuencia del laboreo y tránsito posterior a la realización de la labor, (Corbella *et al.*, 2008).

Por otro lado, también pudo haber influido en estos resultados el tiempo transcurrido desde el momento de realización de la labor de descompactación y el momento de medición, el cual fue de aproximadamente 7 meses, pudiendo haber ocurrido en ese período una recompactación de la condición estructural del suelo. En relación a ello, Alvarez *et al.*, (2006) sostienen que las labores de descompactación con implementos tipo paratill pueden generar aumentos inmediatos en la velocidad de infiltración debido a la ruptura de poros planares, sin embargo esta mejora suele ser de corto plazo y ello se debe a que a que las fisuras mecánicas creadas por la descompactación poseen escasa estabilidad.

A nivel de la conductividad hidráulica insaturada (K_2 , h: 2 cm), en los tratamientos se registró un comportamiento similar que en el de K_s , no mostrando diferencias estadísticamente significativas entre ellos. A esta tensión, los poros que aún permanecen conduciendo agua son los comprendidos en el rango $\geq 750 \mu$ y por ello mantendrían una velocidad de flujo próxima a la condición de saturación, por corresponder según Kay y Dexter, (1990) a la macroporosidad de drenaje rápido y de aireación.

La conductividad hidráulica insaturada con tensión -5 (K_5 , h: 5 cm), no presentó un comportamiento diferente que él hasta aquí señalado, dado que la misma no evidenció diferencias significativas entre tratamientos, debido posiblemente a que a esta tensión de aplicación de agua, el tamaño de poros ($\leq 750 \mu - 350 \mu$), de acuerdo a Kay y Dexter, (1990) continua perteneciendo al rango de los macroporos y en este sentido la proporción de macroporos en ambos tratamientos no presentaría diferencias marcadas.

5.2 Densidad Aparente

La densidad Aparente promedio de los primeros 20 cm del perfil, no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Tabla N°2).

TablaN°2: Densidad Aparente (DAP, Mg m⁻³) promedio del espesor de suelo humedecido durante la medición de la conductividad hidráulica en ambos tratamientos

Tratamientos	DAP
LR s/lp	1.25
LR c/lp	1.31
R²	0.21
C.V. (%)	6.16

LR s/lp: labranza reducida sin labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

LR c/lp: labranza reducida con labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado;

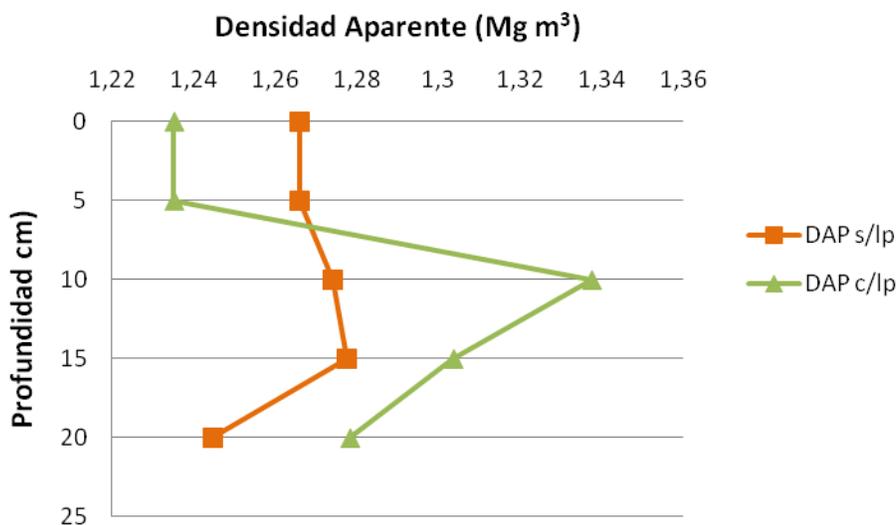
C.V. (%): Coeficiente de variación en porcentaje, (p= 5%).

Si bien no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, la DAP en LR s/lp fue un 4,8% menor que en LR c/lp, lo que se correspondería con una porosidad total en dicho espesor de 53% y 51%, respectivamente.

En este sentido, Diez (2006) en un Hapludol típico de similares características al utilizado en el presente trabajo, observó un elevado grado de relación entre la Ks y la densidad aparente, donde por cada 0.1 g cm⁻³ de aumento en la misma, la conductividad hidráulica saturada disminuye en 2.248 cm.h⁻¹, esta relación se produce por el ordenamiento de las partículas y su unión con la materia orgánica, afectando la estabilidad de la estructura y del espacio poroso.

Al observar la distribución de la DAP en el perfil del suelo para ambos tratamientos analizados, se distingue una mayor variabilidad en el tratamiento LR c/lp respecto a LR s/lp (gráfico 1). Esto indicaría una menor continuidad de poros y de los macroporos en particular, estrechando la relación macroporosidad/microporosidad, asociada en este caso a un proceso de re compactación posterior a la labranza con descompactador alado.

Grafico N°1: Perfil de distribución de la Densidad Aparente (Mg m^{-3}) en el espesor del suelo correspondiente al frente de humedecimiento.



A

LR s/lp : labranza reducida sin labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

LR c/lp : labranza reducida con labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado.

Como puede observarse en el gráfico anterior, a los 10 cm de profundidad se observa una compactación sub-superficial, posiblemente debido al tránsito de las maquinarias posterior a la labor de descompactado, con lo que se generaría una disminución de la porosidad total y de la macroporosidad en particular, lo que podría explicar, al menos en parte la escasa diferencia en la conductividad hidráulica en el tratamiento LR c/lp respecto a LR s/lp.

