

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Proyecto de Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo



*Evolución del efecto de descompactación subsuperficial en un Hapludol
típico manejado en siembra directa con mínimo tráfico agrícola*

Alumno: *Brusasca, Damian Javier*

DNI: 32.113.155

Director: *Cholaky, Carmen*

Co-Director: *Bricchi, Estela*

Río Cuarto - Córdoba

Mayo 2013



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Titulo del Trabajo Final: *Evolución del efecto de descompactación subsuperficial en un Hapludol típico manejado en siembra directa con mínimo tráfico agrícola*

Autor: Brusasca, Damian Javier
DNI: 32113155

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. _____

Ing. Agr. _____

Ing. Agr. Carmen Cholaky _____

Fecha de Presentación: _____ / _____ / _____.

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

Secretario Académico



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, mi hermano y a mis abuelos por el apoyo incondicional y por el esfuerzo realizado en todos estos años.

A mi novia por su tolerancia, apoyo, motivación y por compartir este camino.

A mis amigos por su compañía constante, y los momentos compartidos.

A mi directora Ing. Agr. Carmen Cholaky por acompañarme, guiarme, motivarme; por su tiempo dedicado y vocación docente.



ÍNDICE GENERAL

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	X
SUMMARY.....	XI
CAPITULO 1	
INTRODUCCIÓN	
1.1- Planteo del problema.....	1
1.2- Antecedentes.....	2
1.3- Hipótesis.....	3
1.4- Objetivos.....	3
1.4.1- Objetivos específicos.....	3
CAPITULO 2	
MATERIALES Y METODOS	
2.1- Área de estudio.....	4
2.2- Tratamientos y diseño experimental.....	6
2.3- Variables en estudio.....	10
2.4- Diseño experimental y análisis estadístico de los resultados.....	11
CAPITULO 3	
RESULTADOS Y DISCUSION	
3.1- Perfil cultural.....	12
3.2- Resistencia Mecánica.....	14
3.4- Grado de aflojamiento.....	20



CAPITULO 4	
CONCLUSIONES	22
RECOMENDACIONES	23
CAPITULO 5	
BIBLIOGRAFIA	24
ANEXOS I	30
ANEXO II	31



ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Ubicación de la estación experimental.....	4
Figura 2: Cultivo de soja en el estadio V2/V3, implantado en el tratamiento de siembra directa sin labor de descompactación profunda (SD).....	6
Figura 3: Cultivo en estadio V2/V3 implantado en el tratamiento siembra directa con labor de descompactación profunda (SDd).....	7
Figura 4: Vista posterior del conjunto tractor-escarificador alado-rollo, utilizado en el trabajo.....	8
Figura 5: Escarificador alado en funcionamiento, con el detalle del efecto de los rolos posteriores sobre la superficie del suelo.....	8
Figura 6: Vista lateral de una de las rejas del escarificador, con el detalle de la profundidad de trabajo de la herramienta.....	8
Figura 7: Vista lateral del escarificador alado.....	8
Figura 8: Vista del estado del cultivo luego de la caída de la piedra, ocurrida en la primera semana de febrero de 2010, ocasionando la pérdida total del mismo.....	9
Figura 9: Determinación de la resistencia a la penetración, a través del penetrómetro computarizado.....	10
Figura 10: Vista del perfil cultural de la situación con siembra directa, donde se identifica la capa densificada a partir de los 8 cm de profundidad, aproximadamente.....	12



Figura 11: Toma de muestras con el barreno, para la determinación del contenido de humedad, a través del método gravimétrico..... 14

Figura 12: 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, en siembra directa (izq.) y en siembra directa descompactada (der.).....18

Figura 13: Diferencias entre el crecimiento radicular de las malezas, luego de siete meses de realizada la labor de descompactación en: a) Siembra directa descompactada y b) siembra directa sin descompactación.....19



ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Datos decádicos de precipitación, ocurridas en la zona de la Aguada en el ciclo 2009/10	5
Tabla 2: Resistencia Mecánica y Humedad en los diferentes momentos y profundidades estudiadas.....	15



INDICE DE GRAFICOS

	Página
Grafico 1: Perfil cultural en a) prelabor, Siembra Directa (SD) y b) postlabor Siembra Directa con labor de descompactación subsuperficial (SDd).....	13
Grafico 2: Distribución de la Resistencia Mecánica en el perfil del suelo (MPa), en función de la profundidad (cm) y en los distintos momentos de muestreos para las situaciones de siembra directa sin labor (SD) y con labor (SDd), a) momento 1 (21/12/09), b) momento 2 (11/01/10), c) momento 3 (19/02/10), d) momento 4 (15/03/10), e) momento 5 (12/04/10), f) momento 6 (14/06/10).....	17
Grafico 3: Evolución del grado de aflojamiento (GDA) para cada momento de muestreo y en las diferentes profundidades del perfil cultural.....	21



RESUMEN

La siembra directa es un sistema conservacionista que posee aspectos muy positivos, pero también existen efectos no deseados, uno de los más destacados es el aumento de la densidad aparente. El objetivo del trabajo fue evaluar la persistencia del efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre el comportamiento físico de un suelo Hapludol típico manejado con siembra directa. En el mismo se realizaron 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, resistencia mecánica (**RM**) y grado de aflojamiento (**GDA**). En cuanto a los resultados se observó que el perfil cultural mostró un marcado grado de fisuramiento hasta la profundidad donde llegó el efecto del implemento (0,28 cm). La RM presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre la situación testigo sin descompactar y aquella descompactada, en el espesor comprendido entre 0-15 cm y entre 0-30cm. El grado de aflojamiento producido por la labor de descompactación, fue marcado en todas las capas del perfil cultural y mostró una disminución con el tiempo. Para las condiciones del trabajo, se concluye que: el efecto de aflojamiento producido por una labor de descompactación subsuperficial persiste por al menos 6 meses cuando se realiza un mínimo tránsito posterior a ella. Durante dicho período, el monitoreo del perfil de distribución de RM en profundidad a lo largo del periodo de estudio muestra una condición física de mayor homogeneidad respecto a la siembra directa sin descompactar. La resistencia mecánica es una variable sensible a los cambios producidos por la labor de descompactación y a su persistencia en el tiempo. El método del perfil cultural es una herramienta de utilidad para evaluar los cambios producidos en la estructura del suelo debido a las operaciones de labranza.

Palabras claves: Descompactación, resistencia mecánica, densidad aparente, siembra directa, grado de aflojamiento.



SUMMARY

Zero tillage is a conservation system which has highly positive aspects, but it also brings about negative effects, one of the most significant is the increase of the bulk density. The objective of this work is to evaluate the persistence of the effect of a superficial soil loosening work upon the physical behaviour of a typical Hapludol soil managed with zero tillage. Two treatments were installed in this soil: zero tillage with superficial soil loosening, and zero tillage without soil loosening. The second treatment was repeated four times. The cultural soil profile (CP), mechanical resistance (MR) and the degree of soil loosening (DSL) were evaluated. Concerning the results, it was observed that the cultural soil profile showed a high degree of cracking up to the depth in which the effect of the implement reached (0,28 cm). The mechanical resistance presented statistically significant differences ($p < 0,05$) between the soil which was loosed and that which was not, in the thickness between 0-15 cm and 0-30cm. The degree of loosening produced by the soil loosening work was marked in all the layers of the cultural soil profile, and showed a decrease with the passing of time.

