



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO

FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

“Trabajo Final para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

“Evolución del comportamiento físico de un suelo Haplustol típico de Córdoba bajo dos sistemas de laboreo”

Alumna: Cacciavillani, Melina Mabel
DNI: 29 581 691

Director: Cholaky, Carmen

Co-Director: Cisneros, José

Río Cuarto – Córdoba

Octubre/2009

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

“Evolución del comportamiento físico de un suelo Haplustol típico de Córdoba bajo dos sistemas de laboreo”

***Alumna: Cacciavillani, Melina Mabel
DNI: 29 581 691***

Director: ING. AGR. MSc. Cholaky, Carmen

Codirector: ING. AGR. MSc. Cisneros, José

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

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

*"Caminante no hay camino,
se hace camino al andar..."*

*Este trabajo final está dedicado a todas esas personas que me acompañaron en
el camino de mi vida...*

*Algunas cosas me costaron más esfuerzo y otras no tanto, pero siempre para
cada una de ellas hubo alguien a mi lado acompañándome, guiándome y ayudando a
decidir hacia donde hacer el camino cada vez que comencé a andar...*

*Agradezco a Dios, por ser compañero fiel y guía principal de mis caminos...
A Quienes están a mi lado, siempre e incondicionalmente, Mabel y Nani, los
principales miembros de mi familia, gracias a los dos!*

*A Mi abuela Adelia, a todos mis tíos y tías, mis primos, mis amigos de siempre,
que me acompañaron con buenos augurios para poder finalizar este trabajo, y
principalmente a mis amigas Colo, Juli, Leti y Ceci, quienes con sus actitudes no me
dejaron bajar los brazos, haciéndome saber que yo también podía...*

*A esas personas especiales que uno encuentra en la vida sin buscar y que te
llenan el alma de emociones y felicidad, Mati, gracias por estar siempre...*

*A mis compañeros de Universidad que supieron darme su ayuda en los tramos
iniciales de este trabajo, principalmente Álvaro y su familia,
y en los tramos finales, Diego...*

*A Quienes están velando por mi desde otro lugar, mi Abuelo Américo, Nona
Elva y tío Pirucho...*

*A Quienes ya no están en lo cotidiano de mis días, pero dejaron marcas
imborrables en mi corazón, Caito...*

*A la Universidad Nacional de Rio Cuarto y a sus profesores que desde el
comienzo guiaron mis pasos en el camino del conocimiento...*

A Carmen, por su apoyo en cada momento y por brindarme tantas horas de su tiempo.

INDICES

RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	VIII
CAPITULO 1:.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PRESENTACIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
CAPITULO 2:.....	5
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	5
2.1. HIPÓTESIS.....	5
2.2. OBJETIVOS	5
CAPITULO 3:.....	6
3. MATERIALES Y MÉTODOS	6
3.1. Área de Trabajo.....	6
3.2. Tratamientos y momentos de evaluación.....	7
3.3 Evaluaciones	10
CAPITULO 4:.....	14
4. RESULTADOS.....	14
4.1. Perfil Cultural.....	14
4.2. Evaluación del efecto de la labor de subsolado sobre indicadores físicos del suelo	19
4.3. Evaluación de la persistencia de la labor de subsolado.....	25
CAPITULO 5:.....	52
5. CONCLUSIONES	52
CAPITULO 6:.....	53
6. RECOMENDACIONES.....	53
CAPITULO 7:.....	54
7. BIBLIOGRAFÍA	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Densidad Aparente de las capas del perfil cultural de Siembra Directa (SD) y Labranza de descompactación Profunda (LVP).....	20
Tabla 2: Valores promedio de Resistencia Mecánica de las capas del perfil cultural en los tratamientos Siembra Directa (SD) y Labranza de descompactación Profunda (LVP) en el momento Inicio.....	24
Tabla 3: Resistencia Mecánica promedio y contenido de agua de cada capa del perfil cultural en Siembra Directa (SD) y en Labranza de descompactación Profunda (LVP) en distintos momentos del ciclo del cultivo.....	26

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Ubicación y diseño de los tratamientos dentro del Lote experimental.....	9
FIGURA 2: Capas en el perfil cultural en el momento INICIO en el Perfil SD.....	16
FIGURA 3: Capas en el perfil cultural POST-LABOR	17

INDICE DE FOTOS

Foto 1: Mapa de ambientes naturales de la Provincia de Córdoba (INTA, 2007) e Imagen LANDSAT de la zona de estudio, con localización de los sitios de muestreo (Google Earth, escala aproximada 1: 50.000).....	6
Foto 2: Imagen del equipo tractor/descompactador/rolo, en el sitio experimental.	7
Foto 3: Imágen de la reja alada del escarificador descompactador, utilizado en la experiencia.	8
Foto 4: Imagen de la evaluación del Perfil Cultural mediante metodología de Gautronneau y Manichon (1987)..	11
Foto 5: Imagen de la sonda de rayos gamma utilizada para evaluar Densidad Aparente	11
Foto 6: Imágen del penetrómetro computarizado Eijkelkamp utilizado para evaluar Resistencia Mecánica.....	12
Foto 7: Imagen de bloque angular donde se aprecian raíces en los planos de debilidad del mismo.....	15
Foto 8: Unidades estructurales correspondientes a la misma profundidad del perfil previo y posterior a la descompactación (SD y LVP, respectivamente).	17

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Perfil de Densidad Aparente en Siembra Directa (SD) y Labranza Labranza de descompactación Profunda (LVP).....	19
Gráfico 2: Perfil de Densidad Aparente en Siembra Directa (SD) , Labranza de descompactación Profunda (sobre la línea de rejas) y Labranza de descompactación Profunda (entre la línea de rejas).	21
Gráfico 3: Perfiles de Resistencia Mecánica en Siembra Directa y Labranza de descompactación Profunda al Inicio.	23
Gráfico 4: Perfiles de Humedad en Siembra Directa y Labranza de descompactación Profunda al Inicio.....	23
Gráfico 5: Perfiles de Resistencia Mecánica en Labranza de descompactación Profunda en los distintos momentos de medición.....	29
Gráfico 6: Perfiles de Humedad edáfica en Labranza de descompactación Profunda en los distintos momentos.....	29
Gráfico 7: Perfil de RM en los momentos Inicio, Post labor y Post Siembra en ambos tratamientos.....	31
Gráfico 8: Perfil de humedad en Inicio, Post labor y Post Siembra en ambos tratamientos.....	31
Gráfico 9: Perfil de RM en Inicio, Post labor y V3-V4 en ambos tratamientos.....	32
Gráfico 10: Perfil de humedad en Inicio, Post labor y V3-V4 en ambos tratamientos....	32
Gráfico11: Perfil de RM en Inicio, Post labor y R1 en ambos tratamientos.....	33
Gráfico 12: Perfil de humedad en Inicio, Post labor y R1 en ambos tratamientos.....	33
Gráfico 13: Perfil de RM en Post labor y R1 en ambos tratamientos.....	35
Gráfico 14: Perfil de humedad en Post labor y R1 en ambos tratamientos.....	35
Gráfico 15: Perfil de RM en Inicio, Post labor y R3 en ambos tratamientos.....	36
Gráfico 16: Perfil de humedad en Inicio, Post labor y R3 en ambos tratamientos.....	36
Gráfico 17: Perfil de RM en Post labor y R3 en Labranza de descompactación Profunda con y sin tránsito.....	37

Gráfico 18: Perfil de humedad en Post labor y R3 en Labranza de descompactación Profunda con y sin tránsito.....	37
Gráfico 19: Perfil de RM en Inicio, Post labor y Poscosecha en ambos tratamientos.....	38
Gráfico 20: Perfil de humedad en Inicio, Post labor y Post cosecha en ambos tratamientos	38
Gráfico 21: Perfil de RM en Post labor y Post cosecha en Labranza de descompactación Profunda con y sin tránsito.....	39
Gráfico 22: Perfil de humedad en Post labor y Post cosecha en Labranza de descompactación Profunda con y sin tránsito.....	39
Gráfico 23: Mapa de distribución de la Resistencia Mecánica en el momento Post siembra en el tratamiento Siembra Directa.....	41
Gráfico 24: Distribución de la Resistencia Mecánica en Post siembra en Labranza de descompactación Profunda	42
Gráfico 25: Distribución de la Resistencia Mecánica en R1 en Siembra Directa.....	43
Gráfico 26: Distribución de la Resistencia Mecánica en R1 en Labranza de descompactación Profunda sin tránsito.....	44
Gráfico 27: Distribución de la Resistencia Mecánica en R1 en Labranza de descompactación Profunda con tránsito.....	46
Gráfico 28: Distribución de la Resistencia Mecánica en R3 en Siembra Directa.....	47
Gráfico 29: Distribución de la Resistencia Mecánica en R3 en Labranza de descompactación Profunda Sin Tránsito.....	47
Gráfico 30: Distribución de la Resistencia Mecánica en R3 en Labranza de descompactación Profunda Con Tránsito.....	48
Gráfico 31: Distribución de la Resistencia Mecánica en Post cosecha en Siembra Directa.....	49
Gráfico 32: Distribución de la Resistencia Mecánica en Post cosecha en Labranza de descompactación Profunda Sin Tránsito previo.....	50
Gráfico 33: Distribución de la Resistencia Mecánica en Post cosecha en Labranza de descompactación Profunda Con Tránsito.....	51

RESUMEN

Se evaluó la evolución del comportamiento físico de un suelo Haplustol típico de Córdoba bajo dos sistemas de laboreo durante el ciclo de un cultivo de soja. El estudio se llevó a cabo en el establecimiento del Señor Martínez, ubicado a 6 km al oeste de la localidad de Alcira Gigena durante el período 2004-2005, sobre una situación en la que se realizaba siembra directa desde 1994. Los tratamientos involucraron dos sistemas de labranza: siembra directa (SD) y laboreo profundo con descompactador alado (LVP). En este último tratamiento se dispusieron parcelas con y sin tránsito posterior a la labor, LVP c/t y LVP s/t, respectivamente. El diseño experimental fue completamente aleatorizado.

Se evaluó Resistencia Mecánica (RM), densidad aparente (DAP) y persistencia de la labor profunda mediante el monitoreo de la RM y de la humedad gravimétrica en distintos momentos del ciclo de un cultivo de soja.

En LVP se produjo una disminución significativa de la DAP y RM especialmente en los primeros 18 cm del perfil del suelo, respecto a SD.

A pesar de que en LVP c/t se produjo incremento de la RM con respecto a LVP s/t, los valores de RM no fueron restrictivos para el crecimiento radicular, a excepción del tránsito de la cosechadora que incrementó la RM por encima de 2,5 MPa.

El mejoramiento de la condición física del perfil producido por el descompactador alado perdura durante el ciclo de la soja.

Palabras claves: escarificador alado, resistencia mecánica, densidad aparente, persistencia.

ABSTRACT

Assessed the evolution of physical behavior of a soil Haplustol typical of Córdoba under two systems of plowing during the cycle of a soybeans. The study was carried out in the establishment of the Lord Martinez, located 6 km west of the location of Alcira Gigena during the period 2004-2005, in a situation with direct tilling since 1994. The treatments involving two tillage systems: direct seeding (SD) and plowing, deep with winged scarifier (LVP). In the latter treatment were plots with and without transit later to the labor, LVP c/t and LVP s/t, respectively.

The experimental design was completely randomised. Assessed Mechanical Strength (RM), bulk density (DPA) and persistence of the work deep by monitoring the RM and water content by gravimetric method in different times in the cycle of a crop of soya.

In LVP was produced significant decrease in DAP and RM especially in the first 18 cm of soil profile, with regard to SD.

In spite of that in LVP c/t was increased RM with regard to LVP s/t, the values of RM were not restrictive to root growth, with the exception of harvester transit, which increased the RM above 2.5 MPa.

The improvement of the physical condition of the profile produced by the winged scarifier endures during the soya cycle.

Key words: winged scarifier, mechanical resistance, bulk density, persistence.

CAPITULO 1:

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN

La necesidad de una agricultura de productividad creciente generará una mayor presión sobre los recursos naturales, instalándose un conflicto con los principios o fundamentos de la sustentabilidad. El desarrollo sustentable es un concepto que impone límites, tanto sobre la presión que se puede ejercer sobre el ambiente, como sobre la tecnología que se puede generar para potenciar el crecimiento económico y el bienestar (Viglizzo, 1994).

En los últimos años, en la región pampeana en general, y en la zona central de Córdoba en particular, se ha producido una intensificación del uso de las tierras, con cambios hacia sistemas agrícolas en detrimento de los usos ganaderos y mixtos (INTA, 2003).

Actualmente, mas de 26 millones de hectáreas son trabajadas con el sistema de siembra directa, lo cual representa el 43 % de la superficie sembrada en la Argentina (AAPRESID, 2007).

