

MAESTRIA EN PRODUCCIÓN VEGETAL

TESIS DE POSTGRADO

*“Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a
diferentes sistemas de labranzas en cultivo de maíz”*

Tesista: Gabriel Pablo Espósito

Director: Jorge Jacinto Gesumaría

Co-director: Estela Bricchi

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

INDICE GENERAL

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción General	1
1.2. Hipótesis de trabajo	4
1.2.1. Hipótesis parciales	4
1.3. Objetivos	5
1.3.1. General	5
1.3.2. Específicos	5

CAPITULO 2 : MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Características del área dónde se realizó el estudio	6
2.2. Descripción del suelo bajo estudio	7
2.2.1. Descripción del perfil del suelo	8
2.2.2. Descripción estructural del perfil	8
2.3. Descripción del ensayo experimental	8
2.4. Descripción de las determinaciones realizadas	10
2.4.1. Determinaciones realizadas sobre la morfología y propiedades físicas del suelo	10
2.4.1.1. Cantidad de rastrojos en superficie	10
2.4.1.2. Grado de cobertura con rastrojos	10
2.4.1.3. Perfil cultural	10
2.4.1.4. Peso específico aparente	12
2.4.1.5. Curva característica de humedad	12
2.4.1.6. Distribución por tamaño de poros	14
2.4.2. Determinaciones realizadas sobre la dinámica hídrica del suelo	14
2.4.2.1. Conductividad hidráulica saturada	14

2.4.2.2. Ecuación representativa de la curva característica de humedad	15
2.4.2.3. Curva de conductividad hidráulica no saturada	15
2.4.2.4. Índice de continuidad por clase de poros	16
2.4.2.5. Ecuación de conductividad hidráulica saturada	17
2.4.3. Determinaciones realizadas sobre la producción del cultivo de maíz	17
2.4.3.1. Fenología del cultivo	17
2.4.3.2. Humedad gravimétrica	17
2.4.3.3. Lámina de agua	18
2.4.3.4. Materia seca total de la parte aérea	18
2.4.3.5. Rendimiento y componentes	18
2.4.4. Determinaciones realizadas sobre el balance hídrico del cultivo de maíz	19
2.4.4.1. Descripción del modelo SWB	20
2.5. Análisis de resultados	24

RESULTADOS

CAPITULO 3 : MORFOLOGÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

3.1. Introducción	25
3.2. Resultados y discusión	28
3.2.1. Cantidad de rastrojo y grado de cobertura	28
3.2.2. Descripción de los perfiles culturales	31
3.2.2.1. Situación con pastoreo	31
3.2.2.2. Situación sin pastoreo	34
3.2.3. Peso específico aparente	37
3.2.4. Porosidad	38
3.2.4.1. Macroporos (poros > 75 μ)	38

3.2.4.2. Distribución por tamaño de poros	40
3.3. Integración de las variables estudiadas	43
3.4. Conclusiones preliminares	48

CAPITULO 4 : DINÁMICA HÍDRICA DEL SUELO

4.1. Introducción	49
4.1.1. Conductividad hidráulica saturada (Ks)	49
4.1.2. Curva característica de humedad	51
4.2. Resultados y discusión	52
4.2.1. Conductividad	52
4.2.1.1. Determinación de Ks en la capa H ₁	52
4.2.1.2. Determinación de Ks en la capa H ₅₋₆	54
4.2.1.3. Determinación de Ks en la capa H ₅₋₇	55
4.2.2. Curva de retención hídrica	56
4.3. Integración de las variables estudiadas	62
4.4. Conclusiones preliminares	66

CAPITULO 5 : PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ

5.1. Introducción	67
5.2. Resultados y discusión	71
5.2.1. Fenología y condiciones climáticas	71
5.2.2. Producción de biomasa, rendimiento y componentes del rendimiento	73
5.2.3. Lámina total de agua	76
5.3. Integración de las variables estudiadas	77
5.4. Conclusiones preliminares	82

CAPITULO 6 : BALANCE HÍDRICO DEL CULTIVO DE MAÍZ

6.1. Introducción	83
6.2. Resultados y discusión	86
6.2.1. Modelo SWB	86
6.2.1.1. Calibración del Modelo SWB a las condiciones locales	86
6.2.2.2. Simulación	87
6.3. Balance hídrico	89
6.4. Integración de las variables estudiadas	92
6.5. Conclusiones preliminares	96

CAPITULO 7 : CONCLUSIONES FINALES

BIBLIOGRAFÍA CITADA

ANEXOS

ANEXO I: Cuadros de ANAVA correspondientes al Capítulo 3	114
ANEXO II: Cuadros de ANAVA correspondientes al Capítulo 4	121
ANEXO III: Cuadros de ANAVA correspondientes al Capítulo 5	127
ANEXO IV: Cuadros de ANAVA correspondientes al Capítulo 6	132

CAPITULO 1

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las dos últimas décadas están caracterizadas por una creciente valorización de los bienes ambientales y por una necesidad, cada vez más apremiante, de impulsar modelos de desarrollo económico que sean sustentables y compatibles con la preservación de los recursos naturales y la calidad del ambiente (Harris, 1996; Viglizzo, 1994), entendiendo por sustentabilidad al objetivo de cubrir las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras (Kraus, T. 1999; Smith, 1994).

Diversos autores plantean que el crecimiento poblacional global alcanzaría el límite de la capacidad de sustentación en los próximos 30 años, por ello la presión a incrementar el rendimiento está en conflicto con los requerimientos de sustentabilidad a largo plazo (Darst, 2000; Harris, 1996). Por otro lado, Alier (1995) plantea que en Latinoamérica la degradación del ambiente no es causada por un exceso de población sino por una historia de exportaciones a expensas del capital natural.

Esta problemática, implica una creciente necesidad de investigación en el mantenimiento de la calidad de los suelos, dado que éstos pueden ser degradados o mejorados, tanto por procesos naturales como por las actividades del hombre (Smith, 1994). Según Lal (1998) la más expandida y seria forma de degradación del suelo es la erosión hídrica y eólica, siendo afectadas mundialmente 1094 y 548 millones de ha respectivamente. En términos generales se ha estimado que cada año se abandonan por degradadas e improductivas 12 millones de ha de tierras arables con pérdidas de producción de grano estimadas en 14 millones de toneladas (Smith, 1994)

El desarrollo de prácticas de agricultura sustentable depende, en gran medida, del manejo de la productividad de los suelos en el largo plazo a niveles de viabilidad económica. Ello requiere del conocimiento básico, de las

interacciones entre los cultivos y la estructura-textura de los suelos (Lal and Stewart, 1995).

En la Argentina en la década del sesenta comenzó un proceso de expansión agrícola basado fundamentalmente en la generalización de la labranza tradicional con ausencia de esquemas rotacionales que contemplaran el sostenimiento de la calidad de los suelos, y como consecuencia, comenzaron a surgir e intensificarse nuevas limitantes edáficas como erosión, salinización, disminución del contenido de materia orgánica, degradación física, etc. (Peretti 1994). De acuerdo a lo estimado por Viglizzo (1994), en la Argentina se puede encontrar un 20 % de sus suelos expuestos a procesos de erosión de distinta naturaleza e intensidad.

Entre las principales variables climáticas que afectan el crecimiento y rendimiento final de los cultivos se destacan entre otras, la radiación solar, la temperatura y la humedad del suelo. Sin embargo, durante la estación de crecimiento del maíz, la humedad del suelo es la principal variable y por lo tanto en la mayoría de los años es la mayor limitante en la determinación del rendimiento (Andrade, *et al* 1996; Dale, *et al* 1995; Wager, *et al* 1993).

La tecnología agrícola ha contribuido a incrementar el rendimiento potencial de los cultivos, pero actualmente el mismo es, en ocasiones, severamente reducido por el déficit de humedad del suelo. Además a medida que la cantidad y frecuencia de las precipitaciones decrecen, adquiere importancia la necesidad de almacenar agua en el suelo para el uso de las plantas entre precipitaciones. El estrés hídrico es normalmente mas severo en regiones áridas y semiáridas, sin embargo, puede llegar a ocurrir en regiones húmedas y subhúmedas debido a sequías estacionales, baja capacidad de infiltración y/o almacenaje de agua del suelo, o a la imposibilidad de las raíces de crecer o proliferar dentro de las zonas del suelo húmedo (Dale, *et al* 1995).

En el Dpto. de Río Cuarto sobre una serie de 12 ciclos agrícolas entre 1985/86 y 1996/97 se registraron tres sequías severas durante la estación de crecimiento del cultivo de maíz que afectaron su rendimiento, especialmente

por ocurrir juntamente con elevadas temperaturas en el periodo entre floración y madurez del cultivo. (Seiler, *et al* 2000; Seiler, *et al* 1998).

La compactación sub-superficial de los suelos induce a una mayor sensibilidad a la sequía y a una inadecuada aireación del mismo, reduciendo la eficiencia en la toma de nutrientes y la penetración de las raíces debido a elevados valores de resistencia (Hakansson, *et al* 1988 ; Horn and Hartge 1990).

Cisneros *et al.* (1997) demostraron que la agricultura continua, en Haplustoles típicos del área manisera de Córdoba, ha alterado significativamente la densidad aparente del suelo, su conductividad hidráulica saturada y su resistencia mecánica a la exploración radical comparadas con una situación de no uso (monte). Además éstos autores indicaron que la compactación subsuperficial se explica, en parte, por la coincidencia de laborear el suelo en estado de humedad óptima para producir la máxima compactación. La evaluación mostró que éstos suelos presentan un elevado grado de alteración de las variables estudiadas de entre 85 y 95 %, es decir muy próximos a la degradación máxima posible.

La cobertura con rastrojos aumenta la disponibilidad hídrica del suelo por reducir el encostramiento superficial con lo que se aumenta la infiltración (Cassel *et al.* , 1995). En este sentido, Quiroga *et al.* (1998) establecieron para un rango de coberturas entre 10 a 95 %, que el contenido de agua del suelo (0-20cm) aumentaba a razón de 0,2 mm por cada punto de incremento de cobertura.

Núñez *et al* (1996), luego de once años de labranzas continuas en la EEA INTA Manfredi, concluye que la disponibilidad de agua fue mas elevada en los sistemas de labranza con mayor cobertura de residuos, como consecuencia de un menor escurrimiento y evaporación, y una mayor infiltración.

Existen numerosos trabajos en los que se ha evaluado la influencia de los sistemas de labranzas sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos.

En algunos, se ha considerado el efecto conjunto de la cubierta de rastrojos y los sistemas de labranza, pero el análisis del efecto combinado de

las labranzas con el pastoreo de los rastrojos sobre las mencionadas propiedades de los suelos no está bien documentado a nivel mundial, siendo aún mas carente la información regional en el tema. De esta manera se define la originalidad del presente trabajo.

1.2. HIPOTESIS DE TRABAJO

- Las labranzas y la cantidad de rastrojos, condicionan el funcionamiento de las propiedades físicas del suelo y por consiguiente la disponibilidad del agua para la producción del cultivo de maíz.

1.2.1. HIPOTESIS PARCIALES

- Las diferentes labranzas modificarían la morfología del suelo, al alterar su homogeneidad y el tipo de terrones presentes en el perfil cultural.
- El pastoreo de los rastrojos generaría compactación del suelo.
- El laboreo convencional disminuiría la proporción y continuidad de los macroporos del suelo en la capa arable, mientras que la siembra directa y la labranza reducida incrementarían ambas variables.
- La siembra directa sin pastoreo de los rastrojos sería el sistema de laboreo del suelo que generaría una mayor conductividad hidráulica saturada en todo el perfil cultural.
- La siembra directa y la labranza reducida sin pastoreo mantendrían un mayor nivel de humedad del suelo, lo cual favorecería la producción en biomasa y grano.

- Un mayor contenido de humedad del suelo, durante el crecimiento del cultivo de maíz en siembra directa y labranza reducida, sería fruto de un menor escurrimiento del agua de lluvia y de una menor evaporación.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. General

- Determinar los efectos de algunos sistemas de labranza y del pastoreo de los rastrojos sobre las propiedades físicas del suelo que modifican la disponibilidad de agua para el cultivo de maíz.

1.3.2. Específicos

- Evaluar el impacto de los diferentes sistemas de labranza sobre el grado de homogeneidad y el tipo de terrones presentes en el perfil cultural.
- Evaluar el efecto del pastoreo de los rastrojos sobre algunas propiedades físicas del suelo.
- Determinar el efecto de las labranzas sobre la macroporosidad del suelo y sobre la conducción de agua bajo condiciones de saturación.
- Cuantificar la disponibilidad de agua del suelo en los diferentes sistemas de laboreo.
- Ajustar y calibrar un modelo que permita cuantificar los componentes del balance hídrico del cultivo de maíz y simular su crecimiento y desarrollo a los efectos de determinar diferencias entre las labranzas probadas.

CAPITULO 2

MATERIALES Y METODOS

2.1. CARACTERÍSTICAS DEL AREA DONDE SE REALIZO EL ESTUDIO

El estudio se realizó en el Campo de docencia y experimentación (CAMDOCEX) de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la U.N.R.C. “Pozo del carril”, ubicado en cercanías del paraje La Aguada, Dpto. Río Cuarto. El mismo se ubicaría, dentro de la clasificación de Becerra (1996), en la unidad ecológica homogénea llanura con invierno seco cuya superficie dentro de la provincia de Córdoba abarca los 27.760 km².

El clima es templado subhúmedo, con régimen de precipitaciones monzónico (80% de las lluvias concentradas en el periodo 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 6.000 m de largo con un gradiente del 2 al 3 %. Localmente se presentan pendientes más cortas pero de mayor gradiente (Becker *et al.*, 2001).

En este relieve afloran sedimentos de tipo loésico sobre los que se desarrollan Hapludoles. Litológicamente los materiales originales de los suelos tienen una composición mineralógica muy semejante aunque a nivel granulométrico presentan diferencias muy importantes (Becker *et al.*, 1997). Los suelos se desarrollaron sobre materiales loésicos, franco arenosos muy finos de la Formación La Invernada (Cantú, 1992).

La región pedregosa del sur de la provincia de Córdoba pertenecía a un inmenso latifundio ganadero hasta mediados del siglo XX (Cantú *et al.*, 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). Posteriormente se incorpora el maíz que paulatinamente desplaza los cultivos de invierno; en la década del 60 se introduce el girasol y en el 70 la soja. En la actualidad el uso de la tierra es agrícola-ganadero con fluctuaciones dependientes del mercado internacional.

La gran irrupción de la agricultura estival con cultivos que tienen una muy baja restitución de materia orgánica, acompañada con un aumento en las labores de resiembra, 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). En esta región por motivos socio-culturales y económicos las labores se realizan principalmente a favor de la pendiente sin ningún tipo de práctica de conservación, además cuando comienza el período de precipitaciones los suelos se encuentran desnudos preparados para la siembra, produciéndose cambios en las condiciones físicas que ante las precipitaciones determinan un fuerte exceso hídrico que escurre sobre la superficie y provoca en toda la región procesos de erosión hídrica de diversa índole e intensidad, siendo este el proceso de degradación más importante (Cantero y Cantú, 1980; Cantú, 1998; Degioanni, 1998).

2.2. DESCRIPCIÓN DEL SUELO BAJO ESTUDIO

El relieve es normal, suavemente ondulado, con pendientes de longitud largas y gradientes promedios de 1,5 %. El suelo es Hapludol típico, de textura franca arenosa muy fina, presentando susceptibilidad a desagregación superficial y a compactarse. Las limitaciones son erosión hídrica y eólica. (Degioanni, 1998).

2.2.1. Descripción del perfil del suelo

<u>Horizonte</u>	<u>A</u>	<u>Bw1</u>	<u>Bw2</u>	<u>BC</u>	<u>C</u>
<u>Profundidad (cm)</u>	<u>0-30</u>	<u>30-43</u>	<u>43-60</u>	<u>60-74</u>	<u>+74</u>
<u>Materia Orgánica (%)</u>	<u>1.58</u>	<u>0.89</u>	<u>0.69</u>	<u>0.3</u>	<u>-</u>
<u>Arcilla < 2μ (%)</u>	<u>15</u>	<u>12</u>	<u>8</u>	<u>6</u>	<u>6</u>
<u>Limo 2-50 μ (%)</u>	<u>40.5</u>	<u>37</u>	<u>40</u>	<u>37</u>	<u>35</u>
<u>Arena 50-1000 μ (%)</u>	<u>45</u>	<u>51</u>	<u>50</u>	<u>55</u>	<u>58</u>
<u>ph</u>	<u>6.8</u>	<u>7</u>	<u>7.1</u>	<u>7.2</u>	<u>7.5</u>

2.2.2. Descripción estructural del perfil

A: Bloques subangulares, medios, moderados. Límite inferior claro, suave.

Bw1: Bloques subangulares, gruesos, moderados a débiles. Límite inferior claro suave.

Bw2: Bloques subangulares, gruesos y medios, débiles a moderados. Límite inferior gradual suave.

BC: Bloque angulares, medios, débiles. Límite inferior gradual suave.

C: A pedal. Límite inferior gradual suave

..... Sobre este ambiente, se desarrolla desde hace 3 años un proyecto de investigación interdisciplinario sobre la evaluación de tres sistemas de labranza, en dos situaciones de pastoreo (**CP**, con pastoreo y **SP**, sin pastoreo)

a saber: siembra directa (**SD**), labranza reducida (**LR**) y labranza convencional (**LC**); cuyo objetivo es evaluar la dinámica de las interacciones que afectan la producción de cultivos en una explotación mixta.

2.3. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorios, con un arreglo espacial en parcelas divididas, siendo el factor principal el efecto del pastoreo de los rastrojos y el factor secundario los sistemas de labranza. Se utilizaron dos repeticiones espaciales por tratamiento. Si bien el número de repeticiones puede ser considerado bajo, se contempló la antigüedad del diseño experimental como principal ventaja, dado que los estudios de sistemas de labranza requieren de un determinado tiempo para evidenciarse efectos sobre el suelo Lal and Stewart (1995).

Los rastrojos de los cultivos anteriores fueron pastoreados con animales bovinos de recría (alrededor de 300 kg de Peso vivo) hasta lograr la máxima cantidad de consumo de los rastrojos; definiéndose así la situación “Con Pastoreo”. **CP**.

La otra situación correspondiente al factor principal consistió en no permitir el pastoreo de los rastrojos en ninguno de los años anteriores como tampoco en los meses previos a la implantación del presente ensayo; definiéndose así la situación “Sin Pastoreo”. **SP**.

La siembra se efectuó sobre rastrojos de verdeo de avena como antecesor. En la situación sin pastoreo fue controlada químicamente, mientras que en la situación con pastoreo se utilizaron bovinos para tal fin con posterior control químico del remanente.

La siembra directa (**SD**) se realizó mediante sembradora especializada, marca Bertini. En la labranza reducida (**LR**) se emplearon dos pasadas de cincel a 33-35 cm de profundidad y posterior uso de rastra excéntrica y en la

labranza convencional (LC) se realizó con 1 pasada de arado de rejas y 1 pasada de rastra excéntrica.

Previo a la siembra se aplicó un control químico de malezas sobre los tres sistemas de labranza, utilizando para ello un herbicida total. Luego de la siembra se aplicaron herbicidas y plaguicidas para mantener el ensayo libre de malezas e insectos.

Todas las parcelas fueron fertilizadas al momento de la siembra con fosfato diamónico (N-P-K, 18-46-0) a razón de 120 kg/ha ubicado por debajo y al costado de la línea de siembra. Al estado ontogénico de 8° hoja se re fertilizó con urea (N-P-K, 46-0-0) a razón de 100 kg/ha incorporado en líneas al suelo del entre surco, mediante maquinaria especializada. Ambas fertilizaciones se aplicaron en todos los tratamientos con el fin de eliminar el posible efecto nutricional que pueda ocurrir en las distintas labores.

El tamaño de las parcelas fue de 24,5m por 70m. El cultivo se sembró con una densidad de 60000 semillas por hectárea el 7 de noviembre de 1997, empleando para ello el híbrido de tres líneas de ciclo completo SUCO de Novartis SA.

2.4. DESCRIPCIÓN DE LAS DETERMINACIONES REALIZADAS

2.4.1. Determinaciones realizadas sobre la morfología y propiedades físicas del suelo.

2.4.1.1 Cantidad de rastrojo en superficie :

Se determinó en cada sistema de labranza, previo a la siembra del cultivo, tomando 4 muestras de 1m² por subparcela. Las muestras fueron secadas en estufa con circulación de aire forzado a 105°C hasta peso constante. Los resultados fueron expresados en peso de materia seca.

2.4.1.2 Grado de cobertura con rastrojos :

Se determinó mediante el método de la línea transecta, que consiste en medir cada 0,1 m en 10 m lineales la cantidad de intersecciones con rastrojo superficial (Eck *et al.*, 1994). Se tomaron 3 muestras en cada subparcela.

2.4.1.3 Perfil cultural:

Al estado ontogénico de 6° hoja del cultivo de maíz se realizaron dos determinaciones por tratamientos, el método del perfil cultural consiste en realizar, a campo, observaciones morfológicas del estado estructural del suelo en excavaciones de 1 m de largo (en sentido transversal a la dirección de las labranzas) por 0.5 m de ancho y 0.3 m de profundidad. Observando las características del suelo, se realizó la partición vertical del perfil en capas según la variabilidad producida fundamentalmente por los sistemas de labranza y se analizó, dentro de cada capa, la disposición y el estado interno de los terrones. Posteriormente, con la ayuda de una grilla de 1 m por 0.3 m cuadrículada a 0.03 m por 0.03 m, se procedió a graficar en hoja cuadrículada el perfil analizado para su posterior análisis en laboratorio mediante planilla de cálculo. Con el programa Adobe Photoshop 4.0, se procedió a determinar la superficie respectiva de cada capa del perfil cultural.

Con el objeto de poder indicar el grado de anisotropía estructural de los primeros 30 cm de cada tratamiento se distinguieron:

- 1) Los subhorizontes o capas (H) Gastronneau y Manichon (1986) según:
 - H₀= Condición superficial
 - H₁-H₄= Capas de labores de repaso.
 - H₅= Capa de labranza de corte vertical.
 - H₆-H₇= Base de antigua capa labrada.
 - H₈= Fondo de antigua capa labrada.
- 2) En cada capa se analizó:
 - a) La disposición de los terrones; el estado fragmentario significa que éstos coexisten en un volumen dado y pueden estar individualizados

(F) con distinto tamaño de fisuras y tierra fina (tf) entre ellos. En este mismo estado los terrones pueden estar adheridos y ser fácilmente reconocibles (SF) o adheridos pero difícilmente reconocibles (SD). Por otro lado existe el estado masivo (M) constituido por un solo elemento estructural de gran dimensión.

- b) El estado interno de los terrones: luego de la fragmentación manual se observa la cohesión y el aspecto de las caras de ruptura: estado gamma (Γ): cara rugosa, importante porosidad visible, debido a la falta de contacto entre agregados constitutivos. Estado delta (Δ): mayor cohesión que el caso anterior, caras de ruptura lisas, aspecto continuo, sin porosidad visible, se corresponde con la coalescencia de los agregados preexistentes por acción mecánica severa; estado phi (Φ) próximo a delta pero con principios de fisuras (fisuración de elementos compactos por congelamiento o desecación, aparece nítidamente en suelos de más de 20% de arcilla).

2.4.1.4 Peso específico aparente :

Se cuantificó en cada capa de los perfiles culturales y en los horizontes genéticos del suelo representativo del ensayo mediante cilindros de 3 cm de alto y 6 cm de diámetro. Se tomaron tres muestras en cada capa u horizonte. Este método consistió en extraer una muestra de suelo con un extractor marca *Soil Moisture Equipment Corp.* y luego obtener el peso seco en estufa con circulación de aire forzado a 105°C hasta peso constante. Con el peso seco y el volumen del cilindro se determinó el peso específico aparente usando la siguiente fórmula:

$$\text{P.E.A. (tn/m}^3\text{)} = \text{Peso seco del suelo (tn)} / \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

2.4.1.5 Curva característica de humedad :

En cada capa de los perfiles culturales se cuantificó el contenido volumétrico de agua, a las succiones de 0 -4, -10, -30 con las celdas Tempe (modelo 1400 de *Soil Moisture Equipment Corp.* Santa Bárbara,

California USA) y a la succión de 1500 Kpa con olla de presión (Klute, 1986).

Para estas determinaciones se recolectaron a campo, 3 muestras de suelo sin disturbar en cada capa del perfil cultural con un muestreador de suelos, Cat. N° 200 de *Soil Moisture Equipment Corp.* Santa Bárbara, California USA, equipado con cilindros de bronce de 3 cm de alto y 5,715 cm de diámetro. Posteriormente los cilindros fueron colocados en las Celdas Tempe.

Estas muestras luego fueron saturadas en agua, mediante un equipo de saturación por vasos comunicantes desarrollado en el marco de esta tesis. El método de saturación consistió en colocar las muestras en un bastidor de madera a nivel, con suministro de agua mediante un recipiente plástico de nivel variable y carga constante (presión atmosférica).

Proceso de saturación: el primer paso consiste en saturar, en un desecador de vacío, las placas porosas (1 Bar) de cada una de las celdas Tempe. Luego, ubicar las placas en las celdas y éstas en el bastidor y nivelar el recipiente de agua de nivel variable hasta que el pelo de agua libre se encuentre al nivel superior de las placas. El siguiente paso es colocar el cilindro de bronce con la muestra de suelo sin disturbar dentro de las celdas y volver a elevar el recipiente de agua hasta hacer coincidir el pelo de agua libre con la parte superior de las muestras.

La saturación es alcanzada cuando la superficie de cada una de las muestras se presenta completamente húmeda sin que llegue a tener agua libre superficial (con alrededor de 48 hs se aseguró la saturación en este suelo).

Las celdas con las muestras saturadas fueron pesadas para determinar el punto de succión de 0 Kpa. Luego se colocaron en el sistema de extracción *Manifold Mod. 0700CG23* de *Soil Moisture Equipment Corp.* Santa Bárbara. El manómetro fue regulado a las succiones -4, -10 y -30 Kpa. Cuando se alcanzó el punto de equilibrio en cada succión, se determinó el peso de cada celda completa.

Finalmente luego de haber realizado todas las determinaciones propuestas se procedió a pesar los distintos componentes de las celdas y a secar el suelo en estufa de aire forzado hasta peso seco constante a 105° C, para referir así todas las determinaciones realizadas. En cada muestra y por diferencias de peso entre succiones, considerando $1 \text{ g H}_2\text{O} = 1 \text{ ml H}_2\text{O}$, de acuerdo al volumen total de cada muestra se obtuvieron los contenidos volumétricos de agua en cada punto de succión (Ver también Sommerfeldt *et al.*, 1984).

Es importante destacar que este método presenta ventajas con respecto a la *mesa de tensión*, que es la tradicional metodología para realizar estas determinaciones, dado la mayor practicidad en la preparación de las muestras y por no presentar los inconvenientes de la columna de agua,

porque la presión proviene de un compresor con regulador. Se aclara además que no existen referencias del empleo de las Celdas Tempe a nivel local por lo que se consideró importante poner a punto la técnica.

