



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

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

Modalidad: Proyecto

**Descompactación: efecto sobre propiedades hidráulicas y el tamaño de poros  
conductores de un Hapludol típico del sur oeste de Córdoba**

Albornoz, Mario Martin

DNI: 31.007.722

Director: Ing Agr. Cholaky Carmen

Río Cuarto – Córdoba

Febrero 2019



## CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Descompactación : efecto sobre las propiedades hidráulicas y el tamaño de poros conductores de un Hapludol típico del sur oeste de Córdoba

Autor:

DNI:

Director:

Co-Director:

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

(Nombres)

---

---

---

Fecha de Presentación: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Secretario Académico



## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a esta institución por haberme permitido formarme en esta profesión. A mí directora de tesis por su dedicación y profesionalismo. A toda mi familia y especial mención a mi madre que con su particular esfuerzo fue y es fundamental en esta carrera. Y gracias a la vida por permitirme de disfrutar de todos ellos.



## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	1
SUMMARY .....	2
Capitulo 1 .....	3
INTRODUCCIÓN .....	3
1.1 Problema de estudio .....	3
1.2 Antecedentes .....	3
1.3 Hipótesis y Objetivos .....	6
Capitulo 2 .....	7
MATERIALES Y METODOS .....	7
2.1 Caracterización del área de estudio .....	7
2.2 Tratamientos y diseño experimental .....	7
2.3 Determinaciones .....	9
2.4 Desarrollo de los métodos de cálculo .....	10
2.4.1 Infiltración parcial (Ip) .....	10
2.4.2 Infiltración acumulada (Ia) .....	10
2.4.3. Velocidad de infiltración (Vi) .....	11
2.4.4. Conductividad hidráulica saturada (Ks) .....	11
2.4.5. Conductividad hidráulica no saturada (K2 y K5) .....	11
2.4.6. Radio de poros .....	11
2.4.7. Porcentaje de flujo total según tamaño de poro .....	12
2.5. Análisis estadístico .....	12
Capitulo 3 .....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....	13
3.1 Conductividad hidráulica. ....	13
3.2 Densidad aparente .....	16
3.3 Contribución y distribución de poros al flujo de agua. ....	19
3.4. Profundidad Media de humedecimiento y Área media de mojado .....	20
Capitulo 4 .....	24
CONCLUSIONES .....	24
Capitulo 5 .....	25
BIBLIOGRAFIA .....	25
CAPÍTULO 6 .....	33
ANEXOS .....	33



Anexo 6.1: Plano de rotaciones .....	33
Anexo 6.2: Características morfológicas del suelo desarrollado, pendiente Pozo del Carril (Becker, 2006). Hapludol típico, limoso grueso, illítico, térmico.....	34
Anexo 6.3: Propiedades químicas, físico-químicas y físicas del suelo desarrollado en Siembra Directa (SD) pendiente Pozo del Carril (Becker, 2006).....	35
Anexo 6.4 Foto N°1: Permeámetro a disco utilizado en este trabajo.....	36
Anexo 6.5 Foto N°2: Frente de humedecimiento .....	37
Anexo 6.6 Foto N°3: Área media de Mojado .....	38



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Conductividad hidráulica ( $K_s$ , $K_2$ , $K_5$ ) a 0, 2 y 5 cm de tensión, respectivamente en los dos sistemas de labranzas.....	13
<b>Tabla 2:</b> Análisis de estadística descriptiva para Conductividad Hidráulica .....	16
<b>Tabla 3:</b> Densidad Aparente ( $DAP \text{ Mg m}^3$ ) .....	16
<b>Tabla 4:</b> Análisis de estadística descriptiva para Densidad Aparente entre tratamientos. .....	18
<b>Tabla 5:</b> Porcentaje del flujo total de agua (Flujo) para cada rango de radio de poros ( $r$ ).....	19
<b>Tabla 6:</b> Profundidad media del frente de mojado (cm) y área de mojado media superficial ( $\text{cm}^2$ ) en relación al nivel de tensión aplicada en los diferentes tratamientos.....	21



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema del permeámetro de disco.....	9
<b>Figura 2:</b> Conductividad hidráulica para los poros involucrados en la conducción de agua (total de poros, poros $>0.075 \mu$ y $>0.03 \mu$ de radio para las tensiones de 0, 2 y 5cm, respectivamente) .....	15
<b>Figura 3:</b> Perfil de Distribución de la Densidad Aparente ( $Mg/ m^3$ ) .....	18
<b>Figura 4:</b> Profundidad media del frente de mojado medido en cm.....	22
<b>Figura 5:</b> Área de mojado media superficial expresado en $cm^2$ .....	23

## RESUMEN

### **Descompactación: efecto sobre propiedades hidráulicas y el tamaño de poros conductores de un Hapludol típico del sur oeste de Córdoba**

La compactación de suelo influye no solo en el rendimiento de los cultivos por los cambios producidos en la densidad aparente, distribución de tamaños de agregados y de poros, velocidad de infiltración del agua en el suelo, sino también en el ambiente donde se produce la producción. La descompactación a través del laboreo modifica el espacio poroso del suelo y por lo tanto el flujo de agua hacia dentro del mismo. El objetivo fue evaluar el efecto de la descompactación sobre propiedades hidráulicas y la distribución de tamaño de poros de un Hapludol típico del sur oeste de Córdoba. El trabajo se realizó en el campo de la Facultad de Agronomía y Veterinaria - Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicado en proximidades del paraje La Aguada. El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados, con 2 repeticiones. Los tratamientos fueron, siembra directa con labor de descompactación (**SDc/lp**) y sin labor de descompactación (**SDs/lp**). Se evaluaron propiedades hidráulicas del suelo mediante permeámetro de disco a tres tensiones: 0, 2 y 5 cm. La metodología permitió estimar conductividad Hidráulica ( $K_s$ ), Conductividad hidráulica no saturada ( $K_h$ ), Superficie Mojada ( $S$ ), diámetro de poros involucrados en la conducción de agua y la contribución de los mismos en el flujo de agua. No se encontraron diferencias significativas de la conductividad hidráulica entre tratamientos y tampoco en la contribución de los diferentes tamaños de poros al flujo de agua, aunque se observó la tendencia esperada en cuanto a que los poros de mayor diámetro ( $r > 750 \mu$ ) condujeron mayor proporción del agua que los de menor diámetro ( $r$  entre 750 a 300  $\mu$ ). Las propiedades hidráulicas del suelo bajo las condiciones de medición de este trabajo no fueron afectadas por la utilización de un subsolador.

## SUMMARY

### **Decompaction: effect on hydraulic properties and conductive pore size of a Hapludol typical of the south west of Córdoba**

Soil compaction influences not only crop yields due to changes in apparent density, distribution of aggregate and pore sizes, velocity of water infiltration in the soil, but also in the environment where production takes place. The decompaction through tillage modifies the porous space of the soil and therefore the flow of water into it. The objective was to evaluate the effect of the decompaction on hydraulic properties and the pore size distribution of a Hapludol typical of the south west of Córdoba. The work was carried out in the field of the Faculty of Agronomy and Veterinary - National University of Río Cuarto, located in the vicinity of the place La Aguada. The experimental design was in completely randomized blocks, with 2 repetitions. The treatments were, direct sowing with decompaction work (SDc / lp) and without decompaction work (SDs / lp). Hydraulic properties of the soil were evaluated by disk permeameter at three voltages: 0, 2 and 5 cm. The methodology allowed the estimation of Hydraulic Conductivity (Ks), Unsaturated hydraulic conductivity (Kh), Wet Surface (S), diameter of pores involved in the conduction of water and their contribution to the flow of water. No significant differences in hydraulic conductivity were found between treatments nor in the contribution of the different pore sizes to the water flow, although the expected trend was observed in that the pores with the largest diameter ( $r > 750 \mu$ ) drove greater proportion of water than those of smaller diameter ( $r$  between 750 to 300  $\mu$ ). The hydraulic properties of the soil under the measurement conditions of this work were not affected by the use of a subsoiler.

## Capítulo 1

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Problema de estudio

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 donde predominan partículas esqueléticas como arenas muy finas y limos (Bricchi., 1996).

En esta región se han estimado incrementos en las tasas de erosión, lo que sucede 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 (Cisneros *et al.*, 2004). Gran parte de la integridad física, química y biológica de los suelos, se ve condicionada por la composición edafogénica frágil, acentuada por el impacto de un uso y manejo del suelo inapropiado que repercute sobre las propiedades hidráulicas (Mendoza Reinoso y Porcel de Peralta., 1997). Esta práctica no ha sido acompañada con una estrategia de aprovechamiento del agua de lluvia. Mayoritariamente se siembra a favor de la pendiente y frecuentemente 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 (Cisneros *et al.*, 2008; Álvarez y Imbellone., 2018).