To conclude, the loosening effect produced by the a superficial soil loosening work lasts for at least six months when there is a minimal transit after it. During such period, monitoring the MR distribution profile in depth throughout the period shows a more homogeneous physical condition with respect to the zero tillage without soil loosening. The mechanical resistance is a variable sensitive to the changes produced by a soil loosening work, and to its persistence in time. The method of cultural soil profile is a useful tool to evaluate the changes produced in the soil structure due to the sowing operations.

Key words: soil loosening, mechanic resistance, bulk density, zero tillage, degree of looseness.



1- INTRODUCCIÓN

1.1-Planteo del problema:

La siembra directa, de gran auge en la actualidad, es un sistema conservacionista que tiene aspectos muy positivos, como es la mejora de la infiltración y almacenamiento de agua, además de la reducción de las pérdidas de suelo por erosión. Pero numerosos autores han comprobado que tiene efectos no deseados, uno de los más destacados es el aumento de la densidad aparente. Se puede mencionar como causa de estos efectos a la no remoción del suelo que provocaría una consolidación de las partículas, y el tránsito de maquinarias de gran peso, sobre todo cuando el suelo se encuentra con alto contenido de humedad (Gudelj y Masiero 2000).

La siembra directa 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 (Silva et al., 2000), por lo que las raíces no utilizan adecuadamente el agua y los nutrientes (Queiroz-Voltan et al., 2000), llevando a una disminución de los rendimientos (Beutle y Centurion, 2003). El crecimiento de las raíces se ve limitado cuando los valores de la resistencia mecánica igualan o superan valores de 2 a 3 MPa. (Glinski y Lipiec, 1990; Gupta y Allmaras, 1987).

Unger (1996) indicó que se debe tener particular interés en el seguimiento de la densidad aparente (**DAP**) y la resistencia mecánica (**RM**), puesto que ambos factores pueden modificar la infiltración, el crecimiento radical y el rendimiento de los cultivos.

De igual manera (Liebij et al., 1993) encontraron que los sectores transitados por los implementos agrícolas presentaban incrementos en la **DAP** y la **RM**.

Si bien, en los tractores la relación peso/potencia ha bajado en los últimos años, el peso total se ha incrementado significativamente, a partir de la voluntad de buscar equipos más económicos en sus prestaciones al reducir los costos operarios y permitir agrandar la superficie cultivada. El tráfico de neumáticos por el campo ha sido reconocido por la mayoría de los investigadores como el principal causante de una indeseable compactación del suelo (Oskovi y Voorhees, 1990; Jorajuria *et al.*, 1997).

Las propiedades físicas representan un componente principal de la evaluación integral de la calidad de los suelos. Estas propiedades están, en general, determinadas por la organización estructural de los suelos, o dicho de otro modo, su estado de agregación, caracterizado por la forma, estabilidad y resiliencia de los agregados. Las distintas formas que toman los agregados determinan su distribución por tamaño y la tortuosidad de los



poros. De allí que la caracterización de la entrada de agua al suelo es también un reconocido indicador de calidad de los mismos. Los poros con diámetros $> 100 \mu\text{m}$ son esenciales para permitir la libre elongación de las raíces de los cultivos (Gibbs y Reid, 1988).

La compactación puede ser solucionada mediante el uso adecuado de herramientas de labranza, pero es necesario que éstas estén al alcance cognitivo, tecnológico y económico de sus destinatarios (Soza et al., 2008). Se plantea como una alternativa factible para enmendar los inconvenientes que se generan en los suelos agrícolas bajo siembra directa continua, el empleo de labores de descompactación subsuperficial. Spoor et al. (2003) recomiendan que el trabajo de descompactación del suelo sea de “fisuramiento” y no de “roturación”. La persistencia de los efectos de este tipo de labores constituye un aspecto de relevancia al momento de su adopción.

En este sentido, Cholaky et al. (2009) sostienen que el efecto de una labor de descompactación con subsolador alado en un suelo Haplustol típico perdura durante período de desarrollo del ciclo de un cultivo anual cuando no recibe tránsito posterior a la labranza, mientras que cuando el suelo es transitado el efecto persiste durante el ciclo de un cultivo de soja, siendo el paso de la cosechadora el tránsito más agresivo para la condición física del suelo.

1.2-Antecedentes:

En relación a los efectos de la compactación y descompactación de suelos sobre el rendimiento de cultivo de soja, Willis et al. (1999) determinaron que el tratamiento de labranza profunda, durante el primer año, produjeron un aumento de $0,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ con respecto a los no subsolados. Asimismo, Munkholm et al. (2005), trabajando sobre un suelo arenoso, con presencia de piso de arado, informaron que el rendimiento del cultivo tendió a ser mayor en el testigo no descompactado. Por lo contrario, Botta et al. (2006) hallaron un efecto positivo del pasaje de descompactadores rígidos rectos sobre el rendimiento de girasol, con incremento del 24% y del 13% para el primer y segundo año después de haber sido realizado la labranza, respectivamente. En este mismo sentido, Varsa et al. (2007) presentan resultados positivos sobre el rendimiento de maíz para el tratamiento de descompactación profunda sobre un suelo franco limoso. Busscher et al. (2006) también reportan incrementos en el cultivo de soja de $0,36 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para los tratamientos realizados con paratill en relación con los no trabajados en profundidad.



Manso et al. (2008) evaluaron la evolución de la **DAP** y **RM** 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 se obtuvieron demuestran un incremento en la compactación de los suelos con mayor años de agricultura, siendo más notorio bajo siembra directa.

Una importante causa de la compactación en planteos agrícolas bajo siembra directa, según Indelángelo et al. (2008), es el tránsito de maquinarias. 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. La energía que se incorpora al sistema por la circulación de las ruedas genera cambios en las propiedades estructurales que modifican los contenidos de aire y agua, así como la facilidad con que éstos y los nutrientes están disponibles para las plantas (Iruirtia et al, 2008).

1.3-Hipótesis:

El efecto de una labor de descompactación subsuperficial en un suelo Hapludol típico manejado en siembra directa persiste un tiempo mayor al correspondiente a un ciclo de producción agrícola, cuando el tránsito posterior a la siembra es mínimo.

1.4-Objetivo:

Evaluar la persistencia del efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre el comportamiento físico de un suelo Hapludol típico manejado con siembra directa.

1.4.1-Objetivos Específicos:

- Describir y analizar el perfil cultural.
- Monitorear la resistencia mecánica y el grado de aflojamiento del suelo bajo dos tratamientos de labranza, durante el período comprendido entre la siembra y poscosecha de un cultivo estival.
- Medir el contenido de agua del suelo en cada momento de evaluación de la resistencia mecánica.