La última descripción detallada de la distribución por tamaño de poros realizada en la Universidad Nacional de Río Cuarto fue la realizada con mesa de tensión por Bricchi (1996).

2.4.1.6 Distribución por tamaño de los poros :

Fue estimada a partir de la ecuación de capilaridad (Marshall and Holmes, 1988), donde:

Diámetro del poro (μ) = $30 / h$ (m), siendo h = succión (Kpa) / 10

Los valores de porosidad obtenidos se clasificaron de acuerdo a su participación en el drenaje del suelo, siendo los poros de drenaje rápido los que tienen diámetros superiores a 30μ , los poros de drenaje lento los que tienen diámetros entre 30 y 10μ , los poros de almacenaje al intervalo comprendido entre las 10 y 0.2μ y los microporos son aquellos con diámetros menores a 0.2μ . (Cantero *et al.*, 1986).

2.4.2. Determinaciones realizadas sobre la dinámica hídrica del suelo.

2.4.2.1 Conductividad hidráulica saturada (K_s) :

Se estableció, en cada capa de los perfiles culturales, en laboratorio con carga constante (Klute and Dirksen, 1986). A campo se tomaron 3 muestras de suelo sin disturbar con un cilindro metálico de 6 cm de alto 5 cm de diámetro, en cada subparcela. En laboratorio, cada muestra fue recubierta en su base con tela de Nylon sujeta con bandas elásticas y colocada durante 48 hs en bandeja con agua para alcanzar la saturación.

Posteriormente cada muestra fue sometida a una carga de agua constante durante 5 hs para estabilizar el drenaje. Luego, se midió la cantidad de agua drenada en intervalos de 5 minutos hasta obtener una cantidad constante entre lecturas (alrededor de 15 lecturas). Finalmente, la conductividad

hidráulica del suelo saturado de este modo se estimó de acuerdo a la Ley de Darcy, a saber:

$$K \text{ (cm/min)} = \frac{L * V}{S * T * \Delta H}$$

Donde:

L : longitud del cilindro de suelo (cm).

V : volumen del flujo (cm³).

S : Area del cilindro de suelo (cm²).

T : intervalo de tiempo utilizado (min).

ΔH : diferencia en la carga hidráulica (cm).

2.4.2.2 Ecuación representativa de la curva característica de humedad :

Se determinó, según Müller (2000), con los valores de los contenidos hídricos determinados a las succiones indicadas en 2.4.1.5, siendo la ecuación:

$$-\psi_m = e^a (\theta/\theta_{sat})^{-b}$$

donde,

$-\psi_m$ = Potencial mátrico del suelo (m)

θ = Contenido volumétrico de agua del suelo (m³.m⁻³) a ψ_m

θ_{sat} = Contenido volumétrico de agua del suelo saturado (m³.m⁻³)

a y b = constantes empíricas

Las constantes a y b fueron determinadas por regresión lineal entre:

$\ln (\theta/\theta_{sat})$ vs $\ln (-\psi_m)$.

Además se calculó e^a que es el valor de succión de entrada de aire (ψ_e) en el proceso de desorción según Campbell (1985).

2.4.2.3 Curva de conductividad hidráulica no saturada (K_i):

Con los valores de conductividad hidráulica saturada medida en cada tratamiento, el potencial de entrada de aire establecido en 2.4.2.2, los potenciales utilizados en la determinación de la curva característica de humedad (punto 2.4.1.5) y la constante b también determinada en 2.4.2.1 se procedió a establecer la ecuación de conductividad hidráulica insaturada del suelo según Campbell (1985):

$$K_i = K_s \cdot (\psi_e / \psi_m)^n$$

con,

$$n = 2 + 3/b$$

donde,

K_i = Conductividad hidráulica insaturada ($m \cdot s^{-1}$).

K_s = Conductividad hidráulica saturada ($m \cdot s^{-1}$).

ψ_m = Potencial mátrico del suelo, empleado en cada determinación de humedad (m)

ψ_e = Potencial de entrada de aire (m)

b = constante.

2.4.2.4 Índice de continuidad por clase de poros (C_w):

Considerando el diámetro medio (promedio entre el límite superior e inferior de cada una de las clases de poros) se calculó el flujo de agua según la ecuación de Hagen-Poiseuille, para cuantificar el flujo de agua por clase de poros, siendo:

$$F_{pc, uno}^* = -1/96 \bar{d}^2 \cdot \theta_{pc} \cdot (\rho \cdot g / \eta) \cdot 36000$$

donde,

$F_{pc, uno}^*$ = Flujo unidimensional del tubo "recto" de diámetro \bar{d} entre dos clases de tamaño de poro ($mm \cdot h^{-1}$).

θ_{pc} = Contenido de humedad volumétrica por clase de poro entre intervalos de succión ($mm^3 \cdot mm^{-3}$).

ρ = Densidad el agua ($1 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$).

g = Aceleración de la gravedad ($980 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$).

η = Viscosidad dinámica del agua ($1 \times 10^{-2} \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

d = Diámetro de la clase de poros (cm)

Con el flujo de agua por clase de poro ($F_{pc, uno}^*$) de un tubo teórico recto y la conductividad insaturada para la misma clase de tamaño de poro, determinada en 2.4.2.3, se procedió a calcular el Índice de continuidad C_w de acuerdo a Ehlers *et al.* (1995), según la relación entre $F_{pc, uno}^*$ y K_{pc} , como se indica a continuación:

$$C_w = K_{pc} / F_{pc, uno}^*$$

Siendo éste, una estimación del grado de tortuosidad de cada clase de poros, estimando una mayor tortuosidad a medida que la conductividad hidráulica de cada clase de poros es menor en relación al flujo de agua que ese tamaño de poro tendría bajo condición hipotética de un tubo recto.

2.4.2.5 Ecuación de conductividad hidráulica saturada :

Los valores de conductividad hidráulica saturada (K_s) medidos se compararon con los obtenidos mediante la ecuación de K_s propuesta por Rawls *et al.* 1992, el cual es dependiente del contenido volumétrico de agua a saturación θ_{sat} , del potencial de entrada de aire ψ_e y del coeficiente b de la curva de capacidad hídrica. El grado de similitud entre los valores observados y calculados fue determinado con el índice de concordancia D y el error RMSE (Wilmott, 1982).

La ecuación mencionada es la siguiente:

$$K_s = 0.07 * \{ \theta_{sat} [1 - (\psi_e / -33)^{1/b}] \}^4 \text{ (kg s/m}^3\text{) ó (cm/s)}$$

2.4.3. Determinaciones realizadas sobre la producción del cultivo de maíz

2.4.3.1 Fenología del cultivo :

Los estadios fenológicos de V_2 , V_5 , V_7 , V_{11} , R_1 , R_3 y R_6 se determinaron según Ritchie and Hanway (1997).

2.4.3.2 Humedad gravimétrica :

Se determinó en siembra, V_2 , V_5 , V_7 , V_{11} , R_1 , R_3 y R_6 , en cada capa de los perfiles culturales y cada 20 cm entre la base del perfil cultural y 130 cm

de profundidad (Klute, 1986). Se tomó una muestra compuesta de tres submuestras por subparcela en la cual fue determinado el contenido gravimétrico de agua del suelo en base seca, usando una estufa con circulación de aire forzado a 105°C hasta peso constante.

2.4.3.3 Lámina de agua :

Los valores de humedad gravimétrica fueron transformados en lámina de agua por capa según Forsythe (1980) a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Lámina (cm)} = \text{HG} * \text{PEA} * \text{E}$$

Donde:

HG: humedad gravimétrica

PEA: Peso específico aparente.

E: Espesor del horizonte.

La lámina total de agua se calculó por la suma de las láminas parciales de cada capa del perfil en estudio.

2.4.3.4 Materia seca total de la parte aérea:

Se cuantificó en V_7 , V_{11} , R_1 , R_3 y R_6 , mediante secado en estufa a 105°C hasta peso seco constante. Se tomaron 4 muestras de 1 m² en cada subparcela.

2.4.3.5 Rendimiento y componentes :

En cada parcela al momento de 2º hoja se marcaron 4 sub sub parcelas de 20 m², las que fueron luego utilizadas para establecer el rendimiento por tratamiento mediante cosecha manual del total de la sub sub parcela. Con contador automático de semillas fueron separados aleatoriamente 2 muestras de 100 granos para determinar el Peso de los 1000 granos. El número de granos por m² se estableció mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Nº granos.m}^{-2} = (\text{Rendimiento (Kg.m}^{-2}) * 1000) / \text{Peso de 1000 granos (Kg)}$$

..... Sobre las sub sub parcelas se realizaron los recuentos de plantas a cosecha.

2.4.4. Determinaciones realizadas sobre el balance hídrico del cultivo de maíz.

Para determinar el balance hídrico del cultivo de maíz entre siembra y madurez fisiológica se procedió a calibrar y validar un modelo de simulación de crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz. Para ello se seleccionó el modelo SWB (Marcos, 1997; Campbell and Stockle, 1993) que simula el balance y transporte de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera. La selección de este modelo se basó en la potencia que el mismo tiene para determinar el flujo de agua en el suelo.

El balance de agua es calculado mediante la solución por diferencia finita de las ecuaciones diferenciales que describen el flujo y el almacenaje del agua en el suelo. Además del cálculo del balance hídrico el modelo simula el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Este modelo simula el balance de agua y el crecimiento del cultivo con una base de datos diaria. Para su uso requiere la siguiente información: datos climáticos diarios (temperatura máxima y mínima del aire, radiación total y precipitación), parámetros de suelo y de cultivo e información inicial de suelo y cultivo.

Para alimentar el modelo los datos climáticos se tomaron de una estación meteorológica automática LI-COR (LI-1200) Lincoln, Nebraska USA, que estaba ubicada aproximadamente a unos 1000 metros del ensayo.

Para calibrar los parámetros del cultivo se utilizó la información obtenida en la situación de Siembra directa sin pastoreo de los rastrojos ubicada en el block II, por considerarse a ésta como una situación sin limitaciones hídricas ni nutricionales dadas las características del año bajo estudio.

Cabe aclarar que con dos situaciones de pastoreo, tres sistemas de labranza y dos repeticiones se tuvo un total de 12 parcelas. Como una de ellas fue utilizada para la calibración de parámetros del cultivo, se emplearon las 11 restantes para validar los resultados simulados en cuanto a la lámina total de agua por etapa y a la producción de biomasa con los valores observados a campo.

En las 11 simulaciones realizadas se mantuvieron constantes los parámetros de cultivo y variables las condiciones de suelo medidas en cada situación. Como el objetivo de esta simulación era la determinación del balance hídrico a partir de propiedades de suelo y cultivo, se modificó la curva número (*U. S. Soil Conservation Service*) (variable de entrada al modelo) en cada corrida hasta obtener el mayor Índice de concordancia, D' y la menor raíz cuadrada media del error RMSE (Wilmott 1982) entre valores observados y simulados de lámina de agua y biomasa. La curva número que permitió alcanzar el mayor índice D' fue considerada como la que cada tratamiento tuvo durante el desarrollo de la experiencia. Los datos utilizados se corresponden a simulaciones y observaciones de 1 año correspondientes a la realización del ensayo.

De esta manera se obtuvo el balance hídrico para cada tratamiento, a partir de los valores de escurrimiento que permiten explicar, mediante el SWB, los niveles de humedad edáfica y producción de biomasa observada.

2.4.4.1 Descripción del modelo SWB

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), el SWB usa el método de Priestley-Taylor (Priestley and Taylor, 1972) cuando no se cuenta con información de velocidad del viento. El método de Priestley-Taylor es de acuerdo a:

$$ETP = \frac{\alpha s(R_n - G)}{(s + \gamma)\lambda}$$

donde ETP es en $\text{kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. El factor α es el factor Priestley-Taylor que toma valores entre 1 y 1.6 dependiendo de la aridez del sitio. Este factor compensa la pérdida de los términos de resistencias convectivas al flujo de vapor y temperatura del cultivo y la capa límite que están contempladas en el método de Penman-Monteith.

El crecimiento del cultivo limitado por agua es calculado con la fórmula propuesta por Tanner and Sinclair (1983).

$$B = \frac{kT}{VPD}$$

donde B es la biomasa seca producida en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, k es un parámetro de cultivo obtenido experimentalmente de la relación entre la materia seca y el uso del agua y toma unidades de kPa , T es la transpiración del cultivo ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) y VPD es el déficit de vapor diario (kPa). Esta relación se basa en el hecho de que si el suministro de agua hacia las hojas es restringido, la pérdida de agua disminuye como así también el ingreso de CO_2 y la acumulación de materia seca.

Para la simulación del transporte y almacenaje de agua dentro del suelo, el balance de agua en cada capa es resuelto por métodos numéricos y determina el cambio de potencial y contenido de agua en el tiempo. De esta forma, la infiltración, redistribución, evaporación y absorción de agua por el cultivo son simulados.

La Intercepción y el escurrimiento disminuye el ingreso del agua de lluvia al suelo y la percolación profunda ocurre por debajo de la profundidad de enraizamiento como resultado de un gradiente en potencial gravitacional.

La densidad del flujo de agua, entre capas, está explicada por la *Ley de Darcy* y es función de la conductividad hidráulica del suelo y del gradiente de potencial agua del suelo a través del elemento (capa):

$$J_l = -k \frac{\partial \psi}{\partial z} + gk$$

donde J_l es la densidad del flujo del agua ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), k es la conductividad hidráulica ($\text{kg} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$), ψ es el potencial mátrico del suelo (J/kg), z es la profundidad (m) y g es la constante gravitacional (9.8 m/s^2).

En cada capa, el cambio en el almacenaje del agua en el tiempo, está dado por la ecuación de Richards:

$$\rho_w \frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + g \frac{\partial k}{\partial z} - S$$

donde ρ_w es la densidad del agua (1000 kg/m³), θ el contenido volumétrico de agua (m³/m³) y S un término de fuente o destino (kg s⁻¹ m⁻³), el cual representa la absorción de agua de las raíces.

En flujo insaturado, la conductividad hidráulica es función de la variable dependiente (contenido de agua o potencial). La ecuación de flujo es extremadamente no lineal y ello complica la solución numérica de la ecuación de Richards. Por ello se emplea el método de Newton-Raphson y el algoritmo Thomas para computar cambios en ψ que resuelvan la ecuación de Richards en cada lapso de tiempo y en cada capa.

La conductividad hidráulica k es dependiente de ψ y es calculada de acuerdo a Campbell (1985):

$$k = k_s \left(\frac{\psi_e}{\psi} \right)^n \quad \text{si } \psi_m < \psi_e$$

$$k = k_s \quad \text{si } \psi_m \geq \psi_e$$

donde k_s es la conductividad hidráulica saturada (kg s/ m³), ψ_e es el potencial de entrada de aire (J/kg), y n está dado por:

$$n = 2 + \frac{3}{b}$$

La constante b es obtenida de la relación entre contenido volumétrico de agua a capacidad de campo (θ_{fc} , a -33 J/kg) y a punto de marchitez permanente (θ_{pwp} , a -1500 J/kg). Esta relación se calcula como:

$$b = \frac{\ln 1500 - \ln 33}{\ln \theta_c - \ln \theta_{wp}}$$

El potencial de agua y el contenido volumétrico están relacionados según (Campbell, 1974):

$$\psi = \psi_e \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^{-b}$$

donde θ_s es el contenido volumétrico de agua a saturación, estimado a partir de la densidad aparente (Mg/m^3).

El contenido volumétrico de agua a -33J/kg (θ_{fc}) y a -1500J/kg (θ_{pwp}), como también la densidad aparente son variables de entrada para el modelo y ellos deben estar especificados para cada capa del suelo.

El modelo SWB estima el escurrimiento mediante el modelo de *Curva Número* del *U.S. Soil Conservation Service* que calcula el escurrimiento de una lluvia en 24 hs. a partir de un umbral crítico de escurrimiento (P_0) definido por el tipo de suelo y condición de superficie del mismo. La ecuación matemática es la siguiente:

$$E = \frac{(Pt - P_0)^2}{Pt + 4P_0}$$

E : escurrimiento (mm)

Pt : precipitación en 24 horas (mm)

P_0 : umbral de escorrentía (mm)

$E = 0$ si $Pt \leq P_0$; $E \neq 0$ si $Pt > P_0$

Considerando que el modelo se utilizó para el cálculo del balance hídrico del cultivo, como se mencionó anteriormente, la curva número fue modificada en cada tratamiento externamente hasta obtener el mayor índice de coincidencia D (Wilmott 1982) entre valores observados y simulados de lámina total de agua en cada etapa fenológica en la que fue medida.

2.5 ANALISIS DE RESULTADOS

Todas las determinaciones realizadas, a excepción del perfil cultural, fueron analizadas según ANAVA, comparación de medias según test LSD al 5% de probabilidad y análisis de regresión lineal.

RESULTADOS

CAPITULO 3

MORFOLOGIA Y PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

3.1. INTRODUCCION

Las propiedades físicas del suelo son dependientes de la estructura del mismo, principalmente aquellas pertenecientes a la retención y transporte de soluciones, gases y calor. La estructura de un suelo describe la forma de agregación de las partículas individuales del mismo, en unidades de mayor tamaño (agregados) lo cual define la cantidad, tamaño, configuración o distribución de su espacio poroso, pudiendo variar en cantidad, tamaño, forma, tortuosidad y continuidad. (Danielson and Sutherland, 1986).

La estabilidad y resiliencia de la estructura de los suelos puede ser manejada a través de prácticas culturales como la selección de cultivos, sistemas de laboreo, control de tráfico, drenaje y enmiendas orgánicas. El impacto de dichas prácticas, varía según la condición de suelo y clima.

La continua inversión del pan de tierra mediante laboreos con equipos pesados produce alteraciones de la estructura-porosidad en toda la profundidad de labranza. En consecuencia el sistema suelo se reestructura para alcanzar una nueva situación de equilibrio con su entorno (Bricchi, 1996). Mientras que, el mantenimiento de una importante cubierta de rastrojos sobre la superficie del suelo disminuye la densidad aparente del mismo por incrementar su actividad biológica y evitar el encostramiento superficial (Kladivko, 1994).

Sin embargo, diferentes estudios sobre del efecto de los sistemas de labranza en la densidad aparente del suelo han sido contradictorios. Ello se debe al estudio de la estructura de suelos labreados es complejo por su carácter de heterogeneidad y discontinuidad.

Por estas dificultades, Gueriff (1994) recomendó combinar los estudios de las propiedades del suelo con observaciones morfológicas de la estructura del mismo. Pecorari (1998), señala que una de las metodologías más apropiada es la descripción del suelo in situ, a través del método del perfil cultural (capas u horizontes afectados por las labores culturales), acompañando esta descripción con un muestreo dirigido con el fin de evaluar el sistema de porosidad de las diferentes agrupaciones estructurales.

El perfil cultural localiza, cuantifica y evalúa las posibles causas de su origen dentro de un sistema altamente heterogéneo, por ello Tavares Filho *et al.* (1999) señalaron que el método del perfil cultural muestra ser eficiente en el diagnóstico cualitativo del estado físico de los suelos a campo, además de orientar su muestreo, facilitar el estudio de los efectos de la antropización y auxiliar el estudio del análisis del sistema radical

Después de 17 años de siembra directa, Piccinin *et al.* (1998) no constataron compactación homogénea lateral, aunque si encontraron presencia de unidades estructurales de mayor o menor compactación, con variabilidad vertical y horizontal en la organización del volumen del suelo. Mientras que Gerster *et al.* (1996) determinaron que la SD presenta una mayor densidad aparente con la presencia de un 19 % de estado masivo lo cual indica una menor exploración en SD con respecto a la LC y la labranza combinada.

En presencia de compactaciones y dificultad de drenaje en el subsuelo de suelos arenosos pobremente agregados, la SD no presenta resultados satisfactorios (Wild, 1992).

Luego de 25 años de siembra directa de maíz, Lal (1999) determinó sobre suelos Ocraqualf aérico y Fragiudalf típico, que bajo SD el suelo presentaba propiedades físicas equivalentes o algo superiores que LC, siendo intermedia LR.

Cassel *et al.* (1995) demostraron que la densidad aparente del Ap de un Hapludult típico fue superior en SD que en LR y LC, luego de 2 años de comparar labranzas. En un estudio de 24 años, Vyn (1998) también encontró que la SD tiene una mayor densidad aparente de 5-10 cm que los otros sistemas de laboreo, sin encontrar diferencias en la profundidad de 10-20 cm.

Thomas *et al.* (1994) también encontraron que la SD fue el tratamiento de mayor densidad aparente de 5-10 cm de profundidad al compararla con LC, LR y una pastura en base a alfalfa sobre suelos Argiudoles típicos de la llanura pampeana, sin encontrar diferencias significativas de 10 a 15 cm de profundidad.

Logsdon *et al.* (1999) estudiaron, sobre Hapludoles ácuicos, Argiudoles típicos y Hapludalf mólicos, la densidad aparente en intervalos de 2 cm y observaron que si no existía control del tráfico sobre el terreno, ésta se incrementaba en todos los sistemas de laboreo. En este estudio la SD con control de tráfico, tuvo valores de densidad más bajos que la LR en los dos primeros centímetros del suelo, posiblemente por la protección del impacto de la gota de lluvia, pero mayores a nivel de los 6-18 cm de profundidad.

Por otro lado, el pisoteo animal, principalmente el causado por bovinos, también generó compactación de suelo entre los 0 y 7 cm de profundidad, sin atenuar este efecto el nivel de cubierta vegetal que existía en el momento de realizar los pastoreos (Martín *et al.*, 1998).

En la región Centro sur de Córdoba, Cisneros *et al.* (1997) y Bricchi (1996) determinaron que el uso agrícola con laboreo continuado en Hapustoles típicos de Córdoba alteró significativamente la densidad aparente, la conductividad hidráulica saturada y la resistencia mecánica comparadas con una situación de no uso (monte).

Se debe considerar que la condición inicial de los suelos que se incorporan a SD pueden anular los efectos positivos de este sistema sobre el contenido de materia orgánica y propiedades físicas asociadas. Ferrari (1997) indicó que la condición física de los suelos al momento de entrar en el sistema de SD es uno de los factores más importantes a considerar en el área de influencia del INTA Pergamino.

Resultados similares obtenidos en el área de influencia del INTA Anguil fueron los encontrados por Quiroga *et al.* (1998), los cuales dieron lugar a experiencias con implementos de labranza vertical profunda en suelos con presencia de compactaciones subsuperficiales, como paso previo a la introducción de la SD. La recompactación puede ocurrir rápidamente en estos

suelos (8-14 meses) en la medida que el trabajo mecánico no es complementado con un manejo de los residuos que favorezca el incremento de materia orgánica (Cisneros *et al.*, 1998).

El incremento de la densidad del suelo se realiza, casi enteramente, a expensas de la macroporosidad entre agregados del suelo (Bricchi, 1996; Robinson *et al.*, 1994).

El efecto de las labranzas sobre la distribución del tamaño de poros no es siempre consistente. Algunos estudios, comparando siembra directa y labranza con arado de rejas, mostraron una reducción de los poros de transmisión en siembra directa en los primeros 10 o 20 cm del suelo, siendo equivalentes a nivel de subsuelo (Giménez *et al.*, 1998; Quiroga *et al.*, 1998). Otros estudios indicaron un incremento en los poros de transmisión a nivel superficial del suelo en labranzas conservacionistas a través del desarrollo de canales de lombrices o bioporos (Shipitalo *et al.*, 2000).

3.2. RESULTADOS Y DISCUSION

3.2.1. CANTIDAD DE RASTROJOS Y GRADO DE COBERTURA

En primer lugar se presenta la condición superficial del suelo que tuvo cada tratamiento luego de la siembra del cultivo. En la tabla 3.1 se observan los valores de biomasa seca de los rastrojos de los tratamientos de SD y LR. Cabe aclarar que el análisis sólo se realizó con éstos dos tratamientos, dado que los valores encontrados en LC son cercanos a 0 kg de MS/ha, por invertir la totalidad del pan de tierra. En la misma tabla se observa que, tanto la totalidad de biomasa como los dos componentes analizados en el rastrojo, avena y resto (maíz y girasol anteriores), han evidenciado interacción pastoreo*labranza significativa.

Dentro de los componentes del rastrojo, el aporte mayoritario lo realizan los residuos de maíz y girasol anteriores (Resto), que representan el 78.39 % en promedio de rastrojo total.

Tabla 3.1: Cantidad de Rastrojos pre siembra (kg MS/ha)

	Avena^o	Resto^o	Total^o
Sin Pastoreo	1017	2918	3935
Con Pastoreo	294	1345	1638
LSD (0.05)	707.57	18.21	312.04
Siembra Directa	1007	3161	4168
Labranza Reducida	304	1101	1405
LSD (0.05)	17.10	29.10	49.16
Pastoreo*Labranza	0.0139	0.0240	0.0216
C.V. (%)	6.03	4.12	4.69

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

^o Los valores originales debieron ser transformados por $(x+1)^{0.5}$ para su análisis, dado que los mismos no se correspondieron a la distribución Normal según test de Shapiro-Wilks. En tabla se presentan los valores originales.

En el análisis de la interacción (tabla 3.2), SD SP es el tratamiento de mayor cantidad total superficial de rastrojos al momento de post siembra, mientras que la LR CP es el tratamiento de menor presencia de rastrojos superficiales. Finalmente los tratamientos SD CP y LR SP (sin diferencias significativas entre si) presentan diferencias con SD SP por lo enunciado por Hill *et al.* (1998) y Ressia *et al.* (1998) al mencionar la pérdida de rastrojos superficiales sufrida con el laboreo del cincel (en el segundo caso) y por la pérdida superficial de los rastrojos fruto del pastoreo en el caso de SD CP.

El análisis de la interacción para Resto (tabla 3.2) indica que las diferencias son significativas entre los cuatro tratamientos evaluados, mientras que, en relación al aporte de la avena, sólo SD SP es significativamente distinta del resto de los tratamientos.

Tabla 3.2: Cantidad de Rastrojos pre siembra (kg MS/ha). Separación de medias por efecto interactivo

	Total	Avena	Resto
Siembra Directa sin pastoreo	6133 a	1649 a	4484 a
Siembra Directa con pastoreo	2204 b	365 b	1839 b
Labranza Reducida sin pastoreo	1738 b	385 b	1352 c
Labranza Reducida con pastoreo	1073 c	223 b	850 d
C.V. (%)	4.46	8.86	3.42

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

La tabla 3.3 presenta los valores de porcentaje del suelo cubierto con rastrojos, donde se pueden apreciar diferencias significativas entre las situaciones de pastoreo y los tratamiento de labranza. En este caso, tampoco se analizaron los resultados encontrados en LC dado que eran muy próximos a 0. Es importante destacar que ambas labranzas conservacionistas mantienen, en promedio, niveles de cobertura del suelo por encima del 30 % siendo éste un valor considerado por Janssen and Hill (1998) como umbral para prevenir los procesos de erosión eólica. A pesar de la ausencia de interacción significativa, LR CP tiene niveles de cobertura del 18 % (datos no presentados) con lo cual se encontraría por debajo del mencionado umbral.