En la llanura bien drenada del Dpto. Río Cuarto, Cisneros *et al.*, (1997) determinaron que el uso agrícola con laboreo continuado en Haplustoles típicos alteró significativamente la densidad aparente, la conductividad hidráulica saturada y la resistencia mecánica comparadas con una situación de no uso. Particularmente el manejo de la infiltración, se basa en una técnica que modifica la conductividad hidráulica del suelo para incrementar la velocidad de infiltración de agua. El objetivo de este tipo de labores de descompactación es disminuir la densidad aparente de capas compactadas y generar condiciones físicas homogéneas para la exploración radicular y el movimiento de agua y aire. (Cisneros *et al.*, 2012).

#### 1.2 Antecedentes

La pérdida de capacidad productiva de los suelos debida a procesos de degradación está aumentando en severidad y extensión en muchas partes del mundo con más del 20% de tierras agrícolas afectadas, el 30% de los bosques y el 10% de los pastizales, lo que significa que un cuarto de la población mundial depende directamente de suelos degradados (FAO., 2008).

Según estimaciones de 2015 (Casas y Albarracín., 2015), 64.625.829 ha en Argentina tienen actualmente procesos erosivos hídricos de diferente magnitud, evidenciándose una tasa de

aumento del 158,5% respecto de 1986, particularmente de nivel severo. En general se estima que 37,5% del territorio argentino está afectado por procesos de erosión de sus tierras, entre los que se destacan la afectación de las propiedades físicas y químicas naturales de los suelos.

En la “Pampa Ondulada” Argentina, la introducción de la soja en la década del '70 en reemplazo del maíz y la agricultura permanente (rotación trigo-soja) con uso del arado de reja y vertedera han sido responsables de la pérdida de 5 a 20 cm de la capa superficial del suelo en una superficie de 1.280.000 has, que representan el 32% de una de las regiones más productivas del país (Senigagliesi., 1991).

La pérdida de la estructura del suelo, con la aparición de problemas de encostramiento (planchado) y piso de arado, además de producirse por la pérdida de C orgánico, también es producida por el uso excesivo y/o inadecuado de la maquinaria agrícola. Como consecuencia de dicha pérdida, disminuye la capacidad de infiltración de agua y provoca un aumento en el número de labores para mantener el suelo en condiciones productivas. (Sarandón y Flores., 2014).

Considerables investigaciones se han realizado a nivel mundial en relación a los efectos de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su incidencia en el comportamiento de varios cultivos (Larson, 1964; Brown *et al.*, 1985; Baker, 1987; Derpsch *et al.*, 1991; Bravo, 1993; Marcano *et al.*, 1994; Bravo, 1995; Díaz Zorita, 1999).

Leduc *et al.*, (2001) indicaron que generalmente los cambios de uso de bosque natural a cultivos agrícolas producen modificaciones muy marcadas de las propiedades hidráulicas de la superficie del suelo, particularmente disminución de la infiltración e incremento de la escorrentía. En este sentido en un Hapludol típico de similar granulometría al utilizado en el presente estudio, Brichi., (1996) encontró una disminución del 93% en la conductividad hidráulica –medida en laboratorio- luego de 80 años de cultivos. Por otro lado, en un suelo de similares características Brichi., (2004) encontró que luego de realizar durante 7 ciclos labranzas conservacionistas, la conductividad hidráulica disminuía un 54% mientras que con labranza convencional la reducción fue del 87% siempre comparado con una situación cuasi natural.

Los valores más elevados de macroporos corresponden a la condición de monte natural, cuantificándose claras diferencias con respecto a la condición de monocultivo de soja en un Haplustol típico, (Aoki y Sereno., 2000).

Los procesos de compactación y su efecto sobre el movimiento del agua en el suelo, dependen de un gran número de factores, incluido el sistema de labranza aplicado (Sommer y Zach., 1992). En particular, Álvarez *et al.*, (2006) evaluaron el efecto de la descompactación en siembra directa sobre algunas propiedades físicas del suelo, a la siembra y a la cosecha del cultivo de maíz; en dos sitios de la Provincia de Buenos Aires y uno de Santa Fé. La densidad aparente no mostró variaciones significativas a la siembra y a la cosecha. Respecto a la variable infiltración, la conclusión fue que el trabajo de descompactación con un subsolador antes de la siembra influye

notablemente sobre el ingreso del agua al suelo, pero que esto no se mantuvo en el tiempo. La medida de infiltración reveló que al momento de la cosecha los valores de infiltración no mostraban diferencias significativas con el testigo de siembra directa sin subsolado.

En Haplustoles típicos franco limosos de la región subhúmeda seca de Tucumán, Sanzano *et al.*, (2004) encontraron disminuciones de conductividad hidráulica del 73% en pastura, 75% en siembra directa y 83% en labranza convencional con respecto a un monte natural de vegetación xerófila, mientras que en la misma región luego de 10 años de agricultura se registró una disminución promedio del 94% (García *et al.*, 1996).

Espósito., (2002) observó en los primeros cm del suelo, un incremento de la porosidad de drenaje rápido del orden del 20% en labranzas conservacionistas comparado con labranza convencional, que se vio reflejado en una conductividad hidráulica 72% superior.

El estudio de Álvarez *et al.*, (2006) sobre la variable infiltración de tres suelos en siembra directa con y sin descompactación, detectó diferencias estadísticas entre ambos tratamientos al momento de la siembra.

Con referencia al efecto de las labranzas sobre la infiltración del agua en el suelo, Canell y Hawes., (1994) observan un espectro de resultados, en algunos casos favorables a los sistemas tradicionales, desfavorables en otros e indiferentes en muchos de ellos. Casel y Wagger., (1996) encuentran mayor infiltración acumulada en suelo preparado con arado cincel y arado de disco en comparación al no laboreo. Días *et al.*, (2004) señalan el mantenimiento de una mayor velocidad de infiltración del agua en el suelo donde se realizó escarificación vertical. En un ensayo de larga duración realizado en Haplustoles enticos del centro sur de Córdoba, muy degradados desde el punto de vista físico, Uberto *et al.*, (2001) evaluaron la tendencia en la velocidad de infiltración final, medida con doble anillo, en tres sistemas de labranza y observaron que el laboreo reducido que incluía una labor de descompactación, mostraba una mayor velocidad de infiltración que el laboreo convencional y siembra directa.

Por otra lado, el efecto de protección que genera la cobertura de rastrojos en un planteo de siembra directa, así como en sistemas de laboreo reducido con operaciones de descompactación con cincel y especialmente con descompactadores subsuperficiales como paraplow®, que dejan un elevado porcentaje de rastrojo en superficie, actúan disminuyendo el poder erosivo de la gota de lluvia y del agua de escurrimiento, por lo que en siembra directa, se produce pérdida de agua pero no pérdida de suelo (Marelli *et al.*, 2006).

### **1.3 Hipótesis y Objetivos.**

#### **1.3.1 Hipótesis**

La labranza de descompactación mejora las propiedades hidráulicas de un Hapludol típico manejado durante 15 años con siembra directa y modifica la distribución de tamaño de poros.

#### **1.3.2 Objetivo General**

Evaluar el efecto de la descompactación sobre propiedades hidráulicas y la distribución de tamaño de poros que contribuyen al flujo de agua, en un Hapludol típico del sur oeste de Córdoba bajo un sistema de Siembra Directa (SD).

#### **1.3.3 Objetivo Específico**

- Determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada, área de mojado y frente de humedecimiento
- Ajustar la metodología de medición a las condiciones existentes en el ensayo.
- Dimensionar el radio de poros y su contribución al movimiento del agua.

## Capítulo 2

### MATERIALES Y METODOS

#### 2.1 Caracterización del área de 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 las cercanías del paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto (32° 58' 26” Lat. Sur, 64° 36' 31” 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 al régimen de lluvia. Las principales adversidades climáticas son: sequías, heladas extemporáneas, granizo y la alta intensidad de las precipitaciones (Degioanni., 1998).

El área se caracteriza por presentar un relieve muy complejo, de moderado a fuertemente ondulado determinando un conjunto de lomadas, cuya longitud oscila entre los 3.000 y los 6.000 metros de largo, con un gradiente del 2 al 3%. En esta área predominan sedimentos de tipo loésicos franco-arenosos muy finos de la Formación la Invernada (Cantú., 1992), donde predominan Hapludoles/ustoles de textura franco arenosa muy fina (Cantero *et al.*, 1984). En el sitio experimental, el perfil de suelo representativo corresponde a un Hapludol típico (Becker., 2006) (Anexo 6.2).

