

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



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

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

Alumno: Gómez, Miguel Ángel

DNI: 31.904941

Director: Cholaky, Carmen

Co-Director: Bricchi, Estela

Río Cuarto - Córdoba

Noviembre de 2011

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Titulo del Trabajo Final: **Efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre el almacenamiento de agua en un Hapludol típico del sur Cordobés manejado en siembra directa.**

Autor: Miguel Angel Gómez
DNI: 31904941

Director: Ing. Agr. Carmen Cholaky
Co-director: Ing. Agr. Estela Bricchi

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

Ing. Agr. Ana Rivetti _____

Ing. Agr. Ricardo R. Mattana _____

Ing. Agr. Carmen Cholaky _____

Fecha de Presentación: _____ / _____ / _____.

Aprobado por la Secretaría Académica: _____ / _____ / _____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y en especial a mis padres, por el sacrificio de todos estos años.

A mi directora, Carmen Cholaky por su gran apoyo y dedicación.

A todos los profesores de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, en especial a todos los integrantes de la cátedra de Cultivos Oleaginosos, por el apoyo y aliento.

A mis compañeros y amigos, por su apoyo y amistad.

ÍNDICE GENERAL

Página

AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VII

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1- Planteo del problema.....	1
1.2- Antecedentes.....	2
1.3- Hipótesis.....	4
1.4- Objetivos.....	4
1.4.1- Objetivos específicos.....	4

CAPITULO 2

MATERIALES Y METODOS

2.1- Área de estudio.....	6
2.2- Tratamientos y diseño experimental.....	7
2.3- Variables a medir.....	8

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1- Perfil cultural.....	11
3.2- Contenido de agua.....	12
3.2.1- En cada espesor del perfil en los diferentes momentos de muestreo.....	12
3.2.2- Evolución de la lámina total de agua almacenada en función del tiempo.....	15
3.3- Densidad aparente y porosidad.....	17
3.3.1- Densidad aparente.....	17
3.3.2- Porosidad total y macroporosidad.....	21
3.4- Resistencia a la penetración.....	22

CAPITULO 4

CONCLUSIONES.....	25
--------------------------	-----------

CAPITULO 5	
RECOMENDACIONES	26
BIBLIOGRAFIA	27
ANEXOS	32

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Perfil cultural en a) prelabor, Siembra Directa (SD) y b) postlabor Siembra Directa con labor de descompactación subsuperficial (SDd).....	11
Figura 2: Lámina de agua en el perfil del suelo, en función de la profundidad y en los distintos momentos de muestreos para las situaciones de siembra directa sin labor (SD), con labor (SDd), identificando también el punto de marchites permanente (PMP) y capacidad de campo (CC), para cada horizonte evaluado.....	13
Figura 3: Lámina de agua total almacenada en el perfil del suelo en función del tiempo para siembra directa con labor de descompactación (SDd) y sin labor de descompactación (SD). Además están representados los valores de capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP).....	16
Figura 4: Perfil de distribución de la densidad aparente (DAP) en profundidad del suelo, para los tratamientos de siembra directa con labor de descompactación profunda (SDd) y sin labor (SD). Las líneas verticales punteadas, indican valores de densidad aparente que son críticos para el crecimiento de las raíces.....	18
Figura 5: Perfil de distribución de la densidad aparente (DAP) en profundidad del suelo, para los tratamientos en relación a la DAP crítica estimada según modelo propuesto por Pilatti y de Orellana (2000).....	20
Figura 6: a) Relación entre la Macroporosidad y la profundidad del suelo, para los dos tratamientos, siembra directa con descompactación (SDd) y sin descompactación (SD) y b) Relación entre la porosidad total y la profundidad del suelo para los dos tratamientos mencionados anteriormente.....	22
Figura 7: Relación entre la resistencia a la penetración (Mpa) y la profundidad del suelo en los dos tratamientos; siembra directa con descompactación (SDd) y sin descompactación (SD), para dos momentos a) a un mes de realizada la labor de descompactación y b) siete meses después de la misma.....	23

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Datos decádicos de precipitación, ocurridas en la zona de la Aguada en el ciclo 2009/10.....	6
Tabla 2: Comparación de láminas totales de agua almacenada en el perfil del suelo (mm) para los tratamientos de siembra directa con descompactación subsuperficial (SDd) y sin labor de descompactación (SD) en función del tiempo.....	16
Tabla 3: Comparación de medias a través del tests de Tukey, entre los valores de densidad aparente, para los tratamientos de siembra directa con descompactación subsuperficial (SDd) y sin labor de descompactación (SD) en función de la profundidad del perfil hasta el metro.....	18
Tabla 4: Densidad aparente crítica para cada horizonte del perfil de suelo, calculada con el modelo propuesto por Pilatti y de Orellana (2000).....	20

RESUMEN

La disponibilidad de agua en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana es una limitante de la productividad de los cultivos. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de una labor de descompactación subsuperficial, en un suelo manejado con siembra directa, sobre la disponibilidad de agua edáfica. En un Hapludol típico de textura franco arenosa se instalaron 2 tratamientos: siembra directa con labor de descompactación subsuperficial (**SDd**) y siembra directa sin labor de descompactación (**SD**), con cuatro repeticiones. Se evaluó el perfil cultural, contenido de agua volumétrico (CA) en 6 momentos de muestreo, densidad Aparente (DAP), porosidad Total (PT), macroporosidad (MP) y Resistencia a la penetración (RP). El perfil cultural y la RP de **SDd**, mostraron un marcado grado de fisuramiento del suelo hasta la profundidad de trabajo del descompactador (28 cm.), en comparación con **SD**. Por el contrario, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el CA de cada capa de suelo en ninguno de los momentos de muestreo, ni en la lámina de agua total acumulada hasta el metro de profundidad. A siete meses de realizada la descompactación, en **SDd** la DAP fue levemente inferior hasta los 20 cm. de profundidad y PT y MP levemente superiores que en **SD**, pero por debajo de este espesor la tendencia se invirtió a favor de **SD**. Para las condiciones del trabajo, se concluye que: la labor de descompactación subsuperficial no genera diferencias en el CA del perfil, la DAP no es sensible para identificar variaciones en la condición física edáfica luego de transcurridos 7 meses posteriores a la labor, mientras que la RP si lo es, permitiendo evidenciar la persistencia del efecto de la labor a través del tiempo. La evaluación del perfil cultural constituye una herramienta importante para caracterizar el estado estructural que generan diferentes manejos del suelo.

Palabras claves: Descompactación, contenido de agua, densidad aparente, resistencia a la penetración, siembra directa.

SUMMARY

Effect of a subsurface decompacting work on storing water in a typical southern Hapludol of handled Cordobés in no till.

The Water availability in semiarid and subhumid Pampas region is a limiting crop productivity. The objective of this study was to evaluate the effect of subsurface-decompacting tillage, on soil water availability in a no-tillage soil system. Were installed two treatments in a typical Hapludoll sandy loam soil: no tillage with subsurface decompacting work (NTd) and no tillage without decompacting (NT), with four repetitions. We evaluated the cultural profil, volumetric water content (VWC) in 6 sampling times, bulk density (BD), total porosity (TP), macroporosity (MP) and resistance to penetration (RP).The cultural profile and RP in NTd showed a marked degree of cracks in the ground to the working depth of the tool (28 cm) compared with NT.By contrast, there was no statistically significant differences between treatments in the AC of each soil layer in any of the sampling times, nor in total the water sheet cumulative.Seven months after performing the decompacting in NTd the BD was slightly lower than to 20 cm deep and TP and MP slightly higher than in NT, but below this thickness the trend was reversed in favor of NT.For the conditions of work, it is concluded that: the tillage of subsurface decompacting not generate differences in the VWC side, the BD is not sensitive to identify variations in soil physical condition after of 7 months after the tillage, while the RP is it, allowing demonstrate the persistence of the effect of the tillage over time. The cultural profile assessment is an important tool to characterize the structural state that generate different soil management.

Key words: Decompacting, water content, bulk density, penetration resistance, no tillage.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1-Planteo del problema:

El agua es un elemento vital para el correcto crecimiento y desarrollo de los cultivos (Soracco *et al.*, 2008) La disponibilidad de agua en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana constituye una de las principales limitantes de la productividad de los cultivos (Bono y Alvarez, 2008). Variables como la captación y almacenaje del agua de lluvia y la eficiencia de uso del agua por los cultivos son muy importantes de considerar al momento de planificar el sistema de producción (Alvarez *et al.*, 2008). Factores de manejo como cultivo antecesor, barbecho, sistema de labranza y régimen de fertilización pueden afectar el contenido de agua del suelo (Bono y Alvarez, 2008). En la región centro sur de Córdoba se han realizado numerosos trabajos que muestran como el contenido de agua del suelo condiciona la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos (Bono y Alvarez, 2008). La compactación constituye uno de los procesos de degradación física de suelos más importante que afecta la productividad de los cultivos, al limitar la entrada de agua al suelo y por lo tanto la disponibilidad de agua para el cultivo. En la Argentina, existe aún escasa información experimental sobre la descompactación en diferentes tipos de suelos y condiciones de manejo, y su influencia sobre el almacenaje de agua edáfica (Alvarez *et al.*, 2008).

En el ambiente natural al que pertenece la llanura bien drenada del centro sur de la provincia de Córdoba las actividades agropecuarias se realizan desde 1890 con reemplazo de la vegetación natural por la cultivada sobre suelos Hapludoles/ustoles típicos donde predominan partículas esqueléticas como arenas muy finas y limos (Bricchi, 1996). En este ambiente se ha detectado la degradación de las tierras por disminución de las funciones químicas y físicas de los suelos.

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

En lo que respecta a la historia, en los sistemas de producción de la región central de Córdoba, durante los últimos treinta años, fueron ocurriendo importantes cambios en el uso de la tierra, además de un avance de la agricultura sobre áreas ocupadas anteriormente por la ganadería, asociado a un cambio climático (el fenómeno ENSO), (Aoki *et al.*, 2008). Esta agriculturización se caracterizó, a partir de la década del 80, por un creciente predominio de

soja en monocultivo en reemplazo de otros cultivos como sorgo, maíz, trigo, girasol y maní, que inicialmente ocurrió en sistemas convencionales de labranza, caracterizados por la remoción del suelo, la escasa o nula permanencia de rastros en superficie y la compactación por debajo de la labor (Campitelli *et al.*, 2008). El predominio de este manejo por más de tres décadas derivó en la degradación del recurso suelo, principalmente por la pérdida de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo, disminución de la estabilidad de agregados e incremento del escurrimiento superficial (Aoki *et al.*, 2008). De acuerdo a estos últimos autores, hacia fines de la década de los 80, los sistemas fueron evolucionando hacia los llamados conservacionistas, dentro de los cuales el sistema de siembra directa, caracterizado por el no laboreo, es actualmente el de mayor adopción en la región, mostrando un escenario productivo que presenta una gran expansión del cultivo de soja, con un alto porcentaje en siembra directa. Ésta herramienta solucionó problemas de erosión de suelos, pero generó inconvenientes como la densificación de los horizontes donde se sustenta la producción. El tráfico de máquinas pesadas en siembra directa genera la compactación superficial del suelo, por lo que las raíces no utilizan adecuadamente el agua y los nutrientes, llevando a una disminución de los rendimientos (Soza *et al.*, 2008). Esta secuencia de eventos es observada por Botta *et al.* (2005) en el cultivo de girasol.