Tabla 3.3: Grado de cobertura con rastrojos (Porcentaje cubierto del suelo)

	Cobertura (%)
Sin Pastoreo	69 a
Con Pastoreo	33 b
LSD (0.05)	19.06
Siembra Directa	68.75 a
Labranza Reducida	32.25 b
LSD (0.05)	6.80

Pastoreo*Labranza	0.0544
C.V. (%)	4.38

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

3.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES CULTURALES

3.2.2.1. Situación con pastoreo

Las cartas estructurales de los tratamientos de labranza en la situación con pastoreo, pueden observarse en las figuras 3.1, 3.3 y 3.5.

En la figuras se aprecia el diferente grado de heterogeneidad de los perfiles por la presencia de tres capas en SD y LC, mientras que sólo dos en LR. Esta diferencia estaría indicando un mayor grado de homogeneidad en LR, producto de la acción del cincel que genera la capa H₅ como fruto del laboreo de las capas H₆ y H₇ (bases de antiguos laboreos y que fueron fracturados mecánicamente). Estas diferencias entre tratamientos le permitiría al cultivo una mayor facilidad de exploración al no presentar los cambios abruptos manifiestos entre el H₁, H₆ y H₇ de los otros tratamientos (Porta Casanellas *et al.*, 1994).

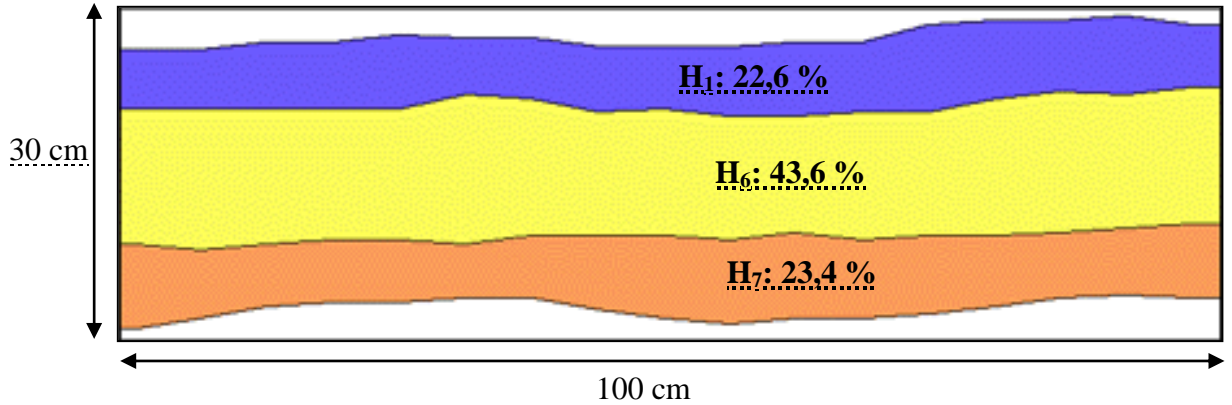
Analizando la condición interna de cada capa, se aprecia en SD (figura 3.1) un H₁, que representa un 22,6% de los 0.3 m² del Perfil Cultural, con terrones Δ soldados fácilmente separables (SF) y escasa tierra fina (tf >), en donde la exploración radical prima en sentido horizontal. Las capas H₆ y H₇ tienen el 43,6 y 23,4 % restantes, siendo la segunda la situación de peor estado estructural por tener terrones definidamente Δ . Esta capa, se corresponde con una compactación sub superficial de origen antrópico (antiguo piso de arado) que en este sistema de labranza tiene lenta evolución hacia una mejor condición física. Según lo propuesto por Quiroga *et al.* (1998) y por Ferrari (1997), en cuanto a que las posibilidades de producir efectos físicos favorables en el suelo con SD están estrechamente relacionada a la condición de degradación inicial, se plantea que esta compactación anterior estaría afectando una mejor evolución del suelo bajo SD.

En el tratamiento LR (figura 3.3) se observa que el H₁ representa un 27,3% del perfil cultural. Los terrones, con un estado de menor deterioro que SD CP, son $\Delta \rightarrow \Gamma$, están dispuestos en forma fragmentaria (F) y con mayor presencia de tierra fina (tf>>>) que el tratamiento de SD. El primer cm del suelo es de tipo laminar, por el sello formado por la pulverización que causa la rastra excéntrica, presentándose por debajo del mismo, abundante bioporosidad. La capa H₅ representa un 65,5% con un estado Γ SF, fruto del fraccionamiento de las capas inferiores, con lo que se logró aumentar el número de terrones internamente cohesionados.

En el tratamiento LC (figura 3.5) se presenta un 33,0% de H₁ con un estado Δ y Γ , fragmentarios y con abundante tierra fina (tf>>>>>). El primer cm es de tipo laminar, lo cual explica el grado de pulverización superficial y su estado de deterioro por la presencia de terrones Δ . Estas condiciones favorecerían el encostramiento superficial de acuerdo a lo señalado por Bricchi *et al.* (1997) disminuyendo la conducción hidráulica del sello formado por el impacto de la gota de lluvia. El H₆ con 32,4% del perfil, tiene terrones $\Gamma \rightarrow \Delta$ y SD fruto de una compactación sub superficial entre los 10-20 cm provocada por el piso de rastra. La estructura es en bloques angulares, mientras que el H₇ presente en un 30,7% manifiesta terrones Δ y SD con terrones de bordes lisos y bioporosidad escasa, característicos de procesos de compactación sub superficial.

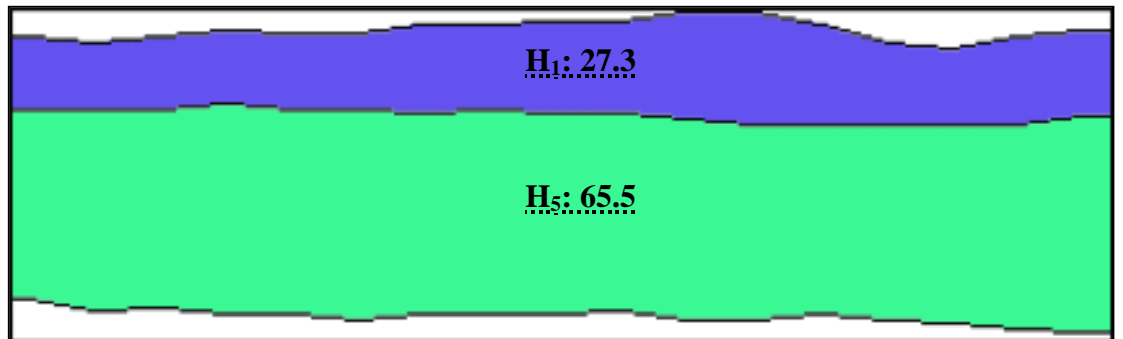
En SD y LC, donde predominan los terrones Δ principalmente, se plantearía una restricción al normal crecimiento del cultivo de maíz según lo planteado por Gerster *et al.* (1996), dado que la presencia de éstos sectores compactados (Δ) estarían dificultando la exploración radical en diverso grado, dependiendo de la condición hídrica que encuentren en su crecimiento, y que este tipo de estructuras presentarían un comportamiento diferencial al ingreso y redistribución de agua al perfil del suelo según lo indicó Bricchi (1996).

Figura 3.1.: Perfil cultural de Siembra directa con pastoreo



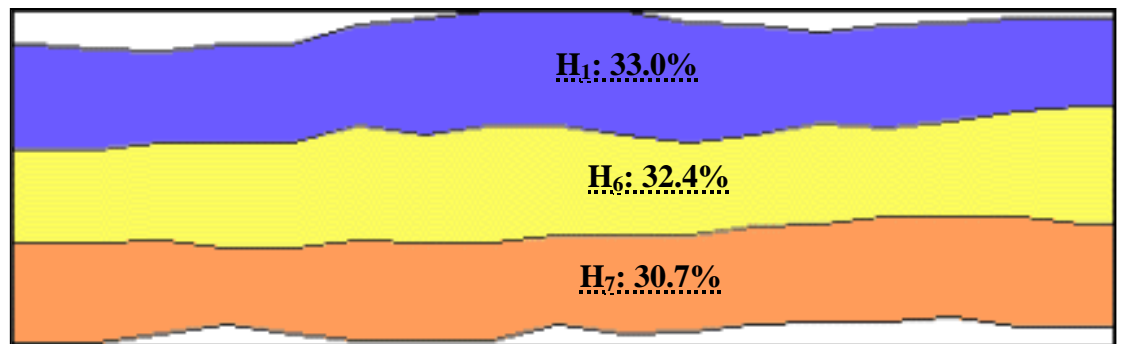
Capa	1° Nivel	2° Nivel	Observaciones
H ₁	Δ	SF tf>	Prima la exploración radical horizontal
H ₆	$\Delta \rightarrow \Gamma$	tf SF	Hay exploración radical y algunos poros
H ₇	Δ	tf SF	Bioporosidad escasa

Figura 3.3.: Perfil cultural de Labranza reducida con pastoreo



Capa	1° Nivel	2° Nivel	Observaciones
H ₁	$\Delta \rightarrow \Gamma$	F tf>>>	Primer cm estructura laminar. Abundante
H ₅	Γ	SF	Bioporosidad presente

Figura 3.5.: Perfil cultural de Labranza convencional con pastoreo



Capa	1º Nivel	2º Nivel	Observaciones
H ₁	Δ y Γ	F tf >>>>	Primer cm estructura laminar. Bioporosidad visible
H ₆	$\Gamma \rightarrow \Delta$	SD	Bloques angulares
H ₇	Δ	SD	Bloques angulares, extremadamente gruesos

3.2.2.2. Situación Sin pastoreo

En esta situación también puede observarse una mayor heterogeneidad en los perfiles de SD y LC (H₁, H₆ y H₇) que en LR (H₁ y H₅) (figuras 3.2, 3.4 y 3.6). Esta diferencia estaría indicando un mayor grado de homogeneidad en LR producto de la acción del cincel que genera la capa H₅, lo cual le permitiría al cultivo una mayor facilidad de exploración al no presentar los cambios abruptos manifiestos en los otros tratamientos (Porta Casanela *et al.*, 1994).

La Siembra Directa (figura 3.2) presenta un 21,4% de la capa H₁ con terrones Γ soldados fácilmente separables y escasa tierra fina, elevada actividad biológica, exploración radical en todas las direcciones y abundante bioporosidad. Las capas H₆ y H₇ tienen el 27 y 41,9% restantes, siendo esta última la de peor estado estructural por tener terrones $\Gamma \rightarrow \Delta$ SF. Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Piccinin *et al* (1998), dado que luego de varios años de SD no se detecta compactación homogénea aunque sí abundante presencia de estados Δ .

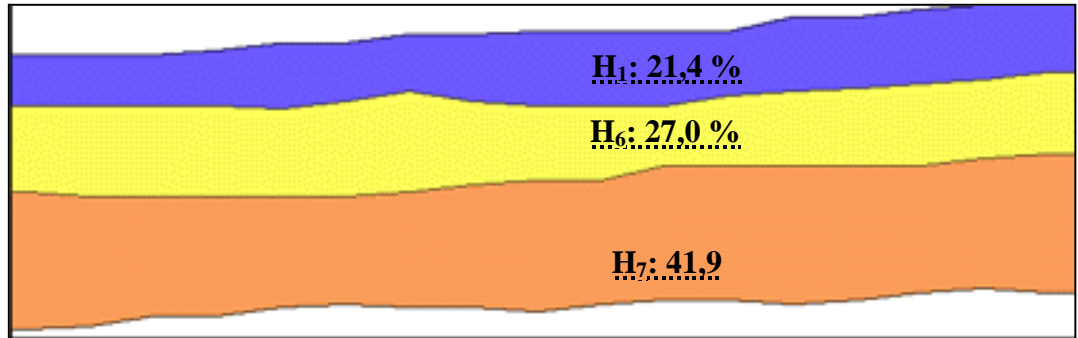
En cuanto al tratamiento de Labranza Reducida (figura 3.4) se observa que el H₁ representa un 24,7% del perfil cultural con un estado de mayor deterioro que SD porque los terrones son $\Delta \rightarrow \Gamma$ F con un primer cm de tipo laminar causado por la formación del sello superficial por la pulverización de la rastra excéntrica. La capa H₅ representa un 72,2%, con terrones Γ SF, fruto de haberse fraccionado las compactaciones sub superficiales existentes con lo que se logró aumentar el número de terrones pero internamente cohesionados. En ambos casos se presenta bioporosidad visible.

El tratamiento de Labranza Convencional (figura 3.6) se presenta más degradado, desde el punto de vista estructural que los dos anteriores, al tener un 32,6% de H₁ con un estado Δ y Γ F y con abundante tierra fina. El primer cm del suelo presenta estructura de tipo laminar característico de la formación del sello superficial fruto de la pulverización del suelo. El H₆, con una representación del 26,9%, tiene terrones Δ y SD fruto de una elevada compactación sub superficial entre los 10-20 cm. El H₇ presente en un 38,6% del Perfil Cultural manifiesta terrones Δ y SF con terrones de bordes lisos y bioporosidad escasa.

Estos resultados son contradictorios a los señalados por Ferreras *et al.*, (1998) porque éste manifiesta un mayor grado de estados compactos sin porosidad visible en SD que en LR tanto a nivel superficial como en profundidad, mientras que lo observado en la figuras 3.2, 3.4 y 3.6 es una mayor presencia de terrones Γ en el H₁ de SD que en LR. En la comparación H₅ (LR) vs H₆ y H₇ (SD) ocurre lo planteado por Ferreras *et al.* (1998) al notarse mayor proporción de terrones Γ en el H₅ de LR.

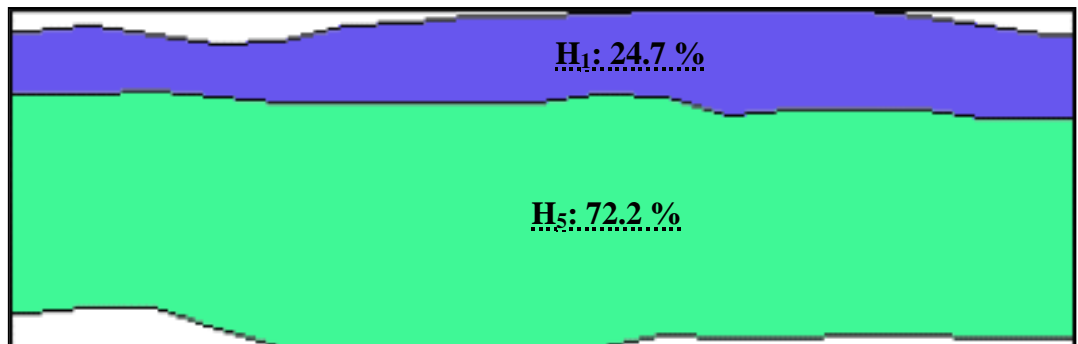
Por otro lado, si bien la formación de costras o sellos superficiales se presentó en LR y LC, Bricchi (1996) ha documentado que la funcionalidad de los mismos es diferente en términos de conductividad del agua. Además, considerando el diferente estado estructural a nivel sub superficial del suelo entre ambos sistemas de labranza, cabría esperar que el ingreso y redistribución del agua de lluvia entre tratamientos fuese en el orden SD>LR>LC en términos de infiltración.

Figura 3.2.: Perfil cultural de Siembra directa sin pastoreo



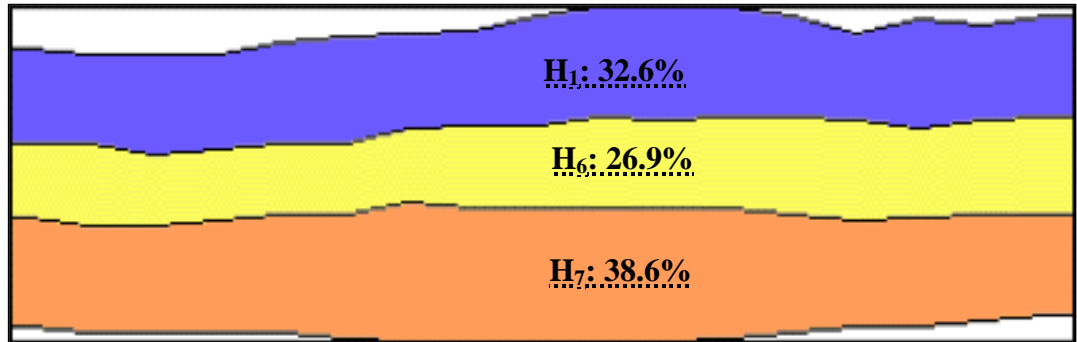
Capa	1° Nivel	2° Nivel	Observaciones
H ₁	Γ	SF tf>	Buena exploración radical y act. Biológica
H ₆	Γ	SF tf>	Gran cantidad de bioporos
H ₇	Γ→Δ	SF tf	Buena exploración radical

Figura 3.4.: Perfil cultural de Labranza reducida sin pastoreo



Capa	1° Nivel	2° Nivel	Observaciones
H ₁	Δ→Γ	F	1° cm estructura laminar. Abundante bioporosidad
H ₅	Γ	SF	Bioporosidad presente

Figura 3.6.: Perfil cultural de Labranza convencional sin pastoreo



Capa	1º Nivel	2º Nivel	Observaciones
H ₁	Δ y Γ	F tf >>>>	Primer cm estructura laminar. Bioporosidad visible
H ₆	Δ	SD	Bloques angulares
H ₇	Δ	SF	Bordes lisos, escasa bioporosidad

3.2.3. PESO ESPECÍFICO APARENTE

Las determinaciones del PEA en cada una de las capas de los perfiles culturales indican que no existen diferencias entre labranzas en ninguna de las capas analizadas como tampoco interacción pastoreo*labranza significativa. Con respecto a la comparación entre las situaciones con y sin pastoreo, sólo se encontró diferencia significativa en el H₁ (tabla 3.4) siendo el PEA en la situación con pastoreo de 1.27 tn/m³ y en la situación sin pastoreo de 1.22 tn/m³. Estos resultados son coincidentes con Martín *et al.* (1998) en cuanto a que el pisoteo animal genera compactación de los 7 primeros cm del suelo, siendo esta profundidad similar al espesor del H₁ observado en los respectivos gráficos del perfil cultural.

Estos resultados son contradictorios con los encontrados por Cassel *et al.* (1995) y Thomas *et al.* (1994), quienes plantean que en los primeros centímetros de suelo SD tiene valores más elevados de densidad. En suelos como el Hapludol típico de este trabajo, un incremento de la materia orgánica a nivel superficial mediante el aporte de rastrojos provoca rápidamente un aumento de la porosidad total. Esta situación está evidenciada en el hecho de

que Aquino *et al.* (2000) en el mismo ensayo, determinó un mayor contenido de materia orgánica en los primeros centímetros del suelo en SD SP, que podría explicar los menores valores de densidad. Con los valores de porosidad total de este trabajo y con los datos de materia orgánica antes mencionados se encontró una relación de tipo lineal (porosidad total = 0.1862 Materia orgánica + 0.2079, con un $r^2 = 0.7419$).

Tabla 3.4: Densidad aparente del suelo (PEA) expresada en tn/m^3

	Capa H₁	Capa H₅₋₆	Capa H₅₋₇
Sin Pastoreo	1.220 a	1.352	1.330
Con Pastoreo	1.270 b	1.337	1.338
LSD (0.05)	0.0424	0.1906	0.2329
Siembra Directa	1.205	1.343	1.353
Labranza Reducida	1.238	1.323	1.323
Labranza Convencional	1.293	1.368	1.328
LSD (0.05)	0.1057	0.0921	0.1125
Pastoreo*Labranza	0.0896	0.3442	0.6259
C.V. (%)	4.33	3.49	4.29

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

3.2.4. POROSIDAD

3.2.4.1. Macroporos (poros > a 75 μ)

En la tabla 3.5 puede apreciarse el porcentaje de poros mayores a 75 μ . En este sentido, las labranzas han modificado la macroporosidad sólo en el H₁, donde SD tiene un 15.47 % de macroporosidad siendo significativamente diferente de LC (8.99 %). En las otras dos capas inferiores (H₅₋₆ y H₅₋₇) aunque no se encontró diferencia significativo al 5 % de probabilidad existiría una

tendencia a una mayor proporción de macroporos. Estos resultados son coincidentes con Shipitalo *et al.* (2000), el cual planteó que una mayor macroporosidad superficial en labranzas conservacionistas mediante la proliferación de bioporos. Mientras que contradicen a los resultados encontrados por Giménez *et al.* (1996) y por Quiroga *et al.* (1998), porque éstos autores encontraron menor macroporosidad en los primeros cm de suelo de la SD en relación a LC, siendo similar en mayor profundidad.

No se han observado efectos significativos por el pastoreo de los rastrojo, ni interacción Pastoreo*Labranza.

Tabla 3.5: Macroporosidad, porcentaje de poros > a 75 μ

	Capa H ₁	Capa H ₅₋₆	Capa H ₅₋₇
Sin Pastoreo	13.347	9.260	8.793
Con Pastoreo	11.740	9.515	9.272
LSD (0.05)	3.8119	0.4447	1.2494
Siembra Directa	15.465 a	10.523	9.300
Labranza Reducida	13.223 ab	10.195	10.195
Labranza Convencional	8.943 b	7.445	7.603
LSD (0.05)	4.3936	3.9273	3.8386
Pastoreo x Labranza	0.0500	0.8600	0.8556
C.V. (%)	17.84	21.31	21.65

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

3.2.4.2. Distribución por tamaño de poros

La clasificación por tamaño de poros, que se basa en la velocidad del flujo del agua dentro del suelo, se presenta en la tabla 3.6. Según éstos resultados, puede apreciarse a nivel de H_1 un efecto de las labranzas sobre la porosidad total, los poros de drenaje rápido y los de almacenaje. En este sentido, ambas labranzas conservacionistas (SD y LR) presentan mayores valores de Porosidad total y de drenaje rápido que LC, mientras que en los poros de almacenaje SD es superior a LR. Las diferencias en la porosidad total son del 11.61% menos en LC respecto de SD y del 12.70% respecto de LR. En relación a la proporción de poros de drenaje rápido ($>30\mu$) las diferencias son de un 23.49% menos para LC respecto de SD y del 27.52% menos respecto de LR.

En las tablas 3.7 y 3.8 se muestran los mismos resultados para las capas H_{5-6} y H_{5-7} . No se evidencia diferencia significativa alguna entre labranzas, pastoreo, ni interacción pastoreo*labranza. Aunque no se encontraron diferencias significativas, se aprecia una tendencia hacia una mayor porosidad de drenaje rápido en la H_5 de LR con respecto a la H_6 y H_7 de SD y LC, lo cual posiblemente indicaría la necesidad de una mayor continuidad para que este sistema altere la macroporosidad de estas capas, según lo planteado por Cisneros *et al.* (1998).

Por otro lado los perfiles culturales (Figuras 3.1, 3.3, 3.5, 3.2, 3.4 y 3.6) evidencian modificaciones morfológicas de la macroporosidad ante la presencia de diferentes tipos de terrones, que apoyarían la hipótesis de la tendencia antes mencionada.

Tabla 3.6 : Distribución del tamaño de poros en la capa H₁ (%)

	Porosidad Total	Drenaje rápido ≥30μ	Drenaje lento 30-10μ	Poros de Almacenaje 10-0.2μ	Microporos OS ≤0.2μ
Sin Pastoreo	52.55	21.93	9.69	8.50	12.43
Con Pastoreo	50.97	21.01	9.32	8.30	12.34
LSD (0.05)	22.21	14.61	12.11	8.00	3.49
Siembra Directa	53.44 a	22.66 a	8.71	9.54 a	12.52
Labranza Reducida	53.96 a	23.40 a	10.19	7.42 b	12.97
Labranza Convenc.	47.88 b	18.35 b	9.63	8.25 ab	11.66
LSD (0.05)	5.07	4.31	3.57	1.88	2.37
Pastoreo*labranza	0.1645	0.0507	0.5890	0.1792	0.2700
C.V. (%)	4.99	10.22	19.15	11.38	9.74

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Tabla 3.7: Distribución del tamaño de poros en la capa H₅₋₆ (%)

	Porosidad Total	Drenaje rápido ≥30μ	Drenaje lento 30-10μ	Poros de almacenaje 10-0.2μ	Microporos ≤0.2μ
Sin Pastoreo	47.48	16.74	8.06	9.13	13.56
Con Pastoreo	46.12	16.57	8.83	7.59	13.14
LSD (0.05)	2.58	20.16	3.09	2.35	17.30
Siembra Directa	47.23	16.22	8.43	8.40	14.19
Labranza Reducida	47.44	18.31	8.14	7.46	13.53
Labranza Convenc.	45.72	15.43	8.75	9.21	12.33
LSD (0.05)	6.57	6.96	3.27	3.08	3.82
Pastoreo*Labranza	0.8892	0.9378	0.9761	0.4381	0.8902
C.V. (%)	7.16	21.30	19.75	18.77	14.59

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Tabla 3.8: Distribución del tamaño de poros en la capa H₅₋₇ (%)

	Porosidad	Drenaje	Drenaje	Poros de	Microporos
	Total	rápido	lento	almacenaje	<0.2μ
		>30μ	30-10μ	10-0.2μ	
Sin Pastoreo	46.09	15.11	8.07	9.39	13.52
Con Pastoreo	47.46	16.67	9.11	7.81	13.87
LSD (0.05)	13.26	3.85	17.89	5.89	5.10
Siembra Directa	47.36	14.92	8.84	10.08	13.53
Labranza Reducida	47.44	18.31	8.14	7.46	13.53
Labranza Convenc.	45.52	14.44	8.80	8.26	14.03
LSD (0.05)	4.94	4.93	3.37	4.93	3.12
Pastoreo*Labranza	0.6283	0.6183	0.3518	0.6168	0.9365
C.V. (%)	5.38	15.80	19.98	29.20	11.59

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Golabi *et al.* (1995) el cual observó una mayor cantidad de macroporos en los primeros cm del suelo en SD que en LC, además esta clase de poros eran indicados como responsables de una mayor conductividad hidráulica saturada en SD. También concuerdan con Miller *et al.* (1999) quienes determinaron, luego de 24 años de labranzas sobre un suelo franco arcilloso, un mayor porcentaje de poros mayores a 30 micras en SD que en LC, mientras que la cantidad de poros menores a 4 micras fue mayor en LC.