2- MATERIALES Y MÉTODOS

2.1-Área de trabajo:

El experimento 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' Lat. Sur, 64° 50' Long. Oeste). El ensayo se ubicó según la clasificación de Becerra (1999), (citado por Parra, 2004), en la unidad ecológica homogénea de llanura con invierno seco (Figura 1).



Figura 1: Ubicación de la estación experimental



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). En la Tabla 1, se muestran las precipitaciones que ocurrieron durante el periodo de estudio.

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)	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
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

** Los casilleros de color gris muestran las precipitaciones ocurrida durante el ensayo.*

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 m de largo con un gradiente del 2 al 3 %. Localmente se presentan pendientes mas cortas pero de mayor gradiente (Becker et al., 2001). En esta área predominan 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). En el lugar donde se llevó a cabo el ensayo, el perfil fue descrito por Becker (2006) y sus características morfológicas y analíticas se presentan en el Anexo II

2.2-Tratamientos y diseño experimental:

El programa de investigación donde se incluyó este trabajo se puso en marcha a partir de agosto de 1994. 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), dos dosis de fertilización con nitrógeno y fósforo y dos manejos del rastrojo de cosecha. El ensayo original se desarrolló utilizando un diseño experimental en parcelas subdivididas dispuestas en bloques completamente aleatorizados, con dos repeticiones espaciales por tratamiento. Desde el año 2007 se realiza en una parte de cada tratamiento una labor de descompactación subsuperficial.

El presente trabajo abarcó dos tratamientos: siembra directa sin labor de descompactación subsuperficial (SDs/D) y siembra directa con labor de descompactación subsuperficial (SDc/D), correspondientes a la rotación agrícola, sin pastoreo de rastrojo y fertilizada. (Figura 2 y 3)



Figura 2: Cultivo de soja en el estadio V2/V3, implantado en el tratamiento de siembra directa sin labor de descompactación subsuperficial (SD).



Figura 3: Cultivo en estadio V2/V3 implantado en el tratamiento siembra directa con labor de descompactación subsuperficial(SD).

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

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

Los fertilizantes a base de fósforo y nitrógeno fueron colocados al momento de la siembra, ubicados al costado y por debajo de la línea del cultivo, para todos los tratamientos. Las dosis aplicadas son determinadas en función de los rendimientos potenciales de los cultivos y de las condiciones del suelo.

La labor de descompactación se realizó con un escarificador alado similar a la “reja cero” (Cisneros et al.,1998), de fabricación artesanal, con una profundidad de trabajo aproximada de 0,28 m y una distancia entre rejas de 0,46 m (6 rejas); se le

acopló 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. (Figuras 4, 5, 6, 7)



Figura 4: Vista posterior del conjunto tractor-escarificador alado-rolo, utilizado en el trabajo.



Figura 5: Escarificador alado en funcionamiento, con el detalle del efecto de los rolos posteriores sobre la superficie del suelo.



Figura 6: Vista lateral de una de las rejas del escarificador, con el detalle de la profundidad de trabajo de la herramienta.



Figura 7: Vista lateral del escarificador alado.

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 (Figura 8). Esto llevó a reformular los objetivos y actividades proyectadas originalmente.



Figura 8: Vista del estado del cultivo luego de la caída de la piedra, ocurrida en la primera semana de febrero de 2010, ocasionando la pérdida total del mismo.

2.3-VARIABLES ESTUDIADAS:

- A partir del método del **perfil cultural** (Gautronneau y Manichon, 1987), se establecieron las profundidades a las cuales se le realizaron los análisis de las variables bajo estudio la misma 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 utilizada son de 1 x 0,3 m, siendo cada cuadrado de 0,03 m de lado. La información obtenida fue digitalizada mediante el software ARC INFO (ESRI, 1992) con el que se obtuvieron mapas de los perfiles culturales.
- **Para estudiar la persistencia** del efecto de la labor se evaluó: **-resistencia mecánica (RM)** mediante un penetrómetro computarizado (Eijkelkamp, 1995), provisto de un cono con área basal de 1 cm² y ángulo de 30° y con sensibilidad de lectura de 0,01 m (Figura 9).



Figura 9: Determinación de la resistencia a la penetración, a través del penetrómetro computarizado.



La frecuencia de medición fue de una vez por mes durante el periodo que hubiese abarcado el primer ciclo agrícola bajo estudio (perdido por la piedra) y posteriormente se realizó una medición antes del inicio de la preparación de la cama de siembra del siguiente cultivo estival que formó parte del ensayo. En cada medición mediante barreno se extrajo una muestra compuesta de suelo hasta los 0,4 m de profundidad, en cada parcela experimental, para la determinación de la **humedad gravimétrica** (%H), en intervalos de 0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40 cm.

- Se determinó además, el **grado de aflojamiento (GDA)**, a partir de la relación propuesta por Tola *et al.* (2000), según la ecuación:

$$\text{GDA: } (1 - \text{RPDT}/\text{RPAT}) * 100.$$

Donde:

RPDT = resistencia a la penetración del tratamiento con descompactación

RPAT = resistencia a la penetración del tratamiento sin descompactación

Se estimó la evolución de esta variable a lo largo del período estudiado, a partir de las mediciones de **RM** realizadas en cada tratamiento.

2.4- Diseño experimental y análisis estadístico de los resultados

El diseño experimental fue en parcelas divididas en bloques al azar, con cuatro repeticiones (ver esquema del Anexo I). Para el análisis estadístico de los resultados, los datos de resistencia mecánica para cada profundidad y momento de medición fueron analizados mediante el programa INFOSTAT (Robledo *et al.*, 2008), realizándose ANAVAS y comparación de medias mediante el test de Fisher, con un nivel de significancia $p < 0.05$.

3- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1-Perfil cultural:

En los gráficos 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 unos pocos centímetros de espesor, 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, por corresponder a las profundidades normales de dichos implementos. Sin embargo, de acuerdo a lo planteado por Jorajuría *et al.* (1996), esta compactación podría ser el resultado del efecto aditivo del pasaje del implemento y de la compactación inducida por el tráfico de tractores (Figura 10).

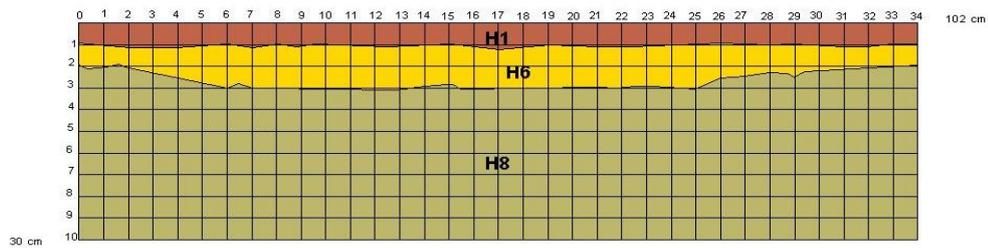


Figura 10: Vista del perfil cultural de la situación con siembra directa, donde se identifica la capa densificada a partir de los 8 cm de profundidad, aproximadamente.