La profundización de estos cambios de uso en los últimos años ha sido acompañada por un incremento en el uso de tecnologías como la siembra directa. Este sistema de laboreo provoca cambios en las condiciones del suelo que alteran profundamente su comportamiento físico, químico y biológico (Sprague y Triplet, 1986; Panigatti *et.al.*, 1999).

Además se encontró que la introducción de sistemas de labranzas conservacionistas como la siembra directa, si bien tienen ventajas directas sobre la economía del agua y las tasas de erosión, producen cambios en las propiedades químicas y físicas de los suelos que pueden afectar la biología del mismo y el desarrollo radicular de las plantas (Doran, 1980).

Limitaciones propias de algunos suelos y compactaciones adjudicadas al uso de este tipo de labranza hacen que técnicas ligadas a la preparación del mismo, como es el caso de los aflojamientos o descompactaciones, adquieran relevancia (Di Prinzio *et al.*, 2000; Balbuena *et al.* (2009)).

En este sentido, este trabajo de tesis se orienta a evaluar el efecto de la descompactación de un suelo representativo de las planicies bien drenadas de Córdoba sobre el comportamiento agronómico del cultivo de soja, e indirectamente a inferir cambios en algunas propiedades físicas del suelo.

En el área de estudio, la principal problemática de degradación de las tierras está asociada a procesos de erosión hídrica de diferente magnitud (Cantero *et al.*, 1998; Cisneros *et al.*, 2004).

Estos procesos erosivos guardan relación con la compactación de los suelos, ya que al densificarse los suelos pierden infiltración y se incrementan los coeficientes de escorrentía (Cisneros *et al.*, 1997).

Este trabajo de tesis comparte el diseño experimental y se integra en cuanto a la amplitud de sus resultados con otra tesis denominada “Comportamiento del cultivo de soja bajo dos sistemas de labranza en Haplustoles típicos de Córdoba.” del alumno Álvaro Martínez. De este modo los resultados de ambos trabajos contribuyen a entender el funcionamiento de una técnica de manejo de suelos esencial para recuperar sus condiciones de productividad.

1.2 ANTECEDENTES

En general puede decirse que la compactación del suelo es una limitante para el desarrollo radicular de las plantas, y asociada al contenido de humedad puede convertirse en determinante del éxito de una campaña agrícola (Taylor, 1971).

Ya desde hace años, distintos autores señalaban que el incremento en la agriculturización produce cambios en las condiciones físicas de los suelos. Miaczynski y Tschapek (1965) y Panigatti y Piñeiro (1964) destacan que, en la Argentina, a partir de la década del 60 se empiezan a detectar fenómenos de compactación de suelo ligados a mermas en los rendimientos de los cultivos.

Si bien la práctica de siembra directa tiende a mejorar la conservación del recurso suelo, coexisten resultados contradictorios en cuanto a la compactación inicial de los suelos, su evolución y persistencia en el tiempo.

Entre sus efectos desfavorables algunos autores destacan su tendencia a la compactación del suelo. Vidal y Costa (1998) y Ferreras (1996) hallaron compactación inferida a través de altos valores de la medición de una variable como densidad aparente en suelos bajo siembra directa, comparado con los de labranza reducida o convencional. En igual sentido para el área de estudio de esta tesis Cholaky (2003), Cisneros *et al.* (1998) y Uberto *et al.* (2002) encontraron severos procesos de compactación superficial inducida por el tránsito y no revertida por la técnica de la siembra directa.

Jorge *et al.* (1992), citando a Glinski y Lipiec (1990), definieron a la compactación del suelo como un incremento de la densidad aparente, un acercamiento de las partículas sólidas y una disminución de la porosidad, particularmente en la porción de macro poros.

La capacidad de regeneración de la estructura porosa de los suelos es una característica importante para definir la adaptabilidad de los suelos para ser manejados con siembra directa

(Stengel *et al.*, 1984) pues la falta de remoción reduce la posibilidad de formación mecánica de macroporos (Pierce *et al.*, 1994).

La densificación de la capa superficial de los suelos bajo sistemas sin remoción continua es considerada una limitante para adoptar los sistemas de labranza cero en la región Pampeana (Chagas *et al.*, 1994, Ferreras *et al.*, 1998), pudiendo en ciertos casos, reducir el rendimiento de los cultivos (Schmidt y Belford, 1994). Esta densificación de la capa superficial sólo puede ser disminuida con labranzas de tipo vertical (Fontanetto y Gambaudo, 1996).

Uberto *et al.* (2002) trabajaron en suelos Haplustoles enticos, analizando tres sistemas de labranza (convencional, reducida y directa), y encontraron que las labranzas reducidas no solo mejoraron la condición física general hacia menores valores de Densidad Aparente, Resistencia Mecánica y mayores valores de Velocidad de Infiltración final sino que mejoraron las condiciones de enraizamiento y entrada de aire en el suelo.

La resistencia mecánica o resistencia a la penetración que ofrece el suelo en la zona de las raíces, es utilizada como una medida de compactación, señalando condiciones que pueden impedir el crecimiento de las raíces y por lo tanto reducir el rendimiento de los cultivos (Oussible *et al.*, 1992).

En suelos manejados con siembra directa el desarrollo de condiciones físicas del suelo desfavorables es atribuido también al tráfico de maquinarias. Upadhyaya *et al.* (1994) encontraron que el tráfico de vehículos asociado con las operaciones de cultivo, tipo de equipamiento, presión en el área de contacto ruedas/suelo, el número de pasadas, el tipo de suelo y la humedad del mismo, son variables que inciden sobre la profundidad a la cual la densidad aparente y el índice de cono son incrementados.

Jorajuría y Draghi (2000), en relación con el pasaje repetido de tractores de baja carga por eje, concluyeron que el pasaje repetido sobre la misma senda puede emular e incluso reemplazar al factor peso sobre el eje en la responsabilidad principal de inducir compactaciones en el subsuelo.

Soane *et al.*(1986) y Reeder *et al.*(1993) citados por Di Prinzzio *et al.* (2000) manifiestan que el tráfico reducido o controlado incrementa la persistencia de la labor de subsolado.

Jorge *et al.* (1992) relacionaron al contenido de agua y al esfuerzo mecánico del suelo con la resistencia a la penetración de las raíces.

Di Prinzio *et al.* (2000) evaluaron el efecto de un subsolador alado combinado con cinceles y sostiene que esta labor constituye una técnica apropiada para estandarizar las condiciones físicas del suelo previo a la plantación.

Cholaky (2003) evaluó el efecto de una labor de descompactación con subsolador alado en un suelo Hapludol típico franco arenoso y encontró que el fracturamiento producido en el perfil es independiente del nivel de compactación al momento de realizar la labor y que el efecto de la labor se manifiesta en toda la profundidad de trabajo de la herramienta, con un desmenuzamiento más evidente en los sectores del perfil altamente densificados y próximos al sitio por donde pasan las rejas.

En el mismo trabajo la autora evaluó la persistencia del efecto de una labor de descompactación en un suelo Haplustol típico franco arenoso cuando no se efectúa tránsito en el terreno luego de la labor y observó que el aflojamiento persistió durante el período de desarrollo del ciclo de un cultivo anual, con valores de resistencia a la penetración inferiores a los indicados como restrictivos o limitantes para el crecimiento radical.

Di Prinzio *et al.*, (2000) trabajando en suelo Torrifluent ácuico, franco grueso observó que el efecto del subsolado realizado con subsolador alado combinado con cinceles persiste luego de un año de realizada la labor y Simoes *et al.* (2009) evaluando el trabajo de diferentes implementos de labranza profunda sobre la resistencia mecánica de un suelo Ustisol franco arenoso de E.E.U.U., observaron que el perfil mostró una rápida reconsolidación y que luego de 11 meses el suelo fue recompactado a niveles restrictivos para el desarrollo radicular.

A nivel mundial existen experiencias con resultados diversos. Adeoye y Mohamed-Saleem (1990) encontraron aumentos de rendimiento en maíz originados por el subsolado, mientras que Reeder *et al.* (1993) aseguraron que los beneficios de esta práctica se justifican desde el punto de vista económico en soja y en maíz.

A partir de estos antecedentes se plantean las siguientes hipótesis y objetivos en un suelo Haplustol típico del área ondulada del centro sur de Córdoba.

CAPITULO 2:

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1. HIPÓTESIS

✓ En suelos Haplustoles típicos compactados subsuperficialmente y que provienen de sistemas de labranza sin remoción durante diez años, la incorporación de una operación de descompactación profunda mejora la condición física del perfil.

✓ En estos suelos el efecto del aflojamiento generado por una labor de descompactación desaparece durante el ciclo de un cultivo, al producirse el tránsito de las maquinarias que realizan las labores posteriores a la siembra.

2.2. OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO GENERAL

✓ Evaluar la condición física de un suelo Haplustol típico laboreado con dos sistemas de labranza y su evolución durante el ciclo del cultivo de soja.

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

✓ Medir el perfil de resistencia mecánica en un suelo con cultivo de soja bajo siembra directa y labor de descompactación profunda, en diferentes momentos del ciclo del cultivo.

✓ Monitorear la persistencia del efecto de una labor de descompactación profunda durante el ciclo del cultivo de soja, teniendo en cuenta el impacto de las labranzas posteriores a la siembra.

✓ Evaluar la densidad aparente del suelo después de la siembra del cultivo de soja bajo los dos sistemas de laboreo mencionados precedentemente.

CAPITULO 3:

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁREA DE TRABAJO

El área bajo estudio se encuentra ubicada en la localidad de Alcira Gigena, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba, 32°43'51.12" latitud Sur y 64°21'47.16" Longitud Oeste.

Se realizó una experiencia a campo durante el período diciembre de 2004 – mayo de 2005, en un establecimiento ubicado a 6 Km al noroeste de la localidad de Alcira Gigena, perteneciente al señor Ricardo A. Martínez, (Foto 1).

El sitio experimental presenta un relieve normal, fuertemente ondulado, con pendientes largas y gradientes de hasta el 5 %. En dicho sitio se realizó una calicata para caracterizar morfológicamente el perfil del suelo, y de acuerdo a Cantero *et al.* (1986) corresponde a Haplustol típico, de textura franco arenosa a franca, perteneciente a la Unidad Catastral N° 1, Oeste de Gigena.



Foto 1: Mapa de ambientes naturales de la Provincia de Córdoba (INTA, 2007) e Imagen LANDSAT de la zona de estudio, con localización de los sitios de muestreo (Google Earth, escala aproximada 1: 50.000).

3.2. TRATAMIENTOS Y MOMENTOS DE EVALUACIÓN

3.2.1. TRATAMIENTOS

El ensayo a campo comprendió dos tratamientos de labranza: siembra directa desde hace diez años (SD) y labranza de descompactación profunda con escarificador alado (LVP).

El sistema (SD) consistió en la siembra mediante un equipo FABIMAC Multiplanter (2001) de tipo siembra directa, de 14 surcos espaciados a 0,52 m, (ancho total de trabajo 7,28 m.) con equipo fertilizador. Este equipo fue remolcado por un tractor marca AGCO ALLIS 6.125 de 125 HP (90KW) peso total 7,74 Mg. Posteriormente se realizó la pulverización mediante un equipo autopulsado marca Metalfor Múltiple 2800 mod. 2004. Finalmente se llevó a cabo la cosecha mecánica mediante una cosechadora JOHN DEERE 9610 Maximizer mod. 96, con un ancho de corte de 24 pies, peso total 12,74 Mg.

El tratamiento (LVP) consistió en la pasada de un descompactador alado similar al prototipo “reja cero”, (Cisneros *et al.*, 1998), dispuesto sobre el bastidor de un cincel de 10 cuerpos, con una separación entre rejas de 0,5 m dando un ancho de trabajo total de 5 metros, con una profundidad teórica de trabajo de 0,30 m. En la parte posterior se adicionó un rolo para homogeneizar la superficie del suelo (Fotos 2 y 3).



Foto 2: Imagen del equipo tractor/descompactador/rolo, en el sitio experimental.



Foto 3: Imagen de la reja alada del escarificador descompactador, utilizado en la experiencia.

Posteriormente se realizó la siembra, pulverización y cosecha con los equipos descritos precedentemente.

En LVP, para poder evaluar la segunda hipótesis, se realizó una subdivisión de la parcela:

1. Con tránsito de maquinarias posterior a la siembra (**LVP C/T**)
2. Sin tránsito de maquinarias posterior a la siembra (**LVP S/T**).

Cada tratamiento abarcó una franja de 30 m de largo x 10 m de ancho, disponiendo calles en los laterales para el acceso a las parcelas en estudio. (Figura 1).