En este sentido Lin *et al.*, (1996) encontraron, para un suelo bien estructurado que poseía un $0.015 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporosidad, $0.010 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de mesoporosidad y un $0.515 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de microporosidad, una relación de tasa de flujo de los macro, meso y microporos de 92:11:1. Esta mayor tasa de flujo de los macro y mesoporos tiene importantes implicancias en el movimiento de agua, solutos y polulantes hacia el perfil del suelo (Baven y Germann, 1982).

Se ha demostrado que el sector compactado o de pisos de labranzas detectado en el método del perfil cultural, 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 capas no compactadas, (Espósito, 2002; Verri, 2004).

En igual 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 Mg m⁻³ a 1,50 Mg m⁻³ producen disminución de conductividad hidráulica de hasta el 95 %. El incremento de la densidad del suelo, causado por el laboreo o tránsito agrícola, se realiza en detrimento de la macroporosidad entre agregados, lo cual modifica la distribución por tamaño de poros.

En la llanura bien drenada del Dpto. Río Cuarto, Cisneros *et al.*, (1997) determinaron que el uso agrícola con laboreo continuado en Hapustoles típicos alteró significativamente la densidad aparente, la conductividad hidráulica saturada y la resistencia mecánica comparadas con una situación de no uso.

5.3 Contenido Hídrico

El contenido de agua promedio previo a la medición en el espesor del perfil correspondiente al frente de humedecimiento no difirió significativamente entre tratamientos (Tabla N°3), sin embargo, se puede apreciar que LR c/lp presentó aproximadamente un 3% más de agua que LR s/lp, lo que pudo haber influido en la tendencia observada en la conductividad hidráulica de ambos tratamientos. En este sentido, la conductividad hidráulica, K, es una función de las características intrínsecas de la matriz del suelo y de las propiedades del fluido contenido en dicho suelo. El valor de conductividad hidráulica decrece de manera exponencial a medida que aumenta el valor de humedad. Aoki y Sereno (2005) midieron la conductividad hidráulica en sectores con baja y alta humedad edáfica y obtuvieron diferencias a favor de la condición con menor humedad.

TablaN°3: Humedad promedio de los primeros 20 cm de suelo previo a la medición de conductividad hidráulica (H %).

Tratamientos	H(%)
LR s/lp	13.10
LR c/lp	16.11
R²	0.53
C.V. (%)	14.43

LR s/lp : labranza reducida sin labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

LR c/lp : labranza reducida con labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

C.V (%): Coeficiente de variación en porcentaje, (p= 5%).

Al analizar el perfil de distribución del contenido de agua hasta los 20 cm de profundidad previo a la medición, LR c/lp presentó en todo el espesor un contenido de agua superior a LR s/lp, correspondiendo de acuerdo a Gomez (2011) quien determinó las constantes hídricas para el mismo suelo, a un contenido similar a capacidad de campo (13,15% g g^{-1}) en el segundo caso y por encima de él en el primero (gráfico 2).

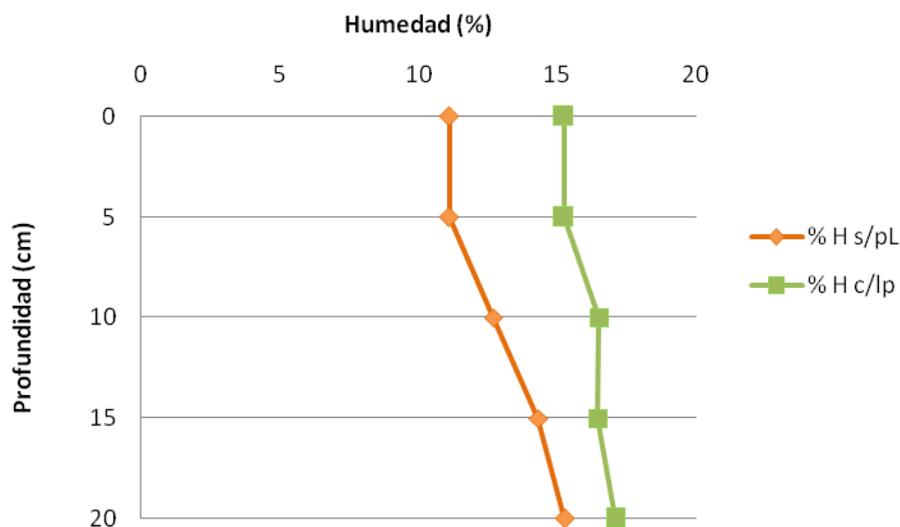


Gráfico N° 2: Perfil de distribución de la Humedad edáfica en el espesor del suelo del frente de humedecimiento, previo a la medición.

Es de remarcar que para los suelos de la región donde se emplaza el presente trabajo, es de relevancia considerar para el manejo del proceso de erosión hídrica debido al escurrimiento superficial, que tanto el estado de la estructura, (estabilidad de los agregados, presencia de capas compactadas) como el contenido de agua del suelo al momento de producirse una lluvia son determinantes en el balance entre entradas de agua al perfil y la pérdida de la misma por escurrimiento, (Cisneros *et al.* 2012).

5.4 Sortividad

Junto con la conductividad hidráulica (Ks), la sortividad (S) es uno de los parámetros relevantes en el estudio de la zona no saturada del suelo.