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)

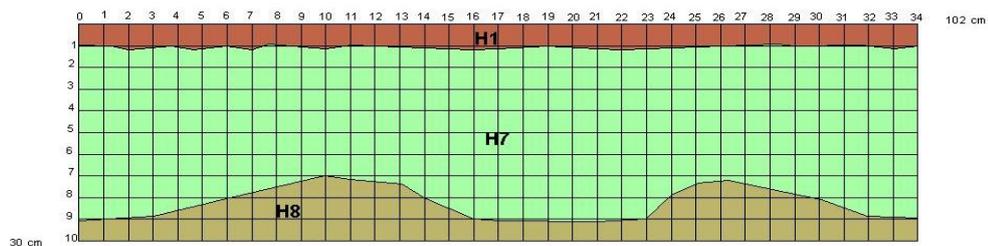


Gráfico 1: Perfil cultural en a) prelabor, Siembra Directa (SD) y b) postlabor Siembra Directa con labor de descompactación subsuperficial (SDd). H1: capa superficial desagregada. H6 y H8: capas compactadas, piso de rastra y piso de arado, respectivamente. H7: capa fisurada por la labor de descompactación.

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- Resistencia Mecánica

Las variaciones en la resistencia mecánica deben ser consideradas en conjunto con el contenido hídrico edáfico debido a la relación existente entre ambos parámetros, tal cual lo observado por Bonadeo, (1997); Cholaky, (2003) y Uberto *et al.* (2004).

La evaluación del contenido de agua en el suelo en los diferentes momentos y profundidades estudiadas fue realizada de manera simultánea a la evaluación de la **RM** (Figura 11) por Gómez (2011) en un trabajo final de grado realizado en el mismo sitio experimental, quien no encontró diferencias significativas entre tratamientos. La similitud en los valores de humedad permitió realizar una comparación directa de los valores de resistencia mecánica entre tratamientos. Esta variable presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre la situación testigo sin descompactar y aquella descompactada, en el espesor comprendido entre 0-15 cm y entre 0-30cm , en prácticamente todos los momentos evaluados (Tabla 2).



Figura 11: Toma de muestras con el barreno, para la determinación del contenido de humedad, a través del método gravimétrico.

El efecto de la labor de descompactación en **SDd**, se observó en el espesor del perfil cultural comprendido entre 0-30 cm, presentando valores de **RM** significativamente inferiores a los que se midieron en **SD** (Tabla 2), coincidiendo con los resultados obtenidos por varios autores como Cholaky (2003), Cacciavillani (2009), Bergesio (2011) que probaron el efecto de este tipo de labores sobre la condición física de Haplustoles típicos del sur de Córdoba.

Tabla 2: Resistencia Mecánica y Humedad en los diferentes momentos y profundidades estudiadas.

MOMENTO 1 (21/12/09)				
Profundidad (cm)	Siembra directa s/labor de descompactación		Siembra directa c/labor de descompactación	
	RM	% H	RM	%H
0-8	0,98 a	18,77	0,25 b	22,77
8-14	1,31 a	17,77	0,39 b	20,33
14-30	1,05 a	18,79	0,83 b	20,1
30-40	0,72 a	18,88	0,76 a	19,5
40-60	0,65 a	17,29	0,68 a	16,46
60-80	0,62 a	16,04	0,54 a	15,61
MOMENTO 2 (11/01/10)				
Profundidad (cm)	Siembra directa s/labor de descompactación		Siembra directa c/labor de descompactación	
	RM	% H	RM	%H
0-8	1,13 a	11,99	0,42 b	12,82
8-14	1,59 a	13,02	0,61 b	14,04
14-30	1,09 a	15,70	0,90 b	15,81
30-40	0,89 a	15,89	0,69 a	15,49
40-60	0,82 a	13,84	0,66 a	14,59
60-80	0,71 a	15,42	0,61 a	16,14
MOMENTO 3 (19/02/10)				
Profundidad (cm)	Siembra directa s/labor de descompactación		Siembra directa c/labor de descompactación	
	RM	%H	RM	%H
0-8	0,88 a	18,19	0,40 b	17,6
8-14	1,44 a	16,20	0,51 b	17,26
14-30	1,19 a	17,74	0,91 b	16
30-40	0,88 a	15,62	0,84 a	15,64
40-60	0,97 a	13,09	0,82 a	13,36
60-80	1,05 a	11,1	0,80 a	11,1
MOMENTO 4 (15/03/10)				
Profundidad (cm)	Siembra directa s/labor de descompactación		Siembra directa c/labor de descompactación	
	RM	%H	RM	%H
0-8	0,82 a	19,82	0,35 b	20,09
8-14	1,41 a	17,44	0,47 b	18,61
14-30	1,07 a	17,4	0,87 a	17,92
30-40	0,86 a	16,07	0,99 a	18,31
40-60	0,85 a	15,24	0,99 a	16,71
60-80	0,74 a	13,38	0,89 a	13,95
MOMENTO 5 (12/04/10)				
Profundidad (cm)	Siembra directa s/labor de descompactación		Siembra directa c/labor de descompactación	
	RM	%H	RM	%H
0-8	1,10 a	11,62	0,69 b	11,37
8-14	2,01 a	11,35	1,02 b	11,71
14-30	1,39 a	12,09	1,14 b	13,55
30-40	0,89 a	12,96	0,91 a	13,96
40-60	0,86 a	13,36	0,84 a	13,40
60-80	0,83 a	12,90	0,85 a	13,27
MOMENTO 6 (14/06/10)				
Profundidad (cm)	Siembra directa s/labor de descompactación		Siembra directa c/labor de descompactación	
	RM	%H	RM	%H
0-8	1,13 a	13,57	0,62 d	12,68
8-14	1,82 a	12,47	0,78 d	12,3
14-30	1,47 a	13,28	1,36 a	13,38
30-40	0,89 a	14,89	1,10 a	13,59
40-60	0,77 a	13,99	0,92 a	12,87
60-80	0,70 a	12,62	0,81 a	12,15

Letras diferentes para cada momento y profundidad, indican diferencias significativas entre tratamientos de labranza, Test de Fisher , (p=0,5%) . La coloración amarilla es un indicador gráfico de la persistencia del efecto de la labor en el tiempo.

Estos resultados indicarían que la profundidad de trabajo real coincidió con la profundidad teórica a la que puede actuar el equipo y que la herramienta modificó la capa densificada prácticamente en su totalidad, tal cual lo indicó la evaluación cualitativa de la estructura realizada mediante el método del perfil cultural. Hecho que coincide con lo planteado por De Battista et al. (1992), Cholaky et al. (2005) y Bergesio (2011) poniendo de manifiesto que dicha herramienta permite diferenciar variaciones estructurales en el espacio que luego pueden ser corroboradas objetivamente mediante otras variables indicadoras como la RM, DAP, resistencia al corte, entre otras.

Esta menor resistencia en el tratamiento SDd persistió hasta el último monitoreo, sugiriendo una residualidad del efecto de la descompactación sobre la condición física del suelo en el que se implantará el cultivo posterior. 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 RM, 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.