En todos los tratamientos se realizó la siembra de soja (*Glycine max L.*) del grupo V- V $\frac{1}{2}$, de crecimiento indeterminado.

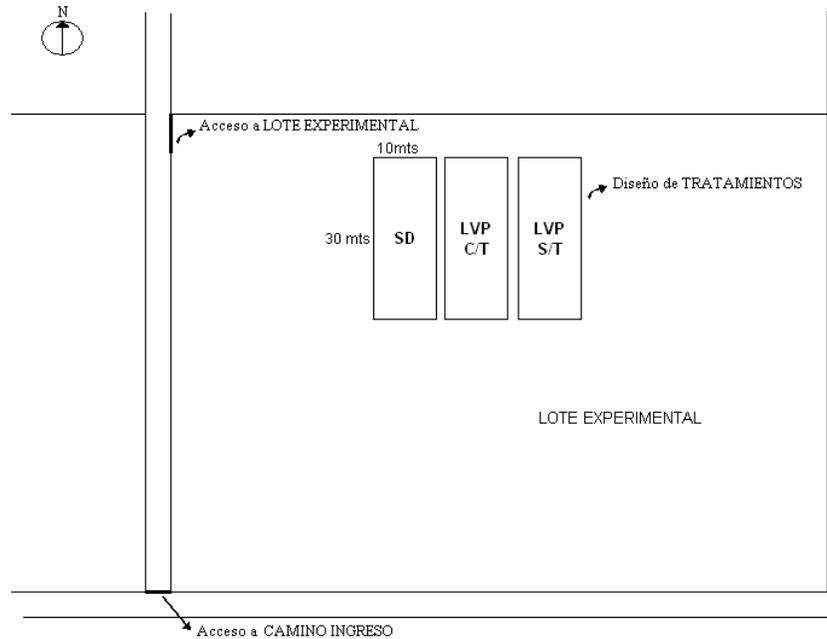


Figura 1: Ubicación y diseño de los tratamientos dentro del Lote experimental.

3.2.2 MOMENTOS DE EVALUACIÓN

En el tratamiento SD se tomaron datos previo a la realización de la siembra, que fueron tomados como el punto de partida previo a la labor de descompactación (INICIO) y en el tratamiento LVP se realizaron mediciones POSTLABOR, es decir inmediatamente luego de realizada la labor de escarificación profunda.

En los tratamientos SD, LVP C/T y LVP S/T, se tomaron datos, realizando muestras en distintos momentos del ciclo del cultivo:

- ✓ POST SIEMBRA (inmediatamente luego de realizada la siembra).
- ✓ V3-V4 (cultivo en estado fenológico V3-V4, con tres o cuatro hojas completamente desarrolladas).
- ✓ R1 (Cultivo en estado fenológico R1 o floración y posterior a realización de la operación mecánica de pulverización del cultivo).
- ✓ R3 (Cultivo en estado fenológico R3, comienzo de fructificación).
- ✓ POSTCOSECHA (posterior a la realización de la cosecha del cultivo).

3.3 EVALUACIONES

En los tratamientos (SD) y (LVP c/t y s/t) se estudiaron las siguientes variables edáficas:

-Se caracterizó el *perfil cultural* previo y posterior a la labor de subsolado, mediante la metodología propuesta por Gautronneau y Manichon (1987). La misma consiste en realizar una excavación en forma transversal a la dirección de la labranza de aproximadamente 0,40 m de profundidad por 1,20 m de ancho y 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 utilizadas fueron de 0,3 x 1,02 m, definiendo una superficie total de 0,306 m², 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 obtuvo el mapa del perfil cultural (Foto 4).



Foto 4: Imagen de la evaluación del Perfil Cultural mediante metodología de Gautronneau y Manichon (1987).

A partir de esta evaluación se diferenciaron desde el punto de vista de la estructura edáfica y hasta una profundidad de 0.30 m, cuatro capas de los siguientes espesores: CAPA 1 (0 m – 0,06 m), CAPA 2 (0,06 m – 0,09 m), CAPA 3 (0,09 m – 0,18 m) y CAPA 4 (0,18 m – 0,30 m). Estas capas se utilizaron como referencia para promediar los datos de cada variable, y realizar su análisis estadístico.

-Se evaluó la **Densidad Aparente** (DAP) del perfil cultural previa y posteriormente a la labor de subsolado, mediante una sonda de rayos gamma (Donald et al.,1991), hasta los 0,30 m de profundidad, con tres repeticiones dispuestas al azar, por cada tratamiento, realizando un promedio de datos teniendo en cuenta el espesor de las capas del perfil cultural (Foto 5).



Foto 5: Imagen de la sonda de rayos gamma utilizada para evaluar Densidad Aparente.

- Se calculó también la **Porosidad Total** (PT) mediante el método de Danielson y Sutherland (1986).

-Se midió la **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, posterior a la labor de subsolado (Foto 6).



Foto 6: Imagen del penetrómetro computarizado Eijkelkamp utilizado para evaluar Resistencia Mecánica.

Se tomaron 10 muestras al azar hasta una profundidad de 0,50 m, realizando un promedio de datos utilizando el mismo criterio que para el análisis estadístico de la DAP.

Para el estudio de la *persistencia de la labor profunda* se monitoreó la RM luego de cada una de las labores posteriores al subsolado, en los momentos que fueron descritos en el apartado 3.2.2, hasta una profundidad de 0.50 m, teniendo en cuenta el lugar de tránsito del rodado.

Para realizar el *análisis exploratorio del modelo digital de las curvas de iso-resistencia mecánica*, a partir del momento Post siembra, se realizaron mediciones de la RM hasta los 0,34 m de profundidad siguiendo una transecta dispuesta transversalmente a la dirección de la labranza, describiendo un intervalo de 0,15 m entre medición y medición. Con los datos se obtuvieron mapas tridimensionales de iso-resistencia mecánica tanto en profundidad, como en sentido transversal a la dirección de la labor, mediante la ayuda del Software SURFER (Golden Software, 1996).

En cada medición se extrajeron muestras de suelo mediante barreno para la determinación de la *humedad gravimétrica* hasta igual profundidad que para RM, con el objetivo de lograr una mejor interpretación de los datos de esta variable.

3.3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con muestras al azar por cada tratamiento y por momento de muestreo. Los datos obtenidos se analizaron

estadísticamente mediante el programa INFOSTAT (2002) y realizando comparaciones múltiples mediante el Test de Tukey, tomando un nivel de significancia $p < 0.05$.

3.3.1.1. Análisis Exploratorio de datos

Se realizó un análisis exploratorio de datos de RM (no desde el punto de vista estadístico), a través de mapas de iso-resistencia mecánica, descrito en el apartado 3.3, con el objeto de monitorear su dinámica en el tiempo y en el espacio.

CAPITULO 4:

4. RESULTADOS

4.1. PERFIL CULTURAL

La evaluación del perfil cultural al momento INICIO (SD) mostró una sectorización distribuida de manera vertical, diferenciándose capas u horizontes antrópicos con diferentes características: H0, H1, H6 y H8 (Figura 2).

H0, corresponde a la superficie del perfil de suelo que se caracterizó por tener elevado contenido de suelo suelto, apedal y la presencia de rastros del cultivo antecesor (maíz).

H1, correspondió a la capa ubicada por debajo de **H0**, de unos tres centímetros de espesor aproximadamente, caracterizada por la presencia de agregados de 0,02 m de ancho x 0,04 m de largo promedio, medidos a campo y al azar, con caras lisas, poco rugosas, sin porosidad visible, cohesivos en seco, correspondiendo a un estado interno de los agregados “ Δ ”, lo que según De Battista *et al.* (1992 - 1993), sería un indicador de deterioro de la estructura. Desde el punto de vista de su 2° nivel de organización estructural, dichos agregados presentaron una disposición fragmentaria “F”, es decir, en la que es posible individualizarlos claramente.

Por debajo de la capa **H1**, pudieron observarse las capas **H6** y **H8**. Ambas correspondieron a capas densificadas, comúnmente denominadas "piso de rastra" y "piso de arado" respectivamente, por corresponder a las profundidades normales de trabajo 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. En **H6**, de un espesor aproximadamente de 0,06 m, se observó la presencia de agregados de mayor tamaño medio que en **H1**, 0,03 m de ancho x 0,05 m de largo aproximadamente, con un estado interno “ Δ ”, soldados pero fácilmente discernibles “SF”.

En **H8**, ubicada por debajo de **H6** y hasta la profundidad de análisis (0,30 m), los agregados mantuvieron el estado interno “ Δ ”, presentando gran tamaño, aproximadamente entre 0,06 m de ancho x 0,10 m de largo, según la medición realizada a campo a partir de terrones tomados al azar. Los agregados se dispusieron de manera

difícilmente discernibles entre sí “SD” a masiva “M”, es decir presentándose como un bloque casi continuo, con escasas fisuras en donde se apreciaron raíces confinadas (Foto 7) y que se parte arbitrariamente según la dirección de la fuerza que se aplique (Porta *et al.* , 1994).



Foto 7: Imagen de bloque angular donde se aprecian raíces en los planos de debilidad del mismo.

Del análisis particular de las características de las capas H6 y especialmente H8, se evidenciaría el marcado estado de deterioro que presenta el estado estructural del suelo hasta la profundidad estudiada. La presencia de terrones de gran tamaño indicaría condiciones de estructura no adecuadas para los principales procesos de interés agrícola, esto es la exploración radicular y la dinámica del agua y del aire.

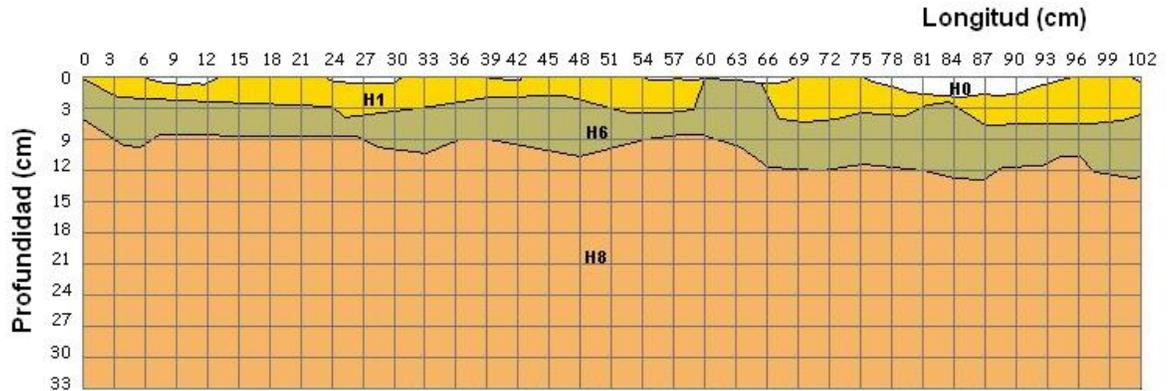


Figura 2: Capas en el perfil cultural en el momento INICIO en el Perfil SD.

Luego de la realización del tratamiento **LVP**, se analizó nuevamente el perfil cultural (Figura 3), observando la presencia de las siguientes capas:

H0, en superficie, con idénticas características descriptas para el tratamiento **SD**.

Por debajo de este sector se observó la presencia de las capas **H5** y **H5'**, correspondiendo a los sectores por donde pasaron las rejas y entre rejas, respectivamente. **H5** presentó abundante tierra fina y agregados, que si bien mantuvieron su estado interno “ Δ ”, se presentaron de manera fragmentaria “F”, pudiéndose individualizar claramente entre sí. El tamaño medido a campo en terrones tomados al azar, indicó una marcada reducción con respecto a la situación original **SD**, hallándose terrones de hasta 0.02 m de ancho y 0.05 m de largo. Con respecto a esto último, si bien se apreció este marcado cambio en el tamaño y disposición que presentaron las unidades estructurales luego de aplicar el tratamiento **LVP** (Foto 7), de acuerdo a lo planteado por Warkentin, 1988, citado por Porta *et al.* (1994), los procesos de interés para la agricultura relacionados con la retención de agua disponible para las plantas o la estabilidad de los agregados tienen lugar a nivel de meso y macro agregados, es decir en el tamaño que va desde los $5 \cdot 10^{-4}$ m y $5 \cdot 10^{-5}$ m. Por lo expuesto precedentemente, resultaría de interés profundizar en el estudio del cambio producido sobre la distribución de tamaños de agregados por efecto de la labranza profunda.



Foto 8: Unidades estructurales correspondientes a la misma profundidad del perfil previo y posterior a la descompactación (SD y LVP, respectivamente).