Por lo antes dicho el desafío es encontrar nuevas técnicas y estrategias de manejo que disminuyan el problema de compactación, sin descuidar el problema de erosión que afecta nuestra región.

1.2-Antecedentes:

La siembra directa es una tecnología conservacionista que empezó a desarrollarse en la década del 60, y en la actualidad es utilizada en gran parte de la superficie cultivada, abarcando alrededor de 22,3 millones de hectáreas (INTA 2010). Argentina ha crecido en la producción de granos en los últimos 18 años a razón de 3,7 millones de toneladas/año, llegando al 81% de adopción de la siembra directa (Bragachini *et al.*, 2011).

Algunos trabajos, como el realizado por Michelena *et al.* (2002), afirman que esta práctica de no labranza modifica la estructura del espacio poroso y la dinámica del agua, aumentando la infiltración (macroporos) y el almacenamiento del agua, reduciendo la pérdida de suelo por erosión. Sin embargo varios autores han observado que este sistema tiene algunos efectos no deseados en la condición física del suelo. Manso *et al.* (2008) evaluaron la evolución de la densidad aparente (DAP) y de la resistencia a la penetración (RP) luego de 10 años de un ensayo en el que se realizaba siembra directa y labranza convencional y encontraron mayor dureza en el suelo tratado con siembra directa que en

labranza convencional, si bien en algunas profundidades las diferencias no fueron significativas. Los resultados que obtuvieron demuestran un incremento en la compactación de los suelos con los años de agricultura, siendo más notorio bajo siembra directa. En igual sentido Steinbach y Álvarez (2006) estudiaron el impacto de la adopción de siembra directa sobre las propiedades físicas de los suelos pampeanos, a partir de la integración de la información publicada en los últimos 20 años, incluyendo únicamente tratamientos bajo siembra directa, labranza con cincel y labranza con arado de disco o de reja y vertedera. No obtuvieron diferencias entre los tratamientos con cincel y reja, pero si entre estos y siembra directa. Bajo este último tratamiento los valores de DAP fueron mayores. Los autores también concluyeron en que los suelos con valores de DAP bajos son mas susceptibles a la compactación por siembra directa. Por otro lado, hay antecedentes que demuestran que la implementación de la siembra directa por un largo periodo de tiempo, densifica los suelos en los primeros años, pero luego, superficialmente el efecto tiende a revertirse debido probablemente a los incrementos de materia orgánica en esos primeros centímetros y a la actividad biológica que produce la continuidad de este sistema (Gudelj y Masiero, 2000).

Una importante causa de compactación en planteos agrícolas en siembra directa, según Indelángelo *et al.* (2008), es el tránsito de maquinaria. Estos autores, después de evaluar el impacto de equipos de cosecha en condiciones de saturación hídrica encontraron que los contenidos hídricos elevados, sobre todo en suelos de textura fina, magnifican los efectos del tránsito.

En el año 2002, Parra (2004) realizó estudios en el sitio donde se llevó a cabo el presente trabajo, encontrando valores significativamente mayores de DAP en las parcelas bajo siembra directa (parcelas donde se realizaron los estudios para este trabajo) que en las que se realizó labranza reducida y convencional. El mencionado autor indicó que la ausencia de labores de aflojamiento tiene que ver con este resultado. También analizó la compactación máxima en cada labranza, y solo obtuvo una variación significativa en la capa superficial del perfil cultural en el sistema de siembra directa, siendo ésta menor en comparación a las demás labranzas, lo que el autor relacionó al mayor contenido de materia orgánica total que observó en ese tratamiento.

Soracco *et al.* (2008) estudió el efecto del tránsito sobre el movimiento del agua en un suelo bajo siembra directa, observó que la realización prolongada de este sistema de manejo en forma ininterrumpida produce una estabilización de las propiedades físicas de los suelos (entre ellas la tasa de infiltración básica). Pero este valor de estabilización es particularmente bajo, con el consiguiente peligro de aumento del escurrimiento y disminución del agua almacenada en el perfil del suelo.

Fernández y Quiroga (2008) observaron el efecto del sistema de labranza en la eficiencia de almacenamiento del agua en la región semiárida pampeana, concluyendo que en Molisoles de la región semiárida pampeana es posible influir positivamente, mediante el manejo, en la eficiencia de almacenamiento de agua y en consecuencia en la productividad de los cultivos. La transferencia del agua pluvial acumulada durante el barbecho al periodo de los cultivos resulta dependiente de la cobertura de residuos tanto en barbecho de invierno como de verano. La humedad en los primeros centímetros del suelo, resulta clave para el éxito de la germinación y emergencia de los cultivos. Es por ello que disminuir la evaporación del agua del suelo mediante sistemas de labranzas conservacionistas con el uso de residuos en superficie resulta de gran importancia en ambientes donde se registran elevadas temperaturas de suelo y escasas precipitaciones. Además los resultados muestran que los residuos modifican la biomasa de malezas y generan la posibilidad de reducir el uso de agroquímicos.

1.3-Hipótesis:

La introducción de una labor de descompactación subsuperficial en un suelo manejado con siembra directa, incrementa el contenido de agua almacenada en el suelo, respecto a la situación sin labor de descompactación.

1.4-Objetivo:

Evaluar el efecto de una labor de descompactación subsuperficial, en un suelo manejado con siembra directa, sobre la disponibilidad de agua edáfica.

1.4.1-Objetivos Específicos:

- ✓ Medir el contenido de agua gravimétrico en diferentes momentos posteriores a la labor de descompactación, en el suelo manejado en siembra directa con y sin labor de descompactación subsuperficial.
- ✓ Estimar el contenido de agua volumétrico para cada momento de evaluación y la lámina de agua total almacenada en el metro de profundidad del suelo.
- ✓ Medir el contenido de agua a capacidad de campo y punto de marchites permanente de cada horizonte del perfil edáfico
- ✓ Evaluar la Densidad Aparente de cada horizonte del perfil de suelo y estimar la porosidad total y la macroporosidad en un momento posterior a las labores.

- ✓ Medir la resistencia a la penetración en dos momentos del período analizado como variable indicadora de la persistencia de la labor de descompactación subsuperficial.

CAPITULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1-Área de trabajo:

La experiencia se realizó en el campo de Docencia y Experimentación (CAMDOCEX) de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, “Pozo del Carril”, ubicado en las cercanías del paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto (33° 57' Sur, 64° 50' Oeste). De acuerdo a Cantero *et al.* (1998) el establecimiento se encuentra ubicado en la Unidad Ambiental de Llanura Subhúmeda bien drenada.

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 de entre 50 y 300 mm/año de acuerdo al régimen de lluvia. Las principales adversidades climáticas son: sequías, heladas extemporáneas, granizo y la intensidad de las precipitaciones (Degioanni, 1998). Las precipitaciones ocurridas durante el período de estudio se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Datos decádicos de precipitación, ocurridas en la zona de la Aguada durante el ciclo 2009/10 (datos provistos por informante calificado).

Precipitaciones (mm)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
1ª Década	0	0	0	50	15	91	0	52	0	20	2	0
2ª Década	0	0	0	35	44	0	44	20	0	0	0	0
3ª Década	0	0	64	0	100	59	61	35	0	29	0	0
Total	0	0	64	85	159	150	105	107	0	49	2	0

* Casilleros en gris indican la precipitación ocurrida en el periodo analizado.

El área se caracteriza por presentar un relieve muy complejo, de moderado a fuertemente ondulado determinando un conjunto de lomadas, cuya longitud oscila entre los 3.000 y los 6.000 metros de largo con un gradiente del 2 al 3 %. Localmente se presentan pendientes mas cortas pero de mayor gradiente (Becker *et al.*, 2001). El material originario de los suelos de esta área esta constituido principalmente por sedimentos de tipo loésicos franco-arenosos muy finos de la Formación la Invernada (Cantú, 1992), donde predominan Hapludoles típicos de textura franco arenosa muy fina (Cantero *et al.*, 1984). Las

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

2.2-Tratamientos y diseño experimental:

El programa de investigación donde se desarrolló este trabajo se puso en marcha a partir de agosto de 1994. El programa de referencia incluye dos rotaciones: Agrícola – Ganadera (AG) y Agrícola (A), tres sistemas de labranzas: siembra directa (SD), labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC). Desde el año 2007 se realiza en una parte de SD y de LR una labor de descompactación subsuperficial (D); dos dosis de fertilización con nitrógeno y fósforo: Con fertilización (F) y sin fertilización (NF). El ensayo original se desarrolló utilizando un diseño experimental en parcelas subdivididas dispuestas en bloques completamente aleatorizados, con cuatro repeticiones espaciales por tratamiento.

En siembra directa no existe laboreo alguno del suelo, solamente se realiza la siembra con una sembradora adaptada para tal fin. En este programa se realiza la siembra en plano con una sembradora marca Bertini, Mod. 10000 D, neumática, de siete surcos a 0,70 m entre líneas de siembra. El kit de siembra está constituido por: una cuchilla de microlabranza (corta rastrojo), un sistema de doble disco (abre surco sembrador y fertilizador en la línea de siembra) y las ruedas tapadoras del surco dentadas; el control de profundidad de la semilla se realiza a través de una leva central graduada.

Para poder realizar la fertilización al costado de la línea de siembra, al kit de siembra debe agregarse un doble disco fertilizador y las cuchillas de microlabranza (corta rastrojo) son colocadas adelante en la barra porta cuchillas y los discos fertilizadores van fijados al chasis.

Las dosis de fertilizantes aplicadas son determinadas en función de los rendimientos potenciales de los cultivos y del nivel de estos nutrientes en el suelo.

En el tratamiento de labranza reducida se realizan dos labores de arado cincel para llegar a los 0,2 m de profundidad en el momento de barbecho; una labor de repaso con rastra de disco de tiro excéntrico con el mínimo cruce de los cuerpos según el tamaño de los terrones de la superficie del suelo. Finalmente se realiza la siembra con la máquina de siembra directa anteriormente descrita.

El control de malezas durante el barbecho se realiza mediante las labores mecánicas mencionadas; en preemergencia de los cultivos y de las malezas se aplican herbicidas residuales selectivos; los escapes de malezas son controlados con herbicidas selectivos postemergentes.

En labranza convencional se realiza una labor de arado de reja y vertedera y una labor de repaso con rastra de disco de tiro excéntrico. Luego se realiza la siembra con la

sembradora mencionada anteriormente. El control de malezas en este caso es similar al descrito en la labranza reducida.

La labor de descompactación subsuperficial se realiza con un escarificador alado en forma de T invertida, con filos longitudinales y transversales, similar al subsolador alado “reja cero” (Cisneros *et al.*, 1998), de fabricación artesanal, que trabaja a una profundidad teórica de 0,28 m, con una distancia entre rejas de 0,46 m (6 rejas); se le acopla un rolo dispuesto detrás de dicha herramienta con el objetivo de cerrar los surcos originados por las rejas y reacondicionar la superficie del suelo y rastrojo (fotos 1 a 9 del Anexo III).

La realización del presente trabajo se llevó a cabo en la rotación agrícola, Fertilizada, en las parcelas con siembra directa (SD) con labor de descompactación subsuperficial (**SDd**) y sin labor de descompactación subsuperficial (**SD**), con cuatro repeticiones por tratamiento (ver esquema del Anexo I).