La distribución del perfil de **RM** en profundidad indicó que prácticamente en todos los momentos evaluados (desde el momento 1 al 4), SDd presentó una condición física más uniforme que SD, con valores de **RM** inferiores a 1 MPa en todo el espesor del perfil (Gráfico 2 a-b-c-d). En los momentos 5 y 6 si bien la RM de SDd continuó siendo baja respecto a SD, se notó un cambio en la forma del perfil de distribución, mostrando un pico de **RM** entre los 10-30 cm (Gráfico 2 e-f). Este último comportamiento puede estar asociado a procesos de recompactación asociados a la escasa estabilidad de la estructura generada por la labor (Alvarez et al. 2006) o a la forma en que trabajan este tipo de equipos, en la que ocasionan un movimiento ascendente del suelo en frente a la reja del implemento y la posterior caída de los terrones de menor tamaño hacia el fondo del área trabajada (Balbuena et al., 2009), lo cual puede contribuir al inicio del proceso de recompactación. Por otro lado, esta disminución en la profundidad del efecto producido por la labor puede estar asociada al bajo contenido de agua que presentó el suelo en estos momentos (Tabla 2).

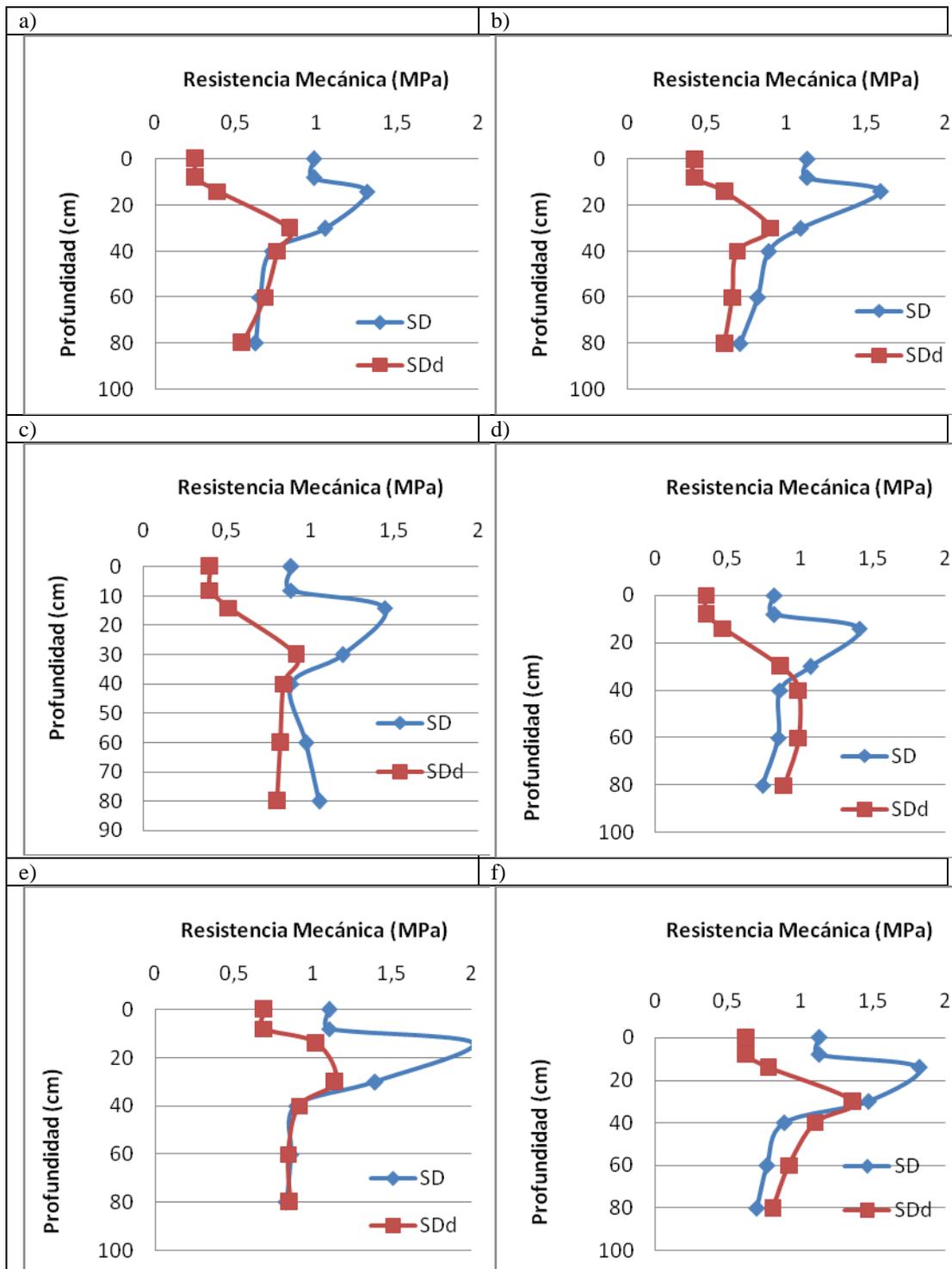


Gráfico 2: Distribución de la Resistencia Mecánica en el perfil del suelo (MPa), en función de la profundidad (cm) y en los distintos momentos de muestreos para las situaciones de siembra directa sin labor (SD) y con labor (SDd), a) momento 1 (21/12/09), b) momento 2 (11/01/10), c) momento 3 (19/02/10), d) momento 4 (15/03/10), e) momento 5 (12/04/10), f) momento 6 (14/06/10).

Si bien algunos autores señalan que valores entre 0,8 y 5,0 MPa podrían afectar el desarrollo radicular como por ejemplo Pla Sentis (1994), se considera que los mismos siendo superiores a 2,0 MPa pueden generar limitaciones para dicho desarrollo (Brusscher et al., 2000). Se puede observar en la tabla 2 que en ninguno de los momentos evaluados, ni en los dos tratamientos, hubo condiciones limitantes para el desarrollo radicular. Esto puede deberse al elevado contenido hídrico que presentó el suelo durante todo el período estudiado. Sin embargo, la forma del perfil de distribución de la RM en SD evidenció claramente la presencia de una capa más restrictiva para el crecimiento radicular, respecto a las capas supra y subadyacentes, tal cual como se identificó con la evaluación del perfil cultural. Si bien estos valores de RM no son limitantes para el desarrollo radicular, su dinámica temporal y espacial, debería tenerse en cuenta en el manejo cultural del cultivo debido a la estrecha relación entre RM y Humedad, como lo indican Bonadeo, (1997); Cholaky (2003) y Uberto et al.(2004), para suelos con similar textura que el de la presente experiencia.

Sin embargo, en SD en la evaluación de la **RM** se puede apreciar que en la evaluación correspondiente al momento 5, realizada el 12 de abril del 2010, en la capa que va desde 8 a 14 cm, se encuentra una situación crítica para el desarrollo de las raíces, con una **RM** de 2,01 MPa, mientras que en el mismo espesor de tratamiento SDd la **RM** fue marcadamente inferior a la SD (1,02 MPa), debido al efecto de la labor de descompactación (Figuras 12 y 13). 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 de penetración de las raíces y por consiguiente en la mayor captación de agua y nutrientes en el volumen de suelo explorado y de radiación fotosintéticamente activa por el crecimiento de biomasa aérea, y no por el efecto que realiza sobre el almacenamiento de agua en el perfil.