La sortividad es un concepto introducido por Philip (1957) que refleja la capacidad de un medio poroso para absorber o desorber líquidos por capilaridad. El flujo de agua a partir de una superficie circular que se encuentra a un potencial hídrico h_0 , en un suelo que está inicialmente a un

potencial h_m , puede ser dominado inicialmente por la capilaridad, es decir sin el efecto de la gravedad.

La medida de la sortividad puede proporcionar información relevante de propiedades hidráulicas y estructurales de un suelo, como son la difusividad, la curva de conductividad hidráulica y el “radio capilar macroscópico” medio (Regalado *et al.*,2003).

La sortividad del suelo presentó diferencias significativas entre las situaciones evaluadas, siendo mayor la tasa de ingreso de agua en la condición LR s/lp respecto a LR c/lp (Tabla N°4).

Tabla N°4: Sortividad (S) (cm/t^{1/2}) en ambos tratamientos de labranza

Tratamientos	S
LR s/lp	0.92 a
LR c/lp	0.53 b
DMS	0.30729
R ²	0.47
C.V. (%)	32.35

Letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según ANAVA. **LR s/lp:** labranza reducida sin labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado. **LR c/lp:** labranza reducida con labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado; **C.V (%)**: Coeficiente de variación en porcentaje. **DMS:** Diferencia media significativa, (p= 5%).

Este comportamiento según Philip (1957) puede estar asociado al contenido de agua que presentaron ambas situaciones, ya que la sortividad aumenta cuando el contenido de humedad inicial de un suelo disminuye. Por otro lado, en LR c/lp probablemente debido a la re compactación producida posterior a la labor, se habría generado espacios vacíos discontinuos y de menor tamaño. Drees *et al.* (1994), plantean que la labranza convencional afecta el diseño del espacio poroso, provocando que la red de poros interconectados que caracteriza a los suelos no disturbados, sea parcialmente reemplazada por una porosidad de apilamiento donde los poros son discontinuos y de menor tamaño.

A pesar de las diferencias halladas entre tratamientos, en ambos casos la S fue baja e indicadora de elevada susceptibilidad a las pérdidas de agua debidas al escurrimiento superficial, más aún si se considera que las precipitaciones producidas en la región donde se realizó el estudio se caracterizan por presentar elevadas intensidades iniciales.

5.5 Distribución de poros por tamaño y contribución al flujo de agua

La contribución de los diferentes tamaños de poros al flujo de agua mostró diferencias significativas entre los tratamientos en el rango de tamaño $r > a$ 750 μ , tensión -2 cm (Tabla N°5). Sin embargo cabe resaltar el coeficiente de variación extremadamente elevado en estos resultados, lo que le brinda escasa confiabilidad estadística a los mismos.

Tabla N° 5: Porcentaje del flujo total de agua para cada rango de radio de poros (r).

	r > a 750 μ (h: 0 – 2 cm)	r entre 750 a 300 μ (h: 2 – 5 cm)
	Flujo (%)	Flujo (%)
LR s/lp	14 a	14 a
LR c/lp	17 b	12 a
DMS	0.0127	0.3557
R²	0.02	0.08
C.V. (%)	73.13	83.59

Letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según ANAVA. r: radio de los poros; h: tensión de aplicación de agua; **LR s/lp**: labranza reducida sin labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado **LR c/lp**: labranza reducida con labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado; **C.V. (%)**: Coeficiente de variación en porcentaje. **DMS**: Diferencia media significativa, ($p=5\%$).

En referencia al porcentaje del flujo total conducido por los poros $>750\mu$, en LR c/lp fue mayor en un 21% respecto a LR s/lp. En el caso de poros entre 750-300 μ no hubo diferencias entre los tratamientos, mostrando una tendencia opuesta a lo anteriormente mencionado.

Si se considera la contribución al flujo de agua que realizan los poros $> 300 \mu$ (i.e la sumatoria de ambos rangos de tamaños) se aprecia que en los dos tratamientos fue cercana al 30%. Estos valores son relativamente bajos si se los compara con los obtenidos por Aoki y Sereno (2005) quienes en el Haplustol típico franco limoso midieron valores de 56, 45 y 90% del flujo total de agua en situaciones de baja humedad, alta humedad y de bosque nativo, respectivamente. Por su parte, Diez (2006) en el caso del Hapludol típico franco arenoso obtuvo valores de 80% y 70% del flujo total conducido por los poros 750 μ , en Sistemas Agrícolas (A) y Ganadero - Agrícola (GA), respectivamente, mientras que los poros entre 750-300 μ solo explicaron el 24% y el 7% del flujo total en GA y A respectivamente.

El comportamiento señalado precedentemente indicaría un elevado grado de degradación estructural en detrimento de los macroporos y permitiría explicar las bajas tasas de K en ambos tratamientos. En este sentido, Coughland *et al.*, (1991), utilizando infiltrómetros de disco a tensión, compararon un suelo que poseía tres situaciones de manejo: una con la vegetación original, otra con 20 años de pasturas seguidos de 3 años de cultivos, y la tercera de 40 años de cultivo continuo, encontraron diferencias significativas en el número de poros de mayor diámetro (que correspondían a aquellos originados por la macrofauna del suelo), afirmando que éste es el rango de poros más sensible al manejo superficial.

En este sentido, Velazquez (2011) evaluó la estabilidad estructural de la capa superficial del mismo suelo bajo estudio e indicó que la proporción de macroagregados (entre 1-4 mm) fue del orden de 42.5 % mientras que en la situación con mínimo disturbio del mismo suelo esta proporción ascendía a 95,65% y en cuanto al Diámetro medio ponderal los valores fueron de 1,48 mm y 2,71 mm para la situación con LR y situación con mínimo disturbio, respectivamente. Ambas variables son indicadoras del nivel de degradación estructural que presentaba el suelo bajo estudio.