En el ensayo correspondiente a este trabajo, la labor de descompactación subsuperficial se realizó el 24/11/09 cuando el suelo se encontraba próximo a capacidad de campo, y la consistencia del mismo era friable. Durante la primera quincena de diciembre se sembró un cultivo de soja, que hacia inicio del período reproductivo (primera semana de febrero de 2010) se perdió totalmente a partir de la caída de piedra. Esto llevó a reformular los objetivos y actividades proyectadas originalmente (foto 13 y 16 del Anexo III).

2.3-VARIABLES ESTUDIADAS:

- ✓ Perfil cultural: posterior a la siembra se realizó una evaluación del perfil cultural en cada tratamiento por el método del **perfil cultural**, propuesto por Gautronneau y Manichon (1987). El mismo consiste en realizar una excavación de 1 m de largo en forma transversal a la dirección de la labranza, 0,50 m de ancho y 0,3 m de profundidad, ya que según Parra (2004) es el espesor del perfil que muestra los cambios inducidos por el uso y manejo. Sobre una de sus paredes previamente alisada, se procede a diferenciar, con la ayuda de algún elemento punzante, diferentes zonas del perfil tanto en el sentido vertical como lateral. Las zonas diferenciadas son identificadas mediante palillos punzantes contorneando sus bordes. Sobre esta pared se dispone una grilla graduada, con cuya ayuda se transfiere la forma de las zonas a un papel que reproduce la grilla. Las dimensiones de la grilla a utilizar son de 1 x 0,3 m, siendo cada cuadrado de 0,03 m de lado. La información obtenida será digitalizada mediante el software ARC INFO (ESRI, 1992) con el que se obtendrán mapas de los perfiles culturales.

- ✓ Contenido de agua (CA): se tomaron muestras de suelo de las distintas capas del perfil cultural en los intervalos de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm y por debajo de él, en los intervalos de profundidad de 30-40 cm, 40-60 cm y 60-100 cm, correspondiendo aproximadamente los 4 primeros intervalos a los 3 primeros horizontes genéticos del perfil y los 3 intervalos restantes a los horizontes genéticos subyacentes (ver descripción del perfil genético en Anexo II.) Las muestras se extrajeron con barreno (foto 14 del Anexo III) y la estimación del contenido hídrico se llevó a cabo por el método gravimétrico, de secado en estufa a 105°C hasta peso constante. De cada espesor del perfil, se tomaron dos submuestras por tratamiento y por repetición, con una frecuencia de 1 vez/mes durante el período 21/12/09-14/06/10, definiendo un total de 6 momentos de muestreo en dicho período. Los resultados fueron expresados en forma de lámina (mm) por cada intervalo señalado y en forma de lámina total almacenada en el metro de profundidad, a partir de la determinación de la densidad aparente (DAP).
- ✓ Densidad Aparente (DAP): al final del período analizado se realizó una determinación de la densidad aparente por el método del cilindro (Moreno *et al.*, 1996) en cada capa o intervalo señalado precedentemente, con una determinación por tratamiento y repetición.
- ✓ Porosidad Total (PT): para cada una de las capas estudiadas se estimó la porosidad total, a través de la densidad de las partículas (densidad real) y la densidad aparente del suelo según la ecuación 1 (Danielson y Sutherland, 1986). Además se estimó la macroporosidad (MP) o porosidad de aireación según la ecuación 2.

$$PT = \left(\frac{1 - \gamma_a}{\gamma_r} \right) (1)$$

Donde:

PT= porosidad total

γ_a = densidad aparente del suelo

γ_r = densidad real de partículas

$$MP = (PT - \theta_{0,1bar}) (2)$$

Donde:

MP= macroporosidad

$\theta_{0,1\text{bar}}$ = contenido de humedad a 0,1 Bar de presión

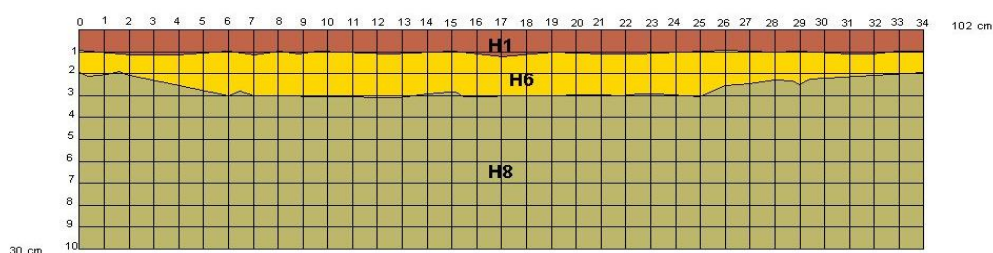
- ✓ Curva característica de humedad: se obtuvo el contenido de agua a 0,1 bar, 0,3 bar. (Capacidad de Campo) y a 15 bares (Punto de Marchitės Permanente), a través del método de la olla de presión (Moreno *et al.*, 1996) para cada horizonte del perfil de suelo, con el objetivo de estimar MP como se explicó en el párrafo anterior y calcular la lámina de agua útil potencial y poder referenciar la lámina de agua disponible actual en cada momento de muestreo.
- ✓ Resistencia a la penetración (RP): la determinación de esta variable se realizó mediante un penetrómetro computarizado (foto 15 del Anexo III) (Eijkelkamp, 1995), provisto de un cono de área basal de 1 cm² y un ángulo de 30°, con sensibilidad de lectura de 0,01 m. La medición se realizó en dos oportunidades: a la siembra del cultivo (diciembre de 2009) y al finalizar el período de estudio (junio de 2010), hasta los 40 cm de profundidad. En cada momento de determinó el contenido de agua del suelo hasta igual profundidad.
- ✓ Análisis estadístico de los resultados: los datos fueron analizados estadísticamente mediante el programa INFOSTAT (Robledo *et al.*, 2008).

CAPITULO 3
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1-Perfil cultural:

En las figuras 1 a y 1 b, se muestran los perfiles culturales del suelo en las condiciones de pre y postlabor de descompactación, respectivamente, en donde se evidencian las siguientes capas: una superficial, con estructura débil y alto grado de pulverización (H1) y dos capas subsuperficiales: en la situación (a) (i.e. prelabor de descompactación, SD), aparecen dos capas uniformemente compactadas denominadas H6 y H8, las que podrían asociarse a antiguos pisos de rastra y de arado, respectivamente, mientras que en la situación (b) (i.e. postlabor de descompactación, SDd), se observó un marcado grado de fisuramiento en el espesor del perfil hasta la profundidad donde llegó el efecto del implemento estudiado, identificándose la capa H7 en el sector por donde pasaron las rejas del implemento, abarcando una superficie del 73,5% del área total del perfil cultural postlabor. En este sector se evidenció un marcado cambio en la estructura con respecto al perfil cultural prelabor, especialmente en el sector compactado (H8). Valores similares (77% de superficie fragmentada del área total del perfil cultural posterior a la labor), fueron encontrados por Cholaký *et al.* (2008) como resultado de la labranza de descompactación subsuperficial en un Haplustol típico trabajado en una condición de suelo húmedo.

a)



b)

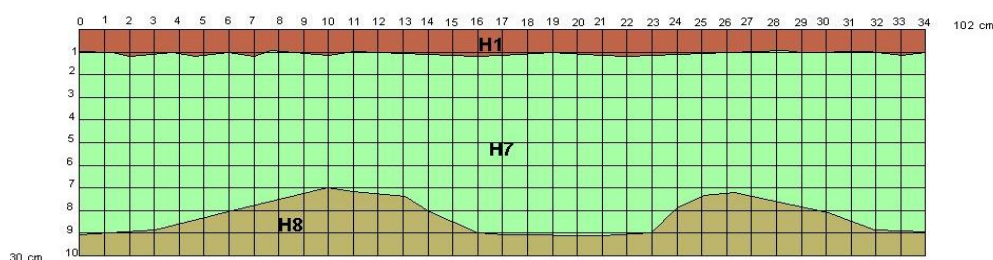


Figura 1: Perfil cultural en a) prelabor, Siembra Directa (SD) y b) postlabor Siembra Directa con labor de descompactación subsuperficial (SDd).

Por otro lado, en la figura (b) se puede apreciar que la profundidad de trabajo real no logró fisurar la totalidad de la capa H8, evidenciándose sectores remanentes de esta capa en la base del perfil cultural evaluado.

El método del perfil cultural es una excelente herramienta para lograr un mejor entendimiento de las modificaciones ejercidas en el suelo bajo cultivo en relación a las operaciones de labranza, a los cultivos y al clima, principalmente cuando su estudio se lo complementa con la medición de otras variables físicas (De Battista *et al.*, 1992).

3.2-Contenido de agua:

3.2.1-En cada espesor del perfil en los diferentes momentos de muestreo:

El efecto de la labor de descompactación no generó diferencias estadísticamente significativas entre la disponibilidad de agua en los horizontes evaluados, ni en ninguno de los momentos de muestreo realizados, tal como se puede observar en las gráficas de la figura 2.

Estos resultados fueron coincidentes con los hallados por Alvarez *et al.* (2008) y Sanzano *et al.* (2008), quienes trabajaron en Argiudoles y Haplustoles, respectivamente, quienes tampoco encontraron diferencias significativas en la acumulación de agua en el suelo, por efecto de la labor de descompactación, atribuyendo estos resultados a las condiciones no limitantes de precipitaciones de la campaña evaluada. En el período analizado en el presente trabajo se produjo una precipitación de 413 mm, valor que no supera la media anual para la zona. A pesar de esto, puede observarse que el suelo presentó una adecuada disponibilidad hídrica, ya que en la mayoría de los horizontes y en todos los momentos evaluados, tuvo un contenido hídrico superior al de capacidad de campo, con excepción de los primeros 10 cm de profundidad, en donde la dinámica del agua es muy alta, debido a que este espesor está más expuesto a las condiciones ambientales como temperatura, radiación, viento, precipitación, etc., que los horizontes o capas subyacentes.

