



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

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

**EFECTO DE LAS LABRANZAS SOBRE LA MACROPOROSIDAD DE LA
CAPA SUPERFICIAL DE UN HAPLUDOL TÍPICO**

**BERTOLA, Maximiliano
DNI: 31.301.098**

**Director: Ing Agr. Msc. ESPOSITO, Gabriel.
Co-Director: Ing. Agr. Msc. BRICCHI, Estela M.**

**Río Cuarto - Córdoba
OCTUBRE de 2011**

**EFFECTO DE LAS LABRANZAS SOBRE LA MACROPOROSIDAD DE LA
CAPA SUPERFICIAL DE UN HAPLUDOL TÍPICO**

Autor: BERTOLA, Maximiliano

DNI: 31.301.098

Director: Ing Agr. Msc. ESPOSITO, Gabriel

Co-Director: Ing. Agr. Msc. BRICCHI, Estela M.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

(Nombres)

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación, importancia del trabajo y antecedentes	8
1.2. Hipótesis y objetivos	11
1.2.1. Hipótesis	11
1.2.2. Objetivos	11
1.2.2.1. General	11
1.2.2.2. Específicos	11

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Caracterización del área de estudio	12
2.2. Descripción del ensayo experimental	13
2.3. Análisis estadístico	14
2.4. Descripción de las determinaciones realizadas	15
2.4.1. Descripción de la mesa de tensión	15
2.4.2. Distribución de tamaño de poros	17
2.4.2.1. Muestreo	17
2.4.2.2. Peso específico aparente	18
2.4.2.3. Saturación de la muestra y procesamiento	19
2.4.2.4. Porosidad Total	19

CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Peso específico aparente	21
3.2. Porosidad	22
3.2.1. Porosidad total	22
3.3. Distribución por tamaño de poros	23
3.3.1. Poros mayores a 150 μ	23
3.3.2. Poros entre 150 μ y 75 μ	24
3.3.3. Poros mayores a 75 μ	25

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES	26
--------------------------	----

CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA	27
---------------------------------	----

ANEXOS

Tabla Nª 1. ANAVA de la variable “Volumen de poros > a 75 μ ”	32
Tabla Nª 2. ANAVA de la variable “Volumen de poros > a 150 μ ”	32
Tabla Nª 3. ANAVA de la variable “Volumen de poros entre 150 y 75 μ ”	33
Tabla Nª 4. ANAVA de la variable “PEA”	33
Tabla Nª 5. ANAVA de la variable “PT”	34
Imagen de la mesa de tensión desarrollada	34

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1 Disposición a Campo de las parcelas del ensayo	14
2.2 Esquema del dispositivo de vasos comunicantes para saturar las muestras y la mesa de tensión diseñada para determinar cualquier porosidad mayor a 75 μ .	17

ÍNDICE DE TABLAS

3.1. Peso específico aparente promedio de la capa superficial para cada labranza (g cm^{-3})	21
3.2. Porosidad total de la capa superficial de los tratamientos analizados expresada en porcentaje (cm^3 100 cm^3 de suelo)	22
3.3. Volumen de poros mayores a 150 μ de la capa superficial de los tratamientos analizados expresada en porcentaje (cm^3 100 cm^3 de suelo)	23

3.4. Volumen de poros entre 150μ y 75μ de la capa superficial de los tratamientos analizados expresada en porcentaje (cm^3 100 cm^3) 24

3.5. Volumen de poros mayores a 75μ de la capa superficial de los tratamientos analizados expresada en porcentaje (cm^3 100 cm^3) 25

RESUMEN**Efecto de las labranzas sobre la macroporosidad de la capa superficial de un Hapludol típico**

En aquellos sistemas donde se perturba el suelo se consiguen generalmente mejores propiedades físicas como mayor macroporosidad y conductividad hidráulica, y menor densidad aparente en la capa sometida a laboreo que en la mayoría de los sistemas conservacionistas. El presente estudio tiene como objetivo construir una mesa de tensión que permita evaluar la distribución de macroporos y calibrar el método en un Hapludol típico cultivado con tres sistemas de labranzas. El ensayo se llevó a cabo en el Campo de Docencia y Experimentación de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto. El diseño experimental utilizado fue diseño en bloques completos al azar teniendo como variable: Labranza Convencional (LC), Siembra Directa sin Labranza Profunda (SD s/LP) y Siembra Directa con labranza profunda (SD c/LP). En cada tratamiento se evaluó Porosidad Total (PT), Densidad Aparente (DAP), Porosidad mayor a 150μ ($>150\mu$), entre 150 y 75μ ($150-75\mu$) y mayor a 75μ ($>75\mu$). Los resultados mostraron que PT es mayor en SD c/LP que en LC y ésta a su vez es mayor que SD s/LP. Los mayores valores de DAP se observaron en SD s/LP y los menores en SD c/LP. En SD c/LP se observaron los valores más altos de poros >150 no difiriendo de LC. No se encontraron diferencias significativas para la variable $150-75\mu$ mientras que para $>75\mu$ SD c/LP difirió significativamente del resto de tratamientos. Se puede concluir que la macroporosidad es un indicador sensible de la condición física del suelo y que de acuerdo a lo encontrado los poros que más aportan a la macroporosidad del suelo son los mayores a 150μ . La mesa de tensión realizada posee suficiente sensibilidad para determinar las diferencias de comportamiento de las propiedades hidráulicas en un suelo

PALABRAS CLAVES: Mesa de tensión, Macroporosidad, Descompactación

SUMMARY

The effect of tillage on the macroporosity of the surface layer in a typical Hapludol

In those systems where the soil is altered, better physical properties such as greater macroporosity and hydraulic conductivity are generally achieved, in addition to lower bulk density in the layer under labor than in more conservative systems. The present analysis aims at adapting the existent methodology, building a tension table to adapt the Tempe cells in order to assess the distribution of macropores of a typical Hapludol with three tillage systems, and calibrating the method in a typical Hapludol also cultivated with three tillage systems. The test was conducted in the Field of Teaching and Experimentation, Faculty of Agronomy and Veterinary Medicine at the National University of Rio Cuarto. The experimental design used was designed in randomized complete block, having as variables the following: Conventional Tillage (CT), No-till system without Deep Tillage (NT without DT), and No-till system with Deep Tillage (NT with DT). In each treatment Total Porosity (TP), Bulk Density (BD), Porosity greater than 150μ ($> 150\mu$), between 150μ and 75μ ($150-75\mu$) and greater than 75μ ($> 75\mu$) were evaluated. The results showed that TP is higher in NT with DT than in CT, and this in turn is greater than NT without DT. The greatest values of BD were observed in NT without DT, and the lower in NT with DT. In NT with DT the highest values of pores $>150\mu$ were observed, no differing from CT. No significant differences were found for the variable $150-75\mu$; while for $> 75\mu$ NT with DT it differed significantly from other treatments. It can be concluded that the macroporosity is a sensitive indicator of the physical condition of the soil; and that according to the findings; the pores that contribute the most to the macroporosity of the soil are the superior to 150μ . The tension table made posses enough sensitivity to determine the differences in behavior of the hydraulic properties in a soil.

KEYWORDS: Tension table, macroporosity, decompacting.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación, importancia del trabajo y antecedentes

Uno de los problemas que enfrenta la agricultura actual es la degradación paulatina del recurso suelo (Crovetto, 1992). Se estima que un 40 % del territorio Argentino está afectado por procesos de degradación de sus tierras, y entre otros se menciona la pérdida de las propiedades físicas y químicas naturales de los suelos (SAGyPy CFA, 1995).