Por otro lado, contradicen a Ferreras *et al.* (1998) porque éstos cuantificaron a nivel superficial una mayor densidad aparente y una menor porosidad efectiva en SD que en Labranza Vertical, evidenciando un proceso de compactación del Argiudol típico empleado en el experimento. Tampoco son coincidentes con lo propuesto por Krzic *et al.* (2000) los cuáles determinaron, antes y después de las labores, que la implantación de cultivos con un solo laboreo en otoño y sin laboreo en primavera tiene menos porosidad

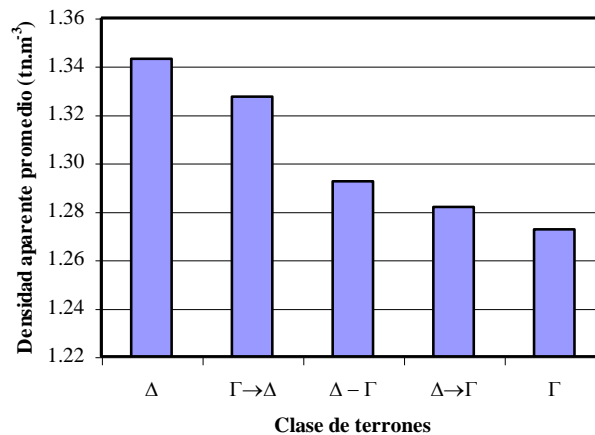
de aireación (>50 micras) que cuando se realizan ambas labores. También contradicen a lo planteado por Ferreras *et al.* (2000), los cuáles determinaron diferencias en la distribución por tamaño de poros debidas a diferentes sistemas de labranza, siendo mayor la proporción de poros >20 micras en LC respecto de SD.

Una de las posibles causas que explicarían una mayor macroposidad en SD y LR en los primeros centímetro de suelo, según lo planteado por Rasse and Smucker (1998), es que las labranzas modifican la distribución de los bioporos dejados por las raíces de cultivos anteriores. Luego estos bioporos son mayoritariamente utilizados bajo SD y LR, por el cultivo de maíz siguiente, lo cual les otorga una mayor estabilidad. Además tal cual lo planteado por Wild (1992) el grupo más importante de agentes creadores de poros estructurales en suelos no laboreados son las raíces.

3.3. INTEGRACIÓN DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS

Analizando la figura 3.7 puede verse una relación entre el tipo de terrones presentes en los Perfiles Culturales y la densidad aparente encontrada. De este modo en las capas con predominio de terrones tipo Δ se manifiestan los mayores valores de densidad, coincidiendo con Bricchi (1996) en cuanto a que la presencia de terrones Δ está asociada a procesos de compactación. Mientras las densidades asociadas a la existencia de terrones Γ son las más bajas fruto de procesos de agregación del suelo.

Figura 3.7: Peso específico aparente (P.E.A.) por clase de terrón del perfil cultural (valores promedio entre tratamientos)



En la figura 3.8 se muestran los valores promedio de poros $> 75 \mu$, según el predominio de terrones presentes en el Perfil Cultural. En el mismo puede apreciarse como, a medida que proliferan terrones Γ aumenta la macroporosidad del suelo. Este efecto estaría asociado a la relación existente entre la proporción de macroporos y la densidad del suelo, según lo planteado por Bricchi (1996) y Robinson *et al.* (1994), dado que en la figura 3.9 se puede observar cómo la disminución en los valores de densidad se logra mediante un aumento de los poros más grandes del suelo, con un ajuste de tipo lineal con R^2 del 75.71%.

Figura 3.8: Proporción de poros $> 75 \mu$ por clase de terrón del perfil cultural (valores promedio entre tratamientos)

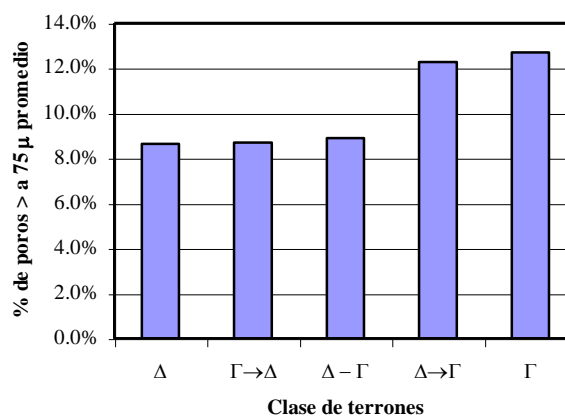
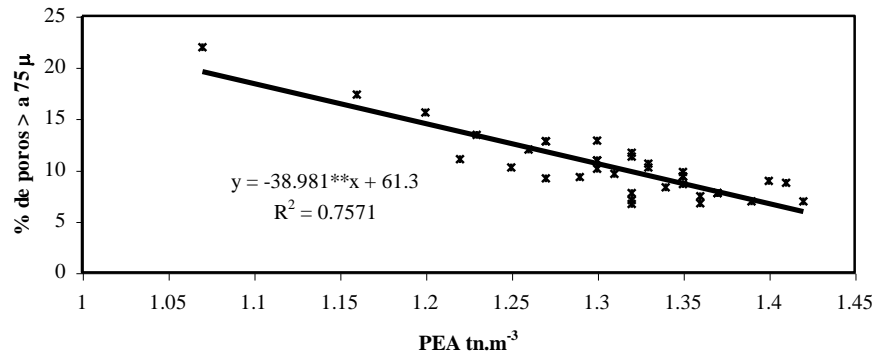


Figura 3.9: Relación entre Proporción de poros >75μ y peso específico aparente del suelo (P.E.A.).



.....
** indican regresión lineal significativa al 5 o al 1 % de probabilidad respectivamente

Estas observaciones son coincidentes con Pecorari (1998) y Tavares Filho *et al.* (1999) en cuanto a que el método del Perfil Cultural es una metodología muy apropiada para el estudio de las propiedades físico estructurales del suelo al describir morfológicamente la condición física del mismo y orientar su muestreo encontrando una muy buena relación entre los tipos de terrones presentes en el mismo y las propiedades del suelo asociadas.

En las figuras 3.10 y 3.11 se aprecia las modificaciones de la densidad del suelo en profundidad. En los mismos puede comprobarse que en la situación sin pastoreo se evidencia, en los primeros centímetros del suelo, mayores diferencias entre laboreos que en la situación con pastoreo. De esta manera podría considerarse la interacción labranza*pastoreo sobre todo a nivel superficial. Cabe aclarar que el análisis de la varianza, para los valores de densidad del H₁, indica un valor de $P=0,0896$ por lo cual sería significativo al 10% de probabilidad (ver tabla 3.4).

Como se aprecia en la figura 3.10 (situación sin pastoreo), hasta los 10 cm la menor densidad observada en SD estaría dada por una mayor bioporosidad. En LR y LC, a nivel superficial, la utilización de la doble acción provoca una pulverización del suelo que por posterior re acomodamiento de las partículas se elevan los valores de densidad. En cambio, los 15 cm la SD y LR mantienen valores semejantes entre sí y más bajos que LC.

Por debajo de los 20 cm no se aprecian diferencias de densidad entre los tratamientos de labranza.

Por otro lado en la figura 3.11 (situación con pastoreo), no se observaron las diferencias en los primeros 5 cm del suelo entre las labranzas, lo cual pone en evidencia que los aumentos de porosidad, señalados en el párrafo anterior, no ocurrieron cuando se pastorearon los rastrojos.

Figura 3.10: Peso específico aparente (P.E.A.) del suelo según profundidad.
Situación sin pastoreo.

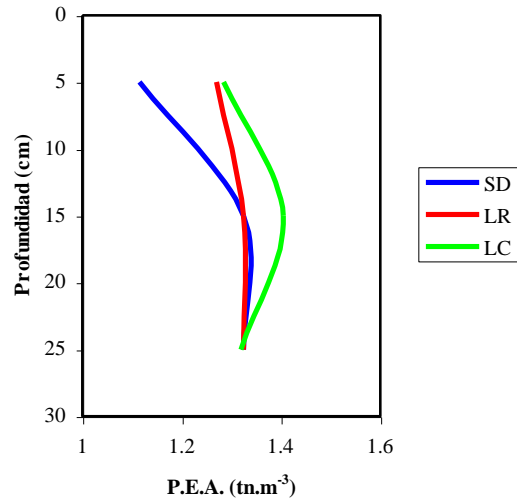
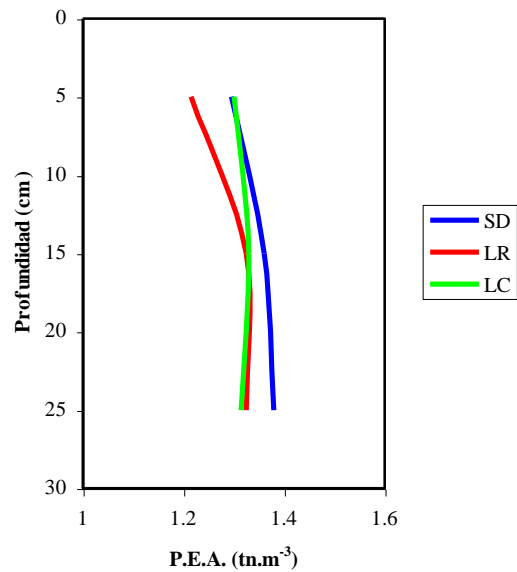


Figura 3.11: Peso específico aparente (P.E.A.) del suelo según profundidad.
Situación con pastoreo.



Con respecto a la proporción de poros mayores a 75μ , se observó la misma situación que para el PEA (Figuras 3.12 y 3.13). Esta clase de poros es más abundante en SD sin pastoreo en los primeros centímetros del suelo, sin ocurrir lo mismo en la situación pastoreada. Este hecho vuelve a plantear la

interacción pastoreo*labranza dado que en el ANAVA dio como resultado un $P=0.054$, lo cual sería significativo al 10% de probabilidad.

Figura 3.12: Proporción de poros $>75\mu$ según profundidad. Situación sin pastoreo.

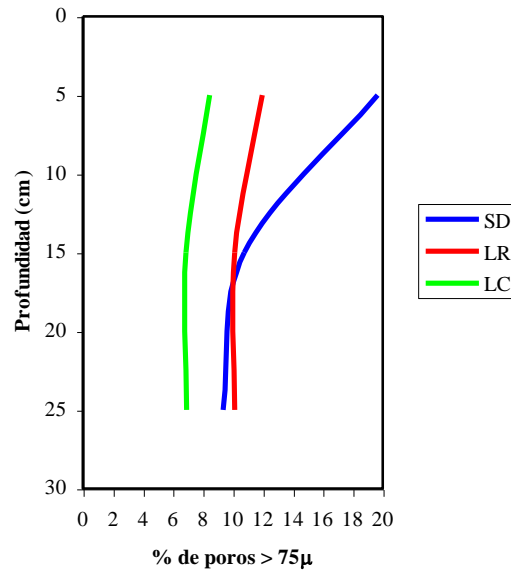
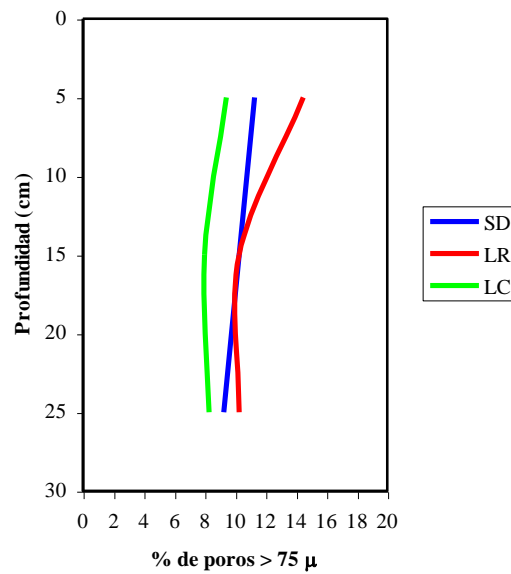


Figura 3.13: Proporción de poros $>75\mu$ según profundidad. Situación con pastoreo.



3.4. CONCLUSIONES PRELIMINARES

Los principales cambios físico-estructurales de un Hapludol típico sometido a dos situaciones de pastoreo (con y sin) y a tres sistemas de labranza son los siguientes:

- 1) Los sistemas de labranza alteran el grado de homogeneización del Perfil Cultural del suelo.
- 2) SD SP y LR en las dos situaciones de pastoreo muestran terrones Γ en todas las capas del perfil cultural. Ello evidenciaría un grado de funcionalidad del suelo más adecuado, en cuanto a la dinámica hídrica y a la exploración radical, que los terrones Δ de SD CP y de las dos situaciones de la LC.
- 3) El pastoreo de los rastrojos genera compactación en el H_1 del suelo independientemente del sistema de laboreo empleado para la implantación del cultivo de maíz.
- 4) No se detectaron diferencias de ninguna de las otras variables medidas en ninguna de las capas del perfil cultural debidas al pastoreo.
- 5) No se observan cambios en la densidad del suelo debido a los sistemas de labranza en todo el perfil cultural.
- 6) Aumenta la proporción de macroporos (mayores a 75μ) a medida que se disminuye el laboreo del suelo hacia la situación de no labranza o SD en el H_1 , no existiendo modificaciones a nivel de las capas más profundas.
- 7) La porosidad total y la proporción de poros de drenaje rápido (superiores a 30μ) son mayores en el H_1 de SD y LR que en la misma capa de LC. No existen diferencias en las otras capas.

- 8) Es posible que LR deba realizarse durante un mayor número de años para evidenciar efectos en la macroporosidad del suelo en las capas sub superficiales del perfil cultural.

CAPÍTULO 4

DINAMICA HÍDRICA DEL SUELO

4.1. INTRODUCCIÓN

La tasa de movimiento del agua a través del suelo es de considerable importancia en muchos aspectos de la vida agrícola y humana.

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

4.1.1. Conductividad hidráulica saturada (Ks)

La conductividad hidráulica está relacionada con el tamaño de los terrones, las fisuras entre y dentro de éstos y la bioporosidad (Brichi, 1996). Además una baja conductividad en alguna de las capas del perfil cultural condiciona el movimiento del agua en todo el perfil del suelo.

Mankin *et al.* (1996) señalaron que la Ks está inversamente relacionada con la densidad del suelo, además esta variable respondió a los efectos del laboreo de manera similar a la densidad aparente. Estos autores también indicaron que varios expertos en la materia han encontrado correlación entre la Ks y la macroporosidad del suelo.

La porosidad efectiva, entendida como la diferencia entre el contenido hídrico volumétrico saturado del suelo y el contenido hídrico a -33Kpa de succión, ha sido indicada por Timlin *et al.* (1999) como un buen predictor de la conductividad hidráulica saturada, mediante la ecuación Kozeny-Carman modificada por Rawls *et al.* (1998), donde:

$$K_s = B_e \psi_e^{3-\lambda}$$

siendo ψ_e la porosidad efectiva y λ el índice de distribución por tamaño de poros de la ecuación Brooks and Corey (1964). Además éstos autores han demostrado que el exponente $(3-\lambda)$ puede ser considerado como una medida de la dimensión fractal de los poros.

Mientras que Bricchi (1996) señaló una relación lineal entre los poros mayores a 60 μ y la conductividad hidráulica saturada de un suelo Hapludol típico del Dpto. Río Cuarto.

Las labranzas son uno de los factores que fuertemente afectan la macroporosidad del suelo y con ello la infiltración. Sin embargo, Azevedo *et al.* (1998) señalan que los efectos de las labranzas sobre ésta característica del suelo no son consistentes.

Diiwu *et al.* (1998) y Hillel (1980), explicaron que dada la elevada variabilidad en la determinación de la conductividad hidráulica saturada, es difícil encontrar diferencias consistentes debidas a los sistemas de laboreo del suelo.

Lindstrom *et al.* (1998), comparando los efectos de las labranzas sobre la erosión de suelos en rotación con praderas, definieron que la siembra directa ha preservado las características benéficas generadas por la pradera en 4 años, con lo cual definen este sistema de labranza como mantenedor de la permeabilidad del suelo.

Miller *et al.* (1999) han determinado, luego de 24 años de estudios sobre sistemas de labranza, que sobre un suelo franco arcilloso los valores de K_s fueron mayores en SD que en LC debido a un mayor porcentaje de poros > a 30 micras. Del mismo modo Mahboubi *et al.* (1993) encontraron que la SD tiene 12 veces más conductividad hidráulica que la LR y la LC.

Por otro lado, Ferreras *et al.* (2000) indicaron, en un Paleudol petrocálcico, una menor conductividad hidráulica saturada del suelo, dada por una mayor compactación de este suelo bajo en SD que en LC.

La menor porosidad y conductividad hidráulica en SD estaría asociada con las condiciones estructurales del suelo previo, lo cual es coincidente con Gómez *et al.* (1999) los cuáles definieron que una menor conductividad

hidráulica en SD es explicada por una mayor compactación del suelo en relación con LC, sobre un Xerachrept calcixeroll vértico de textura franco arcillosa.

Otros autores propusieron que es necesario el mantenimiento del suelo bajo SD durante un lapso de tiempo prolongado para que se comiencen a ver los efectos sobre la porosidad. Es así que Obi (1999) indicó un periodo mayor a 5 años de mantenimiento de cubierta de residuos, para que un Ultisol degradado restaure su fertilidad hacia un estado productivo aceptable. Corsini y Ferraudo (1999) señalaron que en los primeros tres años de adopción de SD, se espera una disminución de la macroporosidad del suelo, mientras que luego del 4º año comenzaron los efectos benéficos de este sistema sobre la macroporosidad y VandenBygaert *et al.* (1999) observaron que a medida aumentaba el número de años que un suelo es sometido a SD continua, aumentaba la proporción de poros entre 100-500 μ .

4.1.2. Curva característica de humedad

Entre los parámetros de la curva característica de humedad del suelo, el potencial de entrada de aire (potencial al cual los macroporos del suelo que están llenos de agua comienzan a drenar permitiendo la entrada de aire en el proceso de desorción) es uno de los más importantes de caracterizar dado que refleja la macroporosidad del suelo, su tortuosidad y capacidad de conducir agua (Campbell, 1985).

La parametrización de las propiedades hídricas del suelo, mediante ecuaciones, facilita la estimación de algunas características edáficas de difícil cuantificación mediante muestreos (Timlin *et al.* 1999; Ahuja *et al.* 1998). De esta manera, la ecuación de la curva característica de humedad puede representarse como:

$$\psi_m = \psi_{e.a} (\theta/\theta_{sat})^{-b}$$

donde

ψ_m , es el potencial de succión.(m)

$\psi_{e.a}$ es el potencial de entrada de aire.(m)

θ , es el contenido volumétrico de agua a ψ_m (m^3/m^3)
 θ_{sat} , es el contenido volumétrico de agua a saturación (m^3/m^3)
 $-b$, es la pendiente de la relación $\ln \psi$ vs $\ln \theta$.

Müller (2000) propuso determinar los valores de ψ_e y b mediante resolución gráfica, en una escala log-log, de los datos de humedad y succión para encontrar la ecuación lineal que mejor ajusta dichos valores. La pendiente y la ordenada al origen de esta ecuación son usados como b y ψ_e .

Ehlers *et al.* (1995) planteó la posibilidad de estimar mediante índices, características como la tortuosidad del espacio poroso, elemento clave para entender el flujo del agua dentro del suelo.

Duiker and Lal (1999) sobre un Ocracualf aérico, señalaron que no existen cambios en la curva de retención hídrica entre diferentes sistemas de laboreo y Ahuja *et al.* (1998) en suelo arcillosos, establecieron que las diferentes labranzas no afectan el valor de entrada de aire en el proceso de desorción mientras que incrementan el valor absoluto de la pendiente en la relación log-log, por debajo del valor de succión de entrada de aire. Además los cambios debidos a las labranzas en la curva de retención ocurren solamente en el rango de los macroporos de mayor dimensión, aproximadamente entre el valor de entrada de aire y 10 veces este valor.

4.2. RESULTADOS Y DISCUSION

4.2.1. CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

Los valores de Conductividad obtenidos (tabla 4.1) permiten clasificar a este suelo como de permeabilidad media, para todos los tratamientos probados, según la escala propuesta por Kutílek & Nielsen (1994).

4.2.1.1. Determinación de K_s en la capa H_1 .

En esta capa se detectó interacción significativa pastoreo*labranza, los resultados de la interacción se muestran en la tabla 4.2. En el mismo se aprecia que SD SP es la situación con mayor valor de Ks, siendo el mismo de 32.365 mm.h⁻¹. Un segundo grupo estaría integrado por las dos situaciones de LR, las cuales son significativamente diferentes de la SD CP y de las dos situaciones de LC. La SD CP mantiene valores de Ks significativamente superior a las dos situaciones de LC.

De este modo, SD SP tiene una Ks 42, 130.5 y 403 % mayor que LR, SD CP y LC, respectivamente. Coincidiendo con Miller *et al.* (1999) y Mahboubi *et al.* (1993) al ser la Ks de SD superior a LC, posiblemente por una mayor proporción de macroporos de acuerdo a lo señalado en el capítulo 3 (tabla 3.5 y tabla 3.6). Mientras que estos resultados contradicen a lo manifestado por Ferreras *et al.* (2000) posiblemente debido a una menor degradación estructural del suelo, previo al comienzo de la experiencia realizada por Ferreras.

Tabla 4.1: Conductividad hidráulica saturada (mm/h)

	H₁	H₅₋₆	H₅₋₇
Sin Pastoreo	20.352	11.838	11.668
Con Pastoreo	14.615	10.455	9.812
LSD (0.05)	5.1248	14.645	8.5026
Siembra Directa	23.203	14.355 a	12.040 ab
Labranza Reducida	22.815	14.183 a	14.183 a
Labranza Convencional	6.433	4.903 b	5.996 b

LSD (0.05)	5.8915	8.0842	7.1964
Past.*Labranza (Pr>F)	0.0171	0.7553	0.6195
C.V. (%)	17.16	36.94	34.13

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Tabla 4.2: Conductividad hidráulica saturada (mm/h). Análisis de la interacción para el H₁

	Ks (mm.h⁻¹)
Siembra Directa sin pastoreo	32.37 a
Labranza Reducida con pastoreo	23.55 b
Labranza Reducida sin pastoreo	22.08 b
Siembra Directa con pastoreo	14.04 c
Labranza Convencional sin pastoreo	6.61 d
Labranza Convencional con pastoreo	6.26 d
C.V. (%)	15.46

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5. % de probabilidad según test LSD.

Estos resultados implicarían que los efectos benéficos de SD sobre la Conductividad Hidráulica saturada, se observan sólo donde se mantienen importantes volúmenes de rastrojo en superficie, de acuerdo a lo planteado por Obi (1999) y con Corsini y Ferraudo (1999) dado que es necesario más de 4 años de SD continua con abundantes rastrojos en superficie para que un suelo genere cambios en sus propiedades hídricas, siempre que el mismo no presente un grado muy elevado de degradación (Cisneros *et al.*, 1998 y Ferrari, 1997). En cambio SD CP, por consumir anualmente importantes volúmenes de rastrojos, limita la actividad biológica del suelo, especialmente lombrices, tal cual lo plantearon Schrader *et al.* (1995) y Kladvko (1994).

La no diferencia entre con o sin pastoreo en LR se debería a que existe una labor de repaso al trabajo del cincel (rastra excéntrica) que provocó una importante disminución en el rastrojo superficial, como se observa en la tabla 3.1 (capítulo 3). De todos modos, este sistema de laboreo del suelo genera fisuras y vacíos propios del efecto del estallido del mismo, que cuando se realiza durante varios años seguidos permite su estabilización

favoreciéndose la permeabilidad, según lo señalado por Cisneros *et al* (1998).

4.2.1.2. Determinación de Ks en la capa H₅₋₆,

En esta capa, las diferencias fueron significativas a nivel de labranzas, donde los dos sistemas de labranza conservacionista (SD y LR) presentaron niveles superiores que LC (tabla 4.1).

Los resultados obtenidos demuestran cómo el antiguo piso de labranza secundaria o piso de rastra, ubicado entre los 10 y 20 cm de profundidad, está funcionando con mayor permeabilidad en las labranzas conservacionistas que en LC. Ello podría deberse a una mayor exploración radical en SD (Rasse and Smucker, 1998) y por el efecto del cincel en LR, mientras que contradice a Mahboubi *et al* (1993) quien encontró que la conductividad en SD no es diferente de LR en esta profundidad.

No se detectó interacción pastoreo*labranza significativa, como tampoco entre las situaciones de pastoreo.

4.2.1.3. Determinación de Ks en la capa H₅₋₇,

En esta capa, las diferencias fueron significativas a nivel de labranzas, donde LR es similar a SD aunque superior a LC.

Los efectos de las labranzas sobre el piso de arado, ubicado entre los 20 y 30 cm de profundidad, se evidencian en el hecho de que la única labranza que ha alterado su condición es LR. Esta situación estaría dada porque el cincel fue utilizado a unos 33 cm de profundidad y con la humedad adecuada para provocar el fisuramiento del suelo. En el caso de SD, puede decirse que esta labranza tendría efecto sobre la condición de compactación del antiguo piso de labranza.

No se detectó interacción pastoreo*labranza significativa, como tampoco entre las situaciones de pastoreo

Cabe aclarar que en todas las capas, sin considerar si hubo o no significancia, las diferencias de magnitud entre LC respecto a los otros dos tratamientos son elevadas. Esta situación pone de manifiesto el grado de deterioro al que el suelo está siendo sometido en este sistema de labranza dado que en el valor máximo de K_s es de 6.43 mm/hs en el H_1 y el mínimo es de 4.9mm/hs; mientras que, en los otros tratamientos, los valores máximos oscilan entre los 23 mm/hs y los mínimos los 12 mm/hs.

Otro aspecto de para considerar es el coeficiente de variación obtenido, si bien éstos valores son elevados desde un punto de vista estadístico, en términos agronómicos la variabilidad observada se encuentra acorde a la técnica empleada para su determinación (ver capítulo 2, punto 2.4.2.1.) y considerando la variabilidad extrema de la conductividad hidráulica del suelo tal como lo plantean Diiwu *et al* (1998) y Hillel (1980).

4.2.2. CURVA DE RETENCION HÍDRICA

Los valores de los coeficientes de la ecuación de retención de humedad propuesta por Müller (2000) en la capa H_1 , se muestran en la tabla 4.3. El ANAVA realizado indica que sólo fue afectado por las labranzas el valor a , lo que estaría indicando un mayor contenido volumétrico de agua a bajas succiones dado por una mayor proporción de macroporos, de acuerdo a lo planteado en el capítulo 3 (tabla 3.5). Con respecto al coeficiente b , no se observó diferencia significativa.

De este modo, el valor de entrada de aire ψ_e ($\psi_e = e^a$) fue afectado por los sistemas de labranza siguiendo el orden $LC > LR > SD$, siendo la diferencia entre LC y LR del 23.4 %, mientras que entre LC y SD del 74.9%. Estos resultados difieren de los presentados por Ahuja *et al.* (1998), porque estos autores no encontraron diferencias en el valor de entrada de aire debida al laboreo, posiblemente debido a las grandes diferencias texturales entre el suelo usado en esta experiencia y los utilizados por Ahuja *et al.* (1998). De esta manera, en LC es necesario realizar una mayor succión para comenzar el

proceso de drenaje, lo cual estaría dado por una menor proporción de poros de drenaje tal cual fue planteado en el capítulo 3 (ver tabla 3.6).

Los efectos del pastoreo sobre el ψ_e no son significativos como tampoco lo es la interacción pastoreo*labranza.