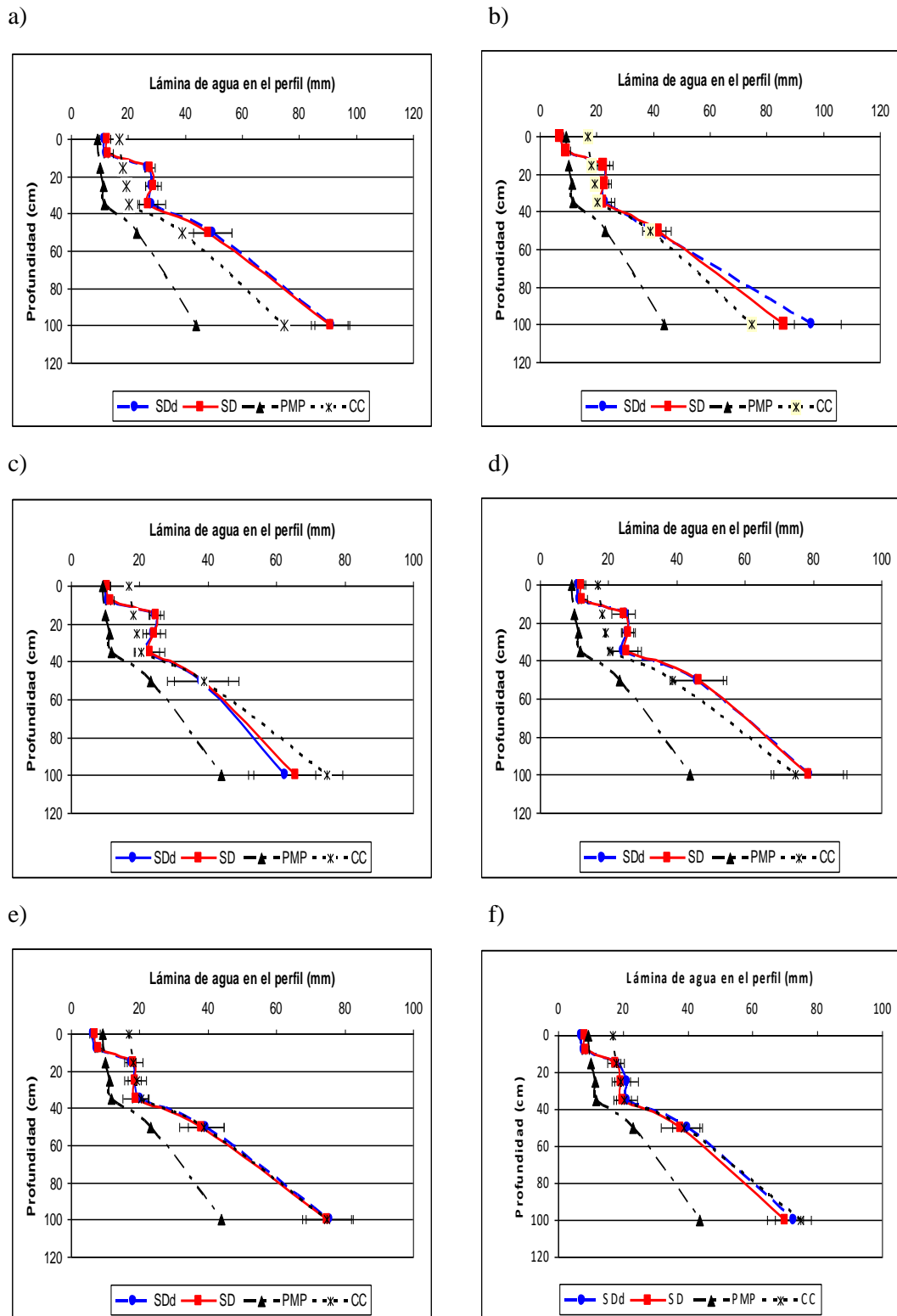


Figura 2: Lámina de agua en el perfil del suelo (mm), en función de la profundidad (cm) y en los distintos momentos de muestreo para las situaciones de siembra directa sin labor (SD), con labor (SDd), identificando también el punto de marchites permanente (PMP) y capacidad de campo (CC), para cada horizonte evaluado: a) muestra 1 (21/12/09), b) muestra 2 (11/01/10), c) muestra 3 (19/02/10), d) muestra 4 (15/03/10), e) muestra 5 (12/04/10), f) muestra 6 (14/06/10).

Plevich *et al.* (2007) tampoco observaron diferencias significativas en el contenido de agua de un Hapludol típico sembrado con trigo y trabajado con dos sistemas de laboreo: labranza reducida (rastra excéntrica y siembra) y labranza profunda que incluyó una labor de descompactación con subsolador alado “reja cero”, rastra excéntrica y siembra. Explicaron este comportamiento por la pequeña magnitud de las precipitaciones que ocurrieron durante el período estudiado, las cuales no generaron escurrimiento. A pesar de contar con la misma disponibilidad de agua, entre una y otra labranza los rendimientos del cultivo de trigo mostraron diferencias estadísticamente significativas a favor de la labranza profunda. De acuerdo a los autores, esto podría deberse a que la aplicación de la labranza profunda en comparación con los sistemas de laboreo convencional, reduce la resistencia del suelo, estimula el enraizamiento profundo y promueve el crecimiento radical rápido.

En sentido contrario, los resultados encontrados por Introcaso *et al.* (2008), mostraron diferencias en el almacenamiento del agua por efecto de la labor de descompactación, en la profundidad hasta donde tuvo efecto la herramienta (40 cm) en el primer año de análisis mientras que en el segundo año el efecto se mantuvo, pero en los primeros 20 cm de profundidad.

Esta falta de respuesta también puede ser atribuida a la elevada cobertura vegetal (mayor al 70%) que poseían ambos tratamientos ya que en la rotación, el lote provenía de un cultivo de maíz, que se caracteriza por dejar una elevada cantidad de rastrojo en superficie. Esta condición superficial contribuye a mejorar la infiltración de agua en el perfil y disminuir el escurrimiento superficial, con lo que se incrementa la precipitación efectiva (agua de lluvia que entra al suelo), a la vez que protege la superficie del suelo de procesos erosivos (tanto hídricos, como eólicos), y también disminuye las pérdidas por evaporación de agua desde el suelo, al funcionar como una capa aislante de la superficie edáfica.

En ensayos realizados con simulador de lluvia en Argiudoles típicos del sur este de Córdoba, manejados con diferentes sistemas de labranza, Marelli y Arce (2006) observaron que el escurrimiento superficial fue marcadamente inferior en las situaciones que recibieron cincel o paraplow que aquellas con siembra directa y labranza convencional, mientras que la pérdida de suelo fue marcadamente inferior en los sistemas conservacionistas que incluyeron cincel, paraplow o siembra directa con respecto a la labranza convencional. Estos resultados indicarían que las labranzas de descompactación subsuperficial de las capas del perfil incrementaron la infiltración de agua en el suelo y que la cobertura superficial y el incremento de la estabilidad estructural en la capa superficial por efecto de la materia orgánica reducen las pérdidas de suelo por erosión.

En relación a lo anteriormente expuesto, trabajos de investigación realizados en Brasil (Roth, 1985) también muestran, que el porcentaje de cobertura del suelo con residuos

vegetales es el factor mas importante que influye sobre la infiltración de agua en el suelo. Mientras la infiltración fue prácticamente total cuando el suelo estaba 100% cubierto con residuos vegetales, se verificó un escurrimiento superficial de 75 a 80% del agua, de una lluvia de 60 mm.Hs^{-1} en el caso de suelo descubierto.

Con respecto a la evaporación de agua por parte del suelo, Panigatti *et al.* (1983) y Steiner (1994), comprobaron que existe un efecto protector-aislante de la cobertura sobre las variaciones de temperatura ambiental. Esto se traduce en la capacidad de almacenar agua y generar condiciones óptimas para el desarrollo de microorganismos y el crecimiento de las raíces (Gupta *et al.*, 1983; Power *et al.*, 1986). Resultados similares fueron encontrados por Fernandez y Quiroga (2008), concluyendo que la humedad en los primeros centímetros del suelo, resulta clave para el éxito de la germinación y emergencia de los cultivos. Es por ello que disminuir la evaporación del agua del suelo mediante sistemas de labranzas conservacionistas con el uso de residuos en superficie resulta de gran importancia en ambientes donde se registran elevadas temperaturas de suelo y escasas precipitaciones.

3.2.2-Evolución de la lámina total de agua almacenada en función del tiempo

Al analizar el comportamiento de la lámina de agua acumulada en todo el perfil del suelo estudiado, durante los diferentes momentos evaluados, se aprecia que SDd no generó diferencias estadísticamente significativas con respecto a SD (figura 3).

Por otro lado, en el figura 3 se puede observar que están representados, el contenido de agua a capacidad de campo (187,8 mm) y el de punto de marchites permanente (109,1 mm), característicos del suelo estudiado, a partir de lo cual puede observarse que ambas situaciones (con y sin labor), durante la mayor parte del período estudiado, la lámina total de agua estuvo por encima de capacidad de campo, salvo en los últimos dos momentos en donde el suelo se encontraba a capacidad de campo, por lo que se puede afirmar que las condiciones hídricas no fueron limitantes en todo el periodo analizado. Esto concuerda con lo encontrado por Sanzano *et al.* (2008), quienes mencionan que el laboreo vertical profundo disminuyó significativamente la densidad aparente y la resistencia a la penetración, aumentó la tasa de infiltración, pero no se observaron diferencias significativas en la cantidad de agua almacenada en el suelo, ni en el rendimiento del cultivo de soja, en relacion a los tratamientos sin labor de descompactación, probablemente debido a las condiciones hídricas no limitantes.

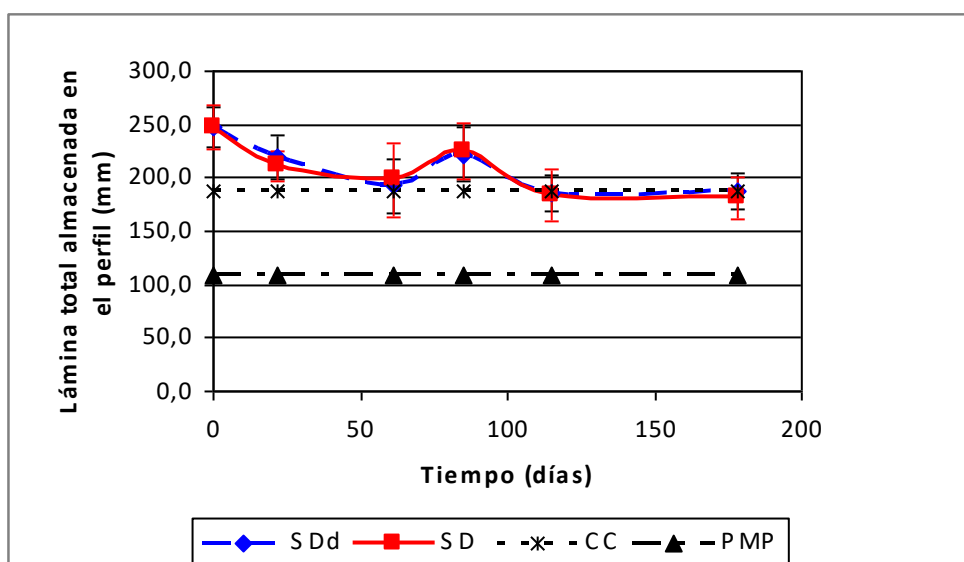


Figura 3: Lámina de agua total almacenada (mm) en el perfil del suelo en función del tiempo para siembra directa con labor de descompactación (SDd) y sin labor de descompactación (SD). Además están representados los valores de capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP). Las barras verticales representan el desvío estándar de los valores de lámina de agua.

El contenido total de agua almacenada en el perfil del suelo estudiado, mostró diferencias estadísticamente significativas, entre los diferentes momentos en que se realizaron los muestreos, pero no entre las situaciones con y sin labor de descompactación subsuperficial, como lo muestra el test de Tukey en la tabla 2. Se presentó una tendencia hacia la disminución del contenido hídrico en el transcurso del tiempo, asociado probablemente a la distribución monzónica de las precipitaciones y al consumo de agua producido por el elevado nivel de enmalezamiento que se hallaba en el lote.

Tabla 2: Comparación de láminas totales de agua almacenada en el perfil del suelo (mm) para los tratamientos de siembra directa con descompactación subsuperficial (SDd) y sin labor de descompactación (SD) en función del tiempo.

Momento	SD	SDd
1	247,80 (A)	247,45 (A)
2	211,00 (BC)	219,95 (B)
3	198,10 (CD)	192,28 (CD)
4	224,95 (B)	222,15 (B)
5	183,40 (D)	185,20 (D)
6	181,03 (D)	187,78 (D)

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según tests de Tukey.