5.6 Profundidad de humedecimiento y área media de mojado superficial

La profundidad del frente de humedecimiento mostró uniformidad entre ambos tratamientos y superó levemente los 20 cm de profundidad cuando todos los poros condujeron agua (i.e. tensión=0). A medida que aumentó la tensión, la profundidad alcanzada por el flujo de agua disminuyó, siendo más marcada esta disminución en LR s/lp que en LR c/lp (Tabla N°6). Esta disminución de la profundidad a medida que se incrementó la tensión de aplicación de agua era esperable si se considera que había una menor proporción de poros que conducían agua y ellos eran de menor tamaño.

Tabla N°6: Profundidad media del frente de mojado (cm) y área de mojado media Superficial (cm²) en relación al nivel de tensión aplicada en los diferentes sistemas de labranza.

	Profundidad media Frente de Mojado (cm)			Área de Mojado media Superficial (cm ²)		
	0 cm	2 cm	5 cm	0 cm	2 cm	5 cm
LR s/lp	23.5	17.8	15.6	731	634	682
LR c/lp	22.5	20.5	18.4	842	688	556

En cuanto al área media de mojado superficial se observó una tendencia en el sentido de que a mayor tensión menor fue el área de mojado superficial y viceversa, especialmente percibida en LR c/lp (Tabla N° 6). A partir de ello se podría sostener que a tensión 0, es decir cuando todos los poros conducían agua, se registró mayor flujo en sentido horizontal que en los casos de flujo insaturado (K_2 y K_5), en los que habría mayor cantidad de flujos verticales en el movimiento de agua en el suelo respecto a la medición a tensión 0.

En LR c/lp, a tensión 0 se observó la mayor área de mojado superficial, lo cual podría estar asociado con una disposición horizontal de los poros debido a la compactación que presentaba en los primeros 20 cm de profundidad, lo que habría contribuido a una mayor incidencia de los flujos horizontales en el movimiento de agua en el suelo.

La compactación en un pie de arado permite la formación de agregados laminares cuya sección horizontal es mayor a la vertical, lo que trae consecuencias no tan sólo en una reducción de la conductividad hidráulica vertical, sino que también permite un aumento de la componente horizontal debido a la menor continuidad de poros entre los agregados laminares. Dicho efecto estructural disminuye con el secado del suelo tal como lo demostraron Tigges (2000), Ursino *et al.*, (2001).

VI CONCLUSIONES

6 – CONCLUSIONES

Bajo las condiciones y momentos de estudio del presente trabajo, se concluye:

Las propiedades hidráulicas del suelo no son afectadas por la introducción de una labor de descompactación con subsolador alado.

La conductividad hidráulica es influenciada por las características del suelo y del tamaño de la muestra. Los métodos de campo permiten la determinación in situ de las características hidráulicas pero presentan dudas sobre el volumen de muestra real necesaria.

La relación microporos/macroporosidad, el contenido hídrico y la densidad aparente ejercen cierta influencia en la variabilidad de la conductividad hidráulica.

La contribución de los macroporos al flujo total de agua en las condiciones del suelo estudiado es baja y puede asociarse a la baja conductividad hidráulica que presenta el mismo.

VII RECOMENDACIONES

7 - RECOMENDACIONES

Es preciso que para el futuro de las nuevas investigaciones sobre el efecto de una labor profunda sobre las propiedades hidráulicas de los suelos, se tenga en cuenta ciertas sugerencias tendientes a disminuir los errores experimentales, evitar posibles errores de diseño y que permitan aumentar la extrapolación de los resultados.

- ✓ Realizar las mediciones antes de realizar la labor profunda, durante el ciclo del cultivo y al finalizar el mismo.
- ✓ Repetir las mediciones para aumentar la confiabilidad de los resultados según las distintas condiciones edáficas de los años.
- ✓ Tener presente que la conductividad hidráulica es una variable difícil de medir ya que es sensible a los cambios de humedad edáfica y condición estructural y por ello es preciso incrementar el número de repeticiones o submuestras, con el objetivo de disminuir el error experimental y bajar los coeficientes de variación.

VIII BIBLIOGRAFIA

8 – BIBLIOGRAFÍA

ALAKUKKU, L, WEISSKOPF, P., CHAMEN, W.C.T., TIJUNK, F.G.J., VAN DER LINDEN, J.P., PIRES, S., SOMMER, C., & G. SPOOR. 2003. **Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review.** Part 1. Machine soil interactions. Soil Till Res 73: 145-160.

ALVAREZ C. R., M. TORRES DUGGAN, E. CHAMORRO, D. D'AMBROSIO y M. A. TABOADA. 2008. **Efecto de la descompactación sobre algunas propiedades edáficas y el rendimiento de maíz en planteos de siembra directa.** XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luís, Argentina.

ALVAREZ C.R., M.A. TABOADA, C. BUSTIGORRI Y F.H. GUTIERREZ BOEM. 2006. **Descompactación en suelos en siembra directa: Efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz.** Ciencia del suelo 24: 1-10

ALVAREZ, R.H.,STEINBACH. 2006. **Factores climáticos y edáficos reguladores del nivel de materia orgánica.** En Alvarez R(coordinador) Materia Orgánica valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Editorial Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires, Argentina 205pp.