Tabla 4.3: Parámetros de la curva de retención hídrica H_1

	Carga de entrada de aire	Ordenada al origen	Pendiente
	ψ_e (m)	a	b
Sin Pastoreo	0.173	-1.849	-3.265
Con Pastoreo	0.184	-1.720	-3.172
LSD (0.05)	0.2198	1.3159	3.2693
Siembra Directa	0.1283 b	-2.1102 b	-3.6787
Labranza Reducida	0.1818 ab	-1.7320 ab	-2.9485
Labranza Convencional	0.2244 a	-1.5106 a	-3.0285
LSD (0.05)	0.0894	0.4428	0.7395
Past.*Labranza (Pr>F)	0.2618	0.1192	0.4312
C.V. (%)	25.55	12.64	11.70

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

En relación a los coeficientes de la curva de retención hídrica en las capas H_{5-6} y H_{5-7} , como se puede apreciar en las tablas 4.4 y 4.5, no se ha detectado diferencia significativa alguna, ni interacción pastoreo*labranza.

Esta ausencia de diferencias entre los tratamientos evaluados en la forma de la curva característica de humedad, es coincidente con la no diferencia en la distribución por tamaño de poros en estas capas (capítulo 3, tablas 3.7 y 3.8).

Ello estaría indicando, que las labranzas no afectarían la forma de la curva característica de humedad, como tampoco el ψ_e de los antiguos pisos de labranza; de manera similar a lo ocurrido con otras variables estudiadas en este trabajo.

De este modo los efectos que las distintas labranzas tienen sobre el suelo principalmente ocurrirían a nivel del H_1 .

Tabla 4.4: Parámetros de la curva de retención hídrica H₅₋₆

	Carga de entrada de aire	Ordenada al origen	Pendiente
	$\psi_e (m)$	a	b
Sin Pastoreo	0.1778	-1.7481	-3.9046
Con Pastoreo	0.1974	-1.6478	-3.4763
LSD (0.05)	0.1576	0.5044	5.7057
Siembra Directa	0.1663	-1.8185	-3.9411
Labranza Reducida	0.1794	-1.7311	-3.5078
Labranza Convencional	0.2173	-1.5444	-3.6225
LSD (0.05)	0.0886	0.4661	1.0001
Past.*Labranza (Pr>F)	0.8778	0.8129	0.6103
C.V. (%)	24.05	13.98	13.80

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.
En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad s/test LSD.

Tabla 4.5: Parámetros de la curva de retención hídrica H₅₋₇

	Carga de entrada de aire	Ordenada al origen	Pendiente
	$\psi_e (m)$	a	b
Sin Pastoreo	0.1829	-1.7281	-4.1857
Con Pastoreo	0.2037	-1.6218	-3.5088
LSD (0.05)	0.2681	1.3242	0.9138
Siembra Directa	0.1768	-1.7863	-4.4062
Labranza Reducida	0.1794	-1.7311	-3.5078
Labranza Convencional	0.2237	-1.5073	-3.6278
LSD (0.05)	0.0959	0.4863	0.8319
Past.*Labranza (Pr>F)	0.4393	0.4321	0.0874
C.V. (%)	25.27	14.79	11.01

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.
En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad s/test LSD.

En las tablas 4.6 y 4.7 se pueden observar los índices de continuidad de las clases de poros $>75 \mu$, $75-30 \mu$ y $30-10 \mu$ para el H_1 y el H_{5-6} respectivamente.

Los tratamientos de labranza tuvieron efectos significativos en las tres clases de poros analizadas. En este sentido, en las clases $>75 \mu$ y entre $75-30 \mu$ SD y LR tienen mayor índice de continuidad que LC, sin existir diferencias entre las dos primeras. Con respecto a la clase $30-10 \mu$, LR difirió significativamente de SD y LC, sin existir diferencias entre éstas dos últimas.

Las diferencias en el índice de continuidad observadas entre tratamientos, oscilan desde un máximo del 240% entre SD y LC, en la clase $>75 \mu$ del H_1 , hasta un mínimo del 109,7 % entre LR y LC, en la clase $75-30 \mu$ del H_{5-6} .

No se encontraron diferencias significativas entre situaciones de pastoreo, como tampoco interacción pastoreo*labranza.

Estas diferencias de magnitud estarían indicando que las labranzas alteraron considerablemente la continuidad porosa, lo cual sería coincidente con Azooz (1996) y Sims *et al.* (1994) dado que las labranzas tienden a disminuir la continuidad de los macroporos del suelo, mientras que bajo SD los suelos desarrollan canales más estables y continuos al ser producidos por la actividad de las lombrices y las raíces de los cultivos.

Tabla 4.6: Índice de continuidad por clase de poros H₁

	Cw para poros > 75 μ	Cw para 75-30 μ	Cw para 30-10 μ
Sin Pastoreo	0.0416	0.0470	0.1213
Con Pastoreo	0.0334	0.0393	0.1132
LSD (0.05)	0.0385	0.0288	0.2971
Siembra Directa	0.0527 a	0.0589 a	0.1006 b
Labranza Reducida	0.0443 a	0.0484 a	0.1852 a
Labranza Convencional	0.0155 b	0.0220 b	0.0660 b
LSD (0.05)	0.0217	0.0164	0.0417
Past.*Labranza (Pr>F)	0.1830	0.9061	0.6945
C.V. (%)	29.44	19.38	18.13

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Tabla 4.7: Índice de continuidad por clase de poros H₅₋₆

	Cw para poros > 75 μ	Cw para 75-30 μ	Cw para 30-10 μ
Sin Pastoreo	0.0370	0.0378	0.0856
Con Pastoreo	0.0281	0.0409	0.0833
LSD (0.05)	0.0218	0.1031	0.195
Siembra Directa	0.0429 a	0.0548 a	0.0877 ab
Labranza Reducida	0.0399 a	0.0432 a	0.1175 a
Labranza Convencional	0.0149 b	0.0201 b	0.0481 b
LSD (0.05)	0.0170	0.0204	0.052
Past.*Labranza (Pr>F)	0.4694	0.5147	0.4588
C.V. (%)	25.58	26.36	31.36

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Tabla 4.8: Índice de continuidad por clase de poros H₅₋₇

	Cw para poros > 75 μ	Cw para 75-30 μ	Cw para 30-10 μ
Sin Pastoreo	0.0399 a	0.0479	0.0826
Con Pastoreo	0.0268 b	0.0351	0.0805
LSD (0.05)	0.0040	0.1842	0.0616
Siembra Directa	0.0416	0.0539	0.0707 b
Labranza Reducida	0.0399	0.0432	0.1175 a
Labranza Convencional	0.0187	0.0273	0.0566 b
LSD (0.05)	0.0238	0.0367	0.0400
Past.*Labranza (Pr>F)	0.2740	0.5928	0.3079
C.V. (%)	36.37	45.04	24.97

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

En el caso del H₅₋₇ se han encontrado diferencias significativas a nivel de índice de continuidad entre la situación pastoreado y no pastoreada para la clase > 75 μ (tabla 4.8). Las labranzas sólo afectaron el índice de la clase 30-10 μ, siendo diferente LR de SD y LC.

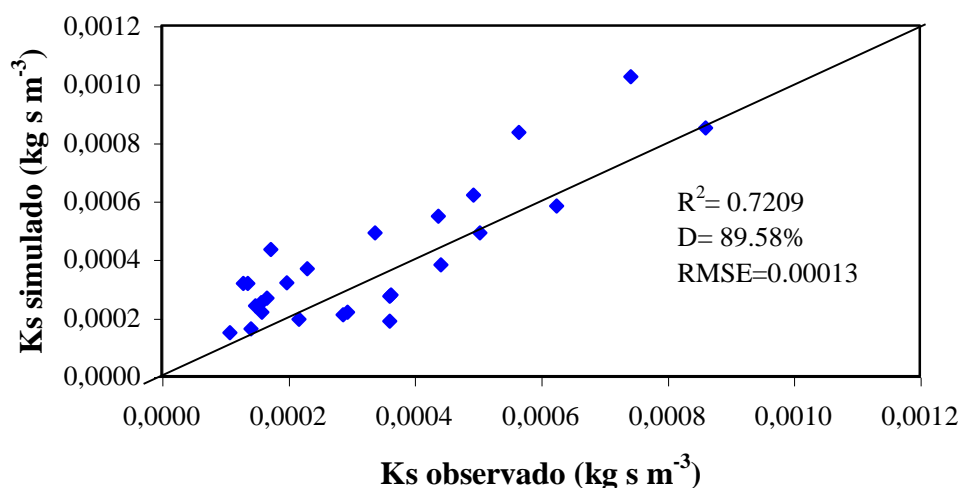
Estas pequeñas modificaciones en la continuidad porosa a nivel del H₅₋₇ estaría indicando que si bien LR no ha afectado su densidad aparente (capítulo 3, tabla 3.4) como tampoco la cantidad de macroporos (capítulo 3, tablas 3.5 y 3.6) estaría generando cambios significativos a nivel de la continuidad del espacio poroso existente y una posible tendencia, bajo LR, hacia una mejor condición estructural del H₅ coincidiendo con Cisneros *et al.* (1998) dado que son necesarios varios años en el uso de LR para provocar cambios estructurales estables a nivel de los pisos de labranza.

4.3. INTEGRACIÓN DE LAS VARIABLES MEDIDAS

Con los valores de conductividad hidráulica saturada calculados mediante la ecuación propuesta por Rawls *et al.* (1992) y los observados en laboratorio, se verificó el grado de ajuste entre ambas, como se puede observar en el gráfico 4.1. El coeficiente R^2 de la relación lineal fue del 72,09 %, el índice de concordancia D fue del 89,58 % y el RMSE de 0.00013 (Wilmott, 1982).

Estos indicadores permiten establecer que la ecuación antes mencionada es un buen predictor de la conductividad hidráulica saturada del suelo y que la misma se ajusta a las condiciones de suelo local.

Figura 4.1: Relación entre valores de Ks medidos y calculados

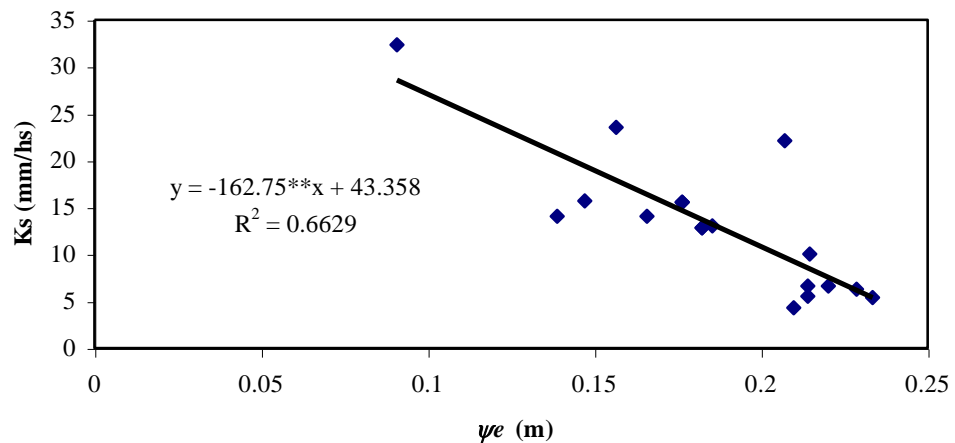


Como puede observarse en la figura 4.2, independientemente del tratamiento aplicado, la conductividad hidráulica saturada del suelo depende del valor de succión de entrada de aire. Esta situación estaría marcada por la macroporosidad del suelo, la cual se mencionó en el capítulo 3. Como es de esperar, una mayor proporción de poros más grandes y a la vez una mayor continuidad de los mismos, sería la explicación de una mayor conducción de agua en los sistemas de laboreo conservacionista (SD y LR) con respecto al sistemas de laboreo convencional LC. Este último, tendría menor porosidad

total, menor proporción de poros mayores a 75μ y menor índice de continuidad del espacio poroso.

Por otro lado, en la medida que se realiza SD sin pastorear los rastrojos todas las propiedades físicas del suelo evaluadas tienden a mejorar, principalmente en el H1. En los antiguos pisos de labranza (H₅₋₆ y H₅₋₇), el laboreo reducido mediante el empleo del cincel continuado durante éstos 4 años, muestra una tendencia a mejorar las propiedades hídricas del suelo.

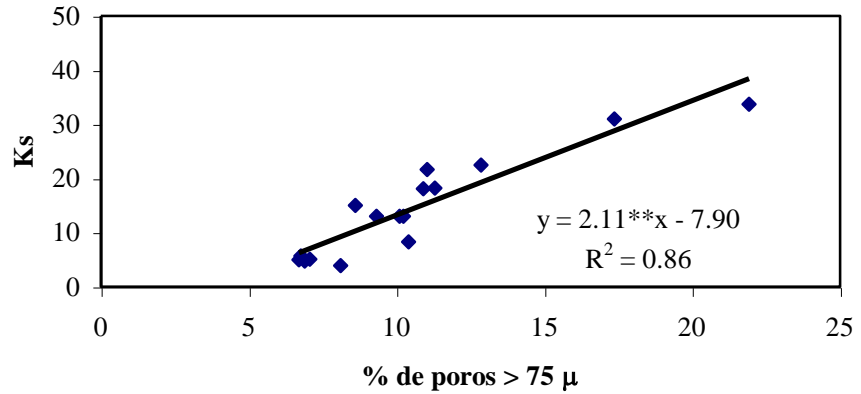
Figura 4.2: Relación entre Ks y el valor de succión de entrada de aire



*** indican regresión lineal significativa al 5 o al 1 % de probabilidad respectivamente

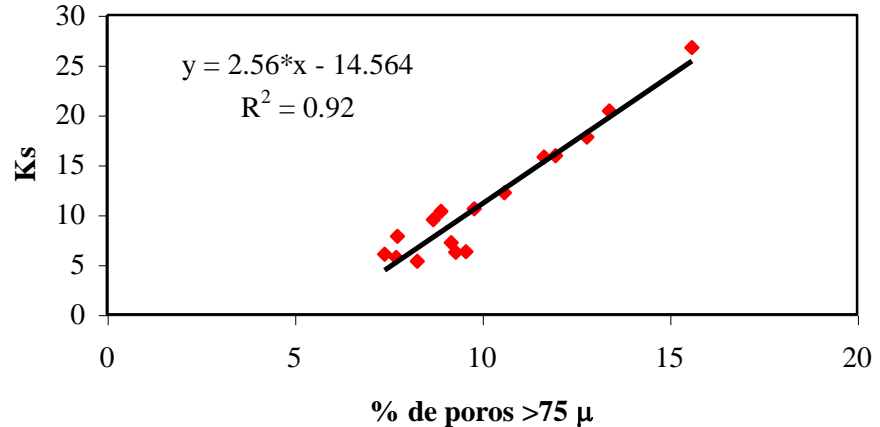
Según se evidencia en las tablas 4.3 y 4.4, existe una relación significativa entre la proporción de poros mayores a 75μ y la Ks en ambas situaciones. Las relaciones encontradas presentan un coeficiente R^2 del 86 y 92 %, en las situaciones sin y con pastoreo respectivamente, lo cual sustenta lo planteado anteriormente y es coincidente con lo expresado por Bricchi (1996), quien identificó una relación lineal entre el porcentaje de poros mayores a 60μ y la conductividad hidráulica saturada de un suelo Hapludol típico del Departamento de Río Cuarto.

Figura 4.3: Relación entre la Ks y la proporción de poros mayores a 75μ, en la situación sin pastoreo.



*** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

Figura 4.4: Relación entre la Ks y la proporción de poros mayores a 75μ, en la situación con pastoreo.



*** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

Como puede observarse en las tablas 4.5 y 4.6, Ks varía con la profundidad del suelo. Así en la situación sin pastoreo, SD es el tratamiento de mayor valor de conducción en los primeros cm del suelo, mientras que de los 15 cm para abajo se iguala a LR. LC siempre se mantiene con los valores más bajos en todo el perfil. En cambio en la situación con pastoreo, a nivel

superficial se invierte la relación entre SD y LR, manteniéndose la misma situación para ambas por debajo de los 15 cm y para LC en todo el perfil. Este comportamiento sería similar al planteado para los poros mayores a 75μ (ver capítulo 3, figuras 3.6 y 3.7), lo cual se evidencia en la dependencia de la K_s de este tipo de poros tal cual se muestra en las figuras 4.3 y 4.4.

Figura 4.5: Perfil de conductividad hidráulica saturada. Sin Pastoreo

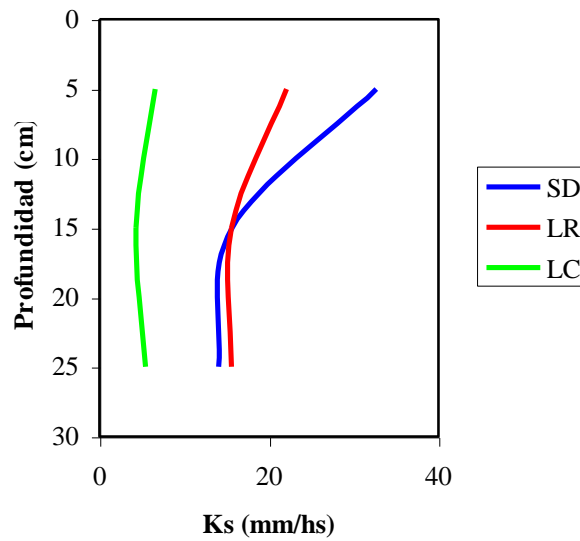
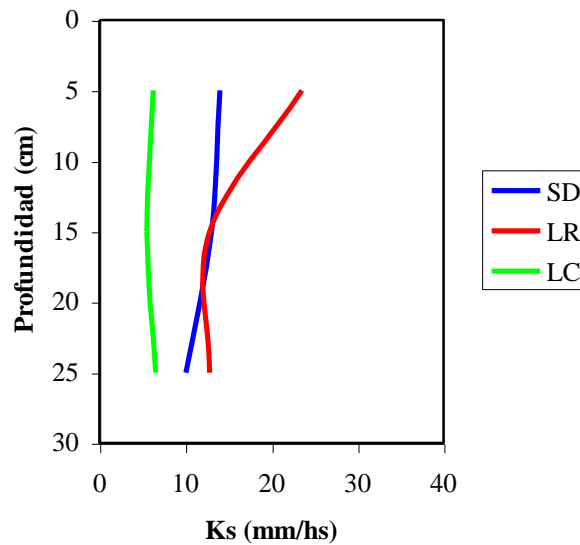


Figura 4.6: Perfil de conductividad hidráulica saturada. Con Pastoreo



4.4. CONCLUSIONES PRELIMINARES

El movimiento del agua en las situaciones y sistemas de laboreo probados ha sido alterado de la siguiente manera:

- 1) La SD SP es el tratamiento que más facilita el ingreso de agua al suelo, dado que tiene los mayores valores de K_s en el H_1 .
- 2) Las labranzas conservacionistas, SD y LR independientemente de la situación de pastoreo, han favorecido la conducción de agua del H_{5-6} , mientras que a nivel del H_{5-7} , sólo LR conduce, en condiciones de saturación, una mayor cantidad de agua que LC.
- 3) Las diferencias encontradas en la K_s están dadas por una mayor proporción de macroporos y una mayor continuidad de los mismos.
- 4) En relación a la curva característica de humedad, la modificación más importante se dio a nivel del potencial de entrada de aire Ψ_e en el H_1 , donde SD necesita menores valores de succión para comenzar el proceso de drenaje. Lo cual se evidencia por una mayor proporción y continuidad de macroporos.

- 5) La ecuación propuesta por Rawls *et al.* (1992) puede ser utilizada para estimar la K_s a partir del Ψ_e con un aceptable grado de ajuste con los valores determinados en laboratorio.

CAPITULO 5

PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ

5.1. INTRODUCCION

.....

El rendimiento de maíz depende, desde el punto de vista de su requerimiento hídrico, de la cantidad total de evapotranspiración realizada a partir de un valor umbral de 280 mm, aumentándose la producción en grano en 25 kg por cada mm adicional de agua usada. Además la eficiencia en el uso del agua se incrementa de manera curvilínea con el rendimiento en grano, el cual mantiene una relación lineal con la producción total de biomasa (Howell and Tolk 1998).

La producción de maíz en la Argentina se realiza principalmente, bajo condiciones de secano y el rendimiento en grano está altamente relacionado con la disponibilidad de agua en los 15 días previos y posteriores a la floración del cultivo (Cárcova *et al.* 1998).

Aunque la tecnología agrícola ha contribuido a incrementar el rendimiento potencial de los cultivos, la expresión del mismo está condicionada, entre otras causas, por la disponibilidad hídrica del suelo (Dale, 1995). Es por ello que la humedad del suelo es el principal factor limitante de la producción de los cultivos de ciclo estival en la mayoría de los años (Wager and Cassel, 1993).

Langdale *et al.* (1994), luego de 50 años de estudio, han demostrado la importancia del manejo de los residuos de cultivo sobre el suelo, en relación al incremento de la infiltración del agua de lluvia (en más de 45 mm/h) y la disminución en la pérdida de suelo (menos de 1 ton/ha/año) sobre alfisoles y ultisoles. Además Reicosky (1994), indica que las labranzas que mantienen residuos vegetales en superficie disminuyen las pérdidas por evaporación.

El uso de cultivos de cobertura invernal puede tener efectos negativos, neutrales o positivos sobre el suministro de agua para el próximo cultivo. El efecto es positivo cuando los mismos mejoran la infiltración del agua de lluvia y disminuyen la evaporación, dependiendo de la cantidad de días y las condiciones climáticas entre la terminación del cultivo de cobertura y la siembra del cultivo estival.

En condiciones semiáridas este tipo de cultivos, puede tener efectos negativos sobre la disponibilidad hídrica y el rendimiento porque consumen las reservas de humedad del perfil (Unger and Vigil 1998).

Los suelos de la llanura bien drenada del Dpto. Río Cuarto presentan distinto grado de deterioro físico, como pulverización de la estructura superficial con formación sellos o costras y compactación sub superficial (pisos de labranza). Ambos procesos condicionan el ingreso y redistribución del agua de lluvia generando escurrimientos (Bricchi y Cisneros, 1998).

Las prácticas de laboreo que mantienen residuos de cultivo sobre la superficie del suelo, tales como siembra directa, cincel y subsolador, pueden reducir o eliminar el encostramiento superficial, incrementar la infiltración y reducir el escurrimiento, por lo cual se incrementan los rendimientos, tal cual lo plantean Cassel *et al.* (1995).

Al cabo de 5 años, los rastrojos aportados al suelo por cultivos de maíz y girasol fueron significativamente mayores en SD que LC debido a una mayor producción de biomasa en un Hapludol típico del Dpto. de Río Cuarto (Aquino 2000).

Deibert y Utler (1998) observaron mayor producción de maíz en LR que en LC, bajo condiciones limitantes de agua. La mayor disponibilidad de agua en labranzas conservacionistas se traduce en un aumento de la producción en grano, principalmente cuando durante el desarrollo del cultivo ocurren períodos de sequía (Derpsch *et al.*, 1991).

Munawar *et al.* (1990) en un estudio realizado sobre un Paleoudalf típico, señalaron que los sistemas de labranza conservacionistas tuvieron rendimientos iguales o superiores al sistema convencional. En el mismo estudio los niveles de humedad edáfica a lo largo del ciclo del cultivo tuvieron una tendencia a SD>LR>LC, estando éstas diferencias asociadas al nivel de rastrojos mantenidos en superficie.

En la EEA INTA Marcos Juárez, Thomas (1994) mostró una tendencia de encontrar un mayor contenido hídrico a medida que se disminuyen las labranzas, siendo SD>LR>LC, sin embargo los rendimientos de maíz y soja no están relacionados con ésta diferencia de humedad.

A nivel del Dpto. Río Cuarto, Gesumaría *et al.* (1999), indicaron que un mayor ingreso del agua de lluvia permitió una mayor disponibilidad de agua para el cultivo de maíz en un Hapludol típico, lo cual se tradujo en un mayor rendimiento del cultivo en SD que en LC.

Logsdon *et al.* (1999) señalaron que el cultivo de maíz conducido con labranzas conservacionistas es, $2.5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$, más eficientes en el uso del agua que el laboreo convencional con arado de reja y vertedera.

Según Waggoner and Cassel (1993), la eficiencia en el uso del agua para la producción de grano del cultivo de maíz en un suelo franco arcilloso fue similar en siembra directa que en labranza convencional, mientras que en la producción de silaje fue superior en SD.

Por el contrario, otros autores, indicaron que sobre un Gleysol húmico franco arenoso en condiciones no limitantes de N y suficiente disponibilidad hídrica, el rendimiento de maíz y el N absorbido no fueron afectados por los tratamientos de labranza, ni por el nivel de residuos empleados en dicho experimento (Medhi *et al.* 1999).

Power *et al.* (1998) señalaron que ni las prácticas de labranza como tampoco el aporte de residuos, afectaron los rendimientos de maíz en un suelo Agriacuol de EEUU. Además, éstos autores, reportaron interacción significativa fertilización*rastrojos, siendo mayor la respuesta en rendimiento a la fertilización en la situación sin rastrojos, dado que en la otra el

enriquecimiento en N que se logró luego de 10 años de aportes anuló la respuesta. Silva *et al.*, (2000) encontraron que el pisoteo animal, por pastoreo de verdeos previos a la siembra de maíz, no tuvo efecto sobre el rendimiento del cultivo como tampoco el sistema de labranza utilizado.

Luego de 15 años de estudio, Vyn (1998), señaló que un suelo franco limoso presenta en promedio un 10 % menos de rendimiento bajo SD que bajo LC siendo esta diferencia del 6 % entre LR y LC. Además en 1993, Vyn and Raimbault señalaron que la reducción del rendimiento de maíz bajo siembra directa se debería a una menor densidad de plantas logradas, la cual disminuiría en SD debido a diferencias estructurales del suelo circundante a la semilla, asociado a factores climáticos que favorecen estas diferencias.

West *et al.* (1996) concluyeron que, luego de 20 años de labranza comparada sobre un suelo franco arcillo limoso, los rendimientos de maíz en rotación con soja fueron un 3 % menores en SD que en LR o LC, sin encontrar diferencias entre éstos dos últimos. Además en los años con sequía los cultivos en SD parecen no responder al mayor contenido hídrico por un mayor retraso en el desarrollo radical.

Este menor rendimiento del cultivo de maíz bajo labranzas conservacionistas sobre suelos arcillosos, especialmente en siembra directa, es atribuido, por Opoku *et al.* (1997), a que la mayor cantidad de rastrojos altera el microambiente circundante a la semilla, disminuyendo el número de plantas logradas. Las modificaciones señaladas por éstos autores, serían: i) una menor velocidad de secado del suelo en primavera, ii) menor temperatura en los primeros centímetros del suelo, iii) menor proporción de agregados menores a 5 mm de diámetro en la cama de siembra, iv) mayor resistencia a la penetración en los primeros 20 cm y v) por la presencia de componentes fitotóxicos. Estas modificaciones explicarían un menor rendimiento del cultivo

de maíz por una menor emergencia de plantas y un crecimiento inicial más lento y menos vigoroso (Janovicek *et al.* 1997).