Figura 12: 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, en siembra directa (izq.) y en siembra directa descompactada (der.).

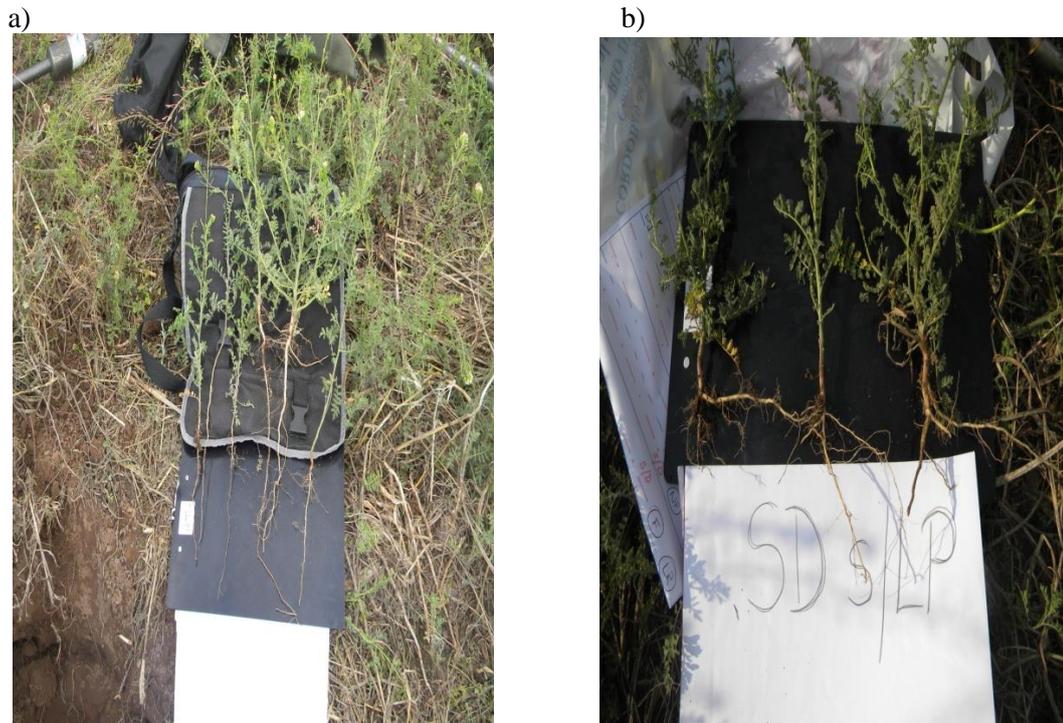


Figura 13: Diferencias entre el crecimiento radicular de las malezas, luego de siete meses de realizada la labor de descompactación en: a) Siembra directa descompactada y b) siembra directa sin descompactación

De acuerdo a lo planteado por Brusscher *et al.* (2000), el medio físico para el crecimiento y exploración radicular del cultivo, habría sido propicio para que se produjera un incremento en el rendimiento, ya que según estos autores en un suelo arenoso franco subsolado se registraron aumentos en el rendimiento de cultivo de soja de al menos 1 Mg/ha por cada 0,1 MPa de reducción en la **RM** desde 2 MPa hasta 0,9 MPa.

En el Gráfico 2 se puede observar la distribución espacial de los valores de **RM** en el perfil de SD, describiendo un pico a la profundidad de 0,15 m, pudiendo corresponder a la presencia de un viejo piso de arado. En cambio, en el perfil de SDd la distribución de la RM en profundidad fue homogénea coincidiendo con lo observado por Uberto *et al.* (2002), quienes trabajaron en un suelo Haplustol típico de la zona de General Cabrera, provincia de Córdoba, evaluando distintos sistemas de labranza, entre ellos el sistema de Labranza vertical profunda.

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



bajo SD.

La variable RM fue sensible a los cambios efectuados por la labor de descompactación y a su perdurabilidad en el tiempo, a diferencia de lo observado en la densidad aparente (DAP) por Gomez (2011), variable que no mostró diferencias entre los tratamientos luego de seis meses posteriores a la realización de la labor. En este sentido Glamuzina (2008) también observó que la RM fue más sensible que la DAP a los cambios generados por el tránsito agrícola.

3.3-Grado de aflojamiento

El grado de aflojamiento producido por la labor de descompactación, fue marcado en todas las capas del perfil cultural, alcanzando valores del 74,4% en las capas superficiales y valores menores al 20% por debajo de la profundidad de 14 cm (Gráfico 3). Similar tendencia fue observada por Colareda *et al.* (2006) en un Argiudol típico, sin embargo el **GDA** no superó el 45% en la capa más densificada, debido probablemente a un modo de fractura diferente por el tipo matriz con mayor contenido de arcilla de este suelo respecto al del presente trabajo.

Esta tendencia observada no fue coincidente con la hallada por Bergesio (2011) luego de laborear un suelo Haplustol típico con una labor de descompactación subsuperficial, ya que en ese caso la magnitud del **GDA** fue mayor (75% aproximadamente) en el espesor por donde pasaron los órganos activos de la herramienta y de menor magnitud en la capa superficial (48% aproximadamente). Estas diferencias pueden asociarse a diferencias en el estado de compactación que presentaba el suelo de ambas experiencias, a las condiciones operativas de la labor (humedad del suelo, velocidad de trabajo, profundidad), a la geometría de la herramienta utilizada, entre otros aspectos.

El grado de aflojamiento en las distintas capas va disminuyendo con el tiempo como se puede observar en el Gráfico 3.