Soza *et al.* (2008), tampoco halló diferencias significativas en los valores de humedad actual en las tres fechas en que relevó datos en su trabajo, donde evaluó la descompactación del suelo mediante distintas herramientas y secuencias de laboreo, observando que con el transcurso del tiempo esta variable mostró una tendencia hacia el incremento en los tratamientos con menor laboreo del suelo.

Al respecto, Soracco *et al.* (2008), quienes trabajaron en un Argiudol típico perteneciente a la Serie Río Tala, en la localidad de San Antonio de Areco, concluyen que la aplicación prolongada de siembra directa ininterrumpida produce una estabilización de las propiedades físicas de los suelos, pero que para el suelo estudiado por estos autores, este valor de estabilización es particularmente bajo, con el consiguiente riesgo de incrementar el escurrimiento y disminución del agua almacenada en el perfil.

Rangeon *et al.* (2008), sobre un Ustocrepte údico de la serie Cerrillos, de Salta, y con precipitaciones por debajo del promedio histórico, a lo que se le sumó que el cultivo antecesor fue soja que proporcionó una escasa cobertura, obtuvo como resultado, que la labranza convencional es el sistema con mayor degradación física, con un Índice de Cono (IC) (valores promedios hasta los 50 cm de profundidad), de 6,74 Mpa, seguido de labranza mínima con disco en donde el IC fue de 5,55 Mpa, en siembra directa de 5,04 Mpa y en labranza mínima vertical con 2,69 Mpa. Los valores de humedad gravimétrica del suelo presentaron el mismo patrón pero inverso, labranza mínima vertical=14,4%, siembra directa=11,6%, labranza mínima con disco=11,05% y labranza convencional=9,68%.

3.3-Densidad Aparente y porosidad:

3.3.1-Densidad Aparente:

En el tratamiento con labor de descompactación subsuperficial no se evidenciaron diferencias significativas en la DAP del suelo con respecto a SD, como lo confirma el análisis estadístico mediante test de Tukey (tabla 3). Se aprecia que las diferencias entre los valores de DAP se deben a la profundidad y no al efecto de la labranza.

La labor de descompactación subsuperficial generó una pequeña disminución en los valores de DAP en los primeros 20 cm de profundidad, pero por debajo de este espesor la tendencia se invirtió a favor de la situación sin labor (figura 4).

Tabla 3: Comparación de medias a través del tests de Tukey, entre los valores de la densidad aparente ($\text{Mg/m}^3=\text{gr/cm}^3$), para los tratamientos de siembra directa con descompactación subsuperficial (SDd) y sin labor de descompactación (SD) en función de la profundidad del perfil hasta el metro.

Profundidad (cm)	DAP ($\text{Mg/m}^3=\text{gr/cm}^3$)	
	SDd	SD
0 – 10	1,21 (A)	1,28 (A)
10 – 20	1,41 (B)	1,44 (B)
20 – 30	1,43 (B)	1,42 (B)
30 – 40	1,46 (B)	1,43 (B)
40 – 60	1,46 (B)	1,42 (B)
60 - 100	1,45 (B)	1,43 (B)

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

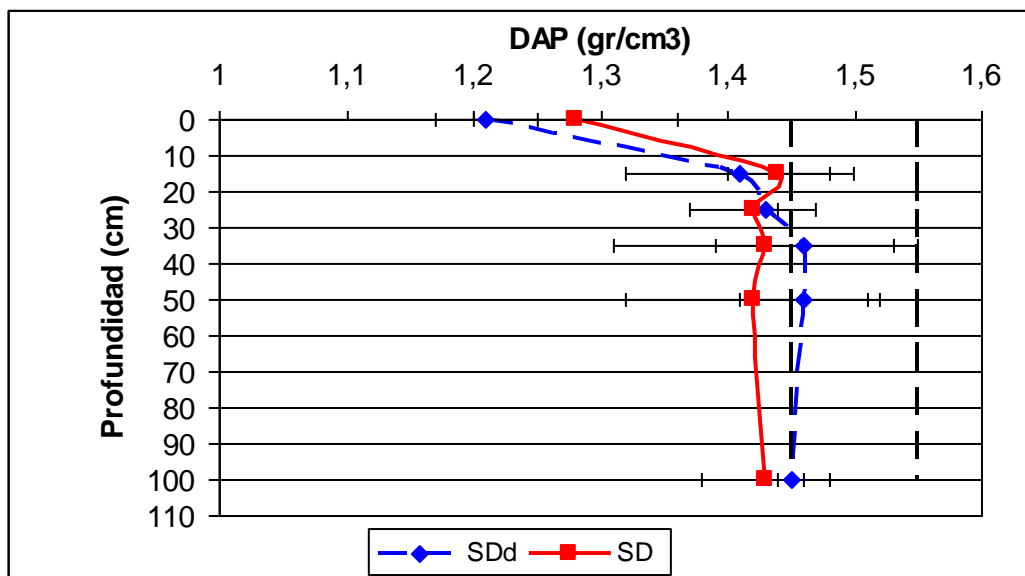


Figura 4: Perfil de distribución de la densidad aparente (DAP) en profundidad del suelo, para los tratamientos de siembra directa con labor de descompactación subsuperficial (SDd) y sin labor (SD). Las líneas verticales punteadas, indican valores de densidad aparente que son críticos para el crecimiento de las raíces. Las barras horizontales representan el desvío estándar de los valores de la densidad aparente.

Este comportamiento podría estar asociado a que la profundidad de trabajo de la herramienta descompactadora, fue de 28 cm aproximadamente, por lo que cabría esperar que

al momento de medición de la DAP, (7 meses posteriores a la labor) aún perdurara algún efecto en los primeros centímetros del suelo. En este sentido Cholaky (2003) trabajando en un Hapludol típico franco arenoso muy fino, laboreado con un subsolador alado y sin tránsito posterior a la labor, observó que el efecto de descompactación perduró por al menos 8 meses posteriores a la labor, produciéndose un proceso de recompactación de la capa densificada en la base del espesor originalmente fisurado.

Resultados similares fueron encontrados por Alvarez *et al.* (2006), en descompactación de suelos francos y franco arenosos en siembra directa, quienes no encontraron diferencias en DAP, así como otros autores trabajando en descompactación subsuperficial, con el fin de mejorar las condiciones físicas para comenzar con siembra directa (Carter *et al.*, 1996; Hamilton-Manns *et al.*, 2002).

Elissondo *et al.* (2001), utilizando una labranza vertical en suelos con dos años de siembra directa, encontraron diferencias en los valores de DAP, en los primeros centímetros del suelo, perdurando solo durante el ciclo del cultivo, y Cholaky *et al.* (2005), quienes evaluaron la DAP en el momento inmediatamente posterior a una labor de descompactación con subsolador alado en un Hapludol típico, también encontró una reducción estadísticamente significativa en la DAP de las capas del perfil cultural afectadas por la labor.

Por otro lado, puede apreciarse que por debajo de los 20 cm de profundidad, los valores de DAP encontrados para las dos situaciones estudiadas, pueden resultar críticos para el normal crecimiento de las raíces, según los criterios establecidos por Silenzi *et al.* (2000) en suelos de la región semiárida Pampeana Argentina, quienes encontraron que el crecimiento radicular fue fuertemente restringido a partir de 1,45-1,55 Mg.m⁻³(figura 4).

Por su parte, Pilatti y de Orellana (2000) propusieron calcular la densidad aparente crítica en suelos pampeanos, usando la siguiente ecuación:

$$Dap\ crítica\ [Mg\ m^{-3}] = 1,52 - 0,0065\ arcilla\ [%] \quad [1]$$

Al comparar los valores de DAP críticos calculados a través de la ecuación (1), propuesta por los investigadores antes mencionados, con los valores promedio de DAP obtenidos en la evaluación a campo, se puede sostener que, salvo los primeros horizontes de ambos tratamientos (SDd y SD), que están muy por debajo de los valores críticos de DAP, los horizontes más profundos de SDd superan estos valores (tabla 3 y figura 5), por lo que se condicionaría el crecimiento radicular, y SD si bien no superan los valores críticos, se encuentran muy cercanos a ellos, indicando en ambos casos un deterioro de la condición física del suelo debido a un proceso de compactación.

Tabla 4: Densidad aparente crítica para cada horizonte del perfil de suelo, calculada con el modelo propuesto por Pilatti y Orellana (2000).

Horizontes	Profundidad (cm)	Arcilla (%)	DAP crítica ($\text{Mg.m}^{-3}=\text{gr.cm}^{-3}$)
Ap	0-8	17,48	1,41
A2	8-14	12,3	1,44
Bw1	14-29	12,5	1,44
Bw2	29-41	14,8	1,42
BC	41-65	13,02	1,44
C	65-85	14,5	1,43
Ck	85-100	14,3	1,43

Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate. Por ejemplo, para suelos arenosos una densidad aparente de $1,76 \text{ Mg.m}^{-3}$ limita el crecimiento de las raíces de girasol, mientras que en suelos arcillosos, ese valor crítico es de $1,46$ a $1,63 \text{ Mg.m}^{-3}$, para la misma especie (Jones, 1983).

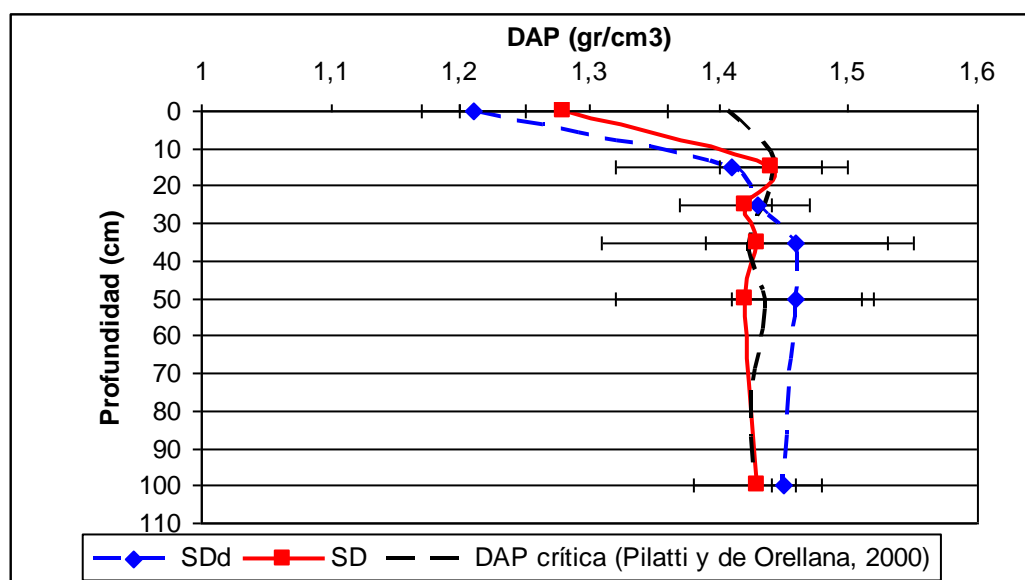


Figura 5: Perfil de distribución de la densidad aparente (DAP) en profundidad del suelo, para los tratamientos en relación a la DAP crítica estimada según modelo propuesto por Pilatti y de Orellana (2000). Las barras horizontales representan el desvío estándar de las valores de la densidad aparente.