AOKI A. Y R. SERENO 2004. **Comparación de dos metodologías de cálculo de propiedades hidráulicas de un suelo, a partir de datos medidos con infiltrómetro de disco de tensión.** En: Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría. R. Filgueira y F. Micucci (Eds.) Editorial de la Universidad de La Plata, Buenos Aires, Argentina: 180 p.

AOKI A.Y R. SERENO 2005. **Modificaciones de la Conductividad Hidráulica y Porosidad del Suelo Estimadas Mediante Infiltrómetro de Disco a TensiónAgric. Téc. v.65 n.3:295-305 Chillán, Chile**

AOKI, A. M., P. CAMPITELLI, O. GUDELJ, C. I. VETORELLO, G. ESMORIZ y R. SERENO. 2008. **Efectos de diferentes sistemas de cultivos y labranzas sobre propiedades indicadoras de calidad de suelo.** XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luís, Argentina.

APARICIO V. Y J.L. COSTA 2007. **Soil quality indicators Under continuous cropping systems in the Argentinian Pampas.** Soil and Tillage Res. 96:155-165

BALBUENA, H.R., BOTTA, G.F. Y E.R.D. 2009. **Herramientas de labranza para la descompactación del suelo agrícola. 1ª ed. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina: 216p.**

BAVEN K. Y GERMAN P., 1982, “**Macropores and water flow in soils**”, Water Res Res, 18,1311-1325.

BECKER, A. 2006. **Evaluación del proceso de Degradación de Suelos por erosión Hídrica en una subcuenca representativa del Suroeste de la Provincia de Córdoba, Argentina.** Tesis Doctoral Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. 800 páginas.

BLAKE,G.R. AND K.H. HARTGE 1986. **Bulk density.** Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph no 9. Second Edition. Pp. 363-376.

BLEVINS R.; G. THOMAS, M. SMITH; W. FRYE 1983 (a) **Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn.** Soil & Tillage Research, 3:135-146.

BLEVINS R.; G. THOMAS, M. SMITH; W. FRYE. 1983 (b) **Influence of conservation tillage on soil properties.** Journal of Soil and Water Conservation. 38(3):301-304.

BONO, A. y R. ALVAREZ. 2008. Aplicaciones de redes neuronales artificiales para estimar el contenido de agua de los suelos en profundidad usando el nivel de humedad superficial. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luís, Argentina.

BOTTA G.F. ,, TOLON-BECERRA A, LASTRA-BRAVO X. Y, M. TOURN 2010 **Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (Glycine max L.) yields in Argentinean pampas.** Soil & Tillage Research 110 (2010) 167–174

BOTTA, G., RIVERO, D., POZZOLO, O., TOURN, M., BELLORA-MELCON, F., NARDON, G., BALBUENA,R., TOLO´N-BECERRA, A., ROSATTO, H., STADLER, S., 2008. **Soil compaction produced by tractor with radial and bias—ply tyres in two soil conditions: conventional tillage and direct sowing.** Soil Till. Res. 101, 44–51.

BRICCHI E., F. FORMÍA, G. ESPÓSITO, L. RIBERI y H. AQUINO. 2004 **The effect of topography, tillage, and stubble grazing on soil structure and organic matter.** Spanish Journal of Agriculture Res. 2(3): 409-418

BRICCHI, E. 1996. **Relaciones entre la compactación, morfología y propiedades físicas en un Hapludol típico de Río Cuarto,** Tesis de Magíster Scientiae en Ciencias del Suelo. Escuela para graduados de la Facultad de Agronomía de la U.B.A. Buenos Aires. Argentina.

CANARACHE A., I COLIBAS, M.COLIBAS, P. HOROBEANUI, V. ATRU, H. SIMOTA AND T. TRANDAFIRESCI. 1984. **Effect of compaction by wheel traffic on soil physical properties and field of maize in Romania.** Soil and Tillage Res. 4: 199-213.

CASSEL D. K. AND L. A. WAGGER 1996 **Spatial and temporal variability of soil physical properties of Norfolk loamy sand as affected by tillage.** Soil and Till. Res. vol. 5: 5-17.

CISNERO, J.M.,C.G. CHOLAKY, A.CANTERO GUTIERREZ, J.G. GONZALES, M.A. REINERO, A. DIEZ y L. BERGESIO. 2012. **Erosión hídrica principios y técnicas de manejo.**Universidad Nacional de Río Cuarto. En formato digital.

CISNEROS, J. M., CHOLAKY, C., BRICCHI, E., O., GIAYETTO, O Y J. CANTERO 1997. **Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Haplustol típico del centro de Córdoba.** Revista de la UNRC, 17 (1): 13-22.

CISNEROS, J. M.; G. A. CANTERO; J. MARCOS; A. DEGIOANNI; E. BRICCHI; O. GIAYETTO; C CHOLAKY; E. BONADEO; G. CERIONI y M. UBERTO 1998 **Comportamiento de un subsolador alado adaptable a implementos de uso común.** Págs. 128-134. En: Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito de Latinoamérica. Balbuena R., Benez, S.H. y D. Jorajuría (Eds.) Editorial de la Universidad de La Plata, Argentina. 612 pps.

CISNEROS, J.M.; CANTERO, A.; DEGIOANNI, A.; BECERRA,V.H. Y M.A. ZUBRZYCKI. 2008.Capítulo III. Producción, Uso y Manejo de las Tierras. En: de Prada, J. D. y J. Penna (Eds.) **Percepción económica y visión de los productores agropecuarios de los problemas ambientales en el sur de Córdoba, Argentina.** Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales N° 08. IES INTA. Pp 31-44.