Entre los componentes del rendimiento de maíz, número de granos por m^2 y peso de 1000 granos, el primero es más sensible a las variaciones ambientales, por lo cual ante cambios en la oferta de agua y nutrientes es el que explica las modificaciones del rendimiento. Por lo tanto, si las labranzas afectan la disponibilidad de agua en el momento en que se define el número de granos por m^2 , se producirán diferencias en este componente y por ende en el rendimiento del cultivo (Andrade *et al.*, 1996).

Las diferencias encontradas en el número de granos estarían explicadas por cambios en la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en el periodo de 40 días alrededor de la floración del mismo (Nielsen 1997).

Distintas disponibilidades hídricas entre $V_{12} - R_2$ alteran la TCC en este periodo por afectar la eficiencia de interceptación y de conversión en biomasa de la radiación fotosintéticamente activa. Es decir, una mayor oferta ambiental permite una mayor TCC, lo cual favorece la fijación de un mayor número de granos por m^2 y por ende un mayor rendimiento del cultivo de maíz (Andrade *et al.*, 1996).

De este modo, Ne Smith and Ritchie (1992), han encontrado que deficiencias hídricas en preantesis, en cultivos sembrados sobre suelos arenosos (90mm de agua disponible en 150 cm), provocaron una disminución de la tasa de crecimiento del cultivo en el periodo crítico del 63%.

5.2. RESULTADOS Y DISCUSION

5.2.1. Fenología, precipitaciones y temperatura del aire

Como puede apreciarse en la tabla 5.1, el cultivo cumplió su ciclo de crecimiento en 140 días, entre el 7/11/97 y el 27/3/98, pudiéndose identificar como un cultivar templado de ciclo completo, tal cual lo manifiesta la empresa Novartis SA., sin haberse identificado diferencias fenológicas entre tratamientos en el desarrollo del mismo.

Tabla 5.1 : Fenología del cultivo

Estado Fenológico	Fecha	Días entre periodo	Días acumulados
Siembra	7/11/97		
V ₂	17/11/97	10	10
V ₅	2/12/97	15	25
V ₇	9/12/97	7	32
V ₁₁	30/12/97	21	53
R ₁	22/1/98	23	76
R ₃	25/2/98	34	110
MF	27/3/98	30	140

En la tabla 5.2 se presenta la condición climática que el cultivo de maíz tuvo durante sus etapas de desarrollo. Según lo planteado por Degioanni (1998) este fue un año de características húmedas, dado que la pluviometría total ascendió a la suma de 750 mm durante el desarrollo del cultivo (siembra – madurez fisiológica), mientras que el autor registró valores promedio para la zona del paraje La Aguada en alrededor de 611 mm en el periodo Noviembre-Marzo, lo cual representa un 22.74% superior a la media.

No obstante el nivel de lluvias registrado, los rendimientos obtenidos no son acordes a las mismas (5343 kg/ha, rendimiento promedio del ensayo). Esta situación, posiblemente fue causada por elevados valores de escurrimiento superficial (ver capítulo 6, tabla 6.2) dado que la eficiencia en el uso del agua fue similar a la considerada como óptima por Andrade et al. (1996), alrededor de 42 kg MS.mm⁻¹ (13269 kg MS en R₆ sobre 315.47 mm, ambos promedio de toda la experiencia) (ver tabla 5.3 y capítulo 6, tabla 6.2).

. Es importante destacar que, por un lado éstos niveles de escurrimiento afectaron el rendimiento del cultivo, por otro han facilitado el estudio del impacto de los sistemas de labranzas sobre el balance hídrico dado que se pudieron observar mayores diferencias.

En relación a la suma térmica registrada (tabla 5.2), calculada con una temperatura base de crecimiento de 8°C, se aprecia que los valores obtenidos coinciden con el de un cultivar de ciclo completo, dado que requiere una acumulación de 959.8 °C . día⁻¹ para florecer y 1673.2 °C . día⁻¹ para alcanzar su madurez fisiológica.

Tabla 5.2 : Condición climática del cultivo

Estado Fenológico	Suma Térmica entre etapa	Suma Térmica acumulada	Lluvia entre etapa	Lluvia acumulada
Siembra				
V ₂	112.6	112.6	40	40
V ₅	173.1	285.7	83	123
V ₇	91.6	377.3	37	160
V ₁₁	267.8	645.1	160	320
R ₁	314.7	959.8	195	515
R ₃	382.7	1342.5	193	708
MF	330.7	1673.2	42	750

5.2.2. Producción de biomasa, rendimiento del cultivo y componentes del rendimiento

Los sistemas de labranza tuvieron efecto significativo en la producción total de biomasa aérea (tabla 5.3) en los dos primeros estadios analizados (V₇ y V₁₁). En este sentido, en V₇, LC fue superior a SD, siendo LR una situación intermedia entre ambas. En V₁₁ se invierte esta situación dado que SD es superior significativamente a las otras dos labranzas, entre LR y LC no se detectó diferencia significativa.

Estos resultados son coincidentes con Opoku *et al* (1997), dado que SD tiene un crecimiento inicial menos vigoroso en comparación con sistemas con remoción del suelo. A medida que avanza la ontogenia del cultivo SD alcanza y a veces supera a los otros dos sistemas de labranza en lo referido a tasa diaria de crecimiento.

El hecho de que en los restantes estadios analizados no se haya detectado diferencia significativa, puede ser explicado porque este fue un año de buenos niveles de precipitación y por lo tanto no se detectaron las diferencias entre labranza.

La interacción nivel de pastoreo por sistema de labranza no fue significativa en ninguno de los estadios evaluados, como tampoco se detectó diferencia en el nivel de pastoreo. De acuerdo a lo planteado por Power *et al.* (1998) son necesarios grandes aportes de rastrojos y durante un tiempo suficientemente prolongado para poder apreciar efectos sobre el rendimiento de maíz.

Tabla 5.3 : Materia Seca del cultivo (kg MS .ha⁻¹).

	V ₇	V ₁₁	R ₁	R ₃	R ₆
Sin Pastoreo	373.7	2706.2	7687.7	11454.3	13691.8
Con Pastoreo	399.7	2792.3	7536.7	11597.7	12846.7
LSD (0.05)	482.8	794.1	2435.4	432.0	3055.8
Siembra Directa	317.5 b	3020.5 a	8153.3	11630.5	13877.0
Labranza Reducida	394.5 ab	2634.0 b	7289.0	11752.3	13504.0
Labranza Convencional	448.0 a	2593.3 b	7394.3	11195.3	12426.8
LSD (0.05)	106.1	187.3	1663.8	735.8	1498.6
Past.*Labranza (Pr>F)	0.5871	0.0829	0.8655	0.5104	0.6288
C.V. (%)	13.98	3.47	11.13	3.25	5.75

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

El rendimiento en grano del cultivo y sus componentes físicos se presenta en la tabla 5.4. Los resultados fueron significativos en cuanto a los sistemas de labranza, donde SD con 6031 kg/ha tuvo un rendimiento superior a LC con 4848 kg/ha. El tratamiento LR con 5148 kg/ha tuvo resultados intermedios, sin diferir de los otros tratamientos de labranza.

En este caso tampoco se detectó interacción significativa nivel de pastoreo por sistema de labranza, ni efecto del nivel de pastoreo.

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Cassel *et al.* (1995) dado que las prácticas de labranza que mantienen rastrojos en superficie

logran una mayor producción del cultivo de maíz por incrementar la infiltración del agua de lluvia, dado que una mayor disponibilidad hídrica se traduce en un aumento de la producción de grano, según fue lo encontrado por Derpshc *et al.* (1991).

Por otro lado, éstos resultados difieren con lo planteado por Silva *et al.* (2000), porque éstos autores no encontraron efectos del sistema de laboreo empleado ni del pisoteo animal sobre el rendimiento del cultivo.

Estas diferencias en la producción de grano, permiten establecer que el rendimiento obtenido bajo SD fue un 17.15 % superior al obtenido con la LR y un 24.40% superior al logrado con la LC. Entre LR y LC esta diferencia es de 6.19 % a favor de LR.

Este mayor rendimiento en grano es explicado por un mayor número de granos obtenidos por m², sin haber sido afectado el Peso de los mismos (tabla 5.4), tal cual lo indicado por Andrade *et al.* (1996).

Tabla 5.4 : Rendimiento y componentes del rendimiento.

	Kg/ha	Nº plantas/ha	Nº granos/m²	P. de 1000 gra
Sin Pastoreo	5703	61667	2172	0.2623
Con Pastoreo	4982	61744	1872	0.2665
LSD (0.05)	1652	7200	476	0.0106
Siembra Directa	6031 a	62850	2307 a	0.2610
Labranza Reducida	5148 ab	62183	1921 b	0.2683
Labranza Convencional	4848 b	60083	1840 b	0.2640
LSD (0.05)	1171	4589	371	0.0173
Past.*Labranza (Pr>F)	0.5272	0.8550	0.5411	0.5860
C.V. (%)	11.16	3.79	9.34	3.33

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

El número de plantas logradas por hectárea (tabla 5.4), a diferencia de lo planteado por Vyn (1998), no fue afectado por ninguno de los tres sistemas de labranza probados posiblemente debido a que en suelos de textura franco arenosa y en un ambiente subhúmedo no se presentan los problemas planteados por éstos autores en suelos más pesados y con régimen climático de primaveras más frías y húmedos.

5.2.3. Lámina total de agua

La lámina total de agua (tabla 5.5), indica que sólo en V_2 no se detectó diferencia alguna entre tratamientos, mientras que en Siembra y V_5 , SD fue superior a LR y LC sin existir diferencias entre estas dos. Además en V_7 , R_1 y R_6 se detectó diferencia significativa entre SD y LC y en V_{11} SD y LR fueron distintas de LC.

El único estadio donde se detectó interacción significativa Pastoreo x Labranza fue en R_3 . Del análisis de esta interacción (tabla 5.6) surge que SD SP es el tratamiento con mayor lámina total de agua (274 mm) siendo superior en un 9.8 % a LR SP y SD CP, situación que sería explicada por un mayor contenido superficial de rastrojo (tabla 3.1), también sería un 35.6 % superior a LR CP y LC CP y un 55.7 % a LC SP.

Estas últimas diferencias podrían ser explicadas por un mayor ingreso y redistribución del agua de lluvia. Considerando las diferencias encontradas, entre labranzas, sería una mayor conductividad hidráulica saturada (capítulo 4, tabla 4.1), la causal de ese mayor ingreso de agua al perfil del suelo, como fue propuesto por Deibert y Utler (1998), Cassel *et al* (1995) y Mahboubi *et al* (1993).

Tabla 5.5 : Lámina total de agua por fecha de muestreo (mm)

	S_{ba}	Y₂	Y₅	Y₇	Y₁₁	R₁	R₃	R₆
Sin Pastoreo	188	205	216	221	239	241	234	195
Con Pastoreo	175	189	221	188	215	206	217	176
LSD (0.05)	131	28	114	205	13	93	15	106
Siembra Directa	199 a	209	240 a	232 a	254 a	263 a	261	205 a
Labranza Reducida	174 b	194	209 b	202 ab	231 a	220 ab	227	188 ab
Labranza Convencional	173 b	188	208 b	179 b	196 b	187 b	188	162 b
LSD (0.05)	17	25	31	35	25	46	17	28
Past.*Labranza (Pr>F)	0.150	0.349	0.449	0.605	0.187	0.646	0.009	0.784
C.V. (%)	4.65	6.35	7.15	8.71	5.59	10.42	3.78	7.11

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Tabla 5.6 : Análisis de la interacción para la R₃

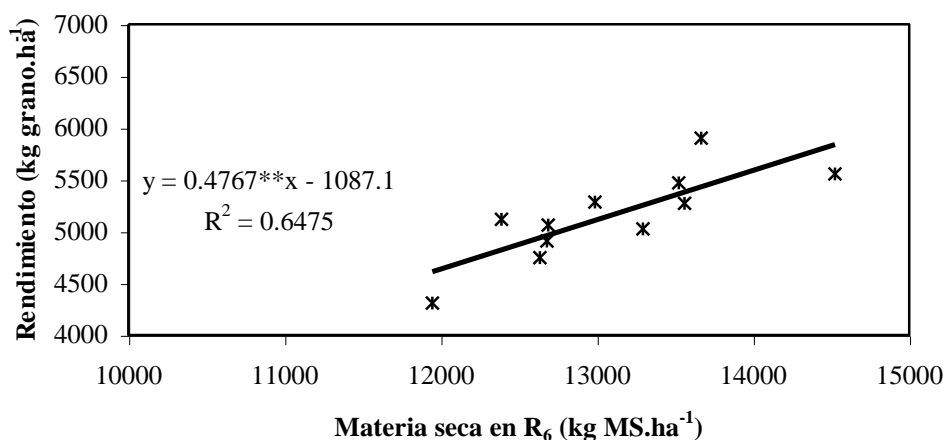
Siembra Directa sin pastoreo	274 a
Labranza Reducida sin pastoreo	251 b
Siembra Directa con pastoreo	248 b
Labranza Reducida con pastoreo	204 c
Labranza Convencional con pastoreo	200 c
Labranza Convencional sin pastoreo	176 d
C.V. (%)	3.40

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad s/test LSD.

5.3. INTEGRACIÓN DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS

Coincidiendo con lo planteado por Howell and Tolk (1998), existe relación entre la producción total de biomasa en R₆ y el rendimiento del cultivo ($R^2=0.6475$, figura 5.4), lo cual indicaría que por cada kg de MS total producida hasta R₆ se incrementa el rendimiento en grano en 0.4767 kg/ha, representando ello un índice de cosecha del 47.67 %.

Figura 5.4: Rendimiento y producción total de biomasa total en R₆



*** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

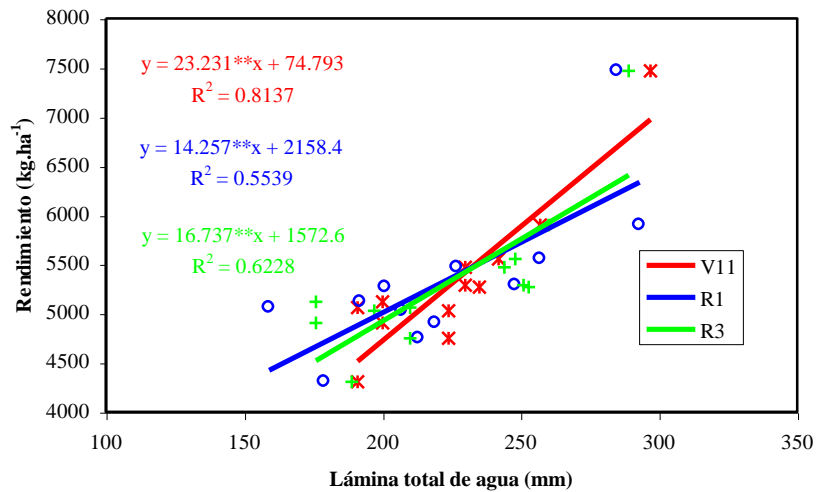
El rendimiento del maíz estaría correlacionado en diverso grado con la lámina total de agua (tabla 5.7), siendo el estadio V₅ el de menor coeficiente de correlación (0.6189) y el de V₁₁ el de mayor (0.9021). Los restantes estadios claves en la definición del rendimiento, R₁ y R₃ tienen coeficientes intermedios oscilando los valores de 0.7443 y 0.7892 respectivamente.

Tabla 5.7 : Coeficientes de correlación entre la lámina total de agua y el rendimiento y la materia seca total aérea por estadio

Estadio Fenológico	Rendimiento	Materia Seca
Siembra	0.8280	
V ₂	0.8711	
V ₅	0.6189	-0.3860
V ₇	0.8725	
V ₁₁	0.9021	0.6619
R ₁	0.7443	0.2517
R ₃	0.7892	0.5114
R ₆	0.8347	0.9107

La relación entre la lámina total de agua durante el periodo crítico del cultivo (Nielsen, 1997) y los rendimientos observados se muestra en la figura 5.1. El estadio de mayor coeficiente de regresión lineal es el de V₁₁ explicando la variación en la lámina de agua un 81.37 % de la variación en el rendimiento observado. Además la ecuación que explica esta dependencia ($R_{to} = 23.23Lámina + 74.79$), indica que por cada mm más de agua se producen 23.23 kg de grano/ha.

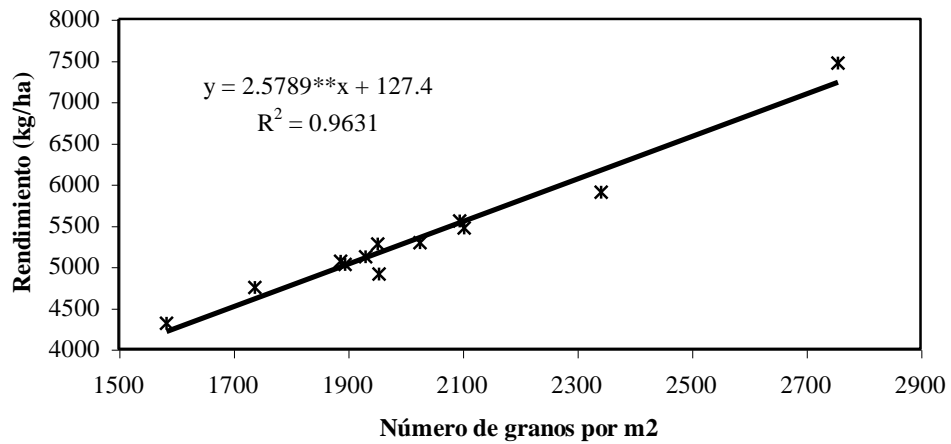
Figura 5.1: Rendimiento del cultivo en función de la lámina total de agua.



*** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

Como era de esperar y coincidiendo con Andadre *et al.* (1996), el rendimiento del cultivo de maíz depende del número total de granos por m², tal cual se representa en la figura 5.2, indicando que el 96.31 % del rendimiento se explica por esta variable, siendo la relación lineal donde por cada grano logrado por m² el rendimiento se incrementa en 2.58 kg/ha.

Figura 5.2: Rendimiento en función del número total de granos por m²

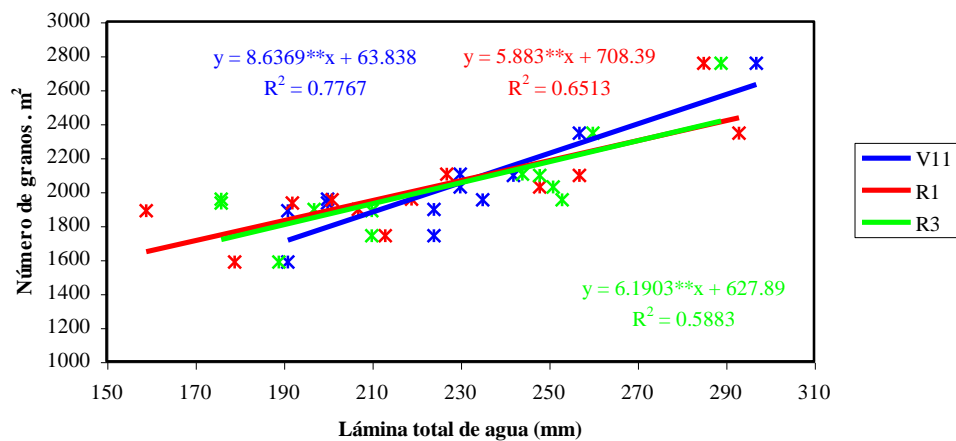


*** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

La explicación de un mayor rendimiento por mayor disponibilidad de agua, entre otras causas, está dada porque el número total de granos por m² depende del contenido de agua en los 40 días alrededor de la floración del mismo, tal cual lo plantearon Cárcova *et al.* (1998), Andrade *et al.* (1996), Dale (1995) y Wager and Cassel (1993).

En la figura 5.3, se puede apreciar la relación encontrada entre la lámina total de agua en los estadios V₁₁, R₁ y R₃ y el número de granos por m². Todas las relaciones encontradas fueron lineales y altamente significativas. El mayor coeficiente de regresión lineal se obtuvo para las condiciones hídricas del estadio V₁₁, con un R² del 0.7767.

Figura 5.3: Número total de granos por m² según lámina de agua en V₁₁, R₁ y R₃.



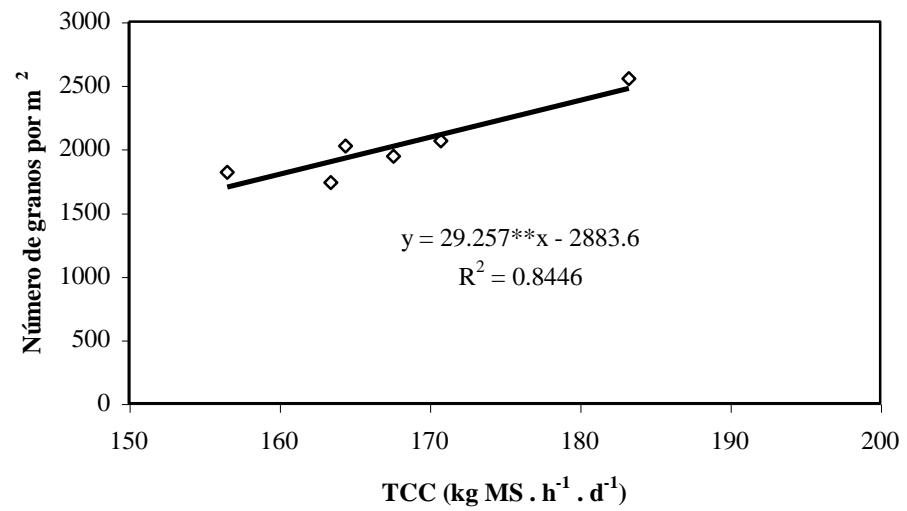
* ** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

De este modo, el mayor contenido de agua en el suelo en SD que en LC, explicaría las diferencias de rendimiento encontrado, principalmente porque esta diferencia fue detectada en los periodos pre y post floración (entre V_{11} y R_3) tal cual lo plantean Cárcova *et al.* (1998), dado que una mayor disponibilidad de agua permitió fijar un mayor número de granos por m^2 .

Estas diferencias en los contenidos hídricos entre SD y LC, definieron distintas cantidades de crecimiento diario. Similarmente a lo sugerido por Nielsen (1997), una mayor tasa de crecimiento entre V_{11} y R_1 permitió fijar significativamente un mayor número de granos por m^2 y con ello mayor rendimiento, tal como se plantea en la figura 5.5, donde por cada aumento de 1 $kg\ MS\ ha^{-1}\ d^{-1}$ en la TCC, se obtienen 29,26 $granos\ m^{-2}$ más.

Una mayor TCC se explicaría por una mayor eficiencia de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa, ante una posible mayor expansión foliar en SD por mayores niveles de humedad edáfica. Si bien no se ha determinado el área foliar del cultivo, esta situación puede ser interpretada por los resultados de producción en biomasa (tabla 5.3), donde en V_{10-11} SD presentó mayores valores que los otros tratamientos y considerándose que en ese estadio existe una importante proporción de hojas en la biomasa total.

Figura 5.5: Número de granos por m², según la TCC (Tasa de crecimiento del cultivo), entre V₁₁ y R₁



.....
** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

5.4. CONCLUSIONES PRELIMINARES

Las situaciones de pastoreo y los sistemas de labranza probados han alterado la producción de maíz y su disponibilidad de agua de la siguiente manera:

- 1) Los distintos sistemas de labranza afectan el rendimiento del cultivo de maíz, siendo SD el tratamiento de mayor rendimiento en kg grano/ha.
- 2) Este mayor rendimiento del cultivo en SD sobre un Hapludol típico del Dpto. de Río Cuarto se explica por una mayor lámina total de agua en casi todos los estadios de crecimiento, siendo ello definitorio en V_{11} , R_1 y R_3 , dado que se produce un mayor número de granos por m^2 .
- 3) La producción de materia seca total no ha sido afectada por los sistemas de labranza ni por las situaciones de pastoreo.
- 4) Con labranzas conservacionistas se obtienen similares densidades de plantas que con LC, dadas las características climáticas y edáficas del ensayo. Además si bien el crecimiento inicial del cultivo fue más lento en SD, esta situación se revirtió en las etapas claves del mismo llegando a obtenerse una mayor producción de granos por hectárea que en LC.
- 5) LR en algunas variables, presenta valores intermedios a los otros sistemas de laboreo probados.

CAPITULO 5

PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ

5.1. INTRODUCCION

.....

El rendimiento de maíz depende, desde el punto de vista de su requerimiento hídrico, de la cantidad total de evapotranspiración realizada a partir de un valor umbral de 280 mm, aumentándose la producción en grano en 25 kg por cada mm adicional de agua usada. Además la eficiencia en el uso del agua se incrementa de manera curvilínea con el rendimiento en grano, el cual mantiene una relación lineal con la producción total de biomasa (Howell and Tolk 1998).

La producción de maíz en la Argentina se realiza principalmente, bajo condiciones de secano y el rendimiento en grano está altamente relacionado con la disponibilidad de agua en los 15 días previos y posteriores a la floración del cultivo (Cárcova *et al.* 1998).

Aunque la tecnología agrícola ha contribuido a incrementar el rendimiento potencial de los cultivos, la expresión del mismo está condicionada, entre otras causas, por la disponibilidad hídrica del suelo (Dale, 1995). Es por ello que la humedad del suelo es el principal factor limitante de la producción de los cultivos de ciclo estival en la mayoría de los años (Wager and Cassel, 1993).

Langdale *et al.* (1994), luego de 50 años de estudio, han demostrado la importancia del manejo de los residuos de cultivo sobre el suelo, en relación al incremento de la infiltración del agua de lluvia (en más de 45 mm/h) y la disminución en la pérdida de suelo (menos de 1 ton/ha/año) sobre alfisoles y ultisoles. Además Reicosky (1994), indica que las labranzas que mantienen residuos vegetales en superficie disminuyen las pérdidas por evaporación.

El uso de cultivos de cobertura invernal puede tener efectos negativos, neutrales o positivos sobre el suministro de agua para el próximo cultivo. El efecto es positivo cuando los mismos mejoran la infiltración del agua de lluvia y disminuyen la evaporación, dependiendo de la cantidad de días y las condiciones climáticas entre la terminación del cultivo de cobertura y la siembra del cultivo estival.

En condiciones semiáridas este tipo de cultivos, puede tener efectos negativos sobre la disponibilidad hídrica y el rendimiento porque consumen las reservas de humedad del perfil (Unger and Vigil 1998).

Los suelos de la llanura bien drenada del Dpto. Río Cuarto presentan distinto grado de deterioro físico, como pulverización de la estructura superficial con formación sellos o costras y compactación sub superficial (pisos de labranza). Ambos procesos condicionan el ingreso y redistribución del agua de lluvia generando escurrimientos (Bricchi y Cisneros, 1998).