Cuando las raíces se encuentran en un suelo demasiado denso, no pueden penetrar y cambian la dirección de crecimiento o detienen su crecimiento. Esto ocurre frecuentemente en suelos con una prolongada historia agrícola, donde las raíces de plantas sembradas sujetas a suelos compactados, tienden a crecer solamente en los primeros 10- 20 cm de profundidad, esto aumenta el área superficial del sistema radical por volumen de suelo a diferentes profundidades y aumenta la susceptibilidad a estrés de sequía, especialmente en verano (Liu y Waldron, 1988).

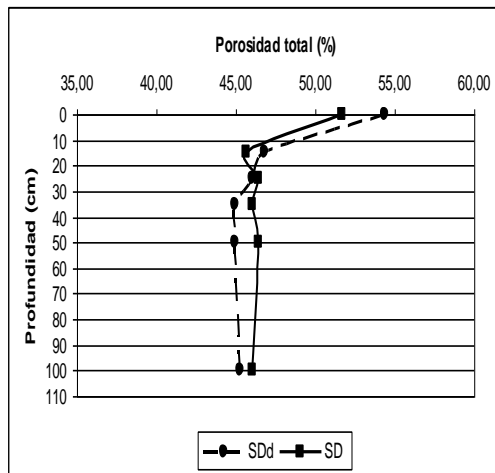
Sadras *et al.* (2005) sostienen que los cambios que se producen en la captura de recursos (agua, nutrientes, CO₂ y radiación fotosintéticamente activa) por parte de las plantas, explican completamente las diferencias en el crecimiento del cultivo entre suelo compactado y descompactado.

En este sentido, Bonadeo (1997) evaluó el efecto de diferentes niveles de compactación de un suelo Hapludol típico, sobre los componentes del rendimiento del cultivo de maní. Observó que en la situación de alta compactación, la densidad y distribución de raíces en profundidad fue menor que en la condición de baja compactación produciendo disminución en el rendimiento en grano y en el tamaño de los mismos.

3.3.2- Porosidad total y macroporosidad:

Como se observa en la figura 6- a, la descompactación generó una mayor porosidad total en los primeros 20 cm de profundidad, en relación a SD, pero por debajo de esta profundidad esta tendencia se invierte, siendo la SD la que presentó una porosidad total mayor. Esto puede deberse a que la descompactación generó un aumento del porcentaje de macroporos hasta la profundidad donde actuó la herramienta (aproximadamente 28 cm), como puede observarse en la figura 6 b), lo que podría explicar el aumento del porcentaje de porosidad total como consecuencia del efecto de la descompactación. Cabe aclarar que la estimación de estos parámetros se llevó a cabo siete meses después de realizada la labor de descompactación, y si bien se aprecia que esta labor generó un aumento de los macroporos del suelo, perdurables hasta el momento de medición, era de esperar que las diferencias entre ambos tratamientos fueran mayores, pero por efecto de la baja estabilidad que presenta la estructura, pudieron ocurrir procesos de recompactación, los que habrían reducido la profundidad en la cual es esperable se manifieste el efecto de la labor.

a)



b)

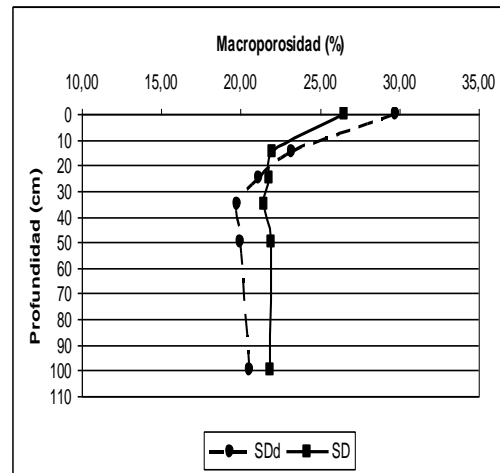


Figura 6: a) Relación entre a Porosidad total y la profundidad del suelo, para los dos tratamientos, siembra directa con descompactación (SDd) y sin descompactación (SD) y b) Relación entre la macroporosidad y la profundidad del suelo para los dos tratamientos mencionados anteriormente.

En este sentido, Lin *et al.* (1996) afirmaron que el movimiento del agua en suelos estructurados naturalmente, debido a que poseen macroporos y poros biológicos, es diferente al de aquellos suelos homogeneizados artificialmente. Bricchi (1996) observó que en un Hapludol típico compactado se disminuyó 7 veces la cantidad de poros tubulares (>0,5 mm), muchos de ellos representados por bioporos. Por otro lado la misma autora indicó disminución del 68 % de poros mayores a 60 μm , y del 93% en la conductividad hidráulica, por efecto de la compactación, en suelos agrícolas. Como las propiedades hidráulicas están altamente correlacionadas con la estabilidad estructural y la macroporosidad, la mayor actividad biológica y estabilidad estructural de tierras forestadas, con pasturas permanentes, con mínima o no labranza puede ser la razón de una mejora en las propiedades hidráulicas de los suelos (Leduc *et al.*, 2001). Así Edwards *et al.* (1988) mostraron que los macroporos especialmente los más grandes hechos por lombrices, fueron canales para la infiltración rápida del agua en suelos sometidos a un largo período de siembra directa de maíz.

3.4- Resistencia a la penetración:

La RP fue sensiblemente afectada por la labor de descompactación, generándose una marcada reducción en los primeros 20 cm de profundidad del perfil de SDd en relación con SD, pudiendo atribuir todo el efecto a la acción de la labor, ya que el contenido hídrico edáfico fue similar en ambos tratamientos y superior a CC en ambos casos (figura 7 a). Esta diferencia entre tratamientos se mantuvo a lo largo del tiempo, a pesar de que en la

evaluación realizada 7 meses posterior a la labor, ambos presentaron valores más elevados de RP que en la primera medición (figura 7 b), pudiendo deberse, al menos en parte, a que el contenido hídrico del suelo en el último momento fue levemente inferior al primero.

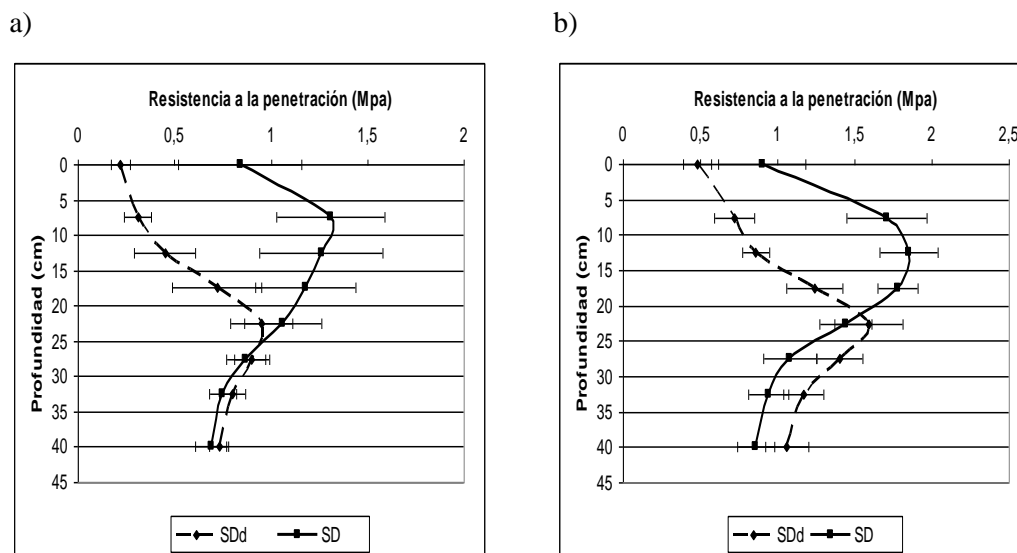


Figura 7: Perfil de distribución de resistencia a la penetración (Mpa) en profundidad del suelo, en siembra directa con descompactación (SDd) y sin descompactación (SD), para dos momentos evaluados: a) a un mes de realizada la labor de descompactación y b) siete meses después de la misma. Las barras horizontales indican la desviación estándar de los valores de resistencia a la penetración.

El efecto más notorio de la labor a partir del perfil de distribución de RP, se evidenció hasta una profundidad de 20 cm, siendo la profundidad efectiva de trabajo de la herramienta de 28 cm aproximadamente.

Si bien algunos autores señalan que valores entre 0,8 y 5,0 Mpa podrían afectar el desarrollo radicular (Pla Sentis, 1994), se considera que valores superiores a 2,0 Mpa pueden generar limitaciones para dicho desarrollo (Brusscher *et al.*, 2000). En tal sentido, puede sostenerse que en los dos momentos evaluados en los perfiles de suelo de ambos tratamientos, no hubo limitaciones para el desarrollo radicular, probablemente asociado al elevado contenido hídrico que presentó el suelo durante todo el período analizado. Sin embargo, la forma del perfil de distribución de la RP en SD evidenció claramente la presencia de una capa más restrictiva para el crecimiento radicular (foto 17-b del Anexo III y Figura 7), respecto a las capas supra y subadyacentes, tal cual como se identificó con la evaluación del perfil cultural.

Por otro lado, en la última evaluación de la RP, en SD se pudo apreciar que el espesor de 7 a 15 cm se encontró en una situación crítica para el desarrollo de las raíces, a pesar de

que el contenido de agua del suelo estaba próximo al de CC (figura 7 b), mientras que en el mismo espesor de SDd la RP fue marcadamente inferior a la SD debido al efecto de la labor de descompactación.

Como la RP es fuertemente afectada por la DAP y el CA de suelo, cabe aclarar que como estos indicadores de la condición física no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, se puede decir que los cambios en la RP hacia el final del período estudiado, son debidos al efecto de fisuramiento producido por la labor de descompactación y que por lo tanto, de haber avanzado el ciclo del cultivo, en SDd se habrían mantenido condiciones adecuadas para la exploración de las raíces durante todo su ciclo.

Los resultados obtenidos en relación a la RP concuerdan con los encontrados por Manso *et al.* (2008), quienes evaluaron sobre un suelo Serie Tres Arroyos (Paleudol petrocálcico), el efecto de dos sistemas de labranza (siembra directa y labranza convencional), sobre la RP y DAP, concluyendo que los valores de RP se incrementaron con los años y fueron en la mayoría de los casos superiores en las parcelas bajo SD.

En relación a la persistencia del efecto de la labor de descompactación, Introcaso *et al.* (2008) trabajando sobre un Argiudol típico franco arcillo limoso de la Serie Solís, encontraron que el paratill tuvo un efecto significativo sobre la RP, en los primeros 20 cm de profundidad, en relación a siembra directa sin descompactar, en el primer año del ensayo, mientras que en el segundo año las diferencias solo se mantuvieron en la profundidad de 10 a 20 cm.

Por otro lado, Echeverría *et al.* (2008), trabajaron sobre un Paleustol petrocálcico probando distintos escarificadores sobre siembra directa, concluyeron que la RP, si bien mostró en los primeros centímetros de suelo mayores valores bajo siembra directa, no se diferenció de los tratamientos con remoción, probablemente debido a que las labores de escarificado trabajaron a escasa profundidad, y esto evitó el aflojamiento esperado del suelo.

De acuerdo a Sadras *et al.* (2005), aumentos en el rendimiento de un cultivo por efecto de una labor de descompactación subsuperficial, deberían ser atribuidos al efecto que esta labor produce sobre la resistencia a la penetración de las raíces y por consiguiente en la mayor captación de agua y nutrientes en el volumen de suelo explorado (foto 12 del Anexo III) y de radiación fotosintéticamente activa por el crecimiento de biomasa aérea (fotos 10 y 11 del Anexo III), y no por el efecto que realiza sobre el almacenamiento de agua en el perfil.