CISNEROS, J.M.; DE PRADA, J.D.; DEGIOANNI, A.; CANTERO GUTIÉRREZ, A.; GIL, H.; REYNERO, M.A.; SHAH, F. Y B. BRAVO URETA. 2004. **Erosión hídrica y cambio de uso de los suelos en Córdoba. Evaluación mediante el modelo RUSLE 2.** XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná (Entre Ríos), En Actas del Congreso, trabajo completo en CD.

CLARK R.L., D.E. RADCLIFFE, G.W. LANGDALE y R.R. BRUCEL 1993 **Soil strength and water infiltration as affected by paratillage frequency.** Trans. ASAE 36: 1301-1305.

CORBELLA, R.,GARCÍA, J., SANZANO, G., PLASENCIA, Y. 2008 **Interacción de los indicadores de calidad de suelo: el efecto de las diferentes fracciones de carbono organico sobre la fertilidad física en suelos tucumanos.** XXI congreso de las Ciencias de los Suelos. Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo. Mayo de 2008. Potrero de los Funes (SL), Argentina

COUGHLAND, K.J., D. MCGARRY, R.J. LOCH, B. BRIDGE, AND G.D. SMITH. 1991. **The measurement of soil structure-some practical initiatives.** Aust. J. Soil Res. 29:869-889.

DANIELSON R.E. Y P.L. SUTHERLAND 1986 Porosity. Págs 443-461. En A Klute (eds.) **Methods of soil analysis.** Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph no. 9 (2nd Edition. ASA and SSSA, Madison, WI.

DEGIOANNI, A. 1998 **Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto**. Tesis doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. Dpto. de geografía. Alcalá de Henares. España

DI RIENZO J.A.; F. CASANOVE; M. G.BALZARINI; L. GONZALEZ; M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. **InfoStat versión 2009**. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

DÍAS H., E. SOZA, M. TOURN, G. BOTTA y R. HIDALGO 2004 **Evolución temporal de la tasa de infiltración de agua en el suelo frente a dos sistemas de labranza**. XV Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas. FCA-UNNE, Corrientes.

DÍAS, H.; E. SOZA; L. GÉNOVA y H. SALGADO 2003 **Caracterización de la infiltración instantánea y determinación de la infiltración acumulada ante diferente laboreo de suelo**. VII Congreso Argentino de Ingeniería Rural CADIR Balcarce, Argentina.

DIEZ, A. 2006. **Propiedades hidráulicas de un Hapludol típico bajo dos sistemas de manejo**. Trabajo Final de grado, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, págs. 23, en Biblioteca Juan Filloy.

DREES L, KARATHANASIS A, WILDING L, BLEVINS R. 1994. **Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils**. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 508-517.

ELRICK, D.E. AND W. D. COREY. 1992 **Infiltration From Constant-Head Well Permeameters and Infiltrimeters. Advances in Measurements Propierties: 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.

FERRERAS L. A; DE BATISTA J. J; AUSILIO A Y PECORARI C. 1998. **Efecto de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico**. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes de Trabajos y Comunicaciones. Asociación Argentina de Ciencia del Suelo. Córdoba: 23 - 24.

GILL K. S., GAJRI P. R., CHAUDHARY M. R. Y B. SINGH 1996. **Tillage, mulch and irrigation effects on corn (Zea mays L.,) in relation to evaporative demand**. Soil and Tillage Research, vol.39 (3-4): 213-227.

GOMEZ M. 2011. **Efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre el almacenamiento de agua en un Hapludol típico del sur Cordobés manejado en siembra**

directa. Trabajo final de grado para optar al título de ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

GONZÁLEZ ROELANTS. 1997. **Estudio de las propiedades hídricas luego de utilizar labranzas verticales en un suelo cultivado bajo siembra directa.** Tesis de grado. Universidad Nacional de Mar del Plata.

GREACEN E. L. AND R. SANDS 1980. **Compaction of forest soils.** Aust. J. Soil. Res. 18: 163-89.

HILLEL D 1998. **Particle sizes and specific surface. Environmental soil physics.** Academic Press. Cap. 3: 59-74

INTA - Agencia Córdoba Ambiente 2006. **Los Suelos. Nivel de Reconocimiento.** Escala 1:500.000. EEA Manfredi, Córdoba.

JETTE. V., 2000. **Lisem on line user manual.** Facultad de Ciencias Especiales, Universidad de Utrecht, Utrecht (Países Bajos).

JONES, O.R., V.L. HAUSER y T.W. POPHAM. 1994. **No-tillage effects on infiltration, runoff, and water conservation on dryland.** Trans. ASAE 37:473-479.

KAY B.D. Y DEXTER A.R. 1990. **Influence of aggregate diameter, surface area and antecedent water content on the dispersibility of clay.** Can. J. Soil Sci. 70:655-672.

LARDONE, A. 2009. **Estimación de los coeficientes de humificación y mineralización de la materia orgánica en un Hapludol Típico de Río Cuarto.** Trabajo de final para la optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.

LEDESMA, F., ARZENO, J., OSIGNA, R., SANCHEZ, D., ACIAR, L. 2006 Facultad de Ciencias Naturales UNSa; INTA – EEA Salta, Catedra de uso sustentable del suelo, FCN – UNAs; Catedra de Bioestadística, Facultad de Agraria y Veterinaria UCS.