En este sentido, Cholaky (2003) evaluó el efecto de un escarificador descompactador sobre la distribución de tamaños de agregados en un suelo Haplustol típico, similar al de la presente experiencia, y observó que en el espesor correspondiente a la capa compactada la proporción de agregados menor a 11 mm pasó de un 11 % a un 60 % aproximadamente cuando la labor se realizó en condición de suelo friable.

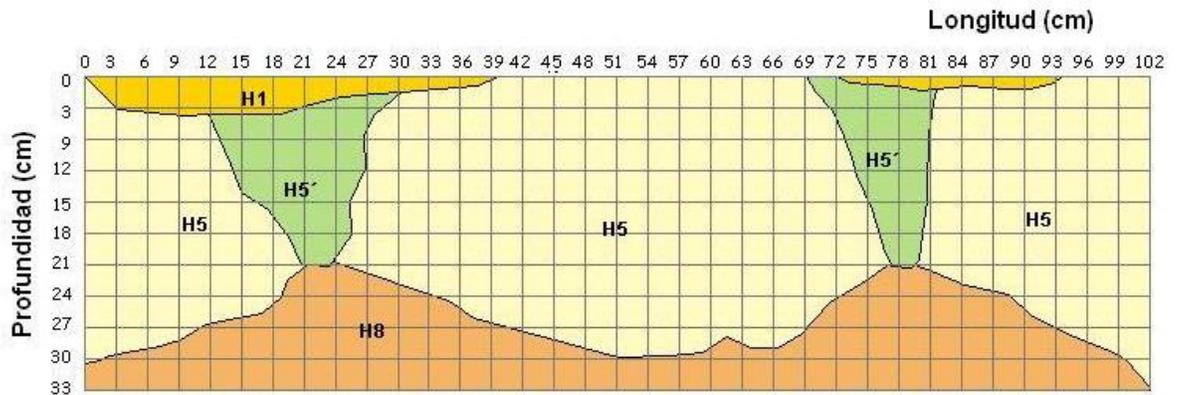


Figura 3: Capas en el perfil cultural POST-LABOR

En **H5'**, a diferencia de **H5**, se observó una tendencia a que los agregados se presentaran en estado fragmentario “F” a fácilmente discernibles “SF”, con un tamaño promedio, medido a campo y al azar, de aproximadamente 0.07 m x 0.05 m de largo y ancho respectivamente. Puede inferirse que la diferencia existente entre **H5** y **H5'**, podría deberse al efecto que ejerció la reja del implemento sobre la estructura de las capas originalmente denominadas **H6** y **H8**. En la Figura 3 puede observarse que **H5'** se

ubicó en la zona intermedia entre reja y reja del implemento, alcanzando una profundidad de 0.18 m aproximadamente, mientras que la reja profundizó hasta los 0.28 m, nivel hasta el cual se observó la capa H5. Esta diferencia podría atribuirse a una separación inadecuada entre reja y reja, lo que ocasionó que no alcanzara a solaparse completamente el efecto de fragmentación generado por cada una de ellas, así como a las características propias de la geometría del implemento utilizado.

Con respecto a lo primero, Balbuena *et al.* (2009) plantean que la separación entre órganos activos óptima para descompactadores es de $1,4 \pm 25 \%$ veces la profundidad de trabajo por lo que si se considera que en el equipo utilizado en esta experiencia la relación fue aproximadamente 2 : 1, se podría sostener que la separación fue excesiva, y por consiguiente quedaron sectores de la capa densificada sin fragmentar.

Con respecto a ello, Cholaky *et al.* (2005), trabajando con un suelo franco arenoso con un subsolador alado “reja cero”, observó que en el perfil cultural posterior a la labranza se diferenciaban sectores H5 y H5', siendo la diferencia entre ellos, no la profundidad de las capas, sino la abundancia de tierra fina.

H8, con similares características estructurales a las del perfil original, también fue observado en la evaluación post labor. Esta presencia no era esperable si se considera que la labor profunda debiera fragmentar la totalidad de la capa compactada (H8). Si bien, el espesor que presentó fue menor que en SD, su forma irregular indicaría que la profundidad de labor fue desuniforme e inadecuada. Esto podría estar asociado a lo planteado precedentemente en cuanto a la separación entre rejas del implemento o bien a la elevada resistencia que ofreció esta capa al paso del mismo.

4.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA LABOR DE SUBSOLADO SOBRE INDICADORES FÍSICOS DEL SUELO.

4.2.1 DENSIDAD APARENTE (DAP)

Al analizar la distribución de los valores promedio de DAP en la profundidad del perfil en los tratamientos SD y LVP, surge que la labor profunda produjo una disminución de la DAP en todo el espesor analizado (Gráfico 1).

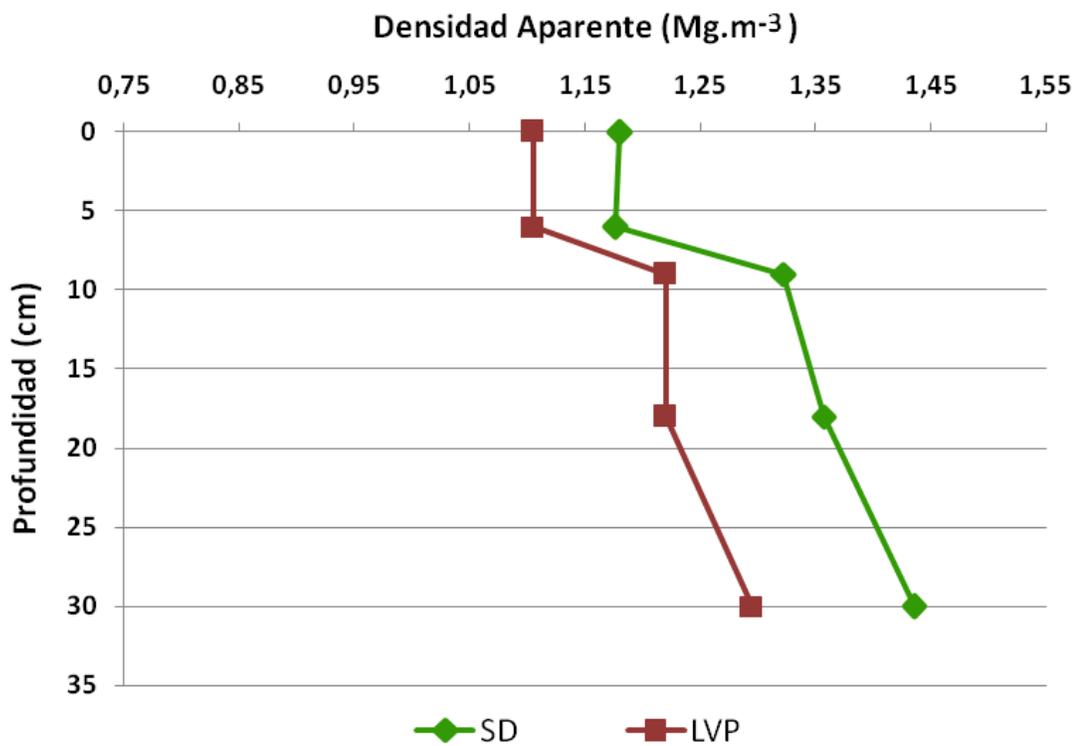


Gráfico 1: Perfil de Densidad Aparente en Siembra Directa (SD) y Labranza de descompactación Profunda (LVP).

El análisis estadístico de los valores de DAP para cada una de las capas del perfil cultural indicó que tanto en superficie como a partir de los 0,09 m hasta los 0,30 m, LVP presentó menores valores de DAP que SD, siendo estas diferencias estadísticas significativas. En la capa de 0,06 m – 0,09 m también la DAP de LVP mostró un valor inferior a SD, aunque esta diferencia no fue significativa (Tabla 1).

Tabla 1: Densidad Aparente de las capas del perfil cultural de Siembra Directa (SD) y Labor de descompactación Profunda (LVP).

Profundidad (m)	DAP (Mg . m ⁻³)		PT (%)	
	SD	LVP	SD	LVP
0 – 0.06	1.16 a	1.06 b	56	60
0.06 – 0.09	1.27 a	1.23 a	52	53
0.09 – 0.18	1.35 a	1.24 b	49	53
0.18 – 0.30	1.35 a	1.28 b	49	52

Letras distintas en las filas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

El cambio producido de LVP con respecto a SD en la DAP, fue de 8,6%, 3,15%, 5,18% y 8,15% en H1, H6, H7 y H8, respectivamente.

Estos resultados coincidirían en parte con los observados por Bonet *et al.* (2004) quienes evaluaron el efecto de un escarificador en un suelo Argiudol vértico de Santa Fé, y observaron una reducción significativa de la DAP hasta los 0,20 m de profundidad mientras que por debajo de ella la DAP no se modificó o se incrementó con respecto a SD, atribuyéndolo en ese caso al modo de fractura del suelo por presentar 21% de arcilla promedio. Según Balbuena *et al.* (2009) se habría trabajado a profundidad crítica y por lo tanto el patrón de fractura pasó de ser en “falla creciente” en el que se produce una desagregación total de la profundidad laboreada, al modo de “falla lateral” en el que se produce compactación hacia ambos lados de la reja del implemento.

Los valores de PT obtenidos a partir del escarificado profundo, fueron de la magnitud de los observados por Bonet *et al.* (2004) y por Cholaky (2003) quién evaluó una labor de descompactación con escarificador alado en un suelo Haplustol típico. Los cambios producidos en la DAP afectan directamente al espacio poroso y por lo tanto a los procesos físicos del suelo que regulan el crecimiento radical, la dinámica del aire, de la temperatura y la resistencia mecánica (Boone y Veen, 1994).

El efecto de la labor profunda sobre la DAP, podría también apreciarse al comparar el perfil promedio de distribución de esta variable para SD con el de los sectores de H5 (por donde pasó la reja) y H5' (entre rejas) correspondientes a LVP, observando que en todas las capas del perfil los valores de DAP fueron inferiores a los de SD (Gráfico 2).

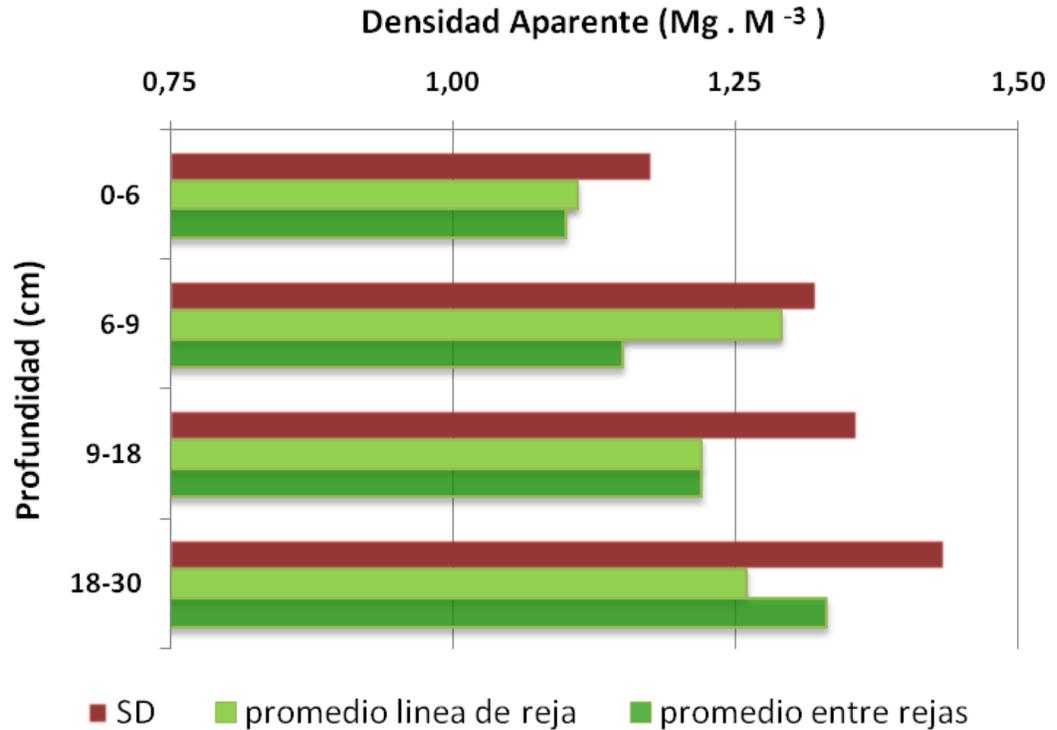


Gráfico 2: Perfil de Densidad Aparente en Siembra Directa (SD), Labranza de descompactación Profunda (sobre la línea de rejas) y Labranza de descompactación Profunda (entre la línea de rejas).