Por lo antes mencionado podría decirse que el uso de esta tecnología se justificaría, entonces en suelos con valores críticos de resistencia a la penetración, que perjudiquen el normal crecimiento y desarrollo de las raíces.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES

Para las condiciones de suelo, precipitación y tecnologías de manejo del suelo presentes en el trabajo realizado, se concluye lo siguiente:

- La labor de descompactación subsuperficial no genera diferencias significativas, en el almacenamiento de agua del perfil, con respecto al manejo en siembra directa sin descompactación subsuperficial.
- La densidad aparente no es sensible para identificar variaciones en la condición física del perfil luego de transcurridos 7 meses posteriores a la labor de descompactación, respecto a siembra directa sin descompactación.
- La resistencia a la penetración permite evaluar la persistencia del efecto de la labor a través del tiempo y diferenciar condiciones físicas del perfil con y sin remoción de la capa compactada.
- La evaluación del perfil cultural constituye una herramienta importante para caracterizar el estado estructural que generan diferentes manejos del suelo.

CAPITULO 5

RECOMENDACIONES

A partir de este trabajo y considerando la pérdida del cultivo que se intento llevar a cavo en esta experiencia se recomienda:

- Sería importante replicar la experiencia bajo una situación con diferentes cultivos y analizar el efecto de la labor de descompactación subsuperficial, sobre variables de interés asociadas al mismo.
- Sería de interés analizar el comportamiento del agua del suelo, en diferentes condiciones climáticas en cuanto a la ocurrencia de precipitaciones.
- Sería importante determinar la viabilidad económica de la incorporación de esta tecnología, y de ser incorporada, estimar con qué frecuencia sería conveniente realizar la labor, en función del aspecto económico y de la residualidad del efecto sobre variables de interés relacionadas al suelo.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, C. R., M. A. TABOADA, C. BUSTINGORRI y F. H. GUTIERREZ BOEM. 2006. Descompactación de suelos en siembra directa: Efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de Maíz. *Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*. 24: 1-10.

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

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

BECKER, A. 2006. *Evaluación del proceso degradación de suelos por erosión hídrica un una subcuenca representativa de la región pedemontana del sur oeste de la provincia de Córdoba, Argentina*. Tesis doctoral, departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

BECKER, A. R., M. P. CANTÚ, H. F. SCHIAVO y J. I. OSANA. 2001. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la región pedemontana del suroeste de Córdoba, Argentina. **XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo**. CD. Trabajo VII 41-44.

BONADEO, E. 1997. *Efecto de la compactación subsuperficial de un Hapludol típico del sur de Córdoba sobre el comportamiento del cultivo de maní (Arachis hypogaea L.)*. Tesis Magíster Scientiae en Ciencias del Suelo. UBA-INTA, Argentina. Pág. 124.

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

BOTTA, G., J. RESSIA, H. ROSSATO, M. TOURN, E. SOZA, C. FERRERO y S. STADLER. 2005. Efecto de la labranza vertical sobre el suelo y el rendimiento del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus L.*). *Agro-Ciencia*. 0716 – 1689.

BRAGACHINI, M., A. SAAVEDRA, J. MENDEZ, C. CASINI, L. ERRASQUIN y F. USTARROZ. 2011. Evolución del sistema productivo agropecuario argentino. *Mayor valor agregado. Actualización técnica N° 64*, Ed. INTA, Manfredi, Córdoba, Argentina: 23 p.

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

BRUSSCHER, W. I., I.R. FREDERICK y P. I. BANER. 2000. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. *Soil Science Society American Journal*. 64 (3): 999-1003.

CAMPITELLI, P., A. AOKI, O. GUDELJ, A. RUBENACKER, M. PASQUERO y R. SERENO. 2008. Evaluación del efecto de uso y prácticas agrícolas sobre indicadores de calidad de suelo mediante el análisis de componentes principales. **XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo**. San Luís; Argentina.

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

CANTERO, A., M. CANTÚ, J. M. CISNEROS, J. CANTERO, M. BLARASIN, A. DEGIOANNI, J. GONZALEZ, V. BECERRA, H. GIL, J. De PRADA, S. DEGIOVANNI, C. CHOLAKY, M. VILLEGAS, A. CABRERA y E. CARLOS. 1998. Las Tierras y Aguas del Sur de Córdoba. Propuestas para un manejo sustentable. UNRC, Argentina.

CANTÚ, M. P. 1992. *Holoceno de la Provincia de Córdoba*. Manual: Holoceno de la Republica Argentina. Tomo I. Ed. Doctor Martín Iriondo. Simposio Internacional sobre el holoceno en América del sur. Paraná, Argentina.

CARTER, M. R., D.A. HOLSTROM, L. M. COCHRAME, P. C. BRENTON y J. A. VAN ROESTEL. 1996. Persistence of deep loosening of natural compacted subsoils in Nova Scotia. *Can. Soil Science Society American Journal*. 76(4): 541-547.

CHOLAKY, C. 2003. *Efectividad y persistencia de una labor de descompactación con subsolador alado, en función de la compactación y humedad antecedente*. Tesis de Maestría en Manejo y Recuperación de Tierras. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina: 196 p.

CHOLAKY, C., J. CISNEROS, y R. H. BALBUENA. 2005. El perfil cultural: una herramienta para discriminar modificaciones en la estructura edáfica producidas por una labor profunda. *Revista de la Universidad Nacional de Río Cuarto*. 25 (1): 53-83.

CHOLAKY, C., M. CACIAVILLANI y E. BRICCHI. 2008. Persistencia del efecto de la descompactadores en suelo con historia de siembra directa. Experiencia en haplustules/udoles del sur de Córdoba. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo**. Potrero de los Funes, San Luís, Argentina (en CD) – 2008.

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 agrícolas maniseros de Córdoba*. En: Balbuena, R. H., Benez, S. H. y Jorajuría D. (Eds.) *Ingeniería Rural y Mecanización Agrícola en el ámbito Latioamericano*. ISBN 950-34-0125-9. Publicado por Editorial de la UNLP, 120-127 p.

DANIELSON, R. E. y P. L. SUTHERLAND. 1986. *Porosity*. Págs. 443-461 En: Klute

A. (ed.) Methods of soil análisis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph n°9 (2° edition) ASA and SSSA, Madison, WI.

DE BATTISTA, J. J., A. ANDRIUJO y C. PECORARI. 1992. El perfil cultural: un método para la evaluación de sistemas de cultivos. *Ciencia del suelo*. 10-11: 89-93.

DEGIOANNI, A. J. 1998. *Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto (Argentina)*. Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá de Henares. Departamento de geografía. Alcalá de Henares, España.

ECHEVERRÍA, N. E., F. M. ROHLMANN, J. C. SILENZI, A. G. VALLEJOS y M. DE LUCIA. 2008. Descompactación de un suelo de la región semiárida argentina bajo agricultura continua. **XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo**. San Luís, Argentina.

EDWARDS, W. M., L. D. NORTON y C. E. REMOND. 1988. Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil. *Soil Science Society American Journal*. 52: 483-487.

EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT. 1995. Penetrologger. Manual del usuario, Holanda, 28 págs.

ELISSONDO J. L., J. L. COSTA, E. SUERO, K. P. FABRIZZI, F. GARCIA. 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo luego de la introducción de labranzas verticales en suelos bajo siembra directa. *Revista Ciencia del suelo*. 19(1): 11-19.

ESRI. 1992. PC ARC-INFO, versión 3.4.2 D Plus Environmental Systems Research Institute, California.

FERNADEZ, R. y A. QUIROGA. 2008. Efecto del sistema de labranza en la eficiencia de almacenamiento del agua en la región semiárida pampeana. **XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo**. San Luís, Argentina.

GAUTRONNEAU, Y. y H. MANICHON. 1987. Guide methodologique du profil cultural. Cerefgeara, 71 pp.

GUDELJ, O. y B. MASIERO. 2000. Efectos de manejo del suelo sobre su densidad aparente. **XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

GUPTA, S. C., W. E. LARSON y D. R. LINDEN. 1983. Tillage and surface residue effects on soil upper boundary temperatures. *Soil Science Society American Journal*. 47: 1212-1218.

HAMILTON-MANS, M., C. W. ROSS, D. J. HOME y C. J BAKER. 2002. Subsoil loosening does little to enhance the transition to tillage on a structurally degraded soil. *Soil Till. Res.* 68 (2): 109-119.

INDELANGELO, N., E. BEHR y R. DE CARLI. 2008. Efecto del tránsito en un molisol con alto contenido de humedad en el rendimiento del cultivo de trigo. **XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo**. San Luis, Argentina.

INTA. 2010. El legado de la siembra directa: u\$s 44.360 millones. [www.http://intainforma.inta.gov.ar](http://intainforma.inta.gov.ar). Consultado: 31-10-2011.

INTROCASO, R. M., J. M. GUECAIMBURU, J. L. TORELLA, E. C. FAITA, E. WASINGER y C. B. IRURTIA. 2008. Acción de la descompactación en siembra directa sobre indicadores físicos de suelo. **XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo**. San Luis, Argentina.

JONES, C. A. 1983. Effect of Soil Texture on Critical Bulk Density for Root Growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (47): 1.208–1.211.

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

LIU, I. W. y L. J. WALDRON. 1988. Root growth in coarse-textured soil under controlled confining pressure and matrix potential. *Annl. Mtg. SSSA*.

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

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

MARELLI, H. y J. M. ARCE. 2006. Conservación sustentable del suelo y el agua. *Información para extensión n°9*. Ed. INTA, Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.

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

MORENO, I., E. BONADEO y E. I. BERNARDO. 1996. Guía de trabajos prácticos asignatura sistema suelo-planta. FAV. UNRC. Impreso en CEIA.

PANIGATTI, J. L.; M. del C. PÉREZ y M. MUSSTTE. 1983. Evolución de la temperatura del suelo. Influencia de la cobertura. *Publicación miscelánea N° 15*. EEA INTA Rafaela.

PARRA, B. 2004. *Efecto de distintas intervenciones tecnológicas sobre indicadores de la calidad física de un Hapludol típico*. Tesis. Fac. De Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

PILATTI M. A y J. A. de ORELLANA. 2000. The ideal soil: II. Critical values of an «ideal soil,» for Mollisols in the North of the Pampean Region (in Argentina). *J. Sustainable Agric.* 17: 89- 111.

PLA SENTIS, I. 1994. Curso sobre el efecto de la labranza en las propiedades físicas de los suelos. INTA, Instituto de Suelos, Castelar. Buenos Aires. 21 pág.

PLEVICH, J. O., T. PEREYRA, C. SAROFF, O. M. BAROTTO, H. PAGLIARICCI y J. TAVELLA. 2007. Uso del agua y producción de biomasa forrajera de trigo bajo diferentes tratamientos de labranzas en un sistema silvopastoril en la llanura ondulada de Córdoba, Argentina. **Congreso Peruano de Producción Animal y Congreso Latinoamericano de Producción Animal**. Cusco, Perú. Sitio Argentino de Producción Animal. [http:// www.Producción-animal.com.ar](http://www.Producción-animal.com.ar) (consultado el 22/7/11).

POWER, J.F., W.W. WILHEM y J.W. DORAN. 1986. Crop residue effects on soil environment and dryland maize and soybean production. *Soil Tillage Research*. 8:101 - 111.