LIN H.S., MCINNES K.J., WILDING L.P., HALLMARK C.T., 1996, **“Effective Porosity and flow Rate with Infiltration at Low Tensions into a Well-structures Subsoil”**, Transactions of the ASAE, 39 (1), 131.

LOGSDON, S. D. 1996. **Methodology for determining hydraulic conductivity with tension infiltrometers.** Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 1426-1431. Am Soc. Agron

MANSO, M. L., G. A. FORJAN, M. STUDDERT, M. ZAMORA y R. BERGH. 2008. **Evolución de variables físicas bajo dos sistemas de labranza.** XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo. San Luis, Argentina.

MC KYES E. 1985. **Soil cutting and tillage.** Development in Agriculture Engineering 7. Elsevier.

MERRILL, C.E., RIESGO-ESCOVAR, J., PITTS, R.J., KAFATOS, F.C., CARLSON, J.R., ZWIEBEL, L.J. (2002). **Visual arrestins in olfactory pathways of *Drosophila* and the malaria vector mosquito *Anopheles gambiae***. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.99(3): 1633--1638.

MICHELENA, R., C. IRURTIA, E. RIVERO, E. RORIG y M. RORIG. 2002. **Evaluación física de un Haplustol éntico con siembra directa en la provincia de Córdoba**. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

MORA O., HERNÁNDEZ J. y C. PÉREZ 2001 **Efecto de la labranza vertical y el encalado sobre el rendimiento del cultivo de maíz (*zea mays* L), en un alfisol compactado del estado yaracuy. Venezuela**. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del suelo, Varadero, Cuba. Actas trabajos completos en formato digital.

NIMMO J. R. AND K. C. AKSTIN. 1988. **Hydraulic conductivity if a sandy at low water content after compaction by various methods**. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 303-310.

ORELLANA, M., BARBER R. G. Y O. DÍAZ 1990 **Effects of deep tillage and the fertilization on the population, growth and yield of soya during an exceptionally wet season on a compacted Ustochrept, Santa Cruz, Bolivia**. Soil and Tillage research, 17: 47- 61.

PELLEGRINI, M. 2008. **Propiedades Hidráulicas de un Hapludol típico bajo distintos sistemas de manejo**. Trabajo Final de grado, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, págs. 17, en Biblioteca Juan Filloy.

PERROUX, K. M. y I. WHITE 1988 **Design for disc permeameters**. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1205-1215.

PHILIP, JR. 1957. **The Theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations**. *Soil Sci.* 84:257-264.

PIKUL J. L. Y J. K. AASE. 1999. **Wheat response and residual soil properties following subsoiling of a sandy loam in eastern Montana**. Soil and Tillage Research, 51:61-70.

REGALADO, C., RITTER A., ÁLVAREZ BENEDÍ. J. Y R. MUÑOZ CARPENA. 2003. **Medida de la sortividad del suelo con el permeámetro de philip-dunne**. Instituto Canario Investigaciones Agrarias (ICIA), Dep. Suelos y Riegos, Agricultural and Biological Engineering Dept. University of Florida, 18905 SW 280 St., Homestead, FL33031 (USA).

SAGyP y CFA. 1995 **El deterioro de las tierras en la República Argenitna**. Alerta amarillo. DUO/Comunicación visual y SVN 987-95327-3-2.

STRUDLEY M.W., T.R. GREEN, J.C. ASCOUGH II. 2008. **Tillage effect on soil hydraulic properties in space and time: state of the science**. Soil Till. Res. 99:4-48.

THONNO, I., 2001. **The effect of skiing on soil, hydrology and erosion hazard in the ski area of solden, Tirol, Austria**; M Sc. Thesis, Utrecht center for Environment and Landscape Dynamic, Facultad de Ciencias Especiales, Universidad de Utrecht, Utrecht (Países Bajos) pp 112.

TIGGES, U. 2000. **Untersuchungen zum mehrdimensionalen Wassertransport unter besonderer Berücksichtigung der Anisotropie der hydraulischen Leitfähigkeit. Dissertation, Kiel.** 145 p. tillage and direct sowing. Soil Till. Res. 101, 44–51. tractor with radial and bias—ply tyres in two soil conditions: conventional

URSINO, N.; GIMMI, Th.; FLÜHLER, H. 2001. **Combined Effects of Heterogeneity, Anisotropy, and Saturation on Steady State Flow and Transport: A Laboratory Sand Tank Experiment.** Water Resources Research 37: 201-208.

VELÁZQUEZ J. 2011. **Evolución de la estabilidad estructural superficial de un hapludol típico en una rotación agrícola con tres sistemas de labranza.** Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

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 la optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.

IX ANEXOS

9 – ANEXOS.

9.1 ANEXO I

BLOQUE I															
ROTACIÓN AGRÍCOLA															
SD				LR				LC							
F		NF		F		NF		F		NF					
c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP				
P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP				
ROTACIÓN AGRÍCOLA GANADERA															
SD				LR				LC							
NF		F		NF		F		NF		F					
c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP				
P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP				

BLOQUE II															
ROTACIÓN AGRÍCOLA															
SD				LR				LC							
F		NF		F		NF		F		NF					
c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP				
P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP				
ROTACIÓN AGRÍCOLA GANADERA															
SD				LR				LC							
NF		F		NF		F		NF		F					
c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP				
P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP				

Referencias: SD: Siembra Directa.

LR: Labranza Reducida.

LC: Labranza Convencional.

F: Fertilizado.

NF: No Fertilizado.

c/LP: Con Labor de Descompactación Profunda.

s/LP: Sin Labor de Descompactación Profunda.