Las prácticas de laboreo que mantienen residuos de cultivo sobre la superficie del suelo, tales como siembra directa, cincel y subsolador, pueden reducir o eliminar el encostramiento superficial, incrementar la infiltración y reducir el escurrimiento, por lo cual se incrementan los rendimientos, tal cual lo plantean Cassel *et al.* (1995).

Al cabo de 5 años, los rastrojos aportados al suelo por cultivos de maíz y girasol fueron significativamente mayores en SD que LC debido a una mayor producción de biomasa en un Hapludol típico del Dpto. de Río Cuarto (Aquino 2000).

Deibert y Utler (1998) observaron mayor producción de maíz en LR que en LC, bajo condiciones limitantes de agua. La mayor disponibilidad de agua en labranzas conservacionistas se traduce en un aumento de la producción en grano, principalmente cuando durante el desarrollo del cultivo ocurren períodos de sequía (Derpsch *et al.*, 1991).

Munawar *et al.* (1990) en un estudio realizado sobre un Paleoudalf típico, señalaron que los sistemas de labranza conservacionistas tuvieron rendimientos iguales o superiores al sistema convencional. En el mismo estudio los niveles de humedad edáfica a lo largo del ciclo del cultivo tuvieron una tendencia a SD>LR>LC, estando éstas diferencias asociadas al nivel de rastrojos mantenidos en superficie.

En la EEA INTA Marcos Juárez, Thomas (1994) mostró una tendencia de encontrar un mayor contenido hídrico a medida que se disminuyen las labranzas, siendo SD>LR>LC, sin embargo los rendimientos de maíz y soja no están relacionados con ésta diferencia de humedad.

A nivel del Dpto. Río Cuarto, Gesumaría *et al.* (1999), indicaron que un mayor ingreso del agua de lluvia permitió una mayor disponibilidad de agua para el cultivo de maíz en un Hapludol típico, lo cual se tradujo en un mayor rendimiento del cultivo en SD que en LC.

Logsdon *et al.* (1999) señalaron que el cultivo de maíz conducido con labranzas conservacionistas es, $2.5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$, más eficientes en el uso del agua que el laboreo convencional con arado de reja y vertedera.

Según Waggoner and Cassel (1993), la eficiencia en el uso del agua para la producción de grano del cultivo de maíz en un suelo franco arcilloso fue similar en siembra directa que en labranza convencional, mientras que en la producción de silaje fue superior en SD.

Por el contrario, otros autores, indicaron que sobre un Gleysol húmico franco arenoso en condiciones no limitantes de N y suficiente disponibilidad hídrica, el rendimiento de maíz y el N absorbido no fueron afectados por los tratamientos de labranza, ni por el nivel de residuos empleados en dicho experimento (Medhi *et al.* 1999).

Power *et al.* (1998) señalaron que ni las prácticas de labranza como tampoco el aporte de residuos, afectaron los rendimientos de maíz en un suelo Agriacuol de EEUU. Además, éstos autores, reportaron interacción significativa fertilización*rastrojos, siendo mayor la respuesta en rendimiento a la fertilización en la situación sin rastrojos, dado que en la otra el

enriquecimiento en N que se logró luego de 10 años de aportes anuló la respuesta. Silva *et al.*, (2000) encontraron que el pisoteo animal, por pastoreo de verdeos previos a la siembra de maíz, no tuvo efecto sobre el rendimiento del cultivo como tampoco el sistema de labranza utilizado.

Luego de 15 años de estudio, Vyn (1998), señaló que un suelo franco limoso presenta en promedio un 10 % menos de rendimiento bajo SD que bajo LC siendo esta diferencia del 6 % entre LR y LC. Además en 1993, Vyn and Raimbault señalaron que la reducción del rendimiento de maíz bajo siembra directa se debería a una menor densidad de plantas logradas, la cual disminuiría en SD debido a diferencias estructurales del suelo circundante a la semilla, asociado a factores climáticos que favorecen estas diferencias.

West *et al.* (1996) concluyeron que, luego de 20 años de labranza comparada sobre un suelo franco arcillo limoso, los rendimientos de maíz en rotación con soja fueron un 3 % menores en SD que en LR o LC, sin encontrar diferencias entre éstos dos últimos. Además en los años con sequía los cultivos en SD parecen no responder al mayor contenido hídrico por un mayor retraso en el desarrollo radical.

Este menor rendimiento del cultivo de maíz bajo labranzas conservacionistas sobre suelos arcillosos, especialmente en siembra directa, es atribuido, por Opoku *et al.* (1997), a que la mayor cantidad de rastrojos altera el microambiente circundante a la semilla, disminuyendo el número de plantas logradas. Las modificaciones señaladas por éstos autores, serían: i) una menor velocidad de secado del suelo en primavera, ii) menor temperatura en los primeros centímetros del suelo, iii) menor proporción de agregados menores a 5 mm de diámetro en la cama de siembra, iv) mayor resistencia a la penetración en los primeros 20 cm y v) por la presencia de componentes fitóxicos. Estas modificaciones explicarían un menor rendimiento del cultivo

de maíz por una menor emergencia de plantas y un crecimiento inicial más lento y menos vigoroso (Janovicek *et al.* 1997).

Entre los componentes del rendimiento de maíz, número de granos por m^2 y peso de 1000 granos, el primero es más sensible a las variaciones ambientales, por lo cual ante cambios en la oferta de agua y nutrientes es el que explica las modificaciones del rendimiento. Por lo tanto, si las labranzas afectan la disponibilidad de agua en el momento en que se define el número de granos por m^2 , se producirán diferencias en este componente y por ende en el rendimiento del cultivo (Andrade *et al.*, 1996).

Las diferencias encontradas en el número de granos estarían explicadas por cambios en la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en el periodo de 40 días alrededor de la floración del mismo (Nielsen 1997).

Distintas disponibilidades hídricas entre $V_{12} - R_2$ alteran la TCC en este periodo por afectar la eficiencia de interceptación y de conversión en biomasa de la radiación fotosintéticamente activa. Es decir, una mayor oferta ambiental permite una mayor TCC, lo cual favorece la fijación de un mayor número de granos por m^2 y por ende un mayor rendimiento del cultivo de maíz (Andrade *et al.*, 1996).

De este modo, Ne Smith and Ritchie (1992), han encontrado que deficiencias hídricas en preantesis, en cultivos sembrados sobre suelos arenosos (90mm de agua disponible en 150 cm), provocaron una disminución de la tasa de crecimiento del cultivo en el periodo crítico del 63%.

5.2. RESULTADOS Y DISCUSION

5.2.1. Fenología, precipitaciones y temperatura del aire

Como puede apreciarse en la tabla 5.1, el cultivo cumplió su ciclo de crecimiento en 140 días, entre el 7/11/97 y el 27/3/98, pudiéndose identificar como un cultivar templado de ciclo completo, tal cual lo manifiesta la empresa Novartis SA., sin haberse identificado diferencias fenológicas entre tratamientos en el desarrollo del mismo.

Tabla 5.1 : Fenología del cultivo

Estado Fenológico	Fecha	Días entre periodo	Días acumulados
Siembra	7/11/97		
V ₂	17/11/97	10	10
V ₅	2/12/97	15	25
V ₇	9/12/97	7	32
V ₁₁	30/12/97	21	53
R ₁	22/1/98	23	76
R ₃	25/2/98	34	110
MF	27/3/98	30	140

En la tabla 5.2 se presenta la condición climática que el cultivo de maíz tuvo durante sus etapas de desarrollo. Según lo planteado por Degioanni (1998) este fue un año de características húmedas, dado que la pluviometría total ascendió a la suma de 750 mm durante el desarrollo del cultivo (siembra – madurez fisiológica), mientras que el autor registró valores promedio para la zona del paraje La Aguada en alrededor de 611 mm en el periodo Noviembre-Marzo, lo cual representa un 22.74% superior a la media.

No obstante el nivel de lluvias registrado, los rendimientos obtenidos no son acordes a las mismas (5343 kg/ha, rendimiento promedio del ensayo). Esta situación, posiblemente fue causada por elevados valores de escurrimiento superficial (ver capítulo 6, tabla 6.2) dado que la eficiencia en el uso del agua fue similar a la considerada como óptima por Andrade et al. (1996), alrededor de 42 kg MS.mm⁻¹ (13269 kg MS en R₆ sobre 315.47 mm, ambos promedio de toda la experiencia) (ver tabla 5.3 y capítulo 6, tabla 6.2).

. Es importante destacar que, por un lado éstos niveles de escurrimiento afectaron el rendimiento del cultivo, por otro han facilitado el estudio del impacto de los sistemas de labranzas sobre el balance hídrico dado que se pudieron observar mayores diferencias.

En relación a la suma térmica registrada (tabla 5.2), calculada con una temperatura base de crecimiento de 8°C, se aprecia que los valores obtenidos coinciden con el de un cultivar de ciclo completo, dado que requiere una acumulación de 959.8 °C . día⁻¹ para florecer y 1673.2 °C . día⁻¹ para alcanzar su madurez fisiológica.

Tabla 5.2 : Condición climática del cultivo

Estado Fenológico	Suma Térmica entre etapa	Suma Térmica acumulada	Lluvia entre etapa	Lluvia acumulada
Siembra				
V ₂	112.6	112.6	40	40
V ₅	173.1	285.7	83	123
V ₇	91.6	377.3	37	160
V ₁₁	267.8	645.1	160	320
R ₁	314.7	959.8	195	515
R ₃	382.7	1342.5	193	708
MF	330.7	1673.2	42	750

5.2.2. Producción de biomasa, rendimiento del cultivo y componentes del rendimiento

Los sistemas de labranza tuvieron efecto significativo en la producción total de biomasa aérea (tabla 5.3) en los dos primeros estadios analizados (V₇ y V₁₁). En este sentido, en V₇, LC fue superior a SD, siendo LR una situación intermedia entre ambas. En V₁₁ se invierte esta situación dado que SD es superior significativamente a las otras dos labranzas, entre LR y LC no se detectó diferencia significativa.

Estos resultados son coincidentes con Opoku *et al* (1997), dado que SD tiene un crecimiento inicial menos vigoroso en comparación con sistemas con remoción del suelo. A medida que avanza la ontogenia del cultivo SD alcanza y a veces supera a los otros dos sistemas de labranza en lo referido a tasa diaria de crecimiento.

El hecho de que en los restantes estadios analizados no se haya detectado diferencia significativa, puede ser explicado porque este fue un año de buenos niveles de precipitación y por lo tanto no se detectaron las diferencias entre labranza.

La interacción nivel de pastoreo por sistema de labranza no fue significativa en ninguno de los estadios evaluados, como tampoco se detectó diferencia en el nivel de pastoreo. De acuerdo a lo planteado por Power *et al.* (1998) son necesarios grandes aportes de rastrojos y durante un tiempo suficientemente prolongado para poder apreciar efectos sobre el rendimiento de maíz.

Tabla 5.3 : Materia Seca del cultivo (kg MS .ha⁻¹).

	V ₇	V ₁₁	R ₁	R ₃	R ₆
Sin Pastoreo	373.7	2706.2	7687.7	11454.3	13691.8
Con Pastoreo	399.7	2792.3	7536.7	11597.7	12846.7
LSD (0.05)	482.8	794.1	2435.4	432.0	3055.8
Siembra Directa	317.5 b	3020.5 a	8153.3	11630.5	13877.0
Labranza Reducida	394.5 ab	2634.0 b	7289.0	11752.3	13504.0
Labranza Convencional	448.0 a	2593.3 b	7394.3	11195.3	12426.8
LSD (0.05)	106.1	187.3	1663.8	735.8	1498.6
Past.*Labranza (Pr>F)	0.5871	0.0829	0.8655	0.5104	0.6288
C.V. (%)	13.98	3.47	11.13	3.25	5.75

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

El rendimiento en grano del cultivo y sus componentes físicos se presenta en la tabla 5.4. Los resultados fueron significativos en cuanto a los sistemas de labranza, donde SD con 6031 kg/ha tuvo un rendimiento superior a LC con 4848 kg/ha. El tratamiento LR con 5148 kg/ha tuvo resultados intermedios, sin diferir de los otros tratamientos de labranza.

En este caso tampoco se detectó interacción significativa nivel de pastoreo por sistema de labranza, ni efecto del nivel de pastoreo.

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Cassel *et al.* (1995) dado que las prácticas de labranza que mantienen rastrojos en superficie

logran una mayor producción del cultivo de maíz por incrementar la infiltración del agua de lluvia, dado que una mayor disponibilidad hídrica se traduce en un aumento de la producción de grano, según fue lo encontrado por Derpshc *et al.* (1991).

Por otro lado, éstos resultados difieren con lo planteado por Silva *et al.* (2000), porque éstos autores no encontraron efectos del sistema de laboreo empleado ni del pisoteo animal sobre el rendimiento del cultivo.

Estas diferencias en la producción de grano, permiten establecer que el rendimiento obtenido bajo SD fue un 17.15 % superior al obtenido con la LR y un 24.40% superior al logrado con la LC. Entre LR y LC esta diferencia es de 6.19 % a favor de LR.

Este mayor rendimiento en grano es explicado por un mayor número de granos obtenidos por m², sin haber sido afectado el Peso de los mismos (tabla 5.4), tal cual lo indicado por Andrade *et al.* (1996).

Tabla 5.4 : Rendimiento y componentes del rendimiento.

	Kg/ha	Nº plantas/ha	Nº granos/m²	P. de 1000 gra
Sin Pastoreo	5703	61667	2172	0.2623
Con Pastoreo	4982	61744	1872	0.2665
LSD (0.05)	1652	7200	476	0.0106
Siembra Directa	6031 a	62850	2307 a	0.2610
Labranza Reducida	5148 ab	62183	1921 b	0.2683
Labranza Convencional	4848 b	60083	1840 b	0.2640
LSD (0.05)	1171	4589	371	0.0173
Past.*Labranza (Pr>F)	0.5272	0.8550	0.5411	0.5860
C.V. (%)	11.16	3.79	9.34	3.33

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

El número de plantas logradas por hectárea (tabla 5.4), a diferencia de lo planteado por Vyn (1998), no fue afectado por ninguno de los tres sistemas de labranza probados posiblemente debido a que en suelos de textura franco arenosa y en un ambiente subhúmedo no se presentan los problemas planteados por éstos autores en suelos más pesados y con régimen climático de primaveras más frías y húmedos.

5.2.3. Lámina total de agua

La lámina total de agua (tabla 5.5), indica que sólo en V_2 no se detectó diferencia alguna entre tratamientos, mientras que en Siembra y V_5 , SD fue superior a LR y LC sin existir diferencias entre estas dos. Además en V_7 , R_1 y R_6 se detectó diferencia significativa entre SD y LC y en V_{11} SD y LR fueron distintas de LC.

El único estadio donde se detectó interacción significativa Pastoreo x Labranza fue en R_3 . Del análisis de esta interacción (tabla 5.6) surge que SD SP es el tratamiento con mayor lámina total de agua (274 mm) siendo superior en un 9.8 % a LR SP y SD CP, situación que sería explicada por un mayor contenido superficial de rastrojo (tabla 3.1), también sería un 35.6 % superior a LR CP y LC CP y un 55.7 % a LC SP.

Estas últimas diferencias podrían ser explicadas por un mayor ingreso y redistribución del agua de lluvia. Considerando las diferencias encontradas, entre labranzas, sería una mayor conductividad hidráulica saturada (capítulo 4, tabla 4.1), la causal de ese mayor ingreso de agua al perfil del suelo, como fue propuesto por Deibert y Utler (1998), Cassel *et al* (1995) y Mahboubi *et al* (1993).

Tabla 5.5 : Lámina total de agua por fecha de muestreo (mm)

	S_{ba}	Y₂	Y₅	Y₇	Y₁₁	R₁	R₃	R₆
Sin Pastoreo	188	205	216	221	239	241	234	195
Con Pastoreo	175	189	221	188	215	206	217	176
LSD (0.05)	131	28	114	205	13	93	15	106
Siembra Directa	199 a	209	240 a	232 a	254 a	263 a	261	205 a
Labranza Reducida	174 b	194	209 b	202 ab	231 a	220 ab	227	188 ab
Labranza Convencional	173 b	188	208 b	179 b	196 b	187 b	188	162 b
LSD (0.05)	17	25	31	35	25	46	17	28
Past.*Labranza (Pr>F)	0.150	0.349	0.449	0.605	0.187	0.646	0.009	0.784
C.V. (%)	4.65	6.35	7.15	8.71	5.59	10.42	3.78	7.11

Pastoreo*labranza, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Tabla 5.6 : Análisis de la interacción para la R₃

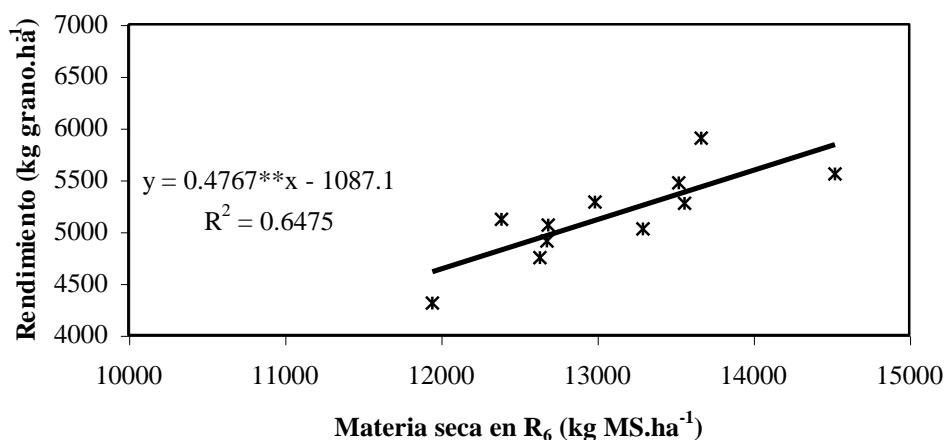
Siembra Directa sin pastoreo	274 a
Labranza Reducida sin pastoreo	251 b
Siembra Directa con pastoreo	248 b
Labranza Reducida con pastoreo	204 c
Labranza Convencional con pastoreo	200 c
Labranza Convencional sin pastoreo	176 d
C.V. (%)	3.40

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad s/test LSD.

5.3. INTEGRACIÓN DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS

Coincidiendo con lo planteado por Howell and Tolk (1998), existe relación entre la producción total de biomasa en R₆ y el rendimiento del cultivo ($R^2=0.6475$, figura 5.4), lo cual indicaría que por cada kg de MS total producida hasta R₆ se incrementa el rendimiento en grano en 0.4767 kg/ha, representando ello un índice de cosecha del 47.67 %.

Figura 5.4: Rendimiento y producción total de biomasa total en R₆



*** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

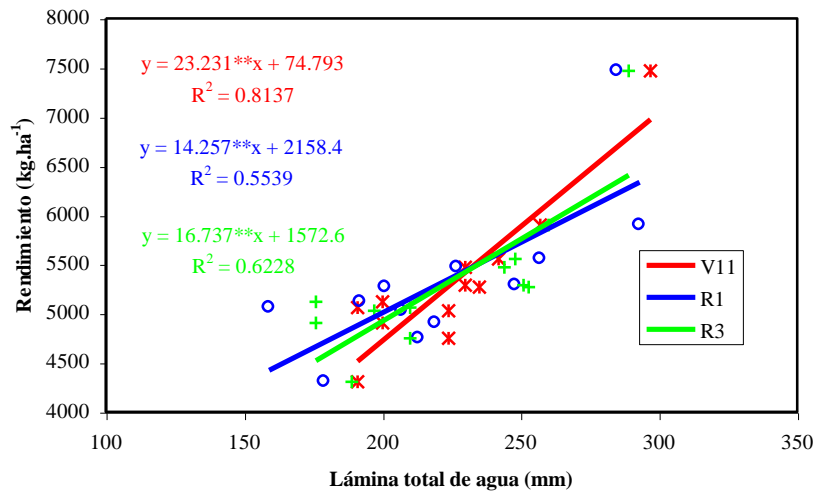
El rendimiento del maíz estaría correlacionado en diverso grado con la lámina total de agua (tabla 5.7), siendo el estadio V₅ el de menor coeficiente de correlación (0.6189) y el de V₁₁ el de mayor (0.9021). Los restantes estadios claves en la definición del rendimiento, R₁ y R₃ tienen coeficientes intermedios oscilando los valores de 0.7443 y 0.7892 respectivamente.

Tabla 5.7 : Coeficientes de correlación entre la lámina total de agua y el rendimiento y la materia seca total aérea por estadio

Estadio Fenológico	Rendimiento	Materia Seca
Siembra	0.8280	
V ₂	0.8711	
V ₅	0.6189	-0.3860
V ₇	0.8725	
V ₁₁	0.9021	0.6619
R ₁	0.7443	0.2517
R ₃	0.7892	0.5114
R ₆	0.8347	0.9107

La relación entre la lámina total de agua durante el periodo crítico del cultivo (Nielsen, 1997) y los rendimientos observados se muestra en la figura 5.1. El estadio de mayor coeficiente de regresión lineal es el de V₁₁ explicando la variación en la lámina de agua un 81.37 % de la variación en el rendimiento observado. Además la ecuación que explica esta dependencia ($R_{to} = 23.23Lámina + 74.79$), indica que por cada mm más de agua se producen 23.23 kg de grano/ha.

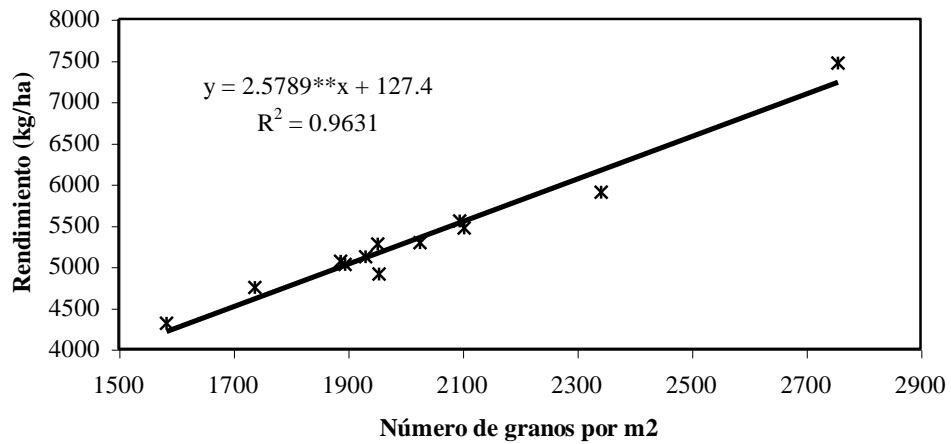
Figura 5.1: Rendimiento del cultivo en función de la lámina total de agua.



*** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

Como era de esperar y coincidiendo con Andadre *et al.* (1996), el rendimiento del cultivo de maíz depende del número total de granos por m², tal cual se representa en la figura 5.2, indicando que el 96.31 % del rendimiento se explica por esta variable, siendo la relación lineal donde por cada grano logrado por m² el rendimiento se incrementa en 2.58 kg/ha.

Figura 5.2: Rendimiento en función del número total de granos por m²

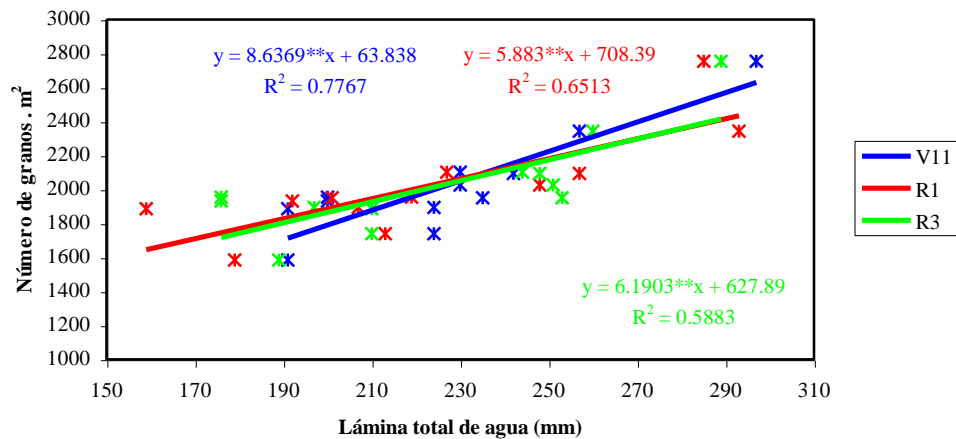


*** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

La explicación de un mayor rendimiento por mayor disponibilidad de agua, entre otras causas, está dada porque el número total de granos por m² depende del contenido de agua en los 40 días alrededor de la floración del mismo, tal cual lo plantearon Cárcova *et al.* (1998), Andrade *et al.* (1996), Dale (1995) y Wager and Cassel (1993).

En la figura 5.3, se puede apreciar la relación encontrada entre la lámina total de agua en los estadios V₁₁, R₁ y R₃ y el número de granos por m². Todas las relaciones encontradas fueron lineales y altamente significativas. El mayor coeficiente de regresión lineal se obtuvo para las condiciones hídricas del estadio V₁₁, con un R² del 0.7767.

Figura 5.3: Número total de granos por m² según lámina de agua en V₁₁, R₁ y R₃.



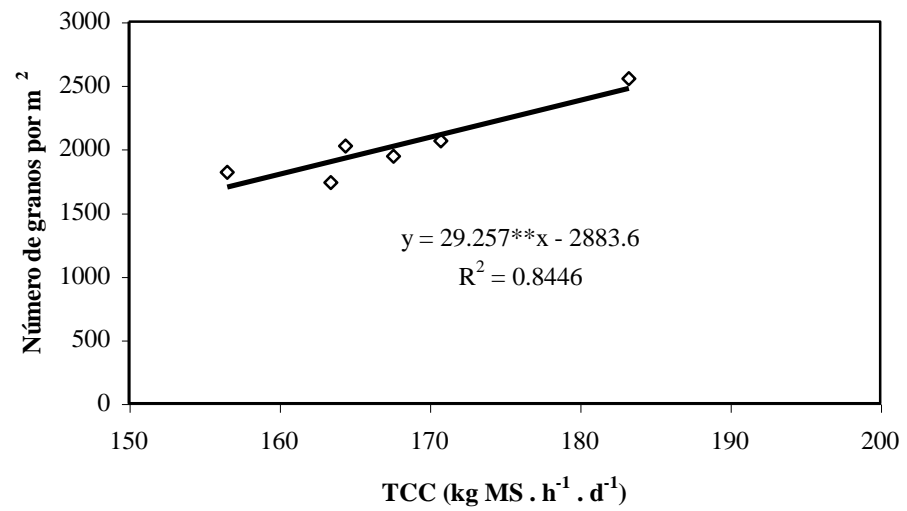
* ** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

De este modo, el mayor contenido de agua en el suelo en SD que en LC, explicaría las diferencias de rendimiento encontrado, principalmente porque esta diferencia fue detectada en los periodos pre y post floración (entre V_{11} y R_3) tal cual lo plantean Cárcova *et al.* (1998), dado que una mayor disponibilidad de agua permitió fijar un mayor número de granos por m^2 .