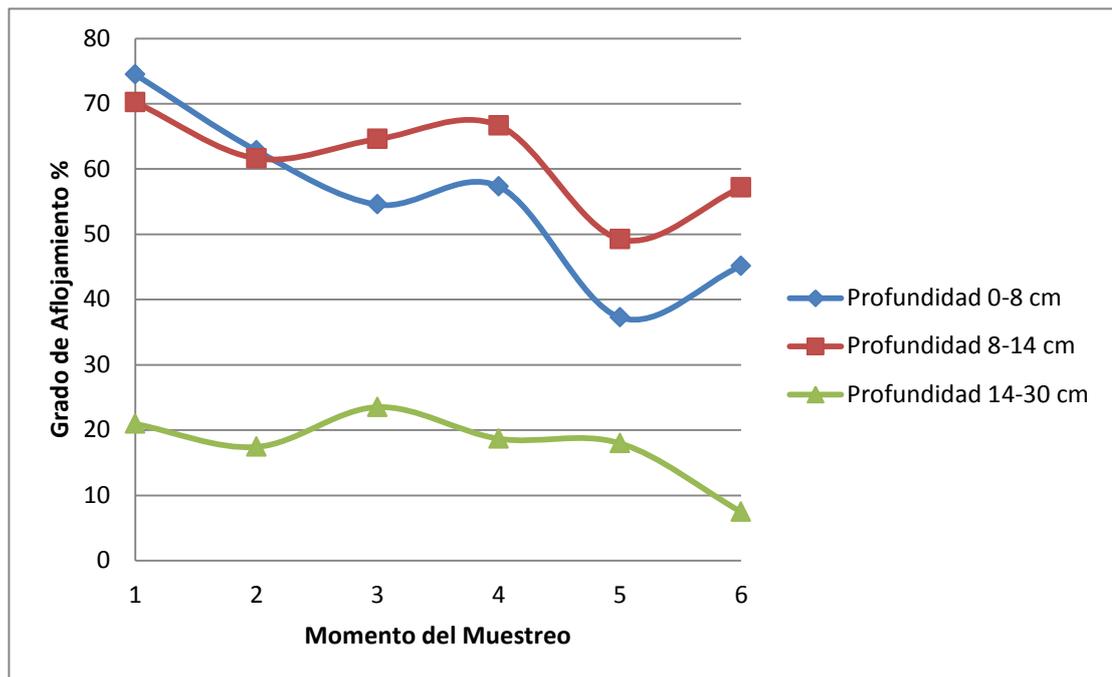


Gráfico 3: Evolución del grado de aflojamiento (GDA) para cada momento de muestreo y en las diferentes profundidades del perfil cultural.

En la primera capa (0-8cm) desde la primera medición a la última, el grado de aflojamiento disminuyó 29,35 %, mientras que en las otras dos capas la disminución fue de 13%. De acuerdo a esta tendencia, se podría sostener que si bien la capa superficial presentó el mayor grado de descompactación, también fue la que mostró mayor disminución de esta variable en el tiempo, pudiéndolo atribuir al efecto del reacomodamiento de la estructura superficial debido principalmente al impacto de las precipitaciones ocurridas durante el período analizado y al tránsito producido durante y posterior a la siembra del cultivo (siembra y fumigación) hasta que el mismo se perdió totalmente por la piedra .



4- CONCLUSIONES

Para las condiciones de clima, suelo y manejo presentes en esta experiencia, se concluye:

- El efecto de aflojamiento producido por una labor de descompactación subsuperficial persiste por al menos 6 meses posterior al momento de realización de la misma cuando sobre el terreno se realiza un mínimo tránsito posterior a ella.
- Durante dicho período, el monitoreo del perfil de distribución de RM en profundidad a lo largo del periodo de estudio muestra una condición física de mayor homogeneidad cuando se introduce una labor de descompactación respecto a la siembra directa sin descompactar.
- La resistencia mecánica es una variable sensible a los cambios producidos por la labor de descompactación y a su persistencia en el tiempo.
- El método del perfil cultural es una herramienta de utilidad para evaluar los cambios producidos en la estructura del suelo debido a las operaciones de labranza.



5- RECOMENDACIONES

A partir del estudio realizado en el presente trabajo, surgen algunas líneas de interés para investigaciones futuras, según lo siguiente:

- ❖ Evaluar el efecto de la introducción de una labor de descompactación subsuperficial sobre la evolución de la biomasa aérea y radicular y producción final de los cultivos.
- ❖ Encontrar ecuaciones de ajuste entre Resistencia mecánica y humedad para las diferentes profundidades del suelo, de modo de obtener una herramienta ágil que permita entender la dinámica de la Resistencia mecánica a partir del monitoreo de la humedad edáfica.
- ❖ Evaluar la persistencia de los efectos de las labores de descompactación bajo las condiciones de manejo y tránsito comunes en el ciclo de los cultivos agrícolas.



6- 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.

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

BERGESIO, L. (2011). Persistencia del aflojamiento producido por un labor de descompactación en un sistema de producción mixto en un haplustol típico del sur cordobés. Tesis de Grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Rio Cuarto. Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. 18 p.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. 2003. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.581-588.

BONADEO, E. 1997. Efecto de la compactación subsuperficial en un Haplustol Típico del sur de Córdoba sobre el comportamiento del cultivo del maní (*Arachis hypogaea* L.) Tesis de Maestría en Ciencia del suelo, UBA-INTA, Argentina. 124p.

BOTTA, G., J. RESSIA, H. ROSSATO, M. TOURN, E. SOZA, C. FERRERO, S. STADLER 2006 Efecto de la labranza vertical sobre el suelo y el rendimiento del cultivo de Girasol (*Helianthus annus* L.). Agro-Ciencia 0716 – 1689.



BRUSSCHER W. I.; FREDERICK, I. R. y P. I. BANER. 2000. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. Soil Sci. Soc. Am. 1. 64 (3) 999: 1003

BRUSSCHER, W.J., BAUER, P.J., FREDERICK, J.R. 2006. Deep tillage management for high strength southeastern USA Coastal Plain soils. Soil and Tillage Research, v. 85, p. 178-185.

CACCIAVILLANI, M. (2009). Evolución del comportamiento físico de un suelo haplustol típico de Córdoba bajo dos sistema de laboreo. Tesis de Grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 58 p.

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.

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.

CISNEROS, J. M.; CANTERO G. A., MARCOS J , DEGIOANNI, A, BRICHI E, GIAYETTO O.; CHOLAKY C.; BONADEO E., CERIONI G.Y M. UBERTO. 1998. Comportamiento de un subsolador alado adaptable a implemento de uso común. En: Balbuena, R. H., Benez, S. H. y Jorajuría D. (Eds.) Ingeniería Rural y Mecanización Agrícola en el ámbito Latinoamericano. ISBN 950-34-0125-9. Publicado por Editorial de la UNLP, 128-124.

COLADERA, G. O.; A. TERMINIELLO; R. H. BALBUENA y J. A. HILBERT. 2002. Descompactación de suelos bajo el sistema de siembra directa de cultivos. Persistencia de la labor. XVIII Congreso Nacional de la Ciencia de Suelos, Puerto Madryn, Chubut (en CD)- 2002

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 de Manejo y Recuperación de Tierra, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina, 218 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.

CHOLAKY, C; CACIAVILLANI, M; BRICCHI, E. 2009 Persistencia del efecto de descompactadores en suelos con historia de siembra directa. Experiencia en Haplutoles del sur de Cordoba. Taller física de suelos. Río Cuarto, Argentina.

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.

EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT 1995. Penetrologger. Manual de usuario, 28.

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.

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

GIDDS, RJ & JB REID. 1988. A conceptual model of changes in soil structure under different cropping systems. Adv. Soil Sci.8:123-149.

GLAMUZINA, J. J. 2008. Evaluación de la compactación edáfica causada por el tránsito bajo siembra directa en función del contenido hídrico del suelo. Trabajo final de grado. Carrera de Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRC. Río Cuarto, Argentina.

GLINSKI. J & J LIPIEC. 1990. Soil Physical Conditions and Plant Roots. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 250 pp.

GOMEZ, M. 2011. Efecto de la labor de descompactación superficial sobre el almacenamiento de agua en un Haplustol típico del sur de Córdoba manejado en



siembra directa. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía y Veterinaria . UNRC. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

GUDELJ, O. y B. MASIERO 2000 Efectos de manejo del suelo sobre su densidad aparente. 2008. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

GUPTA. SC & RR ALLMARAS. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. Adv. Soil Sci. 6:65-100

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.

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.