P: Pastoreado.

NP: No Pastoreado.



Tratamientos del presente proyecto

9.2 ANEXOS II:

9.2 ANEXO II

Características morfológicas del suelo desarrollado bajo labranza reducida, pendiente Pozo del Carril (Becker, 2006). Hapludol típico, limoso grueso, illítico, térmico.

Ap (0-8 cm); color pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo y pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques angulares gruesos moderados con laminación; duro, firme; seco; límite inferior abrupto y suave.

A2 (8-14 cm); color pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques angulares gruesos moderados que rompen a bloques angulares menores; duro, firme; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; seco; límite inferior abrupto y suave.

Bw1 (14-29 cm); color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques angulares y prismas simples irregulares, muy gruesos que rompen a bloques angulares y prismas simples gruesos y medios, moderados; ligeramente duro, friable; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; abundantes lamelas discontinuas y onduladas arcillo-húmicas de 2 a 3 mm de espesor, horizontales y subhorizontales que en ciertos puntos se entrecruzan; seco; límite inferior abrupto y suave.

Bw2 (29-41 cm); color pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo y pardo amarillento (10YR 5/4) en seco; franco arenoso; estructura en prismas simples irregulares gruesos, moderados que rompen a prismas y bloques menores; blando, friable; escasos barnices arcillo-húmicos, finos sobre las caras de agregados; fresco; límite inferior claro y suave.

BC (41-65 cm); color pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo y pardo amarillento (10YR 5/4) en seco; franco arenoso; estructura en prismas simples y bloques subangulares, finos, moderados a débiles que rompen a bloques menores débiles; blando en seco, muy friable en húmedo; fresco; límite inferior claro y suave.

C (65-85 cm); color pardo (10YR 4/4) en húmedo y pardo claro (10YR 6/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques angulares irregulares muy finos y muy débiles; blando, muy friable; fresco; límite inferior abrupto y suave.

Ck (85-+ cm); color pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo y pardo claro (10YR 6/3) en seco; franco arenoso; estructura masiva; blando, friable; fresco a húmedo; alto contenido de carbonatos libres.

Propiedades químicas, físico-químicas y físicas del suelo desarrollado en Siembra directa (SD), pendiente Pozo del Carril (Becker, 2006).

<i>Horizonte</i>	Ap	A2	Bw1	Bw2	BC	C	Ck
Profundidad (cm)	0-8	8-14	14-29	29-41	41-65	65-85	85+
CO (%)	1,05	0,56	0,53	0,72	0,24	0,12	-
<i>Arcilla < 2 μ (%)</i>	17,48	12,30	12,50	14,80	13,02	14,50	14,30
<i>Limo, 2-50 μ (%)</i>	30,32	25,20	26,10	24,30	25,20	29,60	29,80
<i>Arena muy fina, 50-100 μ (%)</i>	52,80	61,50	55,60	60,40	60,80	55,30	55,30
<i>Arena fina, 100-250 μ (%)</i>	0,60	0,70	2,20	0,50	0,80	0,60	0,40
<i>Arena media, 250-500 μ (%)</i>	0,25	0,30	3,10	0,10	0,10	0,20	
<i>Arena gruesa, 500-1000 μ (%)</i>	0,08	0,10	0,50	-	-	0,40	
<i>Arena muy gruesa, 1-2 mm (%)</i>	0,01	0,10	-	-	0,20		
<i>pH en agua (1 : 2,5)</i>	6,0	6,57	6,82	6,88	7,09	8,08	8,32

9.3 ANEXO III



Foto 1: Escarificador alado en funcionamiento, con el detalle del efecto de los rolos posteriores sobre la superficie del suelo.



Foto 2: Vista detallada del conjunto reja-timón del escarificador alado



Foto 3: Vista lateral de una de las rejas del escarificador, con el detalle de la profundidad de trabajo de la herramienta



Foto 4: Vista lateral del escarificador alado en funcionamiento.



Foto 5: Suelo por donde paso el escarificador alado, con el detalle del nivel de remoción de la superficie del suelo y del grado de enterramiento de la cobertura vegetal.



Foto 6: Vista de cómo quedó el cultivo luego de la caída de la piedra, ocurrida en la primera semana de febrero de 2010, ocasionando la pérdida total del mismo.



Foto 7: Área de mojado superficial en el tratamiento LR s/lp a tensión 0 cm.



Foto 8: Área de mojado en tratamiento LR s/lp a tensión 2 cm.



Foto 9: Área de mojado superficial en el tratamiento LR s/lp a tensión 5 cm.



Foto 10: Frente de humedad en el tratamiento LR s/lp a tensión 0 cm.



Foto 11: Frente de humedad en el tratamiento LR s/lp a tensión 2 cm.



Foto 12: Frente de humedad en el tratamiento LR s/lp a tensión 5 cm.



Foto 13: Detalle de anillo enrasador, arena tamizada fina y permeámetro a disco.



Foto 14: Detalle de la carga de agua al reservorio de agua durante la medición.



Foto 15: Detalle del Vaso de Tensión.



Foto 16: Batería de permeámetro a disco.

9.4 ANEXO IV.

Valor medio del Factor F1 recalculado para las diferentes tensiones de carga aplicadas en ambos tratamientos.

	F ₁ media .		
	0 cm	2 cm	5 cm
LR s/lp	0,026	0,033	0,041
LR c/lp	0,026	0,033	0,041

$F_1 = S_r/S_{da}$ (factor que se utiliza para el cálculo de la infiltración parcial)