#### 2.2 Tratamientos y diseño experimental

El programa de investigación donde se incluyó este trabajo se puso en marcha a partir de agosto de 1994. Incluye dos rotaciones: agrícola y agrícola ganadero; 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 superficial; dos dosis de fertilización: con y sin incorporación nitrógeno y fósforo; y dos manejos del resto de cosecha: pastoreados y no pastoreados.

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.

La siembra se realiza en plano con una sembradora marca Bertini (Mod. 10000 D) neumática, de siete surcos a 0,70 m entre líneas de siembra para maíz.

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 rastrojos) 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 fósforo y en la línea de siembra en el caso del nitrógeno, para todos los tratamientos.

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

El control de malezas se realiza en forma química.

La labor de descompactación se lleva 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” invertida, que presentan filos longitudinales y horizontales, dispuestas sobre un bastidor de arado de cincel con una separación entre reja de 0,36 m.

El ensayo original presenta un diseño experimental en parcelas subdivididas dispuestas en bloques completamente aleatorizados, con dos repeticiones espaciales por tratamiento. (Ver Anexo 6.1, Plano de rotaciones).

Este trabajo se realizó en la rotación agrícola, fertilizado, no pastoreado de rastrojo de cosecha, en los tratamientos;

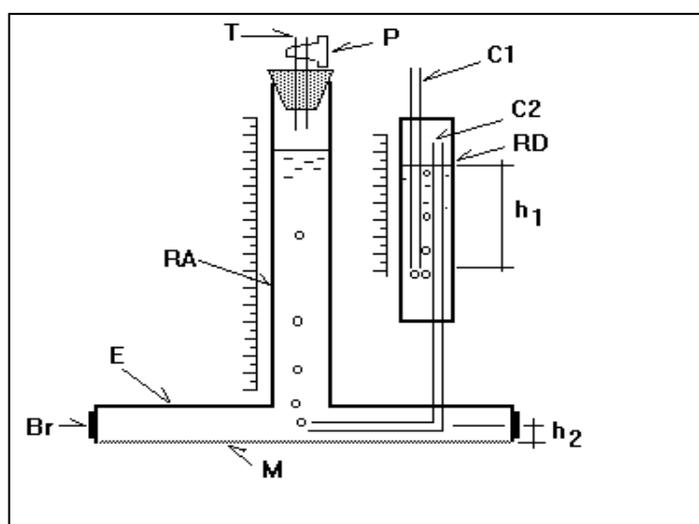
- Siembra directa con labor de descompactación (**SDc/lp**) con escarificador similar a reja cero.
- Siembra directa sin labor de descompactación (**SDs/lp**)

La labor con escarificador descompactador se realizó en noviembre de 2009 en condición de suelo friable, hasta una profundidad teórica de 28 cm. 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. Los datos para este trabajo, fueron tomados en mayo del 2010.

El diseño experimental del presente trabajo fue en bloques al azar con dos repeticiones.

### 2.3 Determinaciones

En los dos tratamientos se realizaron mediciones de propiedades hidráulicas del suelo con tres submediciones por repetición. Para ello se utilizó un permeámetro de disco (Perroux y White., 1988), a tres tensiones: 0, 2 y 5 cm, 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  $20 \mu$  (micras) de diámetro (Figura 1). El tubo (RD) sirve de Mariotte y posee una entrada móvil de aire (CI) 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.** Esquema del permeámetro de disco. RA: depósito de alimentación; RD: Mariotte; M: membrana de nylon; C1: capilar de aireación; T: tubo de llenado; P: robinete o pinza de Mhor; Br: base de goma para sujetar mallas; E: base no saturada,  $h_0 = h_2 - h_1$ , es negativa para  $h_1 > h_2$  (ver Anexo 6.4, Foto N°1).

A partir de la toma de datos de la cantidad de agua que ingresa al perfil en un tiempo dado, del diámetro de mojadura de la superficie y el frente de humedecimiento, la metodología permite estimar:

- Infiltración parcial ( $I_p$ );
- Infiltración acumulada ( $I_a$ );
- Velocidad de infiltración ( $V_i$ );
- Conductividad hidráulica ( $K_0$ );
- Conductividad hidráulica no saturada ( $K_2$  y  $K_5$ )
- Superficie mojada ( $S$ ) 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;

- El diámetro de poros involucrados en la conducción de agua a las diferentes tensiones aplicadas (total de poros, poros > 0,075 y > 0,03 cm de radio, para las tensiones de 0, 2 y 5 cm, respectivamente);

Antes de cada ensayo, se tomaron muestras superficiales de suelo para medir el contenido hídrico inicial (g/g), por el método gravimétrico, con el objeto de considerar la interferencia de esta variable en las comparaciones entre tratamientos. Una vez finalizada cada determinación se sacó una muestra con cilindro de volumen conocido de las profundidades 0-5; 5-10; 10-15 y 15-20 cm, con el propósito de medir la densidad aparente según lo describen Blake y Hartage., (1986) y posteriormente poder estimar la porosidad total según Danielson y Sutherland., (1986). Para el análisis estadístico se promediaron los valores de humedad y densidad hasta la profundidad de mojado.

Luego de cada medición, se registraron mediante observación directa los datos de la superficie de mojado (S) en sentido horizontal y sobre la superficie y en sentido vertical se registró la profundidad de mojado. (Ver Anexo 6.5, Foto N°2 y Anexo 6.6, Foto N°3)

## 2.4 Desarrollo de los métodos de cálculo

### 2.4.1 Infiltración parcial (Ip)

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

$$Ip (cm) = (L_n - L_{n-1}) \cdot FI \quad (1)$$

$$FI = Sr / Sd \quad (2)$$

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;  $Sr$  es la superficie interna del reservorio de agua ( $22.9 \text{ cm}^2$ );  $Sd$  es la superficie del disco ( $123 \text{ cm}^2$ ).

Como se instaló una capa de arena por debajo del disco se consideró la superficie  $Sda = 188.7 \text{ cm}^2$ ; luego  $FI$ , ( $Sr/Sda$ ) tomó el valor de 0.121. (Anexo 6.6, Foto N°3)

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

### 2.4.2 Infiltración acumulada (Ia)

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

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

### 2.4.3. Velocidad de infiltración ( $V_i$ )

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

$$V_i \text{ (cm. } h^{-1}\text{)} = I_p / (t_n - t_{n-1}) \quad (4)$$

### 2.4.4. Conductividad hidráulica saturada ( $K_0$ )

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

### 2.4.5. Conductividad hidráulica no saturada ( $K_2$ y $K_5$ )

Se estimó a partir de las mediciones de  $V_i(t)$  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  $(\text{cm } h^{-1})$ .

### 2.4.6. Radio de poros

Las diferentes tensiones de aplicación de agua en la superficie del suelo permitieron excluir del proceso de infiltración de agua a 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  $\sigma$  es la tensión de agua en la superficie [ $\text{MT}^{-2}$ ];  $\alpha$  es el ángulo de contacto entre el agua y la pared del poro;  $\rho$  es la densidad del agua [ $\text{ML}^{-3}$ ];  $g$  es la aceleración debido a la gravedad [ $\text{LT}^{-2}$ ], y  $h$  es la tensión (cm de agua) en el permeámetro de disco.

#### 2.4.7. Porcentaje de flujo total según tamaño de poro

Para analizar en cuánto contribuyen al flujo total 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).

$$CPO - 2cm = \frac{K0cm - K2cm}{K0cm} \quad (6)$$

$$CPO - 2cm = \frac{K2cm - K5cm}{K0cm} \quad (7)$$

Donde:  $CPO - 2cm$  = contribución porcentual de poros  $>$  a 0,0751. (%)

KO= conductividad hidráulica saturada (tensión 0 cm); K1=conductividad hidráulica insaturada (tensión 2 cm); K5= conductividad hidráulica insaturada (tensión 5 cm).

#### 2.5. Análisis estadístico

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

## Capítulo 3

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1 Conductividad hidráulica.

A partir del análisis estadístico de la varianza, los valores de Conductividad Hidráulica no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de labranzas (Tabla 1).

**Tabla 1: Conductividad hidráulica (Ks, K2, K5) a 0, 2 y 5 cm de tensión, respectivamente en los dos tratamientos.**

Tratamiento	Ks (h: 0 cm) (mm h <sup>-1</sup> )	K2 (h: 2 cm) (mm h <sup>-1</sup> )	K5 (h: 5 cm) (mm h <sup>-1</sup> )
SD s/lp	13,70 a	8,08 a	6,63 a
SD c/lp	12,23 a	10,03 a	6,93 a
R <sup>2</sup>	0,19	0,3	0,24
CV (%)	22,32	33,22	16,24
Valor-p	0,39	0,51	0,79
N	12	12	12

SD s/lp: Siembra directa sin labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

SD c/lp: Siembra directa con labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

CV (%): Coeficiente de variación en porcentaje. En vertical, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según ANAVA.