RANGEON, N. I., L. M. ACIAR, R. OSINAGA, J. L. ARZENO y C. SANCHEZ. 2008. Análisis de la resistencia a la penetración y humedad de suelo como indicadores de calidad en distintos sistemas de labranza. **XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo**. San Luís; Argentina.

ROBLEDO, C. W., J. A. DI RENZO, M. BALZARIN, L. GONZALEZ, F. CASANOVES y M. TABLADA. 2008. Infostat, Software estadístico manual del usuario versión 1. Ed. Triunfar S.A. Córdoba, Argentina.

ROTH, C. H. 1985. Infiltrabilität von Latossolo-Roxo-Böden in Nordparaná, Brasilien, in Feldversuchen zur Erosionskontrolle mit verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen und Rotationen. *Göttinger Bodenkundliche Berichte*. 83: 101 -104.

SADRAS, V. O, G. J. O'LEARY y D. K. ROGET. 2005. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. *Field Crops Research*. 91: 131-148.

SANZANO, G. A., F. SOSA, A. J. HASÁN, C. F. HERNÁNDEZ, M. MORANDINI, H. ROJAS QUINTEROS y W. RODRÍGUEZ. 2008. Efecto del paratill en las propiedades físicas de los suelos en siembra directa con monocultivo de soja y rotación soja-maíz. **XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo**. San Luís; Argentina.

SILENZI, J. C., C. A. PURICELLI y N. E. ECHEVERRIA. 2000. El estado de compactación de dos suelos representativos de la Región Semiárida Pampeana Argentina resultante de distintos usos y manejos y su implicancia en el desarrollo radicular de las gramíneas. **XVII Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo**. Mar del Plata. Argentina.

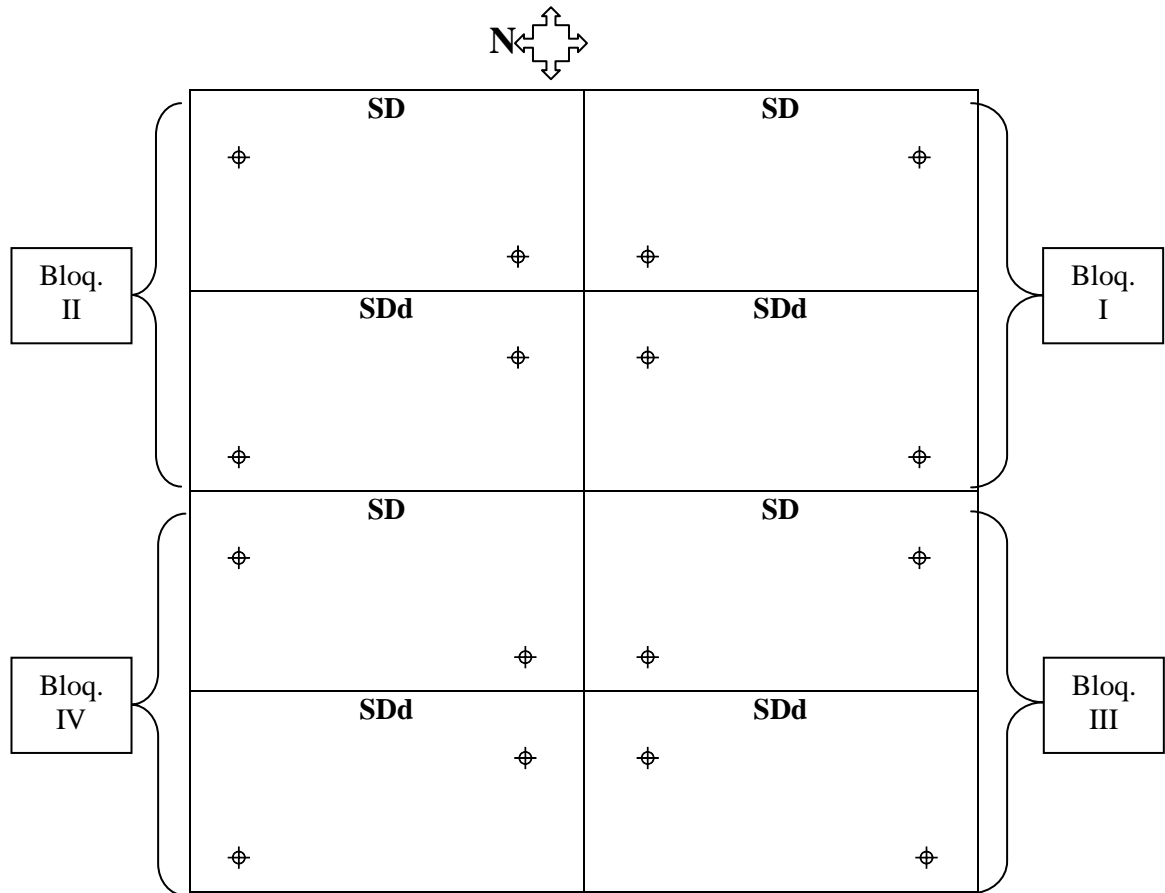
SORACCO, C. G., R. R. FILGUEIRA, G. O. SARLI, L. L. FOURNIER y P. R. GELATI. 2008. Efecto del tránsito sobre el movimiento del agua en un suelo bajo siembra directa. **XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo**. San Luís; Argentina.

SOZA, E. L., D. W. AGNES, M. C. TOURN y G. F. BOTTA. 2008. Descompactación del suelo y su efecto en la implantación y rendimiento de un cultivo de soja. **XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo**. San Luís, Argentina.

STEINER, J. L. 1994. Crop Residue Effects on Water Conservation. En: Unger P.W. (Ed.) *Managing Agricultural Residues*. *Lewis Publishers. Boca Raton*. USA, pp. 41 – 76.

STENINBACH, H. S. y R. ALVAREZ. 2006. Cambios en las propiedades físicas de los suelos pampeanos por la adopción de la siembra directa. **XIX Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo**. Salta, Argentina.

ANEXOS I:



Esquema de la disposición de los tratamientos estudiados en el trabajo, SDd=siembra directa con labor de descompactación subsuperficial, SD= siembra directa sin labor con cuatro repeticiones cada uno. Los símbolos \oplus representan las estaciones de muestreo realizadas (dos por parcela), en donde se realizaron las diferentes determinaciones de las variables de interés.

ANEXOS II:

Características morfológicas del suelo desarrollado bajo la siembra directa (SD), pendiente Pozo del Carril (Becker, 2006). Hapludol típico, limoso grueso, illítico, térmico.

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

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

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

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

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

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

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

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

Horizonte	Ap	A2	Bw1	Bw2	BC	C	Ck	
Profundidad (cm)	0-8	8-14	14-29	29-41	41-65	65-85	85+	
CO (%)	1,05	0,56	0,53	0,72	0,24	0,12	-	
Arcilla < 2 μ (%)	17,48	12,30	12,50	14,80	13,02	14,50	14,30	
Limo, 2-50 μ (%)	30,32	25,20	26,10	24,30	25,20	29,60	29,80	
Arena muy fina, 50-100 μ (%)	52,80	61,50	55,60	60,40	60,80	55,30	55,30	
Arena fina, 100-250 μ (%)	0,60	0,70	2,20	0,50	0,80	0,60	0,40	
Arena media, 250-500 μ (%)	0,25	0,30	3,10	0,10	0,10	0,20		
Arena gruesa, 500-1000 μ (%)	0,08	0,10	0,50	-	-	0,40		
Arena muy gruesa, 1-2 mm (%)	0,01	0,10	-	-	0,20			
pH en agua (1 : 2,5)	6,0	6,57	6,82	6,88	7,09	8,08	8,32	
% de humedad a 0,1 bar.	SD	25,21	23,65	24,15	24,65	24,59	24,48	24,18
	SDd	24,59	23,61	24,24	24,88	25,11	24,90	24,72
Capacidad de Campo (% de humedad a 0,3 bar.)	SD	13,59	12,78	13,11	13,45	13,81	13,70	13,17
	SDd	13,51	12,41	12,91	13,41	14,36	13,16	12,81
Punto de Marchites Permanente (% de humedad a 15 bar.)	SD	7,37	7,02	7,45	7,89	8,17	8,23	7,77
	SDd	7,34	6,99	7,47	7,95	8,12	7,78	7,44

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

ANEXO III:



Foto 1: Vista posterior del conjunto tractor-escarificador alado-rollo, utilizado en el trabajo.



Foto 2: Vista lateral del conjunto tractor-escarificador alado-rollo trabajando.



Foto 3: Vista detallada del conjunto reja-timón del escarificador alado.



Foto 4: Vista en detalle de la parte inferior de la reja del escarificador.



Foto 5: Vista lateral de una de las rejas del escarificador, con el detalle de la profundidad de trabajo de la herramienta.



Foto 6: Vista lateral del escarificador alado.



Foto 7: Escarificador alado en funcionamiento, con el detalle del efecto de los rolos posteriores sobre la superficie del suelo.



Foto 8: Suelo por donde paso el escarificador alado, con el detalle del nivel de remoción de la superficie del suelo y del grado de enterramiento de la cobertura vegetal.



Foto 9: Vista lateral del escarificador alado en funcionamiento.



Foto 10: Cultivo de soja en el estadio V2/V3, implantado en el tratamiento de siembra directa sin labor de descompactación profunda (SD).



Foto 11: Cultivo en estadio V2/V3 implantado en el tratamiento siembra directa con labor de descompactación profunda (SDd).

a)



b)



Fotos 12: Diferencia en el crecimiento del cultivo, tanto radicular como aéreo, para a) SD y para b) SDd.



Foto 13: Diferencias entre el crecimiento radicular y aéreo del cultivo de soja, luego de la caída de la piedra en la primera semana de febrero de 2010.



Foto 14: Toma de muestras con el barreno, para la determinación del contenido de humedad, a través del método gravimétrico.



Foto 15: Determinación de la resistencia a la penetración, a través del penetrómetro computarizado.

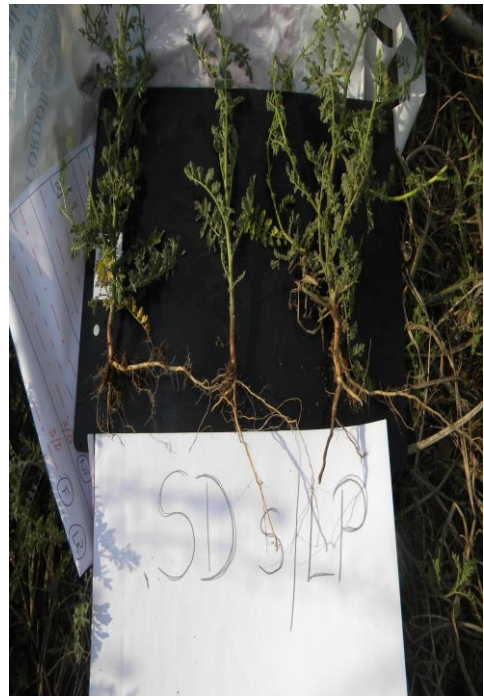


Foto 16: Vista de cómo quedó el cultivo luego de la caída de la piedra, ocurrida en la primera semana de febrero de 2010, ocasionando la pérdida total del mismo.

a)



b)



Fotos 17: Diferencias entre el crecimiento radicular de las malezas, luego de siete meses de realizada la labor de descompactación en a) SdD y b) SD.