En varios sectores de la Llanura Pampeana y de la Chacopampeana se ha observado la degradación de los suelos y la consecuente disminución de productividad (Casas, 1997; García *et al.* 1996), debido a las actividades agropecuarias y en gran parte a las agrícolas, que reemplazaron un ecosistema con cierto grado de complejidad por otro más simplificado y de mayor productividad. Las acciones llevadas a cabo en el reemplazo de los antedichos ecosistemas no se adaptaron a las condiciones de equilibrio de los recursos naturales y los cambios producidos generaron un nuevo sistema con impacto negativo sobre el ambiente, que sobrepasó los límites compatibles con la preservación de la capacidad de regeneración de tal sistema por sí sólo y con la estabilidad a largo plazo de sus propiedades fundamentales. (FAO, 1993; SAGyP y CFA, 1995).

A la consecuente disminución de rendimientos observados se le debería sumar el mayor costo de labranzas y tareas culturales, necesidades de resiembra, mayores dosis y número de aplicaciones de agroquímicos, necesidades crecientes de fertilizantes, ineficiencia en el uso de maquinaria, entre otros (SAGyP y CFA, 1995).

El ambiente natural al que pertenece la llanura bien drenada del centro sur de la provincia de Córdoba alcanzó su estado estacionario con un clima subhúmedo con estación seca mesotermal (Ravello y Seiler, 1979), una vegetación de árboles con pastizal -el Espinal- (Bianco *et al.*, 1987) y suelos con predominancia de partículas esqueléticas (arenas muy finas y limos) y bajo contenido de arcilla y de materia orgánica (Hapludoles/ustoles típicos) (Cantero *et al.* 1984; Bricchi, 1996).

Con el inicio de las actividades agropecuarias alrededor del año 1890, que en un principio se realizaron con labores culturales realizadas con tracción a sangre. Paulatinamente y con el correr de los años se produjo un aumento de potencia y de peso de las herramientas, como así también del número y repetición de labores culturales, ligado esto último al control mecánico de malezas (De Prada, 1994) se inició también la mineralización de los compuestos orgánicos que el suelo tenía, sin la adecuada reposición, produciéndose

pérdidas que oscilan entre 66 y 80 % (Bricchi, 1996; Moreno *et al.*, 1996; Bricchi *et al.*, 2000). Por otro lado con esta pérdida se asocia una modificación de las diferentes fracciones que componen dichos compuestos orgánicos, observándose que las más afectadas son las más gruesas y ligadas a los granos esqueléticos del suelo (Moreno *et al.*, 1996), (Moreno, 2000). Como consecuencia de ello no sólo disminuyó la porosidad total sino también la macro porosidad que es la principal responsable de la conductividad hidráulica del suelo (Bricchi, 1996, Bricchi *et al.*, 2004)

Los cambios de relación esqueleto/plasma orgánico llevaron a la desagregación de las partículas con las consecuentes modificaciones de las propiedades morfológicas y físicas del perfil cultural de los suelos hacia un nuevo estado de equilibrio. En esta nueva situación en general se observa que la estructura superficial se presenta pulverizada y con un elevado dinamismo a través del año o del ciclo del cultivo, manifestando un incremento de la densidad aparente del orden del 18 % entre la siembra y pos cosecha y modificaciones de la distribución de tamaño de poros (Bricchi *et al.*, 1996). Por otro lado la estructura subsuperficial se constituye en terrones extremadamente duros o “pisos de labranzas”, con elevados valores de densidad aparente y fuerte disminución de la porosidad total a través de los macroporos -en algunos casos hasta valores críticos- comprometiendo la conducción del agua, el suministro de oxígeno y el desarrollo radical (Bricchi, 1996; Bricchi y Cisneros 1998)

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; Lal, 1979; Brown *et al.*, 1985; Baker, 1987; Derpsch *et al.*, 1991; Bravo, 1993; Marcano *et al.*, 1994; Bravo, 1995; Díaz Zorita, 1999). Aunque algunas veces los resultados son contradictorios, muchos investigadores coinciden que en aquellos sistemas donde se perturba el suelo se consiguen generalmente mejores propiedades físicas como mayor macroporosidad y conductividad hidráulica, y menor densidad aparente en la capa sometida a laboreo que en la mayoría de los sistemas conservacionistas.

Sin embargo, el efecto de la labranza sobre dichos parámetros puede ser transitorio ya que, por impacto de las gotas de lluvia, el suelo puede recompactarse y disminuir la macroporosidad, lo cual tiene influencia muy fuerte sobre el comportamiento del agua del suelo (Adeoye, 1982; Lindstrom y Onstad, 1984). En este sentido, Edwards *et al.* (1988) encontraron que la siembra directa mejoró la agregación y aumentó la cantidad de macroporos continuos lo que implica una mejora en las propiedades hidráulicas del suelo.

Teniendo en cuenta esto último Soracco *et al.* (a)(2010) observaron que dicho aumento de la cantidad de macroporos se daban en sentido horizontal, lo que podría estar

indicando algún tipo de compactación superficial aunque hay que destacar que no encontraron diferencias significativas en la conductividad hidráulica medida en ambas direcciones (horizontal y vertical)

En contraposición varios autores encontraron menor infiltración en siembra directa que en sistemas con laboreo (VandeBygaart *et al.* 1999; Sasal *et al.* 2006; Alvarez *et al.* 2009) y la atribuyen principalmente a la orientación preferentemente en sentido horizontal de los poros superficiales los cuales son menos efectivos para la transmisión del agua.

De todo lo anteriormente expuesto se desprende la importancia de la cuantificación de la porosidad ya que es posible entender la complejidad del funcionamiento del sistema suelo-cultivo centrando la atención en su sistema poroso en donde se cumplen todos los procesos físicos, químicos y biológicos (Gil, 2006) pero no es solamente la cantidad total de poros lo que define el comportamiento hídrico de un suelo sino también, las características específicas del sistema poroso, en términos de forma, tamaño y distribución (Arranz *et al.* 2004)

Una de las funciones de la porosidad, la de proporcionar aireación a las raíces, se encuentra relacionada a un tamaño correspondiente de poros, lo que nos indica la importancia de conocer su distribución en el espesor mas alterado por la labranza.

Horton *et al.* (1994) observaron que el flujo en los poros grandes es más afectado que en los poros pequeños. Esto sugiere que la compactación destruye más los poros grandes que los pequeños, un fenómeno medido por las curvas de desorción

En general, las herramientas que se utilizan para caracterizar el grado de compactación de un suelo, son el penetrómetro y la medida de la densidad aparente. Sin embargo la porosidad total puede permanecer igual luego de la compactación, mientras que la configuración del sistema poroso siempre se modifica. Los cambios en esta configuración se ven reflejados en la alteración de las propiedades hidráulicas y para el aire de los suelos (Horton *et al.*, 1994; Green *et al.*, 2003). Por lo tanto resulta más valioso el conocimiento de la alteración de las propiedades hidráulicas distinguiendo el aporte de las distintas familias de poros a la tasa de infiltración. Para hacer esta diferenciación en familia de poros, hay diversos métodos para caracterizar la porosidad por tamaño. Bodhinayake *et al.*, (2004) utilizaron diferentes tensiones para distinguir el aporte de diferentes tamaños de poros utilizando los permeámetros de disco, mientras que otra de las técnicas más difundidas para evaluaciones similares en laboratorio es la utilización de mesas de tensión en todas sus variaciones, por lo cual, el objetivo del presente trabajo es adaptar la metodología existente y construir una mesa de tensión para, de algún modo, estandarizar la evaluación de la macroporosidad en distintos suelos con diferentes combinaciones de familias de poros.

1.2. Hipótesis y objetivos

1.2.1. Hipótesis

La macroporosidad (mayor a 75 micras) de la capa superior del perfil cultural (0-10 cm) es igual en siembra directa y en labranza convencional y por ende se estaría produciendo compactación por distintas formas de reacomodamiento de partículas.