En todo el espesor analizado la DAP de H5 (sobre la línea de reja) fue menor a la de H5´(entre líneas de reja), aunque estas diferencias fueron pequeñas, especialmente en los espesores de 0,06 m - 0,09 m y de 0,09 m – 0,18 m donde la DAP de H5 y H5´ adquirió valores de 1,11 Mg . m⁻³ y 1,103 Mg . m⁻³ en la primer capa y de 1,29 Mg . m⁻³ y 1,16 Mg . m⁻³ en la segunda capa de H5 y H5´ respectivamente. Estas diferencias no fueron las esperadas, ya que las diferencias observadas en el grado de fisuramiento o fractura entre H5 y H5´, según el discernimiento realizado en el perfil cultural, los terrones se dispusieron de manera fragmentaria “F” en el primero y Soldados fácilmente discernibles en el segundo.

En el espesor comprendido entre 0,18 m y 0,30 m la variación entre la DAP de H5 y H5´fue mayor alcanzando valores de 1,26 Mg . m⁻³ y 1,34 Mg . m⁻³ respectivamente. Este comportamiento podría ser atribuido a que en H5, a esta profundidad, pasó el órgano activo de la herramienta ocasionando un elevado grado de aflojamiento, mientras que en los sectores correspondientes a H5´, aun después de la labor profunda, aparecían sectores H8 no removidos por ella que ocasionaron mayor valor de DAP que en el resto de H5´ supra adyacente.

Si bien se encontraron diferencias entre los valores de DAP para SD y LVP, y se atribuyeron distintas razones que justifican las mismas, en la mayoría de los casos los valores de DAP no superaron los 1,55Mg/m³, que Vepraskas (1998) encontró como valor limitante para el crecimiento radical para suelos con características texturales similares a las del suelo en estudio. Por su parte, Giardinieri *et al.* (2004), trabajaron en un suelo Haplustol óxico, estudiando la influencia de la DAP sobre el crecimiento radical de maíz y de soja y encontraron que para ambos cultivos la densidad de 1,5 Mg. m⁻³ disminuye un 30% el peso seco de raíces y densidades de 1,7 Mg. m⁻³ afectan a la soja, produciendo la curvatura de la raíz y una disminución del peso seco de raíces de 57% aproximadamente.

En relación a lo precedente, se debe resaltar que los valores de DAP correspondientes al tratamiento LVP analizados en el presente trabajo fueron medidos inmediatamente después de la labor profunda, por lo que de acuerdo a los resultados obtenidos por Franzlvebbers *et al.* (2007) sería necesario monitorear esta variable a través del tiempo, ya que estos autores observaron que en suelos de textura franco arenosa y franco-arcillo-arenosa trabajados con un escarificado profundo tipo paraplow, se producía reconsolidación estructural durante el primer año posterior a la labranza.

4.2.2 RESISTENCIA MECÁNICA

El perfil de resistencia Mecánica en profundidad evidenció que hubo un marcado efecto de la labor de escarificado profundo hasta una profundidad aproximada de 0.28 m, al compararlo con el de SD (Gráfico 3), coincidiendo con lo observado por diversos autores, entre ellos Cisneros *et al.* (1998) y Cholaky *et al.* (2003) en suelos de textura franca arenosa representativos del centro sur de la provincia de Córdoba, así como los de Simoes *et al.* (2009) en suelos Ultisoles franco arenosos del sudeste de los E.E.U.U.

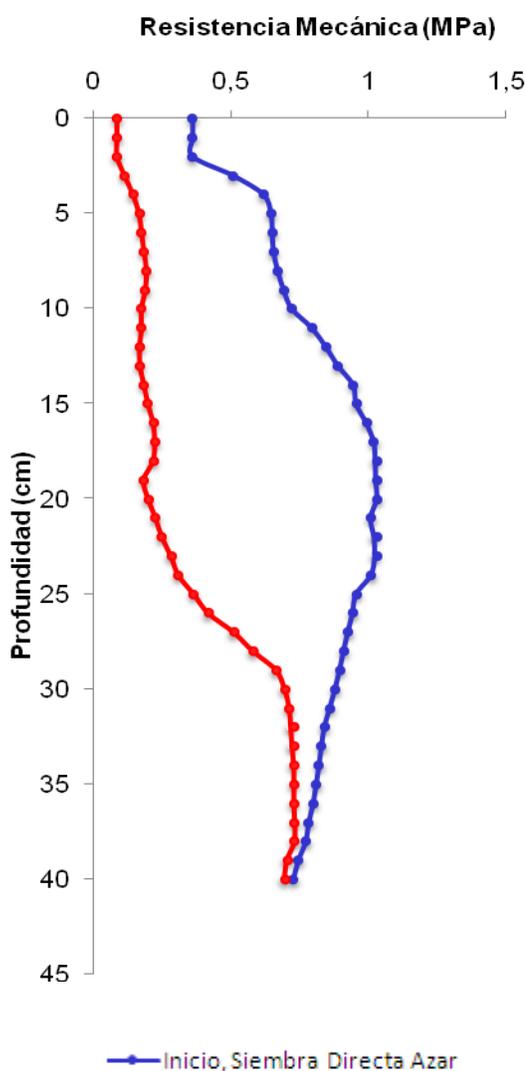


Gráfico 3: Perfiles de Resistencia Mecánica en Siembra Directa y Labranza de descompactación profunda LVP al Inicio.

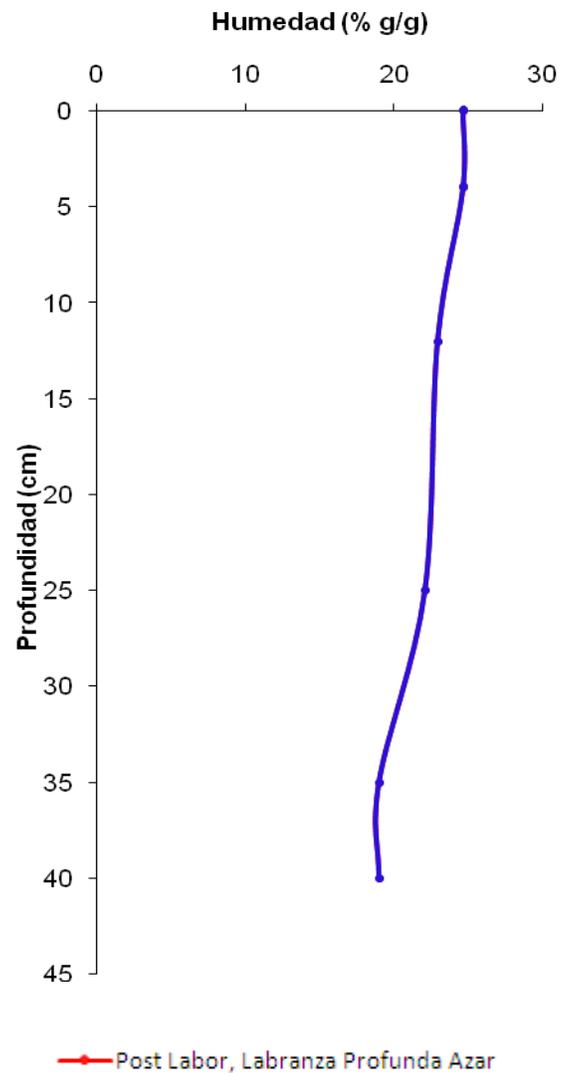


Gráfico 4: Perfiles de Humedad en Siembra Directa y Labranza de descompactación profunda LVP al Inicio.

A pesar de presentar estos perfiles similar contenido de agua promedio, el efecto de la labranza se vio más marcado entre los 0,12 m y los 0,28 m, espesor en donde se midieron valores de hasta 0,2 MPa para LVP y de hasta 1,2 MPa para la situación SD. A partir de esta profundidad, la diferencia en cuanto a valores de RM para ambos tratamientos comenzó a ser más estrecha, alcanzando valores de 0,6 MPa en LVP y valores de 0,8 MPa en SD (Gráficos 3 y 4).

En el espesor de 0,18 m hasta 0,25 m aproximadamente en SD, el perfil mostró la presencia de una capa compactada en la cual la RM alcanzó valores iguales o mayores a 1 MPa, coincidiendo con lo hallado en la evaluación del perfil cultural (capa H8). Si bien estos valores de RM no son limitantes para el desarrollo radical (Oussible *et al.*, 1992), su dinámica temporal y espacial, debería tenerse en cuenta en el manejo cultural del cultivo debido a la estrecha relación entre RM y Humedad, tal cual lo observado por Bonadeo, (1997); Cholaky, (2003) y Uberto *et al.* (2004), para suelos con similar textura que el de la presente experiencia.

La diferencia en la RM es atribuida al efecto de la labranza ya que la Humedad era similar en ambos tratamientos (23,19 % gr/gr) en los primeros 0.28 m del perfil.

El Análisis Estadístico ($p < 0.05$) de los resultados de RM del espesor correspondiente a cada una de las capas del perfil cultural en el momento Inicio sugiere que al incorporarse la operación de escarificado entre de las labores culturales para del manejo de un cultivo de soja, se mejora la condición física general del perfil hacia menores valores de RM que en un suelo sin labranza profunda, habiendo diferencias significativas entre SD y LVP (Tabla N° 2). Este comportamiento coincide 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.

Tabla 2: Valores promedio de Resistencia Mecánica de las capas del perfil cultural en los tratamientos Siembra Directa (SD) y labranza de descompactación profunda (LVP) en el momento Inicio.

<i>Profundidad (m)</i>	<i>SD</i>	<i>LVP</i>
<i>0 – 0.06</i>	<i>0.54 a</i>	<i>0.14 b</i>
<i>0.06 – 0.09</i>	<i>0.70 a</i>	<i>0.18 b</i>
<i>0.09 – 0.18</i>	<i>0.93 a</i>	<i>0.19 b</i>
<i>0.18 – 0.30</i>	<i>0.96 a</i>	<i>0.43 b</i>

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

4.3 EVALUACIÓN DE LA PERSISTENCIA DE LA LABOR DE SUBSOLADO

4.3.1. COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA ENTRE TRATAMIENTOS

Al evaluar la persistencia del aflojamiento producido en LVP con respecto a SD, se pudo observar que en cada uno de los momentos analizados, LVP presentó menores valores de RM que SD en las distintas capas del perfil cultural (Tabla 3).

En pos siembra, la tendencia observada al inicio se mantuvo entre los tratamientos. El contenido hídrico de ambos perfiles presentó pequeñas variaciones entre sí, por lo que las diferencias halladas en la RM de todo el espesor analizado pueden ser atribuidas al efecto de la labor.

En V3 – V4, LVP presentó valores de RM más bajos que SD hasta los 0,18 m resultando diferentes desde el punto de vista estadístico, solo en las capas comprendidas entre los 0,06 m – 0,09 m y 0,09 m – 0,18 m de profundidad con valores en LVP iguales o inferiores a 1MPa, mientras que en SD alcanzaron valores de hasta 1,5 MPa. Este comportamiento, al igual que en los momentos anteriores, podría ser atribuido al efecto de aflojamiento producido por la labor en LVP, ya que este presentó un contenido de agua levemente inferior que SD (Tabla 3).

En el espesor inferior del perfil no hubo diferencias entre tratamientos.

En R1 el perfil de LVP se presentó algo más húmedo que el de SD, salvo en la capa más profunda, presentando LVP con tránsito y sin tránsito valores de RM significativamente inferiores que SD a excepción de la capa superficial, en donde LVP con tránsito no difirió de SD.

En la capa 0,18 m - 0,30 m, correspondiente al piso de labor del perfil original y al espesor por donde pasó el órgano activo del implemento, a pesar de que LVP presentó menor contenido de agua que SD, tanto en LVP con tránsito como en LVP sin tránsito, la RM fue aproximadamente un 50% inferior a la de SD, siendo estas diferencias estadísticamente significativas (Tabla 3).

Al comparar LVP con tránsito y LVP sin tránsito surge que la presión ejercida por el paso de la pulverizadora (único tráfico posterior a la siembra hasta este momento) produjo un incremento de la RM hasta los 0,18 m de profundidad, resultando significativamente superior la RM de LVP con tránsito en las capas de 0 m – 0,09 m y en la de 0,09 m – 0,18 m y levemente inferior entre 0,18 m – 0,30 m. Estos resultados serían coincidentes con los observados por

Glamuzina (2008), quién evaluó el efecto del tráfico agrícola sobre las propiedades físicas de un suelo Haplustol entico, encontrando que la compactación debida al tránsito se manifestó en los primeros 0,15 m de profundidad en el perfil.

Tabla 3: Resistencia Mecánica promedio y contenido de agua de cada capa del perfil cultural en Siembra Directa (SD) y en labranza de descompactación profunda (LVP) en distintos momentos del ciclo del cultivo.

<i>Espesor (m)</i>	Inicio (16/12/04)				
	RESISTENCIA MECANICA(MPa)			CONTENIDO DE AGUA (%)	
	SD	LVP		SD	LVP
0-0,06	0.54 a	0.14 b		24.6	
0,06-0,09	0.70 a	0.18 b		22.9	
0,09-0,18	0.93 a	0.19 b		22.1	
0,18-0,30	0.96 a	0.43 b		20.5	
	Postsiembra (23/12/04)				
0-0,06	0.71 a	0.31 b		20.2 ^a	18.8b
0,06-0,09	0.86 a	0.30 b		19.4b	20.7 ^a
0,09-0,18	1.01 a	0.44 b		19.1 ^a	19.1 ^a
0,18-0,30	1.09 a	0.70 b		18.3b	16.9 ^a
	Estadio fenológico V3-V4 (22/01/05)				
0-0,06	1.31 a	1.03 a		17.2b	12.0a
0,06-0,09	1.45 a	0.89 b		16.0b	15.0a
0,09-0,18	1.50 a	0.99 b		16.5b	14.8 ^a
0,18-0,30	1.23 a	1.24 a		16.8b	15.1 ^a
	Estadio fenológico R1 (01/03/05)				
		Con tránsito	Sin tránsito		
0-0,06	0.77 a	0.70 a	0.52 b	18.2 ^a	21.02b
0,06-0,09	1.12 a	0.70 b	0.37 b	17.5 ^a	19.42b
0,09-0,18	1.47 a	0.93 b	0.41 c	17.4 ^a	18.40b
0,18-0,30	1.52 a	0.79 b	0.81 b	16.5b	14.70 ^a
	Estadio fenológico R3 (28/03/05)				
		Con tránsito	Sin tránsito		
0-0,06	1.22 a	1.22 a	0.89 b	14.9b	12.6a
0,06-0,09	1.44 a	1.44 a	0.76 c	14.9b	12.3 ^a
0,09-0,18	1.60 a	1.43 a	0.93 b	14.5b	12.2 ^a
0,18-0,30	1.69 a	1.18 b	1.20 b	13.5b	11.8 ^a
	Postcosecha (27/06/05)				
		Con tránsito	Sin tránsito		
0-0,06	2.25 a	2.03 a	1.64 b	13.6b	12.7 ^a
0,06-0,09	3.34 a	2.71 b	1.93 c	13.6 ^a	13.1 ^a
0,09-0,18	3.16 a	2.27 a	1.53 b	13.5b	12.8 ^a
0,18-0,30	2.00 a	1.44 a	1.63 a	13.2b	12.2 ^a

Letras distintas en las filas indican diferencias significativas

(p<= 0,05)

En los momentos correspondientes a R3 y pos cosecha, en el perfil de suelo de ambos tratamientos, el contenido hídrico descendió, por lo que en los dos se produjo un incremento de

los valores de RM (Tabla 3).

En R3 el efecto del tránsito de la pulverizadora ocasionó que los valores de RM de SD y LVP no difirieran entre sí hasta los 0,18 m, alcanzando en ambos casos valores próximos a 1,5 MPa. Este comportamiento ha sido reportado por Raper (2005), quién sostiene que hay varios factores que predisponen a la compactación de los suelos: la textura, la baja resistencia que ofrecen los suelos recientemente descompactados, el contenido de agua edáfico en el que se produce el tráfico o el laboreo, el peso de los equipos agrícolas y el tránsito repetido por el mismo sector. En LVP con tránsito pudieron haber influido en el incremento de la RM varios de estos factores, especialmente los relacionados a la resistencia que ofreció el suelo recientemente descompactado, al peso del equipo pulverizador que ocasionó una compactación que se propagó hasta los 0,18 m de profundidad y a la condición de humedad edáfica en la que se produjo el tránsito.

Por otro lado es de resaltar que en el espesor de 0,18 m – 0,30 m a pesar del bajo contenido hídrico, la RM de LVP con tránsito fue significativamente inferior a la de SD, indicando que en este sector aún perduraba el efecto de aflojamiento producido por el escarificador alado.

Al comparar las situaciones con y sin tránsito se evidenció claramente el efecto de compactación producido por el paso de la pulverizadora, resultando la RM de LVP con tránsito significativamente superior a la de LVP sin tránsito en 27%, 47% y 35% en las capas de 0 m – 0,06 m, de 0,06 m- 0,09 m y de 0,09 m – 0,18 m, respectivamente. En el espesor más profundo - 0,18 m – 0,30 m – la RM en estos dos tratamientos no difirieron entre sí. Con lo analizado hasta este punto podría sostenerse que cuando no se produce tránsito posterior a la labor profunda, sus efectos perduran hasta el final del ciclo del cultivo con valores sensiblemente inferiores a los de la situación sin descompactación profunda, en donde la RM fue 27%, 47%, 42% y 29% mayor que en LVP sin tránsito, desde la primera a la cuarta capa del perfil cultural respectivamente. A pesar del bajo contenido hídrico del suelo los valores de RM no alcanzaron valores restrictivos o limitantes para el crecimiento radicular (Tabla 3).

En este sentido y considerando que los valores de RM hasta este momento del ciclo del cultivo en el tratamiento LVP y en especial en la situación LVP sin tránsito, fueron inferiores a 1 MPa, se puede sostener, de acuerdo a lo planteado por Brusscher *et al.* (2000), que el medio físico para el crecimiento y exploración radicular del cultivo de soja fue propicio para que se produjera un incremento en su rendimiento con respecto a SD, ya que según estos autores en un suelo arenoso franco subsolado se registraron aumentos en el rendimiento de este cultivo de al menos 1 Mg/ha por cada 0,1 Mpa de reducción en la RM desde 2 MPa hasta 0,9 MPa.

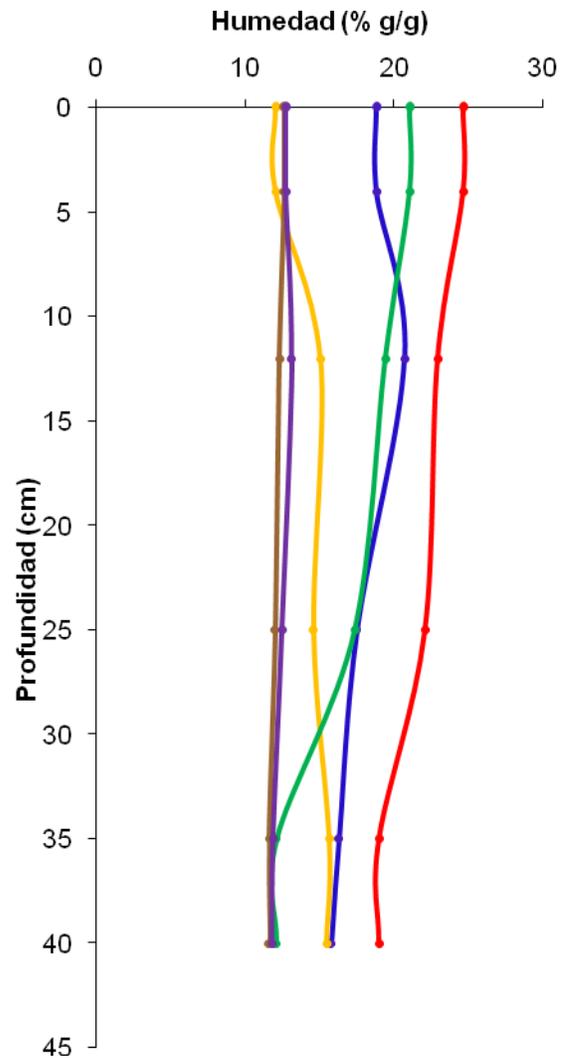
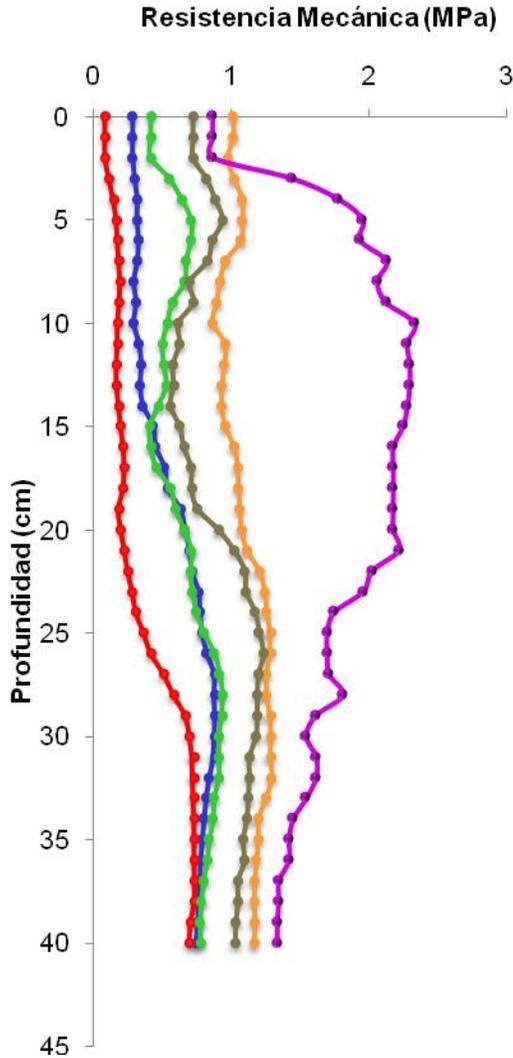
Posterior a la cosecha no hubo diferencias significativas en la RM registrada en SD y en LVP con tránsito, salvo en el espesor de 0,06 m – 0,09 m en donde este último tratamiento presentó menor RM que SD. Sin embargo en ambos casos hubo un efecto marcado del paso de la cosechadora sobre la RM del suelo, registrándose valores iguales o superiores a 2 MPa hasta los 0,18 m de profundidad, valor considerado umbral a partir del cual pueden ocasionarse inconvenientes para el desarrollo radicular. Si bien en este momento de evaluación el cultivo ya no ocupaba el lote, la incidencia de la operación de cosecha debería ser considerada en las decisiones de preparación del suelo para la cama de siembra siguiente. La situación de LVP s/t presentó valores de RM inferiores a LVP c/t y SD en todo el perfil estudiado que no alcanzaron los 2 Mpa, difiriendo significativamente solo hasta los 0,18 m de profundidad (Tabla 3).

Estos resultados difirieron con los hallados por Simoes *et al.* (2009) ya que si se considera el tiempo transcurrido entre la realización de la labor y el momento posterior a la cosecha, habrían transcurrido aproximadamente 7 meses observándose que al finalizar dicho período, los valores de RM en LVP con tránsito alcanzaron niveles restrictivos para el crecimiento radicular equiparándose incluso con los de SD, mientras que los autores mencionados observaron este comportamiento recién a los 11 meses posteriores a la labor. Los resultados obtenidos en LVP sin tránsito son coincidentes con los resultados informados por Cholaky (2003), quien en una situación sin tránsito posterior a la labranza de descompactación, observó que el efecto del descompactador alado persistió al menos durante el ciclo de un cultivo anual con valores de RM inferiores a los indicados como restrictivos o limitantes para el crecimiento radicular.

4.3.2. COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA ENTRE LOS MOMENTOS DE EVALUACIÓN.

En general y como era de esperar, la RM varió con la Humedad del perfil a lo largo del ciclo del cultivo.

En el tratamiento con escarificación profunda LVP, en Postsiembra, el perfil de RM de LVP (que no superó 1 MPa) presentó valores superiores a los valores de Inicio, pudiéndolos atribuir a la disminución de la humedad edáfica con respecto a aquel momento. En V3-V4, el perfil de RM presentó valores superiores a los de los momentos anteriores (Inicio y Post Siembra), que se aproximaron a 1 MPa por lo que, según Vepraskas (1988), no representaban inconvenientes para el crecimiento radicular. Este incremento también podría ser atribuido a la disminución del contenido hídrico del perfil con respecto al Inicio y a Postsiembra (Gráficos 5 y 6).



- Post Siembra, Labranza Profunda Azar
- V3-V4 , Labranza Profunda Azar
- R3, Labranza Profunda Azar
- Post Labor, Labranza Profunda Azar
- R1, Labranza Profunda Azar
- POSTCOSECHA, Labranza Profunda Azar

Gráfico 5: Perfiles de Resistencia Mecánica en Labranza de descompactación Profunda en los distintos momentos de medición.

Gráfico 6: Perfiles de Humedad edáfica en Labranza de descompactación Profunda en los distintos momentos de medición.

En R1, la RM presentó valores inferiores a los de V3-V4 y más próximos a los de post siembra, pudiendo deberse a un incremento en el contenido hídrico del suelo que alcanzó valores similares a los de post siembra.

En R3 el perfil de RM se incrementó levemente con respecto a R1, pudiendo deberse a una disminución en el contenido hídrico del suelo, constituyendo este el momento de menor

humedad durante el ciclo del cultivo en comparación con los momentos restantes en los que se realizó la medición (Gráfico 5 y 6).

Como puede observarse en el mismo gráfico, hasta R3 el perfil de RM mostró una forma similar a la del momento post labor, con valores inferiores a 1MPa hasta los 0.20 m de profundidad aproximadamente y levemente superiores a este valor a mayor profundidad. Este comportamiento indica que durante el ciclo del cultivo, a pesar de las variaciones en los valores de RM debidas a la humedad del suelo, el efecto del escarificado profundo se mantuvo, presentando valores no limitantes para el crecimiento radical.

En el momento Post Cosecha, el Perfil de RM adquirió los valores más altos de todo el ciclo de medición superando los 2 MPa en los primeros 0,20 m del perfil, a pesar de presentar similar contenido de agua que en el momento anterior (R3) debiéndose este incremento al tránsito realizado a la cosecha (Gráfico 5 y 6). Asimismo, el perfil de RM cambió su forma, asemejándose al perfil correspondiente a SD al Inicio (Gráfico 3).

Al realizar una comparación entre tratamientos surge que en Post siembra la RM de SD y LVP se incrementó con respecto al momento de Inicio y Postlabor, respectivamente (Gráfico 7). Este incremento podría ser atribuido a la disminución de la humedad (Gráfico 8) y en parte también se podría plantear que hubo un efecto del tránsito a la siembra, evidenciado por el mayor incremento en la RM de LVP que en SD, debido probablemente a la baja resistencia que opuso el suelo en este tratamiento al tránsito de la sembradora, argumento basado en lo recomendado por Spoor *et al.*(2003), quienes sostienen que para que el efecto de la labor de descompactación persista, el trabajo debe producir “fisuramiento” y no “roturación” ya que en el primer caso no se disminuye de manera drástica la capacidad portante del suelo ante nuevas cargas ejercidas por el paso posterior de tractores y máquinas agrícolas.

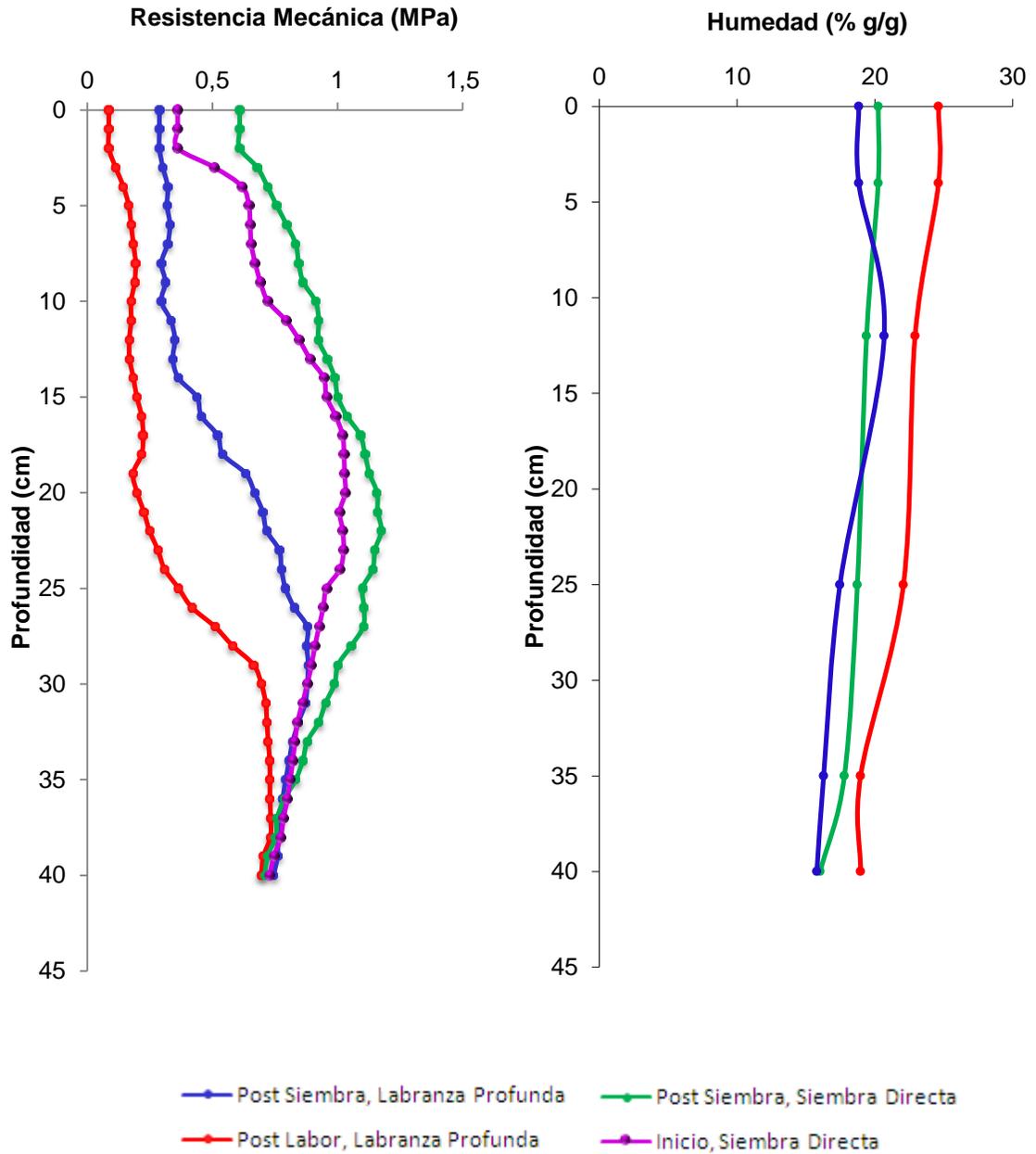


Gráfico 7: Perfil de RM en los momentos Inicio, Post labor y Post Siembra en ambos tratamientos.

Gráfico 8: Perfil de humedad en Inicio, Post labor y Post Siembra en ambos tratamientos.

A pesar de lo descripto precedentemente, en el espesor de 0 m a 0,25 m, en LVP la RM superó levemente 0,5 MPa y el perfil mantuvo una forma similar al correspondiente a Post Labor, mientras que en SD los valores de RM superaron levemente a 1MPa y el perfil mantuvo la forma del correspondiente al Inicio.

En V3-V4 también se apreció un incremento de la RM con respecto al Inicio y

Post labor en SD y LVP, respectivamente, pudiéndolo atribuir al descenso de la humedad, siendo este mas marcado en LVP que en SD (Gráficos 9 y 10).

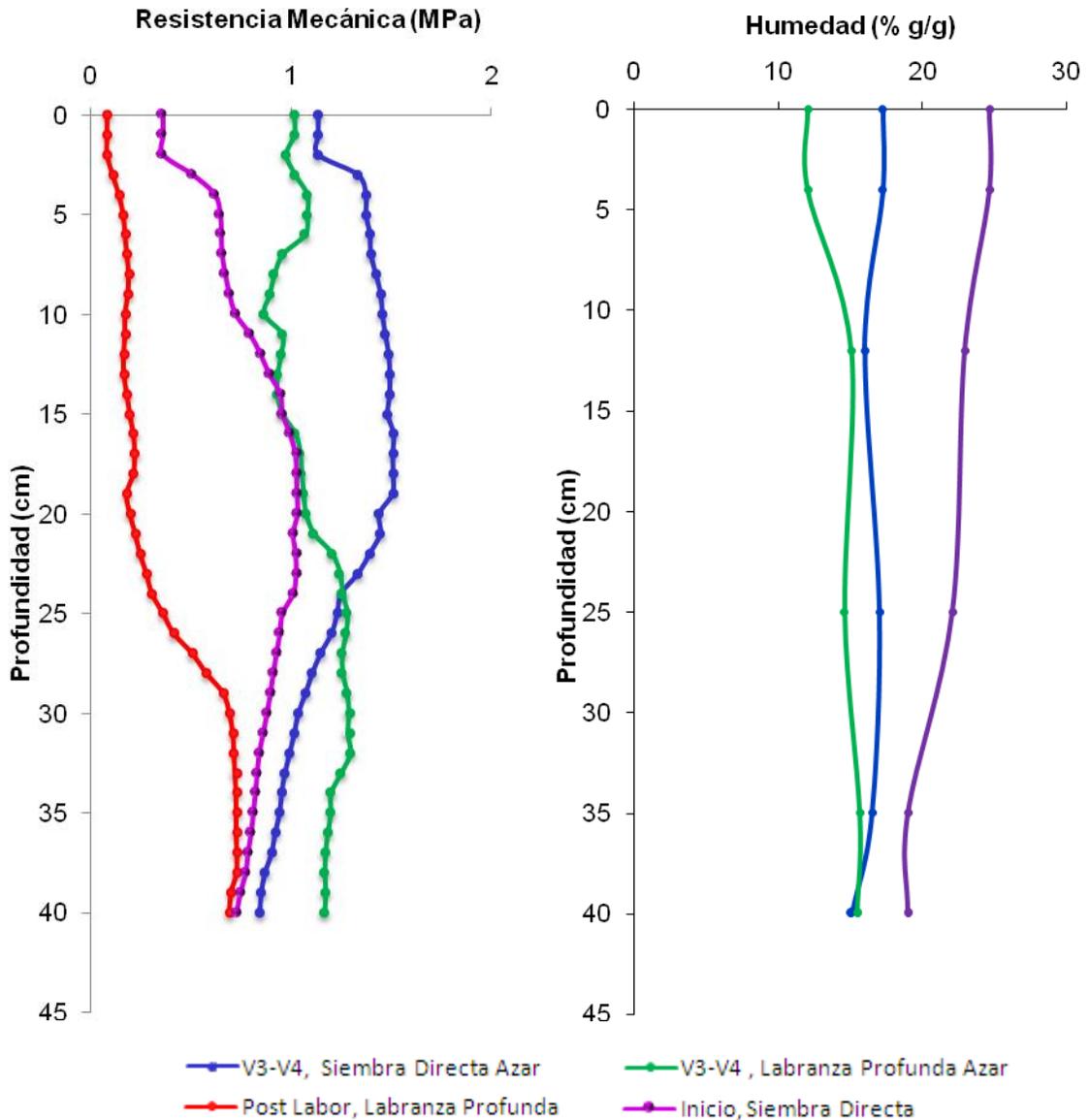


Gráfico 9: Perfil de RM en Inicio, Post labor y V3-V4 en ambos tratamientos.

Gráfico 10: Perfil de humedad en Inicio, Post labor y V3-V4 en ambos tratamientos.

De igual manera que en el momento de Postsiembra, el incremento observado en la RM fue mayor en LVP que en SD, atribuyéndolo también a la menor resistencia ofrecida por el suelo en LVP que en SD. Sin embargo, debido a que el contenido Hídrico de LVP fue inferior a SD, se podría sostener que el perfil de RM observado en los tratamientos también guardó relación con el efecto de la labranza profunda, ya que a pesar de presentar menor contenido hídrico que SD, la RM fue inferior a la de este

tratamiento (1MPa aproximadamente) y el perfil mantuvo la forma del Perfil de RM Post labor, mientras que en SD la RM alcanzó valores de hasta 1,4MPa (Gráficos 9 y 10). Resulta llamativo el incremento producido en la RM de LVP entre los 0,23 m y 0,35 m aproximadamente con respecto a las restantes situaciones, pudiendo deberse al menor contenido hídrico del perfil a esta profundidad, con respecto a las restantes situaciones.

En R1 la RM se comporto de similar manera que en V3-V4, pero el incremento de la RM fue menor con respecto al momento postlabor, atribuyéndolo a un menor descenso del contenido hídrico con respecto al momento inicial (Gráfico 11 y 12).

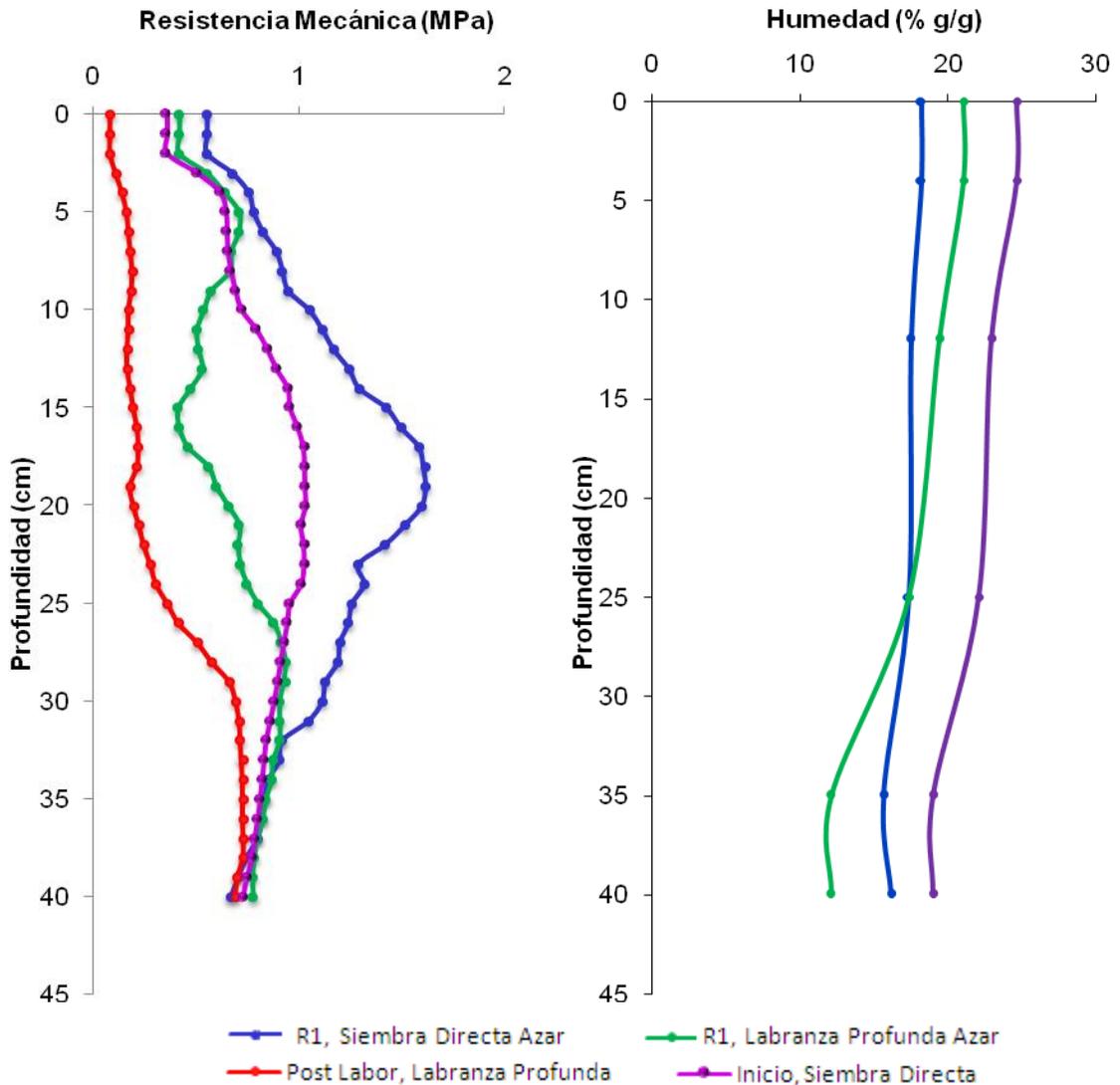


Gráfico11: Perfil de RM en Inicio, Post labor y R1 en ambos tratamientos.

Gráfico 12: Perfil de humedad en Inicio, Post labor y R1 en ambos tratamientos.

Los valores de RM en el espesor afectado por la labor fueron inferiores a 0,5 Mpa a excepción de los primeros 0,10 m en donde fueron levemente superiores y por debajo de los 0,25 m aproximadamente el perfil de RM de LVP se aproxima al de SD presentando valores superiores a 0,8 Mpa. Este comportamiento fue observado por Cholaky (2003) quien trabajó en suelo Haplustol Típico con un subsolador alado “reja cero” y puede ser atribuido a un proceso de recompactación o reacomodamiento natural del suelo.

El efecto del tránsito posterior a la siembra sobre la RM es evidente, tanto por incrementar los valores de RM como por el cambio en la forma del perfil de RM, haciendo que el mismo tienda a la forma del perfil de RM en SD en la situación inicial (Gráficos 13y 14). Esta variación puede ser atribuida al tránsito agrícola y no a la humedad edáfica, ya que ambas mediciones fueron realizadas a igual contenido hídrico.

En R3, en LVP, las tendencias en los perfiles de RM fueron similares a las observadas en R1, ya que los valores de RM variaron de 0,6 MPa entre los 0,07 m y 0,17 m alcanzando hasta aproximadamente 1,2 MPa a los 0,25 m de profundidad. En SD la variación fue menor alcanzando valores de hasta 1.6 MPa en el espesor correspondiente al Perfil Cultural (Gráfico 15 y 16).

En R3, el efecto del tránsito produjo similar tendencia en el perfil de RM que en el estadio anterior (Gráficos 19 y 20).

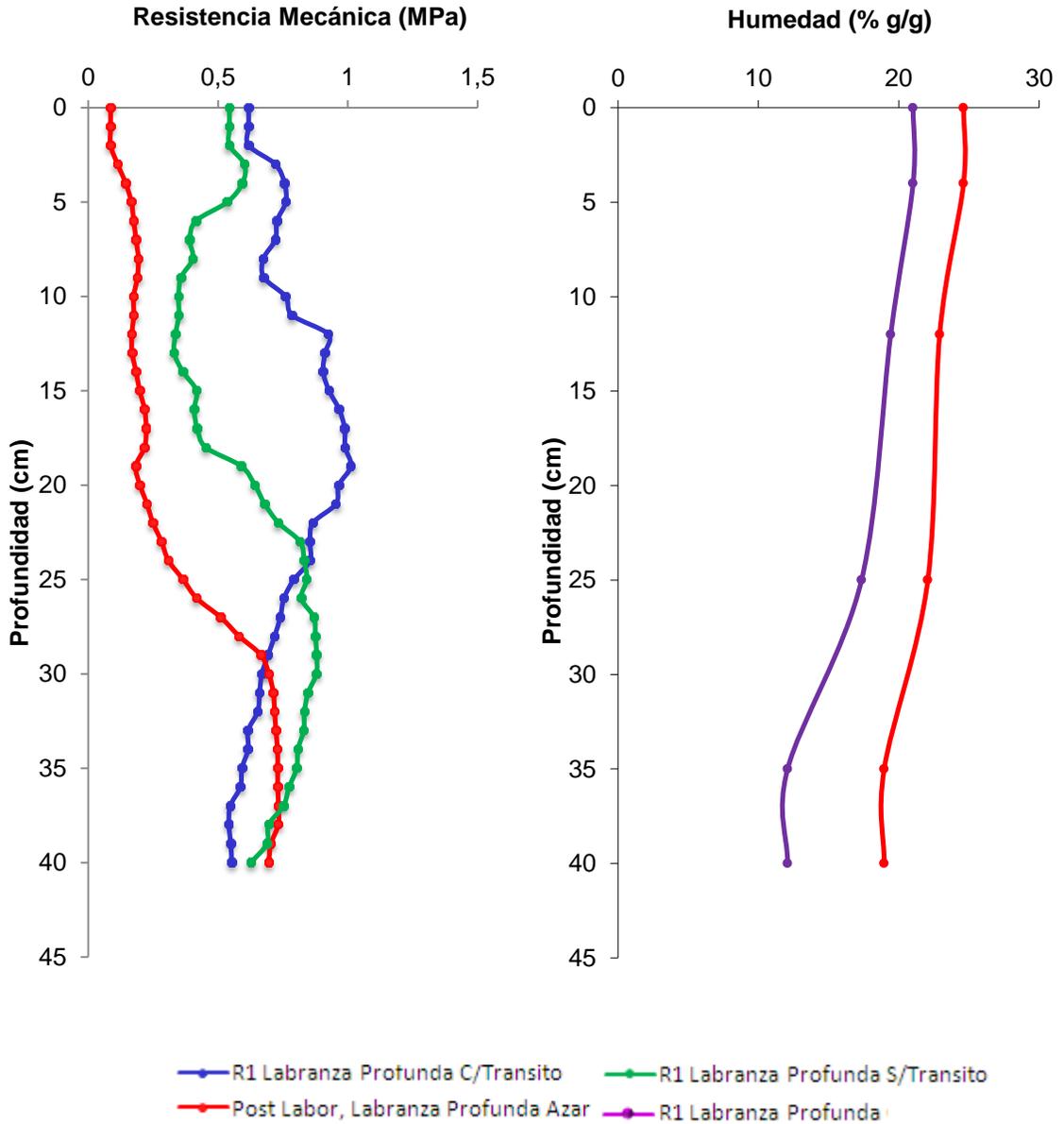


Gráfico 13: Perfil de RM en Post labor y R1 en labranza de descompactación Profunda con y sin tránsito en ambos tratamientos.

Gráfico 14: Perfil de humedad en Post labor y R1 en labranza de descompactación Profunda con y sin tránsito en ambos tratamientos.

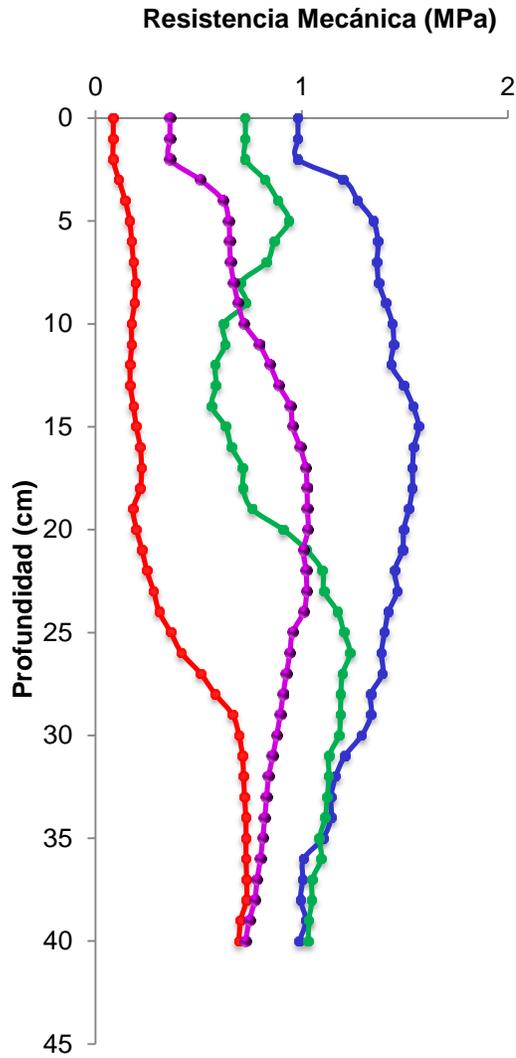


Gráfico 15: Perfil de RM en Inicio, Post labor y R3 en ambos tratamientos.

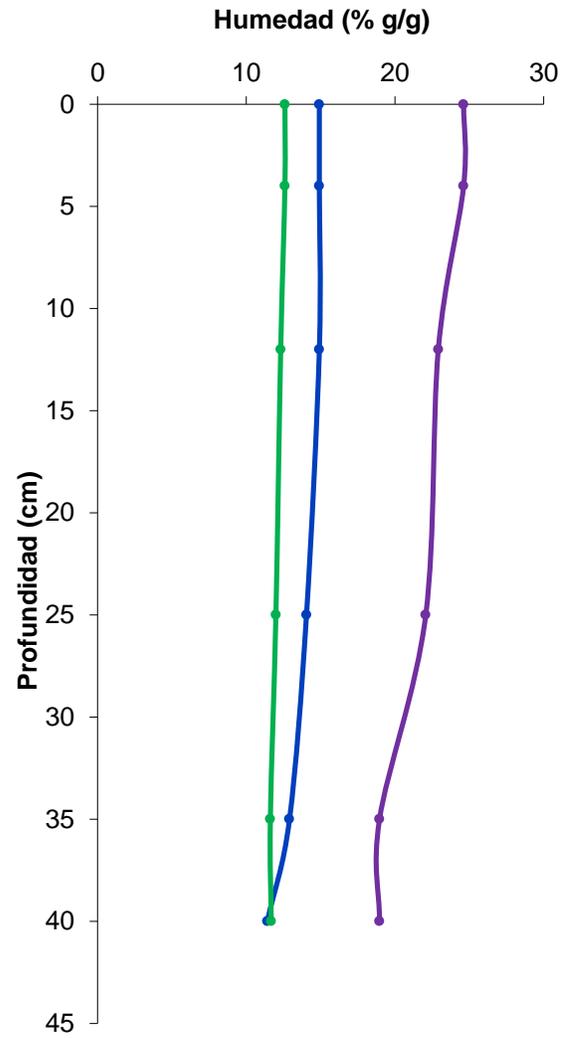


Gráfico 16: Perfil de humedad en Inicio, Post labor y R3 en ambos tratamientos.