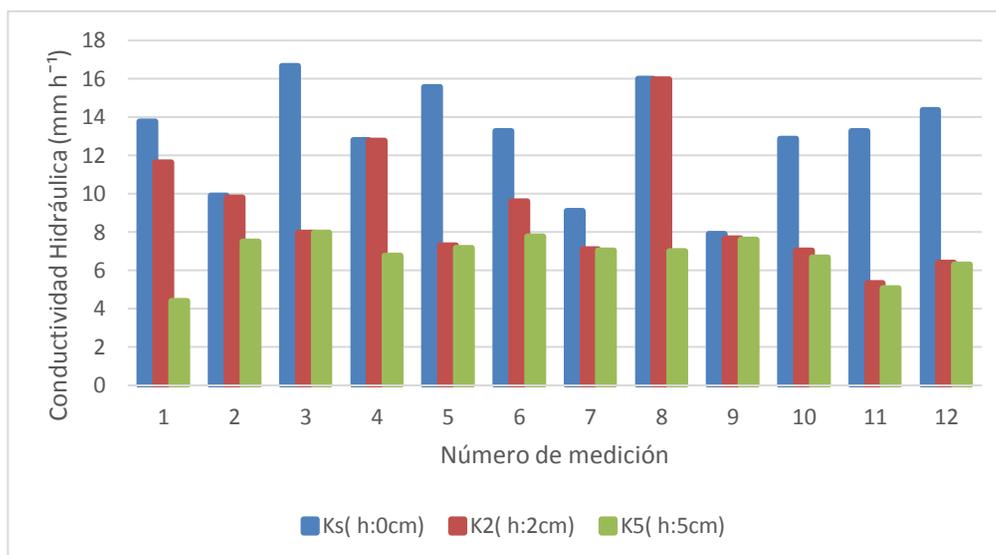
Estos valores obtenidos en este Hapludol típico de textura franco arenosa muy fina (14.12% Arcilla, 27.21% Limo y 57.4% Arena muy fina), se consideran relativamente bajos en magnitud de Conductividad Hidráulica (12 y 13 mm/h). Puede atribuirse al deterioro de la estructura que presenta el suelo, independientemente del sistema de labranza utilizado. En este sentido Leduc *et al.*, (2001) indicaron que generalmente los cambios de uso de bosque natural a cultivos agrícolas producen modificaciones muy marcadas de las propiedades hidráulicas de la superficie del suelo particularmente disminución de la infiltración e incremento de la escorrentía. Bricchi., (1996) en un Hapludol típico de similar granulometría al utilizado en el presente estudio, encontró una disminución del 93% en la conductividad hidráulica -medida en laboratorio, luego de 80 años de cultivos.

Diez., (2006) por su parte, evaluó la Kh con similar metodología en un Hapludol típico de textura franca arenosa muy fina (16% de arcilla, 41% de Limo, 33% de arena muy fina) obtuvo valores marcadamente superiores de conductividad hidráulica a los del presente trabajo, que rondaron entre los 30 mm h<sup>-1</sup> y los 70 mm h<sup>-1</sup> en una condición de agricultura y cuasi natural, respectivamente, coincidiendo con lo descrito por Aoki, *et al.*, (2005) quienes trabajando con labranza convencional en un Haplustol típico franco limoso obtuvieron valores de Conductividad Hidráulica que oscilaron entre 20 mm h<sup>-1</sup> y 40 mm h<sup>-1</sup>. Amato., (2012), con similiar metodología de trabajo en el mismo suelo,

obtuvo valores semejantes a los de este trabajo (entre  $10 \text{ mm h}^{-1}$  y  $14 \text{ mm h}^{-1}$ ).

Otra condición que pudo haber influido es el tiempo que pasó desde el momento de la labor de descompactación (11/2009) y la toma de datos a campo (5/2010). Si bien no hubo diferencias entre tratamientos pudo haber condicionado los valores de Conductividad Hidráulica. 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 puede ser de corto plazo y ello se debe a que las fisuras mecánicas creadas por la descompactación poseen escasa estabilidad. Cholaky., (2003) observó en un Haplustol típico descompactado, que, a los 8 meses posteriores a la realización de la labor, se había generado un proceso de recompactación de la capa previamente fisurada, la cual atribuyó a factores ambientales como la ocurrencia de precipitaciones, y procesos de secado y humedecimiento, ya que no se habían ejercido presiones por tránsito posterior a la labor.

Por otra parte, como se muestra en la Figura 2, en los dos tratamientos de labranza se produce una disminución de los valores de Conductividad Hidráulica como es esperable a medida que aumenta la tensión de succión del permeámetro, es decir al disminuir el diámetro y la cantidad de poros involucrados en la conducción de agua (total de poros, poros  $>0.075 \text{ cm}$  y  $>0.03 \text{ cm}$  de radio, para las tensiones de 0, 2 y 5 cm, respectivamente). 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).



**Figura 2: Conductividad hidráulica para los poros involucrados en la conducción de agua (total de poros, poros >0.075 y >0.03 cm de radio, para las tensiones de 0, 2 y 5 cm, respectivamente)**

Ks (h:0cm): Conductividad Hidráulica medida para todos los poros.

K2: (h: 2cm). Conductividad Hidráulica medida para poros >0.0075 cm.

K5 (h: 5cm): Conductividad Hidráulica medida para poros >0.03 cm.

Asimismo, en el Figura 2 se puede observar que la variación entre mediciones es evidente a tensiones 0 y 2 cm, mientras que las mediciones realizadas con tensión 5 cm muestran una cierta estabilidad en los valores de Kh. Esto podría sugerir que el flujo de agua relacionado a poros grandes, si bien es mayor al que se produce a través de poros pequeños, resulta más inestable pudiendo atribuirlo a la propia inestabilidad de estos macroporos frente al efecto del manejo por laboreo pudiendo ser los poros más afectados (Casas y Albarracín., 2015).

En la Tabla 2 se describe un análisis estadístico descriptivo para explicar algunas diferencias observadas, como la existente entre valores Mínimos y Máximos de Conductividad Hidráulica Saturada (Ks) en el sistema de labor de Siembra Directa con labor de descompactación (SD c/lp), asociando a una alta variabilidad espacial y que también puede ser temporal si se considera el tiempo transcurrido entre la labor de descompactación y las mediciones.

Otro factor que pueden haber afectado a estos resultados, es que presentan altos coeficientes de variación que oscilaron entre el 8 y 30%, pudiendo influir en los valores medios obtenidos en la evaluación de la velocidad de infiltración saturada con el método del permeámetro de disco y por lo tanto en la posibilidad de encontrar diferencias estadísticas entre tratamientos. Similares coeficientes de variación fueron obtenidos con esta metodología por Chiaramello., (2014) en un Hapludol típico de las proximidades de Río Cuarto.

**Tabla 2: Análisis de estadística descriptiva.**

Sist. de labor	Variable	Media	CV	Mín	Máx
SD c/lp	KS.mm/h	12,23	30,65	7,9	16,67
SD c/lp	K2 mm/h 2cm	10,03	33,38	7,1	15,96
SD c/lp	K5 mm/h 5cm	6,93	18,55	4,41	7,97
SD s/lp	KS.mm/h	13,7	7,9	12,8	15,58
SD s/lp	K2 mm/h 2cm	8,08	33,37	5,35	12,78
SD s/lp	K5 mm/h 5cm	6,63	13,78	5,06	7,76

**SD c/lp:** Siembra directa con labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

**SD s/lp:** Siembra directa sin labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

**CV (%):** Coeficiente de variación en porcentaje.

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 (Cisneros *et al.*, 2012). Mattalia *et al.*, 2018, observaron que la velocidad de infiltración medida inmediatamente después de una labor con descompactador tipo paratill fue de 14 y 7 veces superior en la situación descompactada sobre y entre líneas donde pasaron los cuerpos del implemento, respectivamente, respecto al testigo sin descompactación. Por este motivo era esperable que la descompactación generase incrementos en la  $K_h$ , incidiendo en el incremento de poros más grandes que conducen mayor cantidad de agua.

### 3.2 Densidad aparente (DAP)

En este trabajo la Densidad Aparente Promedio de los primeros 20 cm del perfil, no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tabla 3 y Figura 3) y por lo tanto tampoco hubo diferencias en la porosidad total, la que promedió alrededor del 50%.

**Tabla 3: Densidad Aparente (DAP Mg m<sup>3</sup>)**

Tratamiento	Densidad Aparente (Mg/m <sup>3</sup> )	Porosidad Total (%)
SD s/lp	1,24 a	53,08
SD c/lp	1,26 a	52,52
R <sup>2</sup>	0,14	
CV (%)	9,5	

SD s/lp: Siembra directa sin labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

SD c/lp: Siembra directa con labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

CV (%): Coeficiente de variación en porcentaje. Letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según ANAVA.

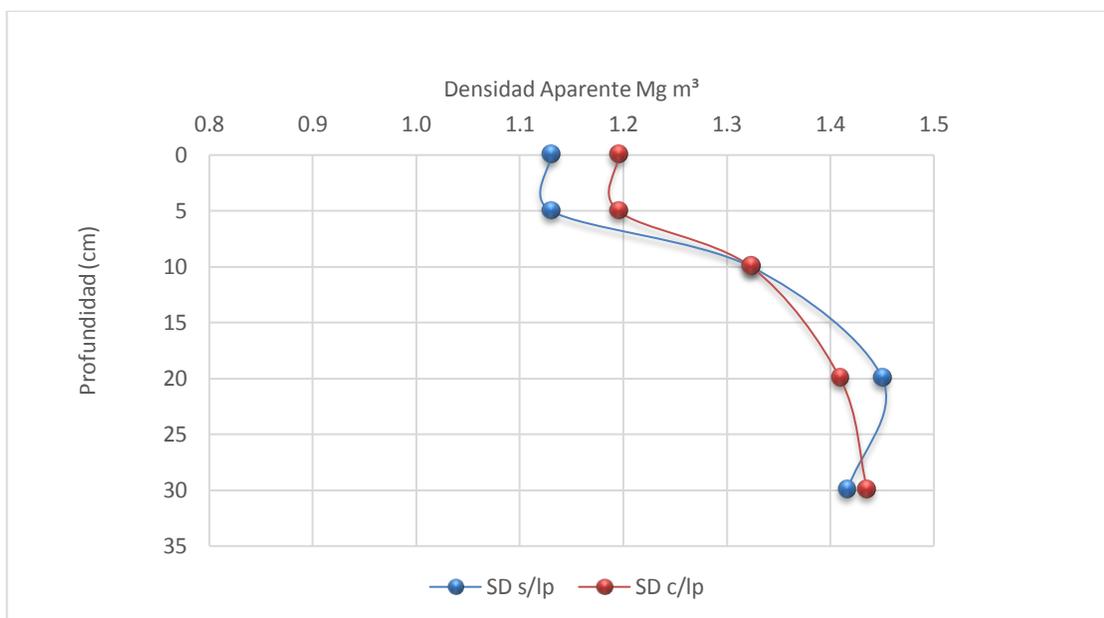
Esta falta de diferencias en los valores de Densidad Aparente entre tratamientos para los objetivos propuestos, podrían explicar la falta de diferencias en la Conductividad Hidráulica Saturada, aunque no sería la única variable que incide. En este sentido Mankin *et al.*, (1996) señalaron que la conductividad hidráulica saturada está inversamente relacionada con la densidad aparente del suelo, y que responde a los efectos del laboreo. Soracco, G., (2003) en un suelo Franco Arcilloso ubicado en un predio de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, ubicado en La Plata, Provincia de Buenos Aires, encontró densidades aparentes muy contrastantes entre  $0,77 \text{ Mg m}^{-3}$  y  $1,43 \text{ Mg cm}^{-3}$ , si bien presentó diferencias estadísticas significativas en los distintos sitios esto no sucedió con la Conductividad Hidráulica Saturada, que entre la pastura y el suelo recientemente removido no presenta diferencias estadísticas significativas.

Por su parte, Álvarez *et al.*, (2006) evaluaron el efecto de la descompactación en siembra directa sobre algunas propiedades físicas del suelo, a la siembra y a la cosecha del cultivo de maíz; en dos sitios de la Provincia de Buenos Aires y uno de Santa Fé. La densidad aparente no mostró variaciones significativas a la siembra y a la cosecha. Por su parte Cholaky *et al.*, (2010) observaron diferencias marcadas en la DAP cuando se la midió inmediatamente después de realizar una labor de descompactación respecto a siembra directa sin descompactación. Sin embargo 8 meses posteriores a la labor las diferencias se habían atenuado marcadamente, producto de la recompactación natural de la capa fisurada.

Otros factores que pueden haber influido en la ausencia de respuesta en la variable estudiada, pueden estar asociados a las condiciones de suelo y de operatividad de la labor de descompactación.. En este sentido Cholaky *et al.*, (2010) comprobó que la condición de humedad debe garantizar una consistencia friable del suelo (contenido de humedad próximo al de capacidad de campo), para que según Balbuena *et al.*, (2009) se produzca el fisuramiento del suelo según los planos de debilidad natural, con mínima desintegración de agregados, además de aspectos relacionados a la geometría de la herramienta utilizada, el distanciamiento entre órganos activos, la velocidad y profundidad real de trabajo, entre otros.

En la Figura 3 se puede observar como es la variación de los valores de Densidad Aparente con respecto a la profundidad. El perfil correspondiente a la labor de descompactación (SD c/lp) fue más homogéneo, al mostrar menor diferencia entre los valores máximos y mínimos y en ambos tratamientos hubo un incremento hacia las capas más profundas del perfil cultural. Para explicar estas pequeñas diferencias se realizó un análisis estadístico descriptivo (Tabla 4). Los valores de DAP con labor de descompactación podrían haber disminuido la densidad aparente de capas subsuperficiales y generar condiciones físicas homogéneas para el movimiento de agua mejorando la Conductividad Hidráulica. En este sentido Álvarez *et al.*, (2008) y Rovera., (2013) coincidieron que a partir de la introducción de labores con herramientas de “corte vertical”, la velocidad de infiltración se incrementa al producirse el fisuramiento de las capas compactadas; según Vilche *et*

al., (2010) este incremento en la velocidad de infiltración se debe a flujos preferenciales generados por las fracturas que produce la labor y no así por flujos a través de la matriz del suelo, y los mismos autores observaron que un Argiudol vértico estos flujos perduraron luego de 10 meses de realizada la labor.



**Figura 3: Perfil de Distribución de la Densidad Aparente ( $\text{Mg m}^3$ ) con valores promedios de cada profundidad (0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm)**

**Tabla 4: Análisis de estadística descriptiva de Densidad Aparente (DAP) entre tratamientos.**

Sistema de laboreo	Variable	n	Media	CV	Mín	Máx
SD c/lp	DAP ( $\text{Mg m}^3$ )	6	1,21	8,69	1,06	1,35
SD s/lp	DAP ( $\text{Mg m}^3$ )	6	1,29	8,44	1,11	1,43

SD c/lp: Siembra directa con labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

SD s/lp: Siembra directa sin labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

DAP: Densidad Aparente ( $\text{Mg/ m}^3$ )

CV (%): Coeficiente de variación en porcentaje homogeneizar siglas de tratamientos y variables!

Coincidiendo con Cisneros *et al.*, (1997) quienes determinaron que el uso agrícola con laboreo continuado en Haplustoles típicos alteró significativamente la densidad aparente, la conductividad hidráulica saturada y la resistencia mecánica comparadas con una situación de no uso. En este trabajo la baja conductividad hidráulica puede estar asociada al laboreo continuado,

que incrementa la densidad del suelo, en detrimento de la macroporosidad entre agregados, lo cual modifica la conductividad hidráulica al cambiar la distribución de tamaño de poros. 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.

### 3.3 Contribución y distribución de poros al flujo de agua.

La contribución de los diferentes tamaños de poros al flujo de agua no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Tabla 5).

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

	r > a 750 $\mu$ (h: 0 – 2 cm)	r entre 750 a 300 $\mu$ (h: 2 – 5 cm)
	Flujo (%)	Flujo (%)
SD s/lp	14 <b>a</b>	4 <b>a</b>
SD c/lp	14 <b>a</b>	4 <b>a</b>
DMS	2.60	6.80
C.V (%)	71.40	142.15

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

Sin embargo, la tendencia en cuanto al % de Flujo de Agua conducido por los poros de baja tensión ( $r > a 750 \mu$ ) es mayor a los de alta tensión ( $r$  entre 750 a 300  $\mu$ ).

Si se consideran los dos tratamientos y la contribución que hacen al flujo de agua los poros  $>300 \mu$ , se observa que el tamaño de poros de  $r > a 750 \mu$  aportó al flujo de agua en un 30% y los poros de  $r$  entre 750 a 300  $\mu$  aportaron un 10% aproximadamente. Los valores de  $r > a 750 \mu$  son similares a los valores encontrados por Amato., (2012) en el mismo suelo pero con labranza reducida, sin embargo estos resultados son bajos si los compara con los resultados obtenidos por Diez., (2006) en un Hapludol típico franco arenoso, quien obtuvo valores de 80% y 70% del flujo total conducido por los poros de  $r > a 750 \mu$  en Sistemas Agrícolas (A) y Ganadero Agrícola (GA), respectivamente, mientras que los poros de  $r$  entre 750 a 300  $\mu$  solo explicó el 24% y el 7% del flujo total en A (uso agrícola) y AG (uso agrícola-ganadero), respectivamente.

A partir de lo expuesto, se puede sostener que la componente de la estructura del suelo juega un rol determinante en el arreglo espacial y distribución de los poros, lo que determinaría en forma directa la mayor conductividad hidráulica a bajas succiones. En este sentido, Lin *et al.*, (1996) afirmaron que el movimiento del agua en suelos estructurados naturalmente, debido a que poseen macroporos y poros biológicos, es diferentes al de aquellos suelos homogeneizados artificialmente. Aunque en aquellos sistemas de labranza que producen mínima remoción superficial del suelo como la siembra directa y labores reducidas que incluyen el pasaje de herraminetas de labranza vertical, provocan un incremento de la materia orgánica de la capa superficial, observándose una estratificación de la misma debido al aporte gradual que realizan los restos orgánicos que yacen en superficie. Este comportamiento impacta directamente sobre la estabilidad de la estructura y en la distribución de tamaños de agregados estables, con un incremento en la proporción de macroagregados (Cholaky *et al.*, 2013).

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 300  $\mu$ . 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.

En síntesis, la labranza afecta fuertemente la macro porosidad del suelo y con ello la infiltración y la conductividad hidráulica saturada, es por ello que se esperaba que la introducción de una herramienta de descompactación superficial en SD hubiera generado un mayor aporte (%) al flujo de agua de los poros de baja tensión ( $r > a 750 \mu$ ), sobre todo en el tratamiento de SD c/lp.

#### **3.4. Profundidad media de humedecimiento y Área media de mojado.**

Los valores de ambas variables presentaron uniformidad entre tratamientos (Tabla 6).

En general a medida que aumenta la tensión de succión de los poros, los valores fueron disminuyendo para la profundidad de mojado (cm) y área de mojado media superficial (cm<sup>2</sup>).

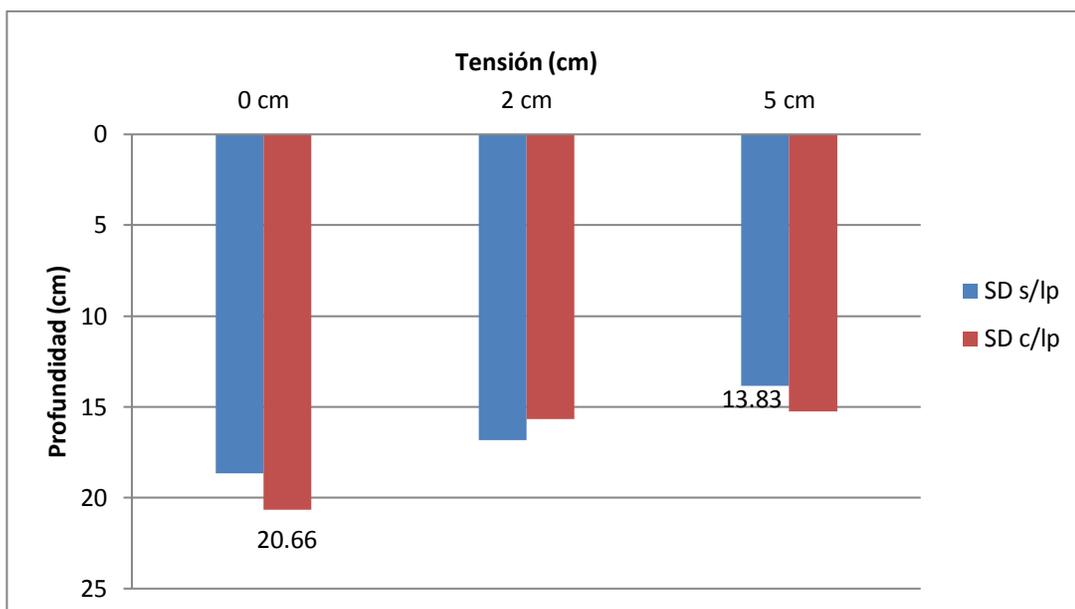
**Tabla 6: Profundidad media del frente de mojado (cm) y área de mojado media superficial (cm<sup>2</sup>) en relación al nivel de tensión aplicada en los diferentes tratamientos.**

h: cm	Profundidad de Mojado (cm)			Area de Mojado (cm <sup>2</sup> )		
	0	2	5	0	2	5
SD s/lp	18,65	16,83	13,83	1027,3	731,4	501,4
SD c/lp	20,66	15,66	15,25	877,84	625	696,2

**SD s/lp:** Siembra directa sin labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

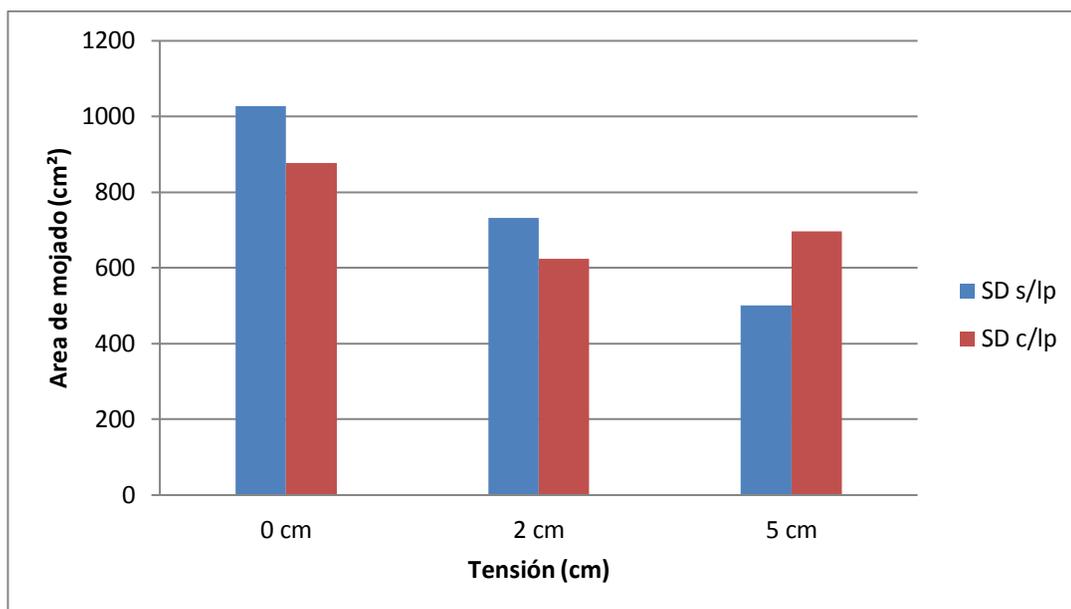
**SD c/lp:** Siembra directa con labor de descompactación subsuperficial con subsolador alado

La profundidad media de mojado del frente de humedecimiento alcanzó los 20 cm de profundidad en la condición de conductividad saturada en el tratamiento de SD c/lp, es decir cuando todos los poros condujeron agua. La menor profundidad de mojado fue de 13 cm y se registró cuando la tensión de trabajo fue de 5cm, en el tratamiento de SD s/lp (Figura 4, Anexo 6.6 Foto N°2). Estas pequeñas diferencias presentes, podrían atribuirse al efecto de la labranza de “corte vertical” causando un fisuramiento de capas compactadas afectando las profundidades de mojado en el tratamiento de SD c/lp, mejorando la permeabilidad del suelo y disminuyendo una posible erosión. En este sentido, Marelli *et al.*, (2006) en Argiudoles típicos de Marcos Juárez, en ensayos con simulador de lluvia, evaluaron el efecto de diferentes operaciones de laboreo sobre el escurrimiento y las pérdidas de suelo por erosión, donde la introducción de labores de descompactación subsuperficial disminuyó notablemente el escurrimiento superficial al mejorar la condición de permeabilidad del suelo, y con ello disminuyó la pérdida de suelo.



**Figura 4: Profundidad media del frente de mojado.**

En cuanto al área de mojado media mostró como era esperable, una reducción a medida que aumentaba las tensiones de succión y disminuía el tamaño de poros (Tabla 6, Figura 5 y Anexo 6.6). Particularmente el tratamiento con labor de descompactación fue más desuniforme en sus valores. Esta variación de valores podría asociarse a que la labor de descompactación podría haber realizado algún tipo de efecto de fisura en la capa más profunda con mayor DAP en los primeros cm del suelo. Amato (2012), en el mismo suelo con Labranza Reducida encontró un similar comportamiento con semejantes valores (LR s/lp: 731 cm<sup>2</sup>, LR c/lp: 842 cm<sup>2</sup>) y lo asoció 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. En este sentido Sasal *et al.*, (2008) encontraron que los elevados valores de Dap del espesor 5-10 cm en todos los tratamientos aparecen como un efecto vinculado a la producción de cultivos en SD. Resultados diferentes encontraron Brichi *et al.*, (2008), que, si bien la conducción del agua en LR es más homogénea que en SD y LC, no se observa un incremento significativo entre 10-20 cm de profundidad con lo que se demuestra que no se habría logrado cambiar el estado de equilibrio del piso de labor inicial, con respecto a su porosidad, a pesar de haber realizado la labranza vertical en todos los ciclos y hasta la profundidad de 25-27 cm.



**Figura 5: Área de mojado media superficial.**

## Capítulo 4

### CONCLUSIONES

Para las condiciones experimentales, y de evaluación de las variables estudiadas en el presente trabajo, se concluye:

-La conductividad hidráulica saturada y no saturada del suelo bajo este estudio no son afectadas por la inclusión de una labor de descompactación subsuperficial.

-Los valores encontrados de conductividad hidráulica saturada presentaron baja magnitud si se considera la granulometría de los horizontes superficiales del suelo.

-La ausencia de diferencias en la conductividad hidráulica puede asociarse a que no se presentan diferencias en la densidad aparente y porosidad total del suelo atribuidas a la labranza, seis meses posteriores a la labor.

- La labor de descompactación no modifica significativamente la participación de distintos tamaños de poros en la conducción del agua en el suelo. A medida que se incrementa la tensión de carga aplicada, la conductividad hidráulica disminuye y se hace menos variable entre mediciones.

-En general, la profundidad media de mojado del frente de humedecimiento y el área media de mojado son menores a medida que aumenta la tensión de carga de agua aplicada.

-Es necesario realizar un mayor número de repeticiones y mayor número de mediciones en el tiempo para detectar las potenciales diferencias entre situaciones de manejo. Sería de interés comparar los resultados obtenidos con mediciones correspondientes a situaciones prístinas.

## Capítulo 5

### BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ. C, y P. IMBELLONE 2018. Compactaciones naturales y antrópicas en suelos argentinos. (Eds) Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Capítulo XII (Cholaky y Bonadeo) Libro digital, PDF, ISBN 978-987-46870-1-2, Buenos Aires, Argentina <http://www.suelos.org.ar/sitio/wp-content/uploads/2018/07/12Compactaciones.pdf> .

ALVAREZ, C.R, M.A TABOADA, C. BUSTINGORRI y F.H GUITIERREZ BOEM 2006. Descompactación de suelos en siembra directa; efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. **Ciencia del Suelo** (24):1-10.

ALVAREZ, C.R, M.E TORRES DUGGAN, D. CHAMORRO, 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. **Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**, Potrero de Los Funes, San Luis, Argentina.

AMATO. L, 2012. **Efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre propiedades hidráulicas de un Hapludol Típico del Sur Cordobés**. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC.

AOKY. A, y R. SERENO 2000. Macro y meso porosidad de un suelo Haplustol típico bajo diferente condición de manejo utilizando infiltrómetro de tensión. **XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**, Mar del Plata, Argentina: 8

AOKY, AM & R SERENO. 2004 a. **Comparación de dos metodologías de cálculo de propiedades hidráulicas de un suelo, a partir de datos medidos con infiltrómetro de disco a tensión**. En Metodologías Físicas para la Investigación del Suelo: Penetrometría e Infiltrimetría. Ed. RR Filgueira & FG Micucci. Editorial de Universidad de La Plata. Pp. 145-158.

AOKY. A, M. ATECA, y R. SERENO. 2005. **Distribución espacial del proceso de humedecimiento y desecamiento del perfil del suelo en un monocultivo de soja**. Grupo Gestión Ambiental de Suelo y Agua Fac. Ciencias Agropecuarias, UNC, Argentina.

BAKER, H. 1987. Effects of tillage practices on cotton double cropped with wheat. **Agron. J.** 79:513-516



BALBUENA, R.H., G.F BOTTA., y E.R RIVERO. 2009. **Herramientas de Labranza para la descompactación del suelo agrícola**. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. 205 pp.

BECKER, AM. 2006. **Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenta representativa de la región pedemontana del Suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina**. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. 800 pp.

BLAKE, G. R. y K. H. HARTAGE 1986. Bulk Density. En: Methods of soil analysis. **Agronomy 9**. Part I, Am. Soc. Of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA: 363-375.

BRAVO, C. 1993. **Efectos de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia en el rendimiento del cultivo de algodón (Gossypium hirsutum L.) en un Alfisol del estado Guárico**. Tesis de Postgrado n Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay.

BRAVO, C. 1995. La labranza conservacionista en Venezuela. **III Reunión de la Red Latinoamericana de labranza conservacionista (RELACO)**. San José, Costa Rica. Memorias: 235-247.

BRICCHI, E., ESPÓSITO, G., y F. DIAZ, 2008. Efecto de las labranzas sobre la Conductividad Hidráulica del perfil cultural del suelo. **Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo** 13 al 16 de mayo de 2008 Potrero de los Funes (SL), Argentina

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

BRICCHI, E. 1996. **Relaciones entre la compactación, morfología y propiedades físicas de un Hapludol típico de Río IV**. Tesis de Magíster Scientiae. Fac. Agronomía. UBA.

BROWN, S. M., T. WHITWELL, J. T. TOUCHTON y C. H. BURMESTER. 1985. Conservation tillage systems for cotton production. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 49: 1256-1260.



CANTERO, A., E. BRICCHI, V. BECERRA, , J. CISNEROS y H. GIL 1984  
**Zonificación y descripción de las tierras del Depto. Río Cuarto**, Talleres gráficos de la UNRC, adhesión del Bicentenario de la Fundación de la ciudad de Río Cuarto.

CANTÚ, M.P. 1992 Holoceno de la Prob. De Córcoba. Manual: Holoceno de la República Argentina. Tomo 1. Ed. Doctor Martín Iriondo. **Simposio Internacional sobre el holoceno en América del sur**. Paraná, 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.

CANNELL, R. y J. HAWES 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climate. **Soil Till Res.** 30:245-282

CASAS, R., y G. ALBARRACÍN 2015. FECIC. **El deterioro del suelo y del ambiente en la argentina**. Tomo I (604 p) y Tomo II (452 p). Buenos Aires, Argentina

CASAS, R., y G. ALBARRACÍN 2015. FECIC. **El deterioro del suelo y del ambiente en la argentina**. Tomo I (604 p). Buenos Aires, Argentina. Parte 3, Rodolfo Gil, El uso del agua en una Agricultura Sustentable.

CASELL D. y M. WAGGER 1996. Residue management for irrigated maize grain and silage production. **Soil Till. Res.** 39:101-114.

CHIARAMELLO, M. 2014. **Calibración de Métodos de medición de velocidad de infiltración**. Tesis final de grado, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto.

CHOLAKY, C. 2003. **Efectividad y persistencia de una labor de descompactación subsuperficial en función de la compactación y humedad antecedentes**. Tesis Magister, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

CHOLAKY, C., CISNEROS, J.M y R. BALBUENA 2010. Field performance of a winged scarifier as a function of soil compaction and water content. **Chilean Journal of agricultural research** 70(1):150-158

CHOLAKY, C., MORENO, I., MASOBRIO, N., BERGESIO, L., PERALTA, M., y J. VELAZQUEZ 2013. Efecto de la rotación y la labranza sobre la materia orgánica y estabilidad estructural de un Hapludol típico. **Jornadas Argentinas de Conservación de Suelos, organizadas por la AACCS**, Buenos Aires, Argentina.

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., CANTERO, G.A., MARCOS, J., DEGIOANNI, A., BRICCHI, E., GIAYETTO, O., CHOLAKY, C., BONADEO, E., CERIONI, G. Y M. UBERTO 1998 (b). **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., CHOLAKY, C., BRICCHI, E., GIAYETTO, O. y J.J CANTERO, 1997. Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Haplustol típico del centro de Córdoba. Rev. **UNRC** 17:13-22

CISNEROS J., C. CHOLAKY, A. CANTERO GUTIERREZ, J. GONZALEZ, M. REYNERO, A. DIEZ, y L BERGESIO 2012. **Erosión Hídrica. Principios y técnicas de manejo**. UniRío Editora, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina: 286 p.

CISNEROS, J.M.; DE PRADA, J.D.; DEGIOANNI, A.; CANTERO GUTIERREZ, 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.



DANIELSON, R.E y P.L. SUTHERLAND 1986. **Porosity**. En A Klute (eds) **Methods of soil analysis**. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph no. 9 (2<sup>o</sup> Edition. ASA and SSSA, Madison, WI), USA: 443-461.

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.

DERPSCHM, R, C. H. ROHT, N. SIDIRAS y U. KOPKE 1991. Controle da erosao no Panamá. Sistemas de cobertura do solo, plantio directo e preparo conservacionista do solo. **IAPAR**. Brasil: 272

DIAS 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, Argentina en sustento magnético.

DÍAZ ZORITA, M. 1999. Efecto de seis años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires. Argentina. **Ciencia del Suelo XVII** (1): 31-36.

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 Cuartopágs. 23, en Biblioteca Juan Filloy.

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. **InfoStat versión 2011**. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

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

FAO (2008) FAO sala de prensa: Aumenta la degradación del suelo. Un cuarto de la población mundial está afectada, según un nuevo estudio. <http://www.fao.org/newsroom/news/2008/1000874> . Ultimo acceso: febrero 2011.



GARCÍA, J. R., R. GIMÉNEZ, G. A. SANZANO y R. D. CORBELLA 1996. Influencia de la infiltración de agua, de la capa superficial y subsuperficial de un Haplustol éntico de la Llanura Chacopampeana Semiárida. (Tucumán, Argentina). **XIII C.L.C.S.** Aguas de Lindoia, Brasil. Com. 1 N° 35.

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

LARSON, W. E. 1964. Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 28: 118-122.

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

LIN, H. S., K. J. McINNES, L. P. WILDING y C. T. HALLMARK. 1996. Effective porosity and flow rate with infiltration at low tensions into a well-structured subsoil. Trans. **ASAE XXXIX** (1): 131-133.

MAHBOUDI A., R. LAL y 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.

MARCANO, F, C. OHEP y F. DESIDEIRO 1994. Efecto de la labranza y del nitrógeno en algunos componentes del rendimiento, macroporosidad del suelo, densidad radical y producción del maíz (*Zea mays* L.) **Agronomía Tropical XDIV** (1): 5-22

MARELLI, H.J., J.M. ARCE y M.E. ZABALA. 2006. **Conservación sustentable del suelo y el agua**. Información para extensión N° 99. Ediciones INTA, Marcos Juárez, Argentina. 12 pp.

MATTALIA, M, L., BONGIOVANNI, M. D., y CHOLAKY, C. G, 2018. **XXVI Congreso argentino de la Ciencia del Suelo**, San Miguel de Tucumán., Pág 1160.



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

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

MILLER, J. J., N. J. SWEETLAND, F. J. LARNEY, y K. M. VOLKMAR. 1998. Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta. **Can. J. Soil Sci.** 78:643-648.

NIMMO J. R. and 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.

PERROUX, K. M y I. WHITE 1998. Design for disc permeameters. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 52: 1205-1215.

ROVERA J. J. 2013. **Efecto del sistema de labranza y de la dirección de siembra sobre el escurrimiento e infiltración del agua en un Haplustol udico y su impacto sobre el rendimiento del cultivo**. Trabajo final de graduación, carrera Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC, Río Cuarto, Argentina.

SANZANO, G. A, R. CORBELLA, J. GARCÍA y G. FADDA 2004. La degradación física de Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. **XIX C.A.C.S.** Paraná, Entre Ríos, Argentina; (94): 295-304.

SARANDÓN, S. y C. FLORES. 2014. **Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables**. 1a ed. - La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2014. Cap. 1, La Insustentabilidad de modelo de agricultura actual.: 24

SASAL C., WILSON M., GARCIARENA N.A., TASI H.A., y O. PAPAROTTI 2008. Escurrimiento y pérdidas de suelo en sistemas de cultivos bajo siembra directa: efectos de algunas propiedades edáficas superficiales. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Potrero de Los Funes, San Luis, Argentina.



SENIGAGLIESI C. 1991. Recursos Naturales. Pampa Húmeda Norte. INTA, Seminario Juicio a nuestra agricultura. Hacia un desarrollo sostenible. **Ed. Hemisferio Sur**, Buenos Aires: 29- 51.

SOMMER, C. y M. ZACH. 1992. Managing traffic-induced soil compaction by using conservation tillage. **Soil Till. Res.** 24: 319-336.

SORACCO G., 2003. Relación entre la conductividad hidráulica saturada y la densidad aparente en tres situaciones de manejo contrastantes. Evaluación de parámetros y procesos hidrológicos en el suelo. **VII Escuela Latinoamericana de Física de Suelos**. La Serena, Chile.

UBERTO, M.; J. CISNEROS; C. VIGNOLO; C. CHOLAKY y R PEDELINI. 2001. Recuperación de la productividad en tierras del área manisera núcleo. I. Propiedades físicas. **XVI Jornada Nacional de Maní, Gral. Cabrera, Córdoba, Argentina**. 16-18 pp.

VILCHE, M.S., ALZUGARAY, C., MONTICO, S., DI LEO, N. y R. FALCONE 2010. La incidencia de la labor de escarificado en el ambiente edáfico: cultivo de maíz (*Zea mays* L.) **Revista FAVE – Ciencias Agrarias** 9 (1-2).

## CAPÍTULO 6

### ANEXOS

**Anexo 6.1:** Plano de rotaciones

BLOQUE I															
ROTACIÓN AGRÍCOLA															
SD				LR								LC			
F		NF		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	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP
p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n
p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p

ROTACIÓN AGRÍCOLA GANADERA															
SD				LR								LC			
F		NF		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	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP
p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n
p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p

BLOQUE II															
ROTACIÓN AGRÍCOLA															
SD				LR								LC			
F		NF		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	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP
p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n
p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p

ROTACIÓN AGRÍCOLA GANADERA															
SD				LR								LC			
F		NF		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	c/LP	s/LP	c/LP	s/LP
p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n
p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p

**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 usados en este trabajo.

**Anexo 6.2:** Características morfológicas del suelo desarrollado, pendiente Pozo del Carril (Becker., 2006). Hapludol típico, limoso grueso, illítico, térmico.

*Ap (0-8cm); color pardo oscuro (IOYR3/3) en húmedo y pardo a pardo oscuro (IOYR 4/3) en seco; franco arenoso; estructuras en bloques angulares gruesos moderados con laminación; duro, firme; seco límite inferior abrupto y suave.*

*A2 (8-14 cm); color pardo oscuro (IOYR3/3) en húmedo y pardo (IOYR 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.*

*BwI (14-29 cm); color pardo grisáceo oscuro (IOYR 4/2) en húmedo y pardo (IOYR 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 (IOYR 4/3) en húmedo y pardo amarillento (IOYR 5/4) en seco; franco arenoso; estructura en prismas simples irregulares gruesos, moderados que rompen a prismas y bloques menores; blando, friable; escaso barnices arcillo-húmicos, finos sobre las caras de agregados; fresco; límite inferior claro y suave.*

*BC (41-65 cm); color pardo a pardo oscuro (IOYR4/3) en húmedo y pardo amarillento (IOYR 5/4); franco arenoso; estructura en prismas simples y bloques subangulares, finos, moderados a débiles que rompen a bloques menores débiles; blando en seco, muy friables en húmedo; fresco; límite inferior claro y suave.*

*C (65-85 cm); color pardo (IOYR 4/4) en húmedo y pardo claro (IOYR 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 (IOYR 5/4) en húmedo y pardo claro (IOYR 6/3) en seco; franco arenoso; estructura masiva; blando, friable; fresco a húmedo; alto contenido de carbonatos libres.*

**Anexo 6.3:** Propiedades químicas, físico-químicas y físicas del suelo desarrollado en Siembra Directa (SD) pendiente Pozo del Carril (Becker, 2006)

<b>Horizonte</b>	<b>Ap</b>	<b>A2</b>	<b>Bw1</b>	<b>Bw2</b>	<b>BC</b>	<b>C</b>	<b>CK</b>
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	
Arcilla < 2 $\mu$ (%)	17,48	12,30	12,50	14,80	13,02	14,50	14,30
Limo 2-50 $\mu$ (%)	30,32	25,20	26,10	24,30	25,20	29,60	29,80
Arena muy fina, 50-100 $\mu$ (%)	52,80	61,50	55,60	60,40	60,80	55,30	55,30
Arena fina, 100-250 $\mu$ (%)	0,60	0,70	2,20	0,50	0,80	0,60	0,40
Arena media, 250-500 $\mu$ (%)	0,25	0,30	3,10	0,10	0,10	0,20	
Arena gruesa, 500-1000 $\mu$ (%)	0,08	0,10	0,50	-	-	0,40	
Arena muy gruesa, 1-2 mm (%)	0,01	0,10	-	-	0,20		
pH en agua (1:2,5)	6,0	6,57	6,82	6,88	7,09	8,08	8,32

**Anexo 6.4 Foto N°1:** Permeámetro a disco utilizado en este trabajo



Anexo 6.5 Foto N°2: Frente de humedecimiento



Anexo 6.6 Foto N°3: Área media de Mojado