La labranza vertical con reja cero incrementa por fisuración la macroporosidad de la capa superior del perfil cultural en SD.

1.2.2. Objetivos

1.2.2.1. General

Adaptar la metodología existente y evaluar la distribución de macroporos de un Hapludol típico con tres sistemas de labranza.

1.2.2.2. Específicos

1. Construir la estructura necesaria para adaptar las celdas Tempe (modelo 1400 Soil Moisture Equipment, Corp Santa Bárbara California USA) a una mesa de tensión que permita determinar poros mayores a 150 micras (20 cm de columna de agua o 0.02 bars) y poros entre 150-75 micras (40 cm de columna de agua o 0,04 bars)

2. Calibrar el método planteado en el objetivo anterior en un Hapludol típico cultivado con tres sistemas de labranzas

3. Comparar los resultados obtenidos con los que se obtuvieron anteriormente en el ensayo de labranzas del Proyecto “Efecto de distintos sistemas de labranzas y rotación de cultivos en la calidad del suelo” que integra el Programa: *Desarrollo de alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sustentable en el oeste de Río Cuarto*. (SECYT-UNRC) que soporta al presente trabajo.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Caracterización del área de estudio

El ensayo 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° 57' Lat. Sur, 64° 50' Long. Oeste). El ensayo se realizó, según la clasificación de Becerra (1999), en la unidad ecológica homogénea llanura con invierno seco, cuya superficie dentro de la provincia de Córdoba es de 27.760 km².

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 entre 50 y 300 mm/año de acuerdo al régimen de lluvias. Las principales adversidades climáticas son: sequías, heladas extemporáneas, granizo y la 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 por ciento. Localmente se presentan pendientes más cortas pero de mayor gradiente (Becker *et al.*, 2001). En esta área predominan sedimentos de tipo loésico franco-arenosos muy finos de la Formación La Invernada (Cantú, 1992), donde predominan Hapludoles típicos de textura franco arenosa muy fina (Cantero *et al.*, 1984).

La región de referencia perteneció a un latifundio –prácticamente en toda su extensión- hasta mediados del siglo XX. (Cantú, 1998) donde se produce una gran subdivisión de la tierra con la colonización del sector y la incorporación de la agricultura invernal (trigo, lino, avena y centeno). Paulatinamente el maíz fue desplazando a estos cultivos de invierno; en la década del 60 se introduce el girasol y en la del 70 la soja. En la actualidad el uso de la tierra es agrícola-ganadero, el cual fluctúa dependiendo del mercado internacional.

La gran irrupción de la agricultura estival con cultivos cuya restitución de materia orgánica es muy baja, acompañada de un aumento en las labores de siembra y un incremento en el tamaño y peso de las maquinarias, provocó una alteración de las condiciones físicas (Bricchi, 1996; Cisneros *et al.*, 1996, Degioanni, 1998) y biológicas (Moreno *et al.*, 1996).

2.2. Descripción del ensayo experimental

El suelo donde se realizó el trabajo es un Hapludol típico, de textura franco arenosa muy fina. El programa de investigación donde se incluye éste trabajo se inició a partir de agosto de 1994. El programa de referencia incluye dos y tres usos –según el momento que se considere en la rotación-, tres sistemas de labranzas, dos dosis de fertilización con nitrógeno y fósforo. El ensayo original se desarrolló utilizando un diseño experimental en parcelas subdivididas dispuestas en bloques completamente aleatorizados, con dos repeticiones espaciales por tratamiento, donde el nivel de rastros aportado por el cultivo antecesor fue el factor principal, las labranzas el secundario y la fertilización el terciario. Posteriormente a las parcelas que se encontraban en sistema de siembra directa se anexó una variable más que es la descompactación profunda con la reja cero que fue creada y patentada en la Universidad Nacional de Río Cuarto.

Para el presente estudio se decidió contemplar sólo a los tratamientos fertilizados ya que se mostraron más sensible al efecto de las intervenciones aplicadas (Bricchi *et al.*, 2003), en base a resultados obtenidos en el proyecto “Efectos de distintos sistemas de labranzas y rotación de cultivos en la calidad del suelo”.

En lo que respecta al diseño experimental utilizado fue Diagrama en Bloques Completos al Azar (DBCA) donde las repeticiones espaciales se realizaron dentro de la misma unidad experimental del diseño original teniendo como variable las labranzas en tres niveles:

❖ LABRANZA con tres niveles

1. Labranza Convencional (LC): se realizó con arado de rejas como labor primaria y posteriormente se utilizó en dos oportunidades rastra de discos excéntrica como labor secundaria.

2. Siembra Directa sin Labranza Profunda (SD s/LP): la siembra se realizó empleando una sembradora diseñada para tal fin.

3. Siembra Directa con labranza profunda (SD c/LP): la siembra se realizó con la misma maquinaria que el tratamiento anterior, previa a la misma se realizó una descompactación profunda realizada con Reja Cero diseñada y patentada en la misma Universidad Nacional de Río Cuarto.

La disposición del ensayo en el campo está esquematizada en la figura 2.1

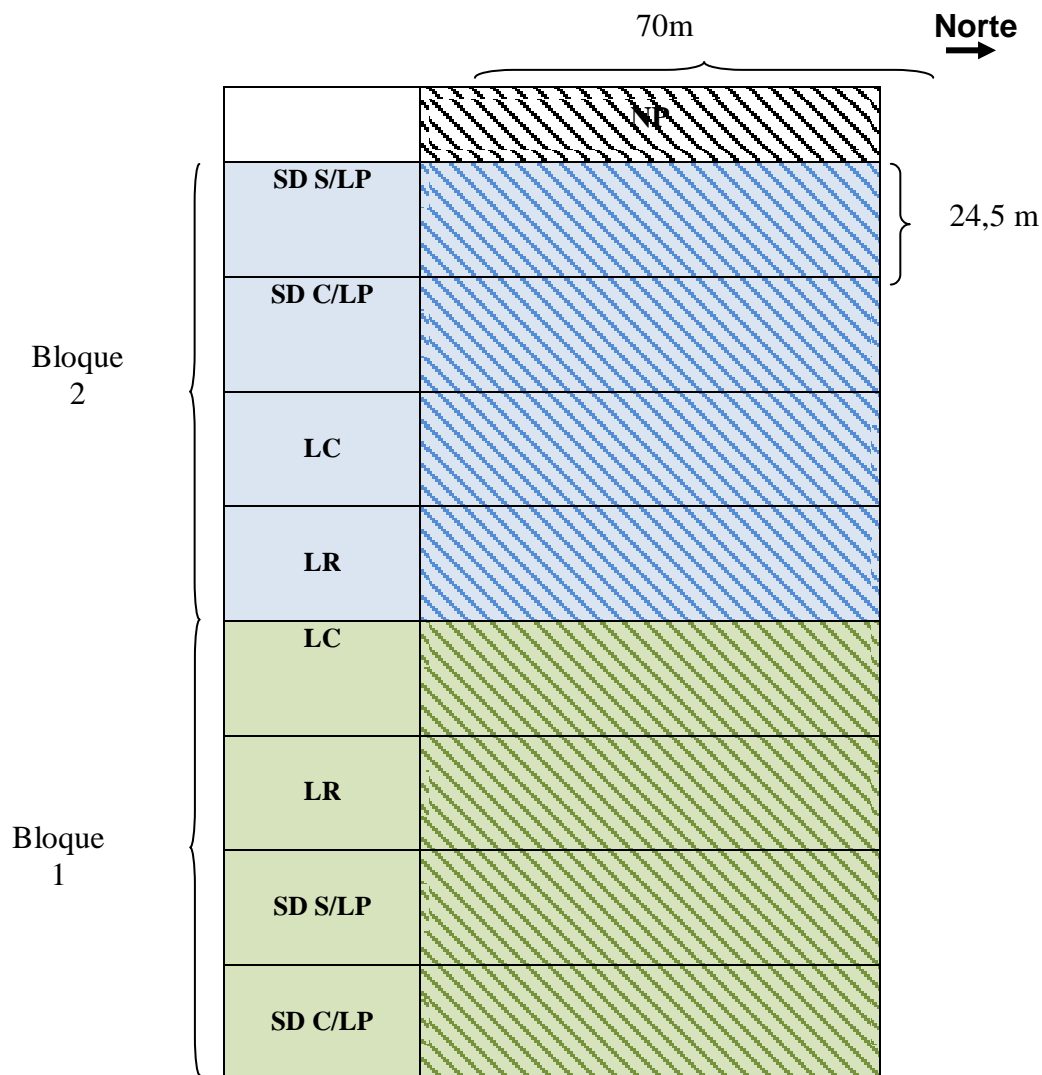


Figura 2.1 Disposición a Campo de las parcelas del ensayo

Referencias: NP: No pastoreado

LC: Labranza Convencional LR: Labranza Reducida SD c/LP: Siembra Directa con Labranza Profunda SD s/LP: Siembra Directa sin Labranza Profunda

2.3. Análisis estadístico

Todos los datos fueron analizados según software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2011) siguiendo un diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) con cuatro repeticiones por tratamiento. Todas las variables fueron analizadas según el test de Shapiro-Wilks (modificado) encontrándose que seguían una distribución normal por lo que no hizo falta ninguna transformación. Se analizó la homogeneidad de varianza mediante el test de

Levene encontrándose que eran homogéneas. Finalmente se realizó análisis de la varianza y separación del medias mediante el test LSD al 5% de probabilidad.

2.4. Descripción de las determinaciones realizadas

2.4.1 Descripción de la mesa de tensión

Con el objetivo de cuantificar únicamente la macroporosidad y poder discriminarla mediante un método que resultara sencillo y que se obtuvieran resultados similares a Esposito (2002) y Parra (2004) para poder comparar y analizar la evolución de la misma en el tiempo, en el presente estudio se diseño una estructura para tal fin.

En cada uno de los tratamientos, se cuantificó el contenido volumétrico de agua a las succiones de 0 bar, 0.02 bar y 0.04 bar mediante el empleo de celdas Tempe (modelo 1400 de Soil Moisture Equipment, Corp. Santa Bárbara California, USA) aplicando la succión por medio de una mesa de tensión que eleva las muestras sobre el nivel del agua. Para obtener el dato de que altura elevar las muestras se aplicó la fórmula de capilaridad (Marshall and Holmes, 1988):

$$D = 30/h \quad (1)$$

Donde

D = Diámetro de poros en micras

h = altura de columna de agua en metros en términos equivalentes de succión

Sabiendo a que succiones se desea trabajar o cual es el rango de poros que se quiere determinar a esta misma fórmula se la modifica por pasaje de términos para obtener el dato de altura que hay que elevar la plataforma de la mesa de tensión resultando en una succión determinada recordando que la muestra está a presión atmosférica y se la sobre eleva por encima de su nivel, el cual lo mantenemos constante mediante una batea con un depósito. La consiguiente formula quedaría así:

$$h = 30/D \quad (2)$$

Donde

h = altura de columna de agua en metros en términos equivalentes de succión

D = Diámetro de poros en micras

A partir de esta ecuación y del contenido de agua volumétrico a diferentes succiones, cuya determinación se explica a continuación en el ítem 2.3.2.3, se obtuvo el volumen de poros correspondiente a cada una de las succiones evaluadas.

La mesa de tensión desarrollada consiste en: una batea que cuenta con un depósito (figura 2.2 ítem 1) con la finalidad de mantener una carga hidráulica constante y un mismo nivel de agua (figura 2.2 ítem 2). Solidario al soporte (o bastidor, figura 2.2 ítem 3) se encuentran dos varillas roscadas de paso ancho (figura 2.2 ítem 4) que son las encargadas de elevar o descender la plataforma (figura 2.2 ítem 5) la cual, se mueve verticalmente en el marco formado por cuatro guías de acero torneadas para evitar cualquier movimiento horizontal y que cualquiera de los extremos de ésta se eleve más que el otro manteniendo así, el paralelismo con el soporte. La plataforma sostiene un marco soporte de madera nivelado anexo a un dispositivo de vasos comunicantes (figura 2.2 ítem 6) desarrollado por Esposito (2002) utilizado para saturar las muestras pudiendo trabajar con un mínimo de una muestra y un máximo de diez. Sobre dicho soporte se colocan las muestras para ser saturada, en la parte inferior de las celdas Tempe (figura 2.2 ítem 7) apoyadas en una placa porosa (saturada previamente) de 1 bar (figura 2.2 ítem 8) sostenidas mediante un aro de goma (figura 2.2 ítem 9) para evitar el movimiento de la muestra como así también hermetizar y evitar la entrada de aire para que la misma no induzca a error. La pérdida de carga que podría esperarse por el movimiento del agua en mangueras con un diámetro pequeño es despreciable ya que el flujo que se genera es muy lento a succiones muy bajas como las analizadas aquí. Para evitar inducir error entre la primera muestra (más cercana al depósito) y la última (más alejada) es importante mantener nivelados los distintos componentes, a saber: la batea (1) y el soporte (2) teniendo presente que la plataforma (5) se mantiene en el mismo nivel que la misma por la presencia de las guías.

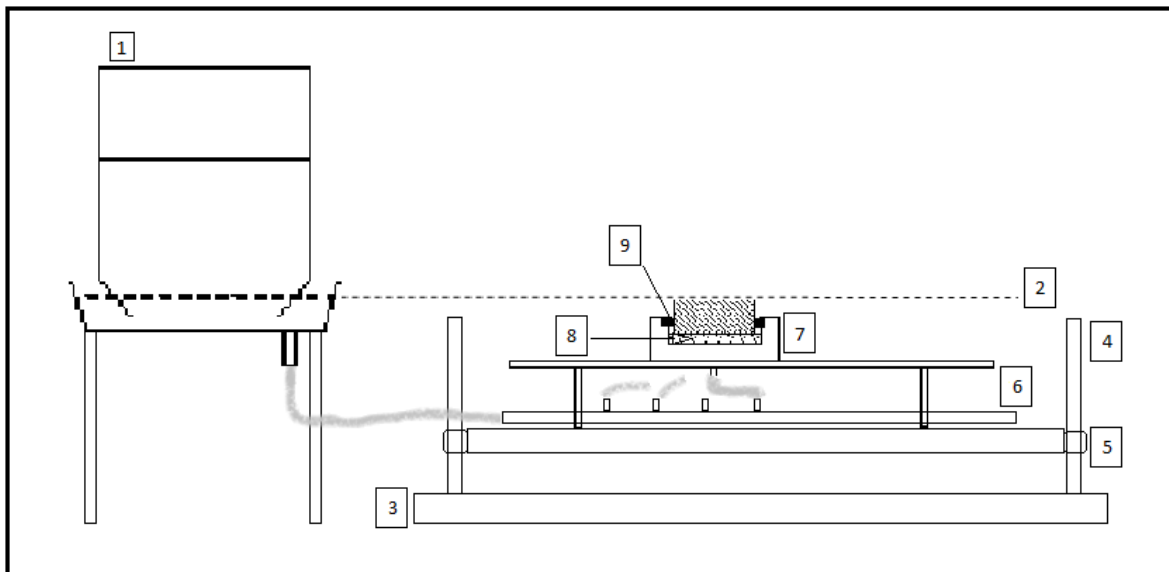


Figura 2.2 Esquema del dispositivo de vasos comunicantes para saturar las muestras y la mesa de tensión diseñada para determinar cualquier porosidad mayor a 75μ .

1. Batea con depósito para mantener carga constante
2. Nivel de agua
3. Soporte de la plataforma (o bastidor)
4. Varilla roscada de paso ancho para elevar las muestras
5. Plataforma que sustenta el dispositivo de vasos comunicantes para saturar las muestras
6. Soporte de madera nivelado y dispositivo de vasos comunicantes
7. Parte inferior de la celda
8. Placa porosa de 1bar saturada previamente
9. Aro de goma (o'ring)

2.4.2 Distribución de tamaño de poros

2.4.2.1 Muestreo

Fue llevado a cabo en las siguientes condiciones: la toma de muestras se hizo en el mes de agosto de 2009 encontrándose el ensayo en barbecho para la próxima siembra. Hay que destacar la cantidad de rastrojo presente debido a que no se pudo cosechar durante 2 campañas consecutivas por daños causados por agentes meteorológicos (principalmente viento y granizo) encontrándose, por lo tanto, abundantes restos de soja y de maíz los que tuvieron que apartarse para lograr una muestra homogénea ya que al tratarse de una situación coyuntural no contemplaba la generalidad del tratamiento. Al realizarse a la salida del invierno y teniendo en cuenta que fue particularmente seco, el contenido hídrico no era el apropiado para la obtención y el traslado de las muestras ya que por el bajo contenido hídrico quedaban muy frágiles. Por estas razones se procedió a humedecer la superficie del suelo para mejorar la extracción y evitar la incorporación de fisuras que podrían llevar a sobre

estimar la porosidad extrayéndose, además, una pequeña muestra para referir dicha humedad aplicada y que no interfiriera en la determinación del peso seco. Para el traslado de las muestras se utilizaron bolsas individuales para evitar el fraccionado y fue necesario contar con un contenedor con el objetivo de mantener la temperatura de las muestras para evitar cualquier evaporación de la humedad (deseccación) contenida con el consiguiente posible cambio en la conformación del espacio poroso.

La toma de muestras se realizó mediante el uso de un muestreador para extracción de muestras con mínima alteración. Se extrajeron cuatro muestras sin alterar por tratamiento, con cilindros metálicos de 3 cm de alto y 5.7 cm de diámetro aproximadamente a una profundidad entre 3- 8 cm. Para su traslado se empaquetaron cuidadosamente en bolsas de nylon y puestas en conservadora para evitar la respiración de los microorganismos que pudiera contener y cualquier pérdida de humedad por evaporación de la misma.

2.4.2.2. Peso específico aparente

Para cada tratamiento, el PEA, se determinó sobre la misma muestra extraída para la determinación explicada en 2.4.2.1 Para tal fin, del mismo sitio de donde se obtuvieron dichas muestras, se determinó la humedad actual mediante la extracción de dos muestras. Así pesando las muestras húmedas en cilindros de los que se conoce su volumen (hasta entonces conservado a baja temperatura y envueltos con una cubierta impermeable para evitar su desecación), restando el peso del cilindro, y descontando el contenido de humedad, se puede conocer el peso específico aparente (PEA) según la siguiente expresión:

$$PEA = [(C+SH) - C - H] / VC \quad (3)$$

Donde:

C = peso del cilindro (g)

SH = peso de la muestra húmeda (g)

H = contenido gravimétrico de agua de la muestra (g)

VC = volumen del cilindro (cm³)

El contenido gravimétrico de agua de la muestra (H) en gramos para hacer la corrección por humedad se calculó según la expresión:

$$H = (PSH - PSS) / (PSS - T) \quad (4)$$

Donde:

PSH = Peso del Suelo en Húmedo (g)

PSS = Peso del Suelo en Seco (g)

T = Tara del recipiente utilizado para secar el suelo en estufa (g)

2.4.2.3. Porosidad total (PT)

Se calculó mediante la expresión de Danielson y Sutherland (1986):

$$PT = [1 - (PEA / PER)] * 100 \quad (5)$$

Donde:

PT = porosidad total (%)

PEA = Peso específico aparente (g cm^{-3})

PER = Peso específico real (se consideró 2.65 g cm^{-3})

2.4.2.4. Saturación de la muestra y procesamiento

Para la saturación de las muestras el proceso comienza con la saturación de las placas porosas de 1 bar para lo cual se sumergen en agua destilada dentro de un desecador al que se le aplica vacío con el objeto de extraer el aire atrapado dentro de la placa. Luego con un dispositivo de vasos comunicantes desarrollado especialmente para este propósito, anexo a la mesa de tensión, se saturan las muestras. Este proceso consiste en colocar en un bastidor de madera nivelado, la parte inferior de las celdas Tempe. En ellas se introducen las placas porosas ya saturadas y se hace coincidir el nivel de agua a la parte superior de éstas para luego colocar el cilindro con la muestra. Finalmente se hace coincidir el nivel del agua con el nivel superior del cilindro.

La saturación de las muestras se completa en aproximadamente 48hs o para mayor seguridad pesar hasta pesada constante. Este es el momento en el que se presentan todos los poros llenos de agua, pero sin la presencia de líquido libre. La superficie debe aparecer brillante.

Al finalizar el proceso anterior se arman completamente las celdas con las muestras saturadas en su interior para luego pesarlas. De ésta manera, se obtiene el contenido volumétrico al punto de succión de 0 bar. Posteriormente para obtener el contenido de agua volumétrico a 0.02 bar y 0.04 bar respectivamente se eleva la plataforma con el bastidor de madera hasta que el nivel de agua de la batea (figura 2.2 ítem 1) (que va a ser la que nos determine la succión que queremos desarrollar) coincida con el nivel inferior de los cilindros que están saturados o a una succión de 0 bar. Luego se pesan las celdas todos los días hasta pesada constante, ya que es muy difícil determinar un número fijo de días, porque depende mucho de la textura y la densidad aparente del suelo en análisis y la succión que se esté determinando. Cuando se alcanzó el punto de equilibrio, en cada succión se determinó el peso de cada celda completa.

Finalmente se pesaron todos los componentes de la celda (con el cilindro pero sin la muestra) y la muestra se llevó a estufa a 105° con circulación de aire forzada hasta peso constante para referir los datos a peso de suelo seco.

Considerando que 1 g de agua equivale a 1 cm^3 de agua, con la diferencia de peso entre succiones se obtuvieron los contenidos volumétricos de agua para cada succión, que a partir de la ecuación 1, se llevaron a volumen de poros de 150 micras (0.02 bar) y 75 micras (0.04 bar)

Los valores así obtenidos representan los volúmenes absolutos de cada clase de poros pero para el análisis de resultados se utilizaron los volúmenes de poros referidos al volumen de suelo en el que se encontraban (cm^3 de cada clase de poros \backslash 100 cm^3 de suelo).

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Peso específico aparente

Los valores de Peso Específico Aparente (PEA) promedio de la capa superficial de los diferentes tratamientos, se presentan en la Tabla 3.1.

Al analizar las determinaciones de PEA en cada tratamiento se encontró que hubo diferencias significativas entre los mismos. Es para destacar que el tratamiento de SD sin Labranza Profunda (SD s/LP) presenta los mayores valores de PEA, dato muy similar a lo observado por Parra (2004) en un trabajo anterior al presente en el mismo ensayo y por Cholaky (2003) que encontró valores de magnitud semejante en un suelo Haplustol típico franco arenoso muy fino bajo agricultura permanente.

Tabla 3.1. Peso específico aparente promedio de la capa superficial para cada labranza.

Tratamiento	PEA (g cm ⁻³)	
SD s/LP	1,32	a
LC	1,21	b
SD c/LP	1,09	c
CV %	7,31	
DMS (Fisher 0.05)	0,09	

C.V (%) Coeficiente de variación en porcentaje. En vertical, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según ANAVA. La comparación de medias se realizó mediante el test LSD

Al comparar los tratamientos: SD c/LP y SD s/LP se puede apreciar que el PEA de este último es un 21% mayor que aquel, lo cual podría confirmar la presencia de compactación no sólo por ausencia de labores de aflojamiento sino también por tránsito de maquinarias, hecho que demuestra Invinkelried et al. (2010) al evaluar el comportamiento y rendimiento del cultivo soja a la compactación realizada con pasadas de maquinarias y Rollán *et al.* (2010) al analizar la factibilidad de una descompactación en parcelas con más de 8 años de SD continua. En contrapartida Soracco *et al.* (2010)(b) señalan que el tránsito no tuvo efecto sobre la densidad aparente y que ésta es mayor en labranzas conservacionistas (Soracco *et al.* 2010)(a), hecho que está en concordancia con lo postulado por Steimbach y Álvarez (2007) que señalan que la siembra directa aumenta la densidad aparente y la dureza del suelo reduciendo su porosidad pero que estos efectos no llegan a niveles de riesgo agronómico.

3.2. Porosidad

3.2.1. Porosidad total

Los valores de porosidad total (PT) promedio de la capa superficial de los diferentes tratamientos, se presentan en la Tabla 3.2.

Al analizar los datos del ANAVA se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Se puede observar la siguiente tendencia: SD c/LP > LC > SD s/LP. Por otro lado si se compara SD s/LP y SD c/LP se observa que la PT es 17% mayor en esta última lo que evidenciaría un proceso de densificación en SD posiblemente reversible con algún grado de remoción de suelo, conclusión fundamentada en los resultados encontrados en SD c/LP y LC. Cuando el suelo es intervenido se produce un importante cambio en dicha actividad con un consecuente colapso de la estructura, desagregación e individualización de partículas, las cuales tendrán un reacomodamiento según la humedad, el sistema de labranza en cada ciclo y el tiempo transcurrido (Bricchi, 1996).

Tabla 3.2. Porosidad total de la capa superficial de los tratamientos analizados expresada en porcentaje (cm^3 100 cm^3 de suelo)

Tratamiento	PT (cm^3 100 cm^3 de suelo)	
SD c/LP	58,88	a
LC	54,49	b
SD s/LP	50,31	c
CV %	6,14	
DMS (Fisher 0.05)	3,51	

C.V (%) Coeficiente de variación en porcentaje. En vertical, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según ANAVA. La comparación de medias se realizó mediante el test LSD

La tendencia a la pérdida de porosidad total en SD comparada con LC y labranzas conservacionistas fue observada por varios autores, entre ellos Shipitalo *et al.* (2000), quienes sin embargo encontraron que los poros fueron más efectivos para transmitir agua, coincidiendo con los resultados de Ferreras *et al.* (1998) quienes encontraron que la PT de un Argiudol típico fue menor en SD que en LR en la profundidad de 0 - 6 cm y de 6 - 20 cm.

Por otro lado Espósito (2002) al trabajar sobre el mismo ensayo a los cuatro años de su implantación en los usos P y NP, encontró que sólo se producían diferencias en la PT de la capa H1 del perfil cultural y que en Pastoreado fue mayor y diferente de la situación de No Pastoreo, mientras que no hubo diferencias entre labranzas. A pesar de ello, la tendencia encontrada fue LC > LR > SD mientras que la tendencia encontrada por Parra (2004) fue

LR>LC>SD siendo esta última similar al presente estudio si se tiene en cuenta la similitud de una Labranza Reducida y una descompactación o labranza profunda. Estos resultados estarían indicando que en el tiempo se están produciendo cambios en la PT hacia un nuevo estado de equilibrio, fundamentalmente en la capa superficial. Así es que se pone de manifiesto que se produce un efecto negativo sobre la condición estructural del suelo, cuando se asocia la escasez de rastros, como así también una mínima remoción del perfil.

3.3. Distribución por tamaño de poros

3.3.1. Poros mayores a 150 μ

Los valores de poros mayores a 150 μ promedios de la capa superficial de los diferentes tratamientos, se presentan en la Tabla 3.3.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos SD c/LP y LC difiriendo ambos de SD s/LP. Se puede observar una tendencia y una diferencia muy marcada entre la labranza del tipo conservacionista SD c/LP y SD s/LP, con diferencias del orden del 97% a favor del primero. Similares resultados fueron observados por Cesaretti *et al* (2010) al analizar distribución de tamaños de poros en un Haplustol éntico en siembra directa, labranza reducida y siembra directa con cultivo de cobertura.

Tabla 3.3. Volumen de poros > 150 μ de la capa superficial de los tratamientos analizados expresada en porcentaje (cm^3 100 cm^{-3} de suelo)

Tratamiento	> 150 μ (cm^3 100 cm^{-3} de suelo)	
SD c/LP	7,88	a
LC	6,06	a
SD s/LP	4,00	b
CV %	32,60	
DMS (Fisher 0.05)	2,039	

C.V (%) Coeficiente de variación en porcentaje. En vertical, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según ANAVA. La comparación de medias se realizó mediante el test LSD

3.3.2. Poros entre 150 μ y 75 μ

Los valores de poros entre 150 μ y 75 μ promedios de la capa superficial de los diferentes tratamientos, se presentan en la Tabla 3.4.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos analizados pero se observó una tendencia entre los diferentes tratamientos siguiendo el orden SD c/LP > LC > SD s/LP. Es importante destacar que la magnitud del Coeficiente de Variación se explica por la elevada variabilidad que esta propiedad del suelo presenta normalmente, lo cual dificulta encontrar diferencia estadísticas.

Tabla 3.4. Volumen de poros entre 150 μ y 75 μ de la capa superficial de los tratamientos analizados expresada en porcentaje (cm^3 100 cm^3 de suelo)

Tratamiento	150-75 μ (cm^3 100 cm^3 de suelo)
SD c/LP	4,81
LC	2,23
SD s/LP	2,09
CV %	83,69
DMS (Fisher 0.05)	2,67

C.V (%) Coeficiente de variación en porcentaje. En vertical, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según ANAVA. La comparación de medias se realizó mediante el test LSD

3.3.3. Poros mayores a 75 μ

Los valores de poros mayores a 75 μ promedios de la capa superficial de los diferentes tratamientos, se presentan en la Tabla 3.5.

Como se puede observar SD c/LP presenta los mayores valores, difiriendo significativamente en un 45% de LC y que este tipo de labranza a su vez, no difiere significativamente de SD s/LP, datos éstos, que son similares a los encontrados por Parra (2004) en el mismo ensayo si se tiene en cuenta que la condición Labranza Reducida estudiada por el mismo puede compararse por su similitud en cuanto a remoción y sus valores a la condición de SD c/LP del presente estudio. Por otro lado, estos resultados difieren a los encontrados por Esposito (2002) en el mismo tipo de suelo y en similares tratamientos, donde las diferencias halladas fueron que la proporción de poros mayores a 75 μ en SD era mayor a LC y no difería de LR. Entre las labranza de SD c/LP y la SD s/LP la diferencia significativa es hasta del 100 %. Es importante destacar que pasaron 12 años entre las mediciones del mismo y las que sustentan dicho trabajo, por lo que presumiblemente

estas diferencias podrían ser por tránsito de maquinarias. Sería interesante seguir con los ensayos para estudiar la evolución del parámetro aquí analizado.

Tabla 3.5. Volumen de poros mayores a 75μ de la capa superficial de los tratamientos analizados expresada en porcentaje (cm^3 100 cm^{-3})

Tratamiento	$>75\mu$ (cm^3 100 cm^{-3} de suelo)	
SD c/LP	12,69	a
LC	8,15	b
SD s/LP	6,23	b
CV %	39,15	
DMS (Fisher 0.05)	3.70	

C.V (%) Coeficiente de variación en porcentaje. En vertical, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según ANAVA. La comparación de medias se realizó mediante el test LSD

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

- La mayor macroporosidad de SD c/LP en relación a LC puede deberse a que sólo se fractura el suelo por sus líneas de fractura naturales sin destrucción total de la estructura por inversión del pan de tierra.
- Las labores de descompactación profunda mejoran la macroporosidad en suelos con muchos años continuos de SD lo que podría mejorar la infiltración del agua superficial.
- Los poros que más aportan a la macroporosidad del suelo son los mayores a 150 μ .
- La macroporosidad es un indicador sensible de la condición física (estructural) del suelo.
- La mesa de tensión realizada posee suficiente sensibilidad para determinar las diferencias de comportamiento de las propiedades hidráulicas en un suelo Hapludol típico franco arenoso muy fino.
- Sería importante realizar en años posteriores nuevas mediciones a fin de constatar la evolución de los parámetros estudiados.

CAPÍTULO 5

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ ADEOYE, K. B. 1982. Effect of tillage depth on physical properties of a tropical soil on yield maize, sorghum and cotton. *Soil Tillage Res.* 2: 225-231
- ✓ ALVAREZ C. R.; M. A. TABOADA; F. H. GUTIERREZ BOEM; A. BONO; FERNANDEZ P. L.; P. PRYSTUPA. 2009 Topsoil properties as affected by tillage systems in the rolling Pampa Región of Argentina. *Soil Sci Soc. AM J.* 73:1242-1250
- ✓ ARRANZ C.; J GALANTINI; J. IGLESIAS; H. KRUGER y S. VENANZI. 2004. Sistemas de labranzas: Efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de poros. Actas XIX congreso Argentino de la ciencia del suelo. Paraná 22 al 25 de junio de 2004. En CD
- ✓ BAKER, H. 1987. Effects of tillage practices on cotton double cropped with wheat. *Agron. J.* 79: 513-516
- ✓ BECERRA, V. 1999 Plan Director. ADESUR (Asociación Interinstitucional para el Desarrollo del sur de Córdoba). Dpto. de Prensa y publicaciones. Universidad Nacional de Río Cuarto. 51-68
- ✓ BIANCO, C.; KRAUSS, T.; ANDERSON, D.L. y J.J. CANTERO 1987 Formaciones vegetales del suroeste de la provincia de Córdoba (República Argentina). *Rev. U.N.R.C.* 7: 5-66.
- ✓ BODHINAYAKE, W. L. 2004 Characterization of surface soil hydraulic properties in Sloping landscapes. Tesis de maestría. University of Saskatchewan. Saskatchewan, Canadá
- ✓ 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 en Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay. 117 pp.
- ✓ BRAVO, C. 1995. La labranza conservacionista en Venezuela. III Reunión de la Red Latinoamericana de labranza conservacionista (RELACO). San José, Costa Rica. Memorias. Pp 235-247.
- ✓ BRICCHI, E. 1996 Relaciones entre la compactación, morfología y propiedades físicas en un Hapludol típico de Río Cuarto, Tesis de Magister Scientiae en Ciencias del Suelo. Escuela para graduados de la Facultad de Agronomía de la U.B.A. Buenos Aires. Argentina

- ✓ BRICCHI, E. y J. CISNEROS 1998 Soil porosity modification induced by compaction. International Soil Sci. Soc. CD Sci. Reg. 2309
- ✓ BRICCHI, E. RIBERI, L., AQUINO, H. DEGIOANNI, A. Y F. FORMÍA 2000. Dinámica de las condiciones superficiales de un Hapludol típico con tres sistemas de labranzas. The International soil conservation organization conference. Bs. As. 22-27 de octubre 2000. Presentación en póster
- ✓ BRICCHI, E.; FORMÍA, F.; ESPOSITO, G.; RIBERI, L. y H. AQUINO 2003. Efecto del uso, las labranzas y el pastoreo de los rastrojos, sobre el carbono orgánico y la estructura del suelo. Spanish Journal of Agricultural Research (en prensa)
- ✓ 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
- ✓ 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.; BRICCHI, E.; BECERRA, V.; CISNEROS, J. 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.
- ✓ CANTERO A.; J. CISNEROS; E. BRICCHI; O. GIAYETTO; A. DEGIOANNI; J. MARCOS y C. CHOLAKY. 2005. Reja-Cero. Registro N° AR006081B1.
- ✓ 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
- ✓ CANTÚ, M.P. 1998. Estudio geocientífico para la evaluación ambiental y la ordenación territorial de una cuenca pedemontana. Caso:Cuenca del Arroyo La Colacha, Dpto. Río Cuarto, provincia de Córdoba. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina. 376 pp. Inédito
- ✓ CASAS, R. 1997 Causas y evidencias de la degradación de los suelos en la Región Pampeana. Hacia una agricultura productible y sostenible en la pampa. De. CPIA 5:99-164
- ✓ CESARETTI C.; M. V. BASANTA; J.P. GIUVERGIA Y E. LOVERA 2010 Evaluación de porosidad e infiltración en un Haplustol Éntico bajo diferentes labranzas y secuencias de cultivo. Actas XXII Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Rosario 31 de mayo al 4 de junio de 2010. En CD

- ✓ CHOLACKY, C.G. 2003 Efectividad y persistencia de una labor con subsolador alado, en función de la compactación y humedad antecedentes. Tesis magíster scientiae en manejo y recuperación de tierras. Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria
- ✓ CISNEROS, J. M.; CHOLAKY, C.; BRICCHI, E.; GIAYETTO, O. Y J. J. CANTERO 1996 Evaluación del efecto del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Haplustol típico del centro de Córdoba. XV Congreso de la ciencia del suelo: 23-24. Sta. Rosa, La Pampa, Argentina.
- ✓ CROVETTO, C. 1992. Rastrojo sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Santiago, Chile, Editorial Universitaria San Francisco. 301 pp
- ✓ DANIELSON, R.E. y P.L. SUTHERLAND 1986 Porosity. En: A. Klute (ed) Methods of soil analysis. Part 1 Physical and mineralogical methods-agronomy Monograph no. 9, 2nd edition. ASA and SSSA, Madison, WI.
- ✓ DE PRADA, J. 1994 Proyecto de ordenamiento y de conservación de suelos. Gral. Deheza (Córdoba). Tesis MS (No public.).
- ✓ DEGIOANNI, A.J. 1998 Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto (Argentina). Tesis doctoral universidad de Alcalá de Henares. Departamento de geografía. Alcalá de Henares, España.
- ✓ DERPSCHE, R., C. H. ROHT, N. SIDIRAS y U. KOPKE. 1991. Controle da erosao no Paraná. Sistemas de cobertura do solo, plantio directo e preparo conservacionista do solo. IAPAR. Brasil. 272 pp
- ✓ DIAZ-ZORITA, M. 1999 Efecto de seis años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. Ciencia del Suelo vol. 17, 1: 31-35
- ✓ 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>
- ✓ EDWARDS, W. M., L. D. NORTON y C. E. REMOND. 1988. Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil. Sci. Soc. Am. J. 52: 483-487
- ✓ ESPÓSITO, G.P. 2002 Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a diferentes sistemas de labranza en cultivo de maíz. Tesis Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina
- ✓ FAO 1993 Estudio sobre las razones del éxito o fracaso de los proyectos de conservación del suelo. Boletín de suelos de la FAO Número 64.
- ✓ FERRERAS L.; DE BATISTA, J. J.; AUSILIO A. y C. PECORARI 1998 Efecto de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico. XVI Congreso Argentino de la ciencia del suelo: 23-24. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.

- ✓ GARCÍA, J. R., R. GIMÉNEZ, G. A. SANZANO y R. D. CORBELLA. 1996. Influencia en 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.
- ✓ GIL R. 2006. Infiltrómetro-Permeámetro de disco. Actas XX congreso Argentino de la ciencia del suelo. Salta-Jujuy 19 al 22 de marzo de 2006. En CD
- ✓ GREEN T.R.; L.R. AHUJA; JG BENJAMIN. 2003. Advances and challenges in predicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. *Geoderma* 116: 3-27
- ✓ HORTON R; M.D. ANKENY y R.R. ALLMARAS. 1994. Effects of compaction on soil hydraulic properties. En BD. Soane c Ouwerkerk (eds.) *Soil compaction in crop production*. Elsevier, Amsterdam, pp. 141-165
- ✓ LAL, R. 1979. Importance of tillage systems in soil and management in the tropics. En: *Soil Tillage and Crop Production*. IITA Proc., Serie. N° 2: 25-32.
- ✓ LARSON, W. E. 1964. Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 118-122
- ✓ LINDSTROM, M. J. y C. A. ONSTAD. 1984. Influence of tillage systems on soil physical parameters and infiltration after planting. *Journal of Soil Water Conservation*. 32: 149-152
- ✓ MARCANO, F., C. OHEP y F. DESIDERIO. 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* 1 XDIV (1): 5-22
- ✓ MARSHAL, T. y HOLMES W. 1998. *Soil physics* 2nd Ed. Cambridge University Press, Cambridge, England
- ✓ MORENO, I.; CHOLAKY C.; LESSER, M. y J. MARCOS 1996. Efecto de la labranza sobre el contenido de carbono orgánico y su implicancia en la estabilidad estructural. XV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Santa Rosa, La Pampa, Argentina
- ✓ MORENO, I.S. 2000 La materia orgánica y el uso de los suelos. Su impacto sobre propiedades físicas. Tesis Magíster en Ciencias del Suelo. Universidad del Sur. Bahía Blanca, Argentina
- ✓ PARRA, B 2004 Efecto de distintas intervenciones tecnológicas sobre indicadores de la calidad física de un hapludol típico Trabajo de tesis para la obtención del título de ing. agrónomo. Facultad de agronomía y veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto.

- ✓ RAVELLO, A. y R. SEILER 1979 Agroclima de la provincia de Córdoba: Expectativa de precipitación en el curso del año. Revista de Investigaciones Agropecuarias XIV 3: 71-136
- ✓ ROLLÁN, A.; O. A. BACHMEIER; H. APEZTEGUÍA; A. M. AOKI; C. I. VETTORELLO; G. F. ESMORIZ; M. R. ATECA; R SERENO; A. RINGUELET; R. L. LUQUE y R. G. BONGIVANNI. Replanteo de la Siembra Directa continua en la región agrícola central de la provincia de Córdoba. Actas XXII Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Rosario 31 de mayo al 4 de junio de 2010. En CD.
- ✓ SAGyP y CFA 1995 El deterioro de las tierras en la República Argentina. Alerta amarillo. DUO/Comunicación visual y SVN 987-95327-3-2
- ✓ SASAL M. C.; A.E. ANDRIULO; M.A. TABOADA. 2006 Soil Porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. Soil tillage Res 87:9-18
- ✓ SHIPITALO, M.J.; DICK, W.A. y W.M. EDWARDS 2000 Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. Soil and Tillage Research 53: 167-183
- ✓ SORACCO C.G.(a); L.A. LOZANO; G.O. SARLI; P.R. GELATI; L.L. FOURNIER y R.R. FILGUEIRA 2010. Anisotropía en la conductividad hidráulica saturada en un suelo con siembra directa y labranza conservacionista. Actas XXII Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Rosario 31 de mayo al 4 de junio de 2010. En CD
- ✓ SORACCO C.G. (b); L.A. LOZANO; G.O. SARLI; P.R. GELATI y R.R. FILGUEIRA 2010. Persistencia del efecto de la compactación por tránsito en la configuración del sistema poroso de un suelo de la región pampeana. Actas XXII Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Rosario 31 de mayo al 4 de junio de 2010. En CD
- ✓ STEINBACH H. S. y R. ALVAREZ. ¿Afecta el sistema de labranza las propiedades físicas de los suelos de la región pampeana? Informaciones Agrónomicas del Cono Sur, 33: 7-12
- ✓ VANDENBYGAART R.; R PROTZ y D TOMLIN. 1999. Changes in pore structure in a no-till chronosequence of silty loam soil, southern Ontario. Soil Sci 79: 149-160

ANEXOS

Tabla N^o 1. ANAVA de la variable “Volumen de poros > a 75 μ”

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
vol poro >75	24	0,44	0,32	39,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	184,29	4	46,07	3,69	0,0218	
bloque	1,08	1	1,08	0,09	0,7714	
tratamiento	175,91	2	87,96	7,05	0,0051	
N ^o	7,29	1	7,29	0,58	0,4539	-0,49
Error	236,98	19	12,47			
Total	421,27	23				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,69595

Error: 12,4728 gl: 19

tratamiento	Medias	n	E.E.
SD c/LP	12,69	8	1,25 A
LC	8,15	8	1,25 B
SD s/LP	6,23	8	1,25 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)

Tabla N^o 2. ANAVA de la variable “Volumen de poros > a 150 μ”

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
vol poro >150	24	0,53	0,43	32,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	81,24	4	20,31	5,35	0,0047	
bloque	18,50	1	18,50	4,87	0,0398	
tratamiento	60,34	2	30,17	7,94	0,0031	
N ^o	2,41	1	2,41	0,63	0,4360	-0,28
Error	72,16	19	3,80			
Total	153,40	23				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,03946

Error: 3,7979 gl: 19

tratamiento	Medias	n	E.E.
SD c/LP	7,88	8	0,69 A
LC	6,06	8	0,69 A
SD s/LP	4,00	8	0,69 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)

Tabla N° 3. ANAVA de la variable “Volumen de poros entre 150 y 75 μ”

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
vol poro 150-75	24	0,35	0,22	83,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	67,38	4	16,84	2,60	0,0693	
bloque	28,54	1	28,54	4,40	0,0496	
tratamiento	37,52	2	18,76	2,89	0,0801	
N°	1,32	1	1,32	0,20	0,6570	-0,21
Error	123,30	19	6,49			
Total	190,68	23				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,66593

Error: 6,4895 gl: 19

tratamiento	Medias	n	E.E.
SD c/LP	4,81	8	0,90 A
SD s/LP	2,23	8	0,90 A B
LC	2,09	8	0,90 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Tabla N° 4. ANAVA de la variable “PEA”**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PEA	24	0,64	0,57	7,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	0,26	4	0,07	8,49	0,0004	
bloque	0,04	1	0,04	4,56	0,0460	
tratamiento	0,21	2	0,10	13,39	0,0002	
N°	0,02	1	0,02	2,62	0,1218	-0,03
Error	0,15	19	0,01			
Total	0,41	23				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,09203

Error: 0,0077 gl: 19

tratamiento	Medias	n	E.E.
SD s/LP	1,32	8	0,03 A
LC	1,21	8	0,03 B
SD c/LP	1,09	8	0,03 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Tabla N° 5. ANAVA de la variable “PT”

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Porosidad	24	0,64	0,56	6,14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Coef					
Modelo	373,92	4	93,48	8,33	0,0005
bloque	51,95	1	51,95	4,63	0,0445
tratamiento	293,75	2	146,87	13,09	0,0003
N°	28,22	1	28,22	2,51	0,1293
0,97					
Error	213,17	19	11,22		
Total	587,09	23			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,50538

Error: 11,2197 gl: 19

tratamiento	Medias	n	E.E.
SD c/LP	58,88	8	1,18 A
LC	54,49	8	1,18 B
SD s/LP	50,31	8	1,18 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

IMAGEN DE LA MESA DE TENSIÓN DESARROLLADA