IRURTIA C.B., R MON, N GONZALEZ & J ELISEI. 2002. Efectos físicos residuales en un Argiudol típico después de seis años de subsolado en condiciones de tránsito agrícola controlado. XXI Congreso de la AACCS. Acta en CD.

JORAJURIA, D., DRAGHI, L., ARAGON A. 1997. The effect of vehicle weight on the distribution of compaction with depth and the yield of a Lolium/Trifolium grassland. Soil & Tillage Research, 41(1): 1-12.

JORAJURIA, D. y DRAGHIL. 2000. Sobrecompactación del suelo agrícola Parte I: influencia del peso y número de pasadas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 4, 415-452.

LIEBIJ, M.A., A.J., JONES, L.N. MIELKE y J.W. DORAN 1993. Controlled wheel traffic effects on soil properties in ridge tillage. Soil Sc. Soc. Am. J. (57): 1061-1066.

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.

MUNKHOLM, L. J., PER SCHJONNING A., JORGENSEN M., THORUP-KRISTENSEN, K. 2005. Mitigation of subsoil recompaction by light traffic and on-land ploughing II. Root and yield response. Soil and Tillage Research, v. 80, p. 159-170.

OSKUI, K E & VOORHEES, W B. 1990. Prediction of planting timeliness penalties for corn and soybean in northern corn belt. (Predicción de las pérdidas por la siembra



fuera de término de maíz y soja en el norte del cinturón maicero) In: Agron. Abstr. 153. Madison, WI, USA.

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, Córdoba, Argentina.

PLA SENTIS, I. 1994. Curso sobre efectos de la labranza en las propiedades físicas de los suelos. Instituto de Suelos. C.I.R.N. INTA Castelar. Capítulo II, Labranzas y propiedades Físicas de los Suelos. pp 20.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. 2000. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p.929-938.

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

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.

SILVA, V. R.; D. J. REINERT,; J. M. REICHERT. 2000. Resistencia mecanica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. Ciencia Rural, v. 30, p 795-801

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 la Ciencia del Suelo. San Luis, Argentina.

SPOOR, G.; F.G.J. TIJINK and P.WEISSKOPF. 2003. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. Soil & tillage Research 73: 175-182.

TOLA, E. H. M.; J. MULLER y K. KOLLER. 2000. Soil loosening in the seed zone as affected by different no-till furrow openers under different soil conditions and crop residue cover rates. Actas XI International soil conservation conference. Buenos Aires Argentina. Pp120-123.

UBERTO, M.E.; CISNEROS, J.M.; CHOLAKY, C.G.; VERRI, L.; CERIONI, G. y G. SANTA 2004. Rotaciones y labranza en maní, recuperación de propiedades físicas y productividad de las tierras. XIX Jornada Nacional de Maní. Gral. Cabrera, Córdoba, Argentina.

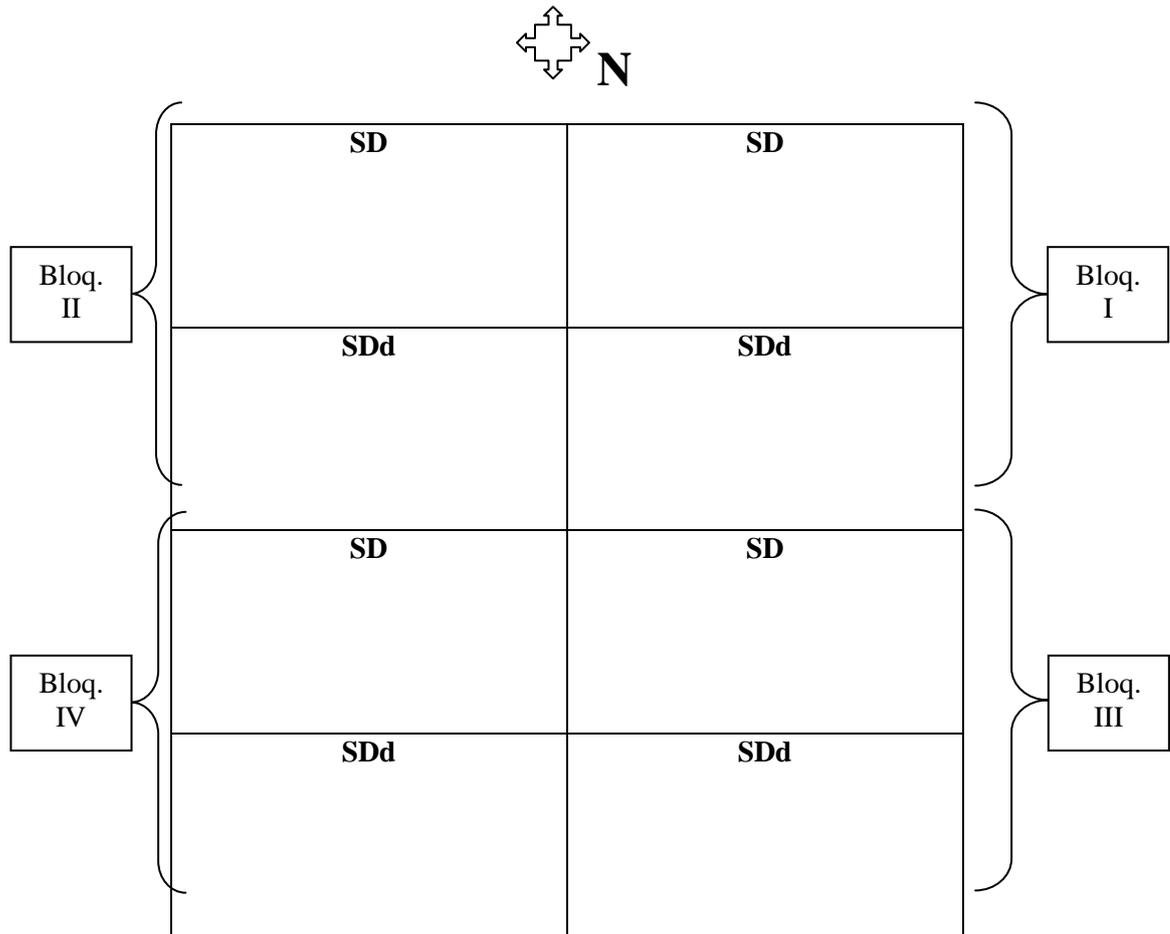


UNGER, P. W. 1996. Soil bulk density, penetration resistance and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. *Soil Till Res* (37):67-75.

VARSA, E.C., CHONG, S.K., ABOLAJI, J.O., FARQUHAR, D.A., OLSEN, F.J. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) root growth and production. *Soil and Tillage Research*, v. 43, p. 219-228.

WILLIS, G., DEMAIO, T., & HARRIS-KOJETIN, B. (1999). Is the Bandwagon Headed to the Methodological Promised Land? Evaluation of the Validity of Cognitive Interviewing Techniques. In M. Sirken, D. Herrmann, S. Schechter, N. Schwarz, J. Tanur, & R. Tourangeau (Eds.), *Cognition and Survey Research*. New York: Wiley.

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.**



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.