Estas diferencias en los contenidos hídricos entre SD y LC, definieron distintas cantidades de crecimiento diario. Similarmente a lo sugerido por Nielsen (1997), una mayor tasa de crecimiento entre V_{11} y R_1 permitió fijar significativamente un mayor número de granos por m^2 y con ello mayor rendimiento, tal como se plantea en la figura 5.5, donde por cada aumento de $1 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ en la TCC, se obtienen $29,26 \text{ granos} \cdot \text{m}^{-2}$ más.

Una mayor TCC se explicaría por una mayor eficiencia de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa, ante una posible mayor expansión foliar en SD por mayores niveles de humedad edáfica. Si bien no se ha determinado el área foliar del cultivo, esta situación puede ser interpretada por los resultados de producción en biomasa (tabla 5.3), donde en V_{10-11} SD presentó mayores valores que los otros tratamientos y considerándose que en ese estadio existe una importante proporción de hojas en la biomasa total.

Figura 5.5: Número de granos por m², según la TCC (Tasa de crecimiento del cultivo), entre V₁₁ y R₁



.....
** indican que la regresión lineal es significativa al 5 o al 1% de probabilidad respectivamente

5.4. CONCLUSIONES PRELIMINARES

Las situaciones de pastoreo y los sistemas de labranza probados han alterado la producción de maíz y su disponibilidad de agua de la siguiente manera:

- 1) Los distintos sistemas de labranza afectan el rendimiento del cultivo de maíz, siendo SD el tratamiento de mayor rendimiento en kg grano/ha.
- 2) Este mayor rendimiento del cultivo en SD sobre un Hapludol típico del Dpto. de Río Cuarto se explica por una mayor lámina total de agua en casi todos los estadios de crecimiento, siendo ello definitorio en V_{11} , R_1 y R_3 , dado que se produce un mayor número de granos por m^2 .
- 3) La producción de materia seca total no ha sido afectada por los sistemas de labranza ni por las situaciones de pastoreo.
- 4) Con labranzas conservacionistas se obtienen similares densidades de plantas que con LC, dadas las características climáticas y edáficas del ensayo. Además si bien el crecimiento inicial del cultivo fue más lento en SD, esta situación se revirtió en las etapas claves del mismo llegando a obtenerse una mayor producción de granos por hectárea que en LC.
- 5) LR en algunas variables, presenta valores intermedios a los otros sistemas de laboreo probados.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES FINALES

7.1. Conclusión general

Los sistemas de labranza han alterado algunas propiedades físicas del suelo, las cuáles modificaron la disponibilidad hídrica del cultivo de maíz y, por ende, su producción en grano.

El pastoreo de los rastrojos, como efecto independiente, solamente ha generado compactación en el H₁ del Perfil Cultural.

.....
La conductividad hidráulica saturada del suelo ha sido la principal propiedad afectada de manera interactiva por el pastoreo de los rastrojos y los sistemas de laboreo probados.

Como síntesis, se puede concluir en términos generales que la SD y LR tuvieron una mayor infiltración del agua de lluvia, por una mayor proporción y continuidad de los macroporos del suelo, que la LC. Este aumento de la infiltración permitió mantener el suelo con mayores niveles de humedad, con el consecuente incremento del rendimiento.

Las “Conclusiones Preliminares” de los capítulos 3, 4, 5 y 6 especifican lo concluido acerca de los restantes aspectos que la presente Tesis ha abarcado.

BIBLIOGRAFIA CITADA

AHUJA L., F. FIELDER, G. DUNN, J. BENJAMIN and G. GARRISON
1998. Changes in soil water retention curves due to tillage and natural
reconsolidation. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 62:1228-1233.

ALIER J. M. 1995. **Pobreza y medio ambiente: una crítica al informe**
Brundtland. En: De la economía ecológica al ecologismo popular. Ed.
Nordan-Comunidad. Icaria Editorial SA. Capítulo 3.: 67-98.

ANDRADE F.; A. CIRILO; S. UHART y M. OTEGUI 1996. **Ecofisiología del**
cultivo de maíz. Dekalb Press. Requerimientos hídricos. Capítulo 5.:
121-146.

AQUINO, H.; E. FERNANDEZ y A. DEGIOANNI 2000. **Evaluación de la**
materia orgánica del suelo bajo diferentes sistemas de labranzas.
Informe final de Beca de Investigación. Secretaria de Ciencia y Técnica
UNRC.

AZEVEDO A., R. KANWAR, and R. HORTON 1998. Effect of
cultivation on hydraulic properties of an Iowa soil using tension
infiltrimeters. En **Soil Science** 163:22-28.

AZOOZ, R. H. 1996. Pore size distribution and hydraulic conductivity
affected by tillage in northwestern Canada. **Soil Sci. Am. J.** v. 60 (4):
1197-1201.

BECERRA V. 1999. **Plan Director.** ADESUR (Asociación Interinstitucional
para el Desarrollo del Sur de Córdoba). Edición: Dpto. Prensa y
Publicaciones. Universidad Nacional de Río Cuarto.:51-68.

BRICCHI E., G. VEGA, F. FORMIA y G. ESPOSITO 1997. Relación entre labranzas, escurrimiento e infiltración en un Hapludol típico. **IV Jornadas Científico-Técnicas. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto** : 210-212.

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

BRICCHI, E. y J. CISNEROS 1998. Modificaciones de la porosidad producidas por compactación. **Soil Science Society International Congress**. Montpellier. France. CD-ROM. Sci. Registration N° 2309.

BROOKS, R. H. and A. T. COREY 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper N° 3. **Colorado State University. Fort Collins**.

CAMPBELL G. 1985. Water Potencial. In: Soil physics with basic. Transport models for soil-plant systems. **Elsevier Science Publishers**. Ch. 5.:40-48.

CAMPBELL G. S. and C. O. STÖCKLE 1993. Prediction and simulation of water use in agricultural system. In: **International Crop Science, Crop Science of America**. Madison.:67-73.

CANTERO G. A.; E. BONADEO y E. BRICCHI 1986. Estructura. En: Relaciones del sistema suelo planta. **Curso de postgrado, Relación suelo-planta**. Magíster Scientiae. Area Ciencias del Suelo. UBA.:96-116.

CARCOVA J.; G. A. MADDONI and C. M. GHERSA 1998. Crop water stress index of three maize hybrids grown in doils with different quality. **Field Crops Research** 55.:165-174.

- CASSEL D., C. RACZKOWSKI and H. DENTON 1995. Tillage effects on corn production and soil physical conditions. **Soil Sci. Soc. Am J.** **59**:1436-1443.
- CISNEROS J., C. CHOLAKY, O. GIAYETTO y J. CANTERO. 1997. Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un suelo Haplustol típico del Centro de Córdoba. **Rev UNRC 17 (1)**:13-22.
- CISNEROS, J. M., A. CANTERO G., J. MARCOS, A. DEGIOANNI, E. BRICCHI, O. GIAYETTO, C. CHOLAKY, E. BONADEO, G. CERIONI, y M. UBERTO. 1998. Comportamiento de un subsolador alado adaptable a implementos de uso común. En **Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito Latinoamericano**. Editorial Board. Balbuena, R. H. Benez, S. H y Jorajuría, D. La Plata.:128-136.
- CISNEROS, J. M., C. CHOLAKY , O. GIAYETTO , E. BRICCHI, J. MARCOS, y G. CERIONI. 1998. Homogeneidad física, resistencia a la penetración y humedad del suelo en sistemas de labranza para el área manisera de Córdoba. En **Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito Latinoamericano**. Editorial Board. Balbuena, R. H. Benez, S. H y Jorajuría, D. La Plata.:120-127.
- CORSINI P. C. Y A. S. FERRAUDO 1999. Effects of tillage systems on bulk density, aeration porosity and root development of corn in a typic Haplortox soil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira.** **34(2)**:289-298.
- DALE, R. F. 1995. A weather-soil variable for estimating soil moisture stress and corn yield probabilities. **Agron. J.** **87**:1115-1125.
- DANIELSON R. and P. SUTHERLAND 1986. Porosity. In: Klute A. (Ed.), **Methods of soil analysis, 2nd ed.** Agron. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp.:443-460.

DARST B. C. 2000. Sustainable agriculture, a modern perspective. **Better Crops** 4:3-5.

DEGIOANNI A. J. 1998. **Organización territorial de la Producción agraria en la Región de Río Cuarto (Argentina)**. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. Dpto. de Geografía. Alcalá de Henares. España.

DEIBERT E. and R. UTLER 1998. Sunflower growth and nutrient uptake: response to tillage system, hybrid maturity and weed control method. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 53(1):133-138.

DERPSCH, R., C. H. TOTH, N. SIDIRAS y U. KOPKE 1991. Controle da erosao no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit. Eschborn-Rep. Federal Alemana. 268p.

DIIWU J., R. RUDRA, W. DICKINSON and G.WALL 1998. Effect of tillage on the spatial variability of soil water properties. **Canadian Agricultural Engineering** 40(1):1-8.

DUIKER S. and R. LAL 1999. Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in central Ohio. **Soil & Tillage Research** 52(1-2):73-81.

ECK, K. P. HILL and J. WILCOX 1994. Estimating Corn and soybean residue cover. **AY-269. Purdue University Cooperative Extension Service**. West Lafayette, IN, USA.

EHLERS W., O. WENDROTH and F. DE MOL 1995. Characterizing pore organization by soil physical parameters. **Soil Structure. CRC Press, Inc.**:257-275.

FERRARI M. 1997. Los sistemas de labranza en el área de influencia de la EEA-INTA Pergamino. Efectos sobre los rendimientos agrícolas y las propiedades de los suelos. En labranzas y rotaciones. **Curso act. Prof. INTA EEA Gral. Villegas**.

FERRERAS L., J. COSTA, F. GARCÍA and C. PECORARI 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural Petrocalcic

Paleudoll of the Sourthern “Pampa” of Argentina. **Soil & Tillage Research** 54:31-39.

FERRERAS L., J. DE BATISTA, A. AUSILIO 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**. Actas.: 23-24.

GASTRONEAU y MANICHON -1986- **Guide methodique du profil cultural**. ISARA et INAPG. Francia.

GERSTER, G., D. VIDAL, O. GUDELJ y J. DE BATISTA. 1996 Análisis del efecto de las labranzas sobre el estado físico de un Argiudol típico. **Informe Técnico N° 119**. ISSN 0327 7046. Febrero.

GESUMARÍA J., E. BRICCHI, G. ESPOSITO, G. VEGA, C. CASTILLO, F. FORMIA 1999. Disponibilidad hídrica en tres sistemas de labranzas para la producción de maíz **14° Congreso Latinoamericano de la ciencia del suelo**. Chile.:615.

GILLEY, J. E.; J. W. DORAN; D. L. KARLEN and T. C. KASPAR 1997. Runoff, erosion and soil quality characteristics of a former Conservation Reserve Program site. **J. Soil and Water Cons.** 52(3): 189-193.

GIMÉNEZ, R.; G. SANZANO; R. CORBELLA y G. FADDA. 1996. Efecto del manejo de un suelo arenoso franco en el movimiento rápido del agua. **Revista Industrial y Agrícola de Tucumán. Tomo 73 (1-2):** 79-84.

GOLABI M. H.; D. E. RADCLIFFE; W. L. HARGROVE and E. W. TOLLNER 1995. Macropore effects in conventional tillage and no-tillage soils. **J. Soil and Water Cons.** 50(2): 205-210.

GÓMEZ J., J. GIRÁLDEZ, M. PASTOR y E. FERERES 1999. Effects of tillage method pn soil physical properties and yield in an olive orchard. **Soil & Tillage Research** 52.:167-175.

GUERIF J. 1994. Effects of compaction on soil strength parameters. Chap. 9
Soil Compaction in Crop Production. Elsevier Science B. V.

HAKANSSON I., W.B. VOORHEES and H. RILEY 1988. Weather another
environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic.
Soil & Tillage Res. 11: 239-282.

HARRIS, J. M. 1996. World agricultural futures : regional sustainability and
ecological limits. **Ecological Economics 17 :** 95-115.

HILL P., K. ECK and J. WILCOX 1998. Managing Crop residue with farm
equipment. **Crop Production. Stipes Publishing L.L.C.** Illinios. USA.
CT-1:133-136.

HILLEL D. 1980. Spatial Variability of soil physical properties in the field.
Applications of soil physics :325-330.

HON R. and K.H. HARTGE 1990. Effect of short time loading on soil strength
and some physical properties. **Soil & Tillage Res. 15:**247-256.

HOWELL T. A. and J. A. TOLK 1998. Water use efficiency of corn in the U.
Southern High Plains. 90th **Annual Meeting of Agronomy, Land,
Water and Biological Resources.** ASA, CSSA and SSSA. Baltimore,
MD.

JALOTA, S. K. and S. S. PRIHAR 1998. **Reducing soil water
evaporation with tillage and straw mulching.** Iowa State Press. Ames.
Chap. 1.:1-7.

JANSSEN C. and P. HILL 1998. What is Conservation Tillage?. Crop Production. **Stipes Publishing L.L.C.**
Illinios. USA. CT-1:57-61.

KLADIVKO, E. J. 1994. Residue Effects on sil physical properties. In
Managing Agricultural Residues. Ch.7. Ed. Lewis Publishers.:123-141.

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

KRAUS T. A., C. A. BIANCO y C. O. NÚÑEZ 1999. **Los ambientes naturales del sur de la Provincia de Córdoba.** Ed. Fundación Universidad Nacional Río Cuarto. 112p.

KRZIC M., M. FORTIN and A. BOMKE 2000. Short-term responses of soil physical properties to corn tillage-planting systems in a humid maritime climate. **Soil & Tillage Research 54**:171-178.

KUTÍLEK M. and D. R. NIELSEN 1994. Hydrodynamics of soil water. In: **Soil Hydrology.** GeaEcology. Catena Verlag, 38162 Cremlingen-Destedt. Germany.: Ch. 5.:87-129.

LAL R. and B. A. STEWART 1995. Need for long-term experiments in sustainable use of soil resources. In: **Soil Management. Experimental basis for sustainability and environmental quality.** Ed. CRC Lewis Publishers.:537-548.

LAL R. 1998. Agronomic impact of soil degradation. In: **Methods for assessment of soil degradation.** Ed. CRC Lewis Publishers.:459-474.

LAL R. 1999. Long-Term tillage and wheel traffic effects on soil quality for two central Ohio soils. **Journal of Sustainable Agriculture, Vol. 14(4)**.:67-84.

LANGDALE G. W.; E. E. ALBERTS; R. R. BRUCE; W. M. EDWARDS and K. C. MC GREGOR 1994. **Concepts of residue management: Infiltration, runoff and erosion.** In: Crop Residue Management. Ed. Lewis Publishers.:109-124.

LINDSTROM, M. J.; T. E. SCHUMACHER; N. P. COGO and M. L. BLECHA 1998. Tillage effects on water runoff and soil erosion after sod. **J. Soil and Water Cons. 53(1)**.: 59-63.

LOGSDON S. D., D. L. KARLEN, J. H. PRUEGER and L. A. KRAMER.
1999. Field-scale watershed evaluations on deep-loess soils: III. Rainfall
and fertilizer N use efficiencies. **Journal of Soil & Water
Conservation**. **54(4):711-716.**

LOGSDON S., T. KASPAR and C. CAMBARDELLA. 1999. Depth-Incremental soil properties under no-till or
chisel management. **Soil Sci. Soc. Am. J.** **63:197-200.**

MAHBOUBI A., R. LAL and N. FAUSSEY 1993. Twenty-eight years of
tillage effects on two soils in Ohio. **Soil Sci. Soc. Am. J.** **57:506-512.**

MANKIN, K. R., A. D. WARD and K. M. BOONE 1996. Quantifying
changes in soil physical properties from soil and crop management: a
survey of experts. En **Transactions of the ASAE**. Vol. **39(6):2065-2074.**

MARCOS J. 1997. **Corn production under dryland conditions in Eastern
Washington**. Thesis of Master of Science in Soils. Washington State
University. Department Crop and soils sciences. USA.

MARCOS J. 2001 Sistema Suelo-planta. Agua en el suelo. **Material de apoyo
para el curso de grado: Sistema Suelo-Planta**. Facultad de Agronomía
y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.

MARSHALL, T. and W. HOLMES 1988 **Soil physics 2nd Ed.** *Cambridge
Univ. Press*, Cambridge, England.

MARTÍN, B., G. ZERPA, O. SOSA y J. DENOIA 1998. Efecto del tránsito
animal sobre las propiedades físicas del suelo y sobre la velocidad de
infiltración. **XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo**. Villa
Carlos Paz, Córdoba.:11-13.

MEHDI B. B., C. A. MADRAMOOTOO and G. R- MEHUYS. 1999. Yield
and Nitrogen content of corn under different tillage practices. **Agron. J.**
91:631-636.

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.

MÜLLER C. 2000. Soil Water. **Modelling Soil-Biosphere interactions.** CABI Publishing. CAB International. UK. Cambridge.:179-202.

MUNAWAR A., R. L. BLEVINS, W. W. FRYE and M. R. SAUL 1990. Tillage and cover crop management for soil and water conservation. **Agron. J.** **82:**773-777.

NE SMITH D. S. and J. T. RITCHIE 1992. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield components of maize (*Zea mays*). **Field Crops Research**, **28:**251-256.

NIELSEN R. L. 1997. Corn growth & development. What goes on from planting to harvest?. **AGRY -97-07 (v1) Purdue University.**:54 pp.

NORWOOD, CH. A. 1999. Water use and yield of dryland row crops as effected by tillage. **Agon. J.** **91:**108-115.

NUÑEZ VAZQUEZ F., H. P. SALAS, O. BACHMEIER, W. ROBLEDO, E. F. LOVERA y A. ROLLAN 1996. **Labranzas en la región central de la provincia de Córdoba.** En: *Labranzas en la región semiárida Argentina.* Eds. Buschiazzo D., J. Panigatti y F. Babinec. Editorial Extra. INTA Centro Regional San Luis.:49-66.

OBI, M 1999. The physical and chemical responses of a degraded sandy clay loam soil to cover crops in southern Nigeria. **Plant & soil.** **211(2):**165-172.

OPOKU, G. T. J. VYN and C. J. SWANTON 1997. Modified no-till systems for corn following wheat on clay soils. **Agronomy Journal** **89. No. 4:**549-556.

PECORARI, C. 1998. Guía conceptual para elaborar metodologías de evaluaciones físicas de suelos. **Siembra Directa**. Ed. Hemisferio Sur.:35-55.

PERETTI M. A. 1994. Evolución y situación actual de la agricultura pampeana. **Información para extensión N°11**. INTA EEA Marcos Juárez:14p.

PICCININ J., C. MEDINA, M. GUIMARÃES y J. TAVARES FILHO. 1998. Perfil cultural de Latossolo roxo submetido ao sistema de semeadura direta durante 17 años. **6° Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha**. Resúmenes.

PORTA CASANELA J., M. LÓPEZ-ACEVEDO REGUERÍN y C. ROQUERO DE LABURU. 1994. **Degradación de la fertilidad física del suelo**. *Edafología*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. Cap. 25.:691-707.

POWER, J. F., P. T. KOERNER, J. W. DORAN, and W. W. WILHELM. 1998. Residual effects of crop residues on grain production and selected soil properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 62:1393-1397.

PRIESTLY, C. And R. TAYLOR 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. **Mon. Weather Rev.** 100, 81-92.

QUIROGA A., O. ORMEÑO y N. PEINEMANN. 1998. Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos. **Siembra Directa**. Ed. Hemisferio Sur.:57-63

RASSE, D. and A. SMUCKER 1998. Root recolonization of previous root channels in corn and alfalfa rotations. **Plant and Soil** 204:203-212.

RAWLS W. J., L. R. AHUJA and K. L. BRAKENSIEK 1992. Estimating soil hydraulic properties from soils data. In M Th van Genuchten, J. J. Leij

and L. J. Lund. **Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils.** University of California, Riverside.

RAWLS, W. J., D. GIMENEZ, R. GROSSMAN 1998. Use of soil texture, bulk density, and slope of the water retention curve to predict saturated hydraulic conductivity. **Trans ASAE 41:983-988.**

REICOSKY D. C. 1994. Crop Residue Management: Soil, crop, climate interactions. **Crop Residue Management. Advances in Soil Science.** Lewis Publishers.:191-214.

RESSIA J. M., R. H. BALBUENA, G. O. MENDIVIL y H. O. CHIDICHIMO 1998. Cobertura del suelo ante distintos sistemas de labranza sobre rastrojo de maíz (*Zea mays* L.). **Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito Latinoamericano.** Editorial Board. Balbuena, R. H. Benez, S. H y Jorajuría, D. La Plata.:178-183.

RITCHIE, J. 1985. A user orientated model of the soil water balance in wheat. **Plenum Publishing Corporation.**

RITCHIE W. and J. HANWAY 1997. How a corn plant develops. **Special Reports N° 48. Iowa State University of Science and Technology.** Cooperative Extension Service Ames, Iowa.:21 p.

ROBINSON C., R. CRUSE and K. KOHLER 1994. Soil management. **Sustainable Agriculture Systems. Ch. 4.** Ed. Lewis Publishers.:110-131.

SANCHEZ H. A. y J. R. GARCIA 1998. Efectos del laboreo en algunas propiedades físicas de un Haplustol típico y en el rendimiento de la soja. **XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo.** Villa Carlos Paz, Córdoba.:267-268.

SCHRADER S., M. JOSCHKE, H. KULA and O. LARINK 1995. Earthworm effects on soil structure with emphasis on soil stability and soil water movement. In: **Soil structure its development and function**. Lewis Publishers. CRC Press, Inc.: 109-133.

SEILER, R. A.; F. KOGAN and J. SULLIVAN 1998. AVHRR-Based vegetation and temperature condition indices for drought detection in Argentina. **Advances in Space Research**. Vol. 21. N° 3.:481-484.

SEILER, R. A.; F. KOGAN and Guo Wei 2000. Monitoring weather impact and crop yield from NOAA AVHRR data in Argentina. **Advances in Space Research**. Vol. 26. N° 7.:1177-1185.

SFEIR A. J., M. M. PISCITELLI, A. J. SOTTILE, R. CASAS, R. MICHELENA, C. IRURTIA, G. W. THOMAS y N. DIAZ 1998. **XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo**. Villa Carlos Paz, Córdoba.:276.

SHIPITALO M., W. DICK and W. EDWARDS 2000. Conservation tillage and macro pore factors that affect water movement and the fate chemicals. **Soil & Tillage Research** 53.:167-183.

SHIPITALO M., W. DICK and W. EDWARDS 2000 Conservation tillage and macro pore factors that affect water movement and the fate chemicals. **Soil & Tillage Research** 53.:167-183.

SILVA, V. R.; D. J. REINERT y J. M. REICHERT 2000. Densidade do solo, atributos quimicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**. 24:1,191-199.

SIMS G. K., D.D BUHLER and R. F. TURCO 1994. Residue management impact on the enviroment. In: **Managing Agricultural residues**. Lewis Publishers. Ch.5..77-98.

SMITH K. A. 1994. El rol de la ciencia y la tecnología en un programa nacional para un desarrollo agropecuario sustentable. En: **Desarrollo agropecuario sustentable**. Recopilación y coordinación: Verde, L y E. Viglizzo. Dirección de comunicaciones del INTA.:23-40.

SOMMERFELDT T., G. SCHAALJE and W. HULSTEIN 1984. Use the Tempe Cell, modified to restrain swelling, for determination of Hydraulic Conductivity and soil water content. **Can. J. Soil Sci.** **64**:265-272.

STEINER, J. 1994. Crop residue effects on water conservation. In: **Managing Agricultural Residues**. Ch.7. Ed. Lewis Publishers.:123-141.

TANNER, C. and T. SINCLAIR 1983. Efficient water use in crop production: Research or Reasearch?. In: **Limitations to efficient water use in crop production**, 1-27 H. M. Taylor Eds. Pub by ASA, CSSA and SSSA. Madison, WI.

TAVARES FILHO J., R. RALISCH, M. GUIMARÃES, C. MEDINA, L. BALBINO y C. NEVES. 1999. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **R. Bras. Ci. Solo**, **23**:393-399.

THOMAS G. 1994. Informe de estudios sobre humedad en parcelas de ensayos en la EEA Marcos Juárez. **Información para extensión N° 9. EEA INTA Marcos Juárez**.:21p.

THOMAS G., V. GUDELJ, O. GUDELJ y G. AYUB 1994. Características de suelos bajo varios sistemas de labranza y pasturas. **Información para Extensión N° 10**. INTA. EEA Marcos Juárez.

TIMLIN D., L. AHUJA, Y. PACHEPSKY, R. WILLIAMS, D. GIMENEZ and W. RAWLS 1999. Use of Brooks-Corey paramenters to improve estimates os saturated conductivity from efective porosity. **Soil Sci. Soc. Am. J.** **63(5)**:1086-1092.

TROEH, F.; J. HOBBS and R. DONAHUE 1991. Water conservation. In: **Soil and water conservation** 2nd ed. Prentice Hall Career & Technology, New Jersey.:343-370.

UNGER P. and E. SKIDMORE 1994. Conservation Tillage in the Southern United states Great Planis. **Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems**. Ch.14. Ed. Lewis Publishers.:329-356.

UNGER P. W. and M. F. VIGIL 1998. Cover crop effects on soil water relationships. **Journal of Soil and Water Conservation**. Third quarter.:200-206.

VANDENBYGART A.J., R. PROTZ, A.D. TOMLIN, J.J. MILLER 1999. Tillage system effects on near-surface soil morphology: Observations from the landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. **Soil & Tillage Res.** **51 (1-2)** : 139-149

VIDAL, C. M. y J. L. COSTA 1998. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de labranza reducida y siembra directa. **XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo**. Villa Carlos Paz, Córdoba.:211-212.

VIGLIZZO, E. 1994. **El INTA frente al desafío del Desarrollo Agropecuario Sustentable**. En: Desarrollo Agropecuario Sustentable. Eds. Verde L. Y Viglizzo E. Dirección de comunicaciones del INTA.:1-22.

VYN T. 1998. **Integration of crop sequences, conservation tillage systems and cover crops for sustainable crop production**. Informe de estado de avance de programa de investigación. Comunicación personal.

VYN T. J. and B. A. RAIMBAULT 1993. Long-Term effect of five tillage systems on corn response and soil structure. **Agron. J.** **85**:1074-1079.

WAGGER M. G. and D. K. CASSEL 1993. Corn yield and water-use efficiency as affected by tillage and irrigation. **Soil Sci. Soc. Am. J.** **57**:229-234.

WEST T. D., D. R. GRIFFITH, G. C. STEINHARDT, E. J. KLADIVKO AND S. D. PARSONS 1996. Effect of tillage and rotation on agronomic

performance of corn and soybean: twenty-year study on dark silty clay loam soil. **J. Prod. Agric.** **9**:241-248.

WILD, A. 1992. **Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel**. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid 1045p.

WILLMOTT, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorological Society**. Vol. **63** No. 11.:1309-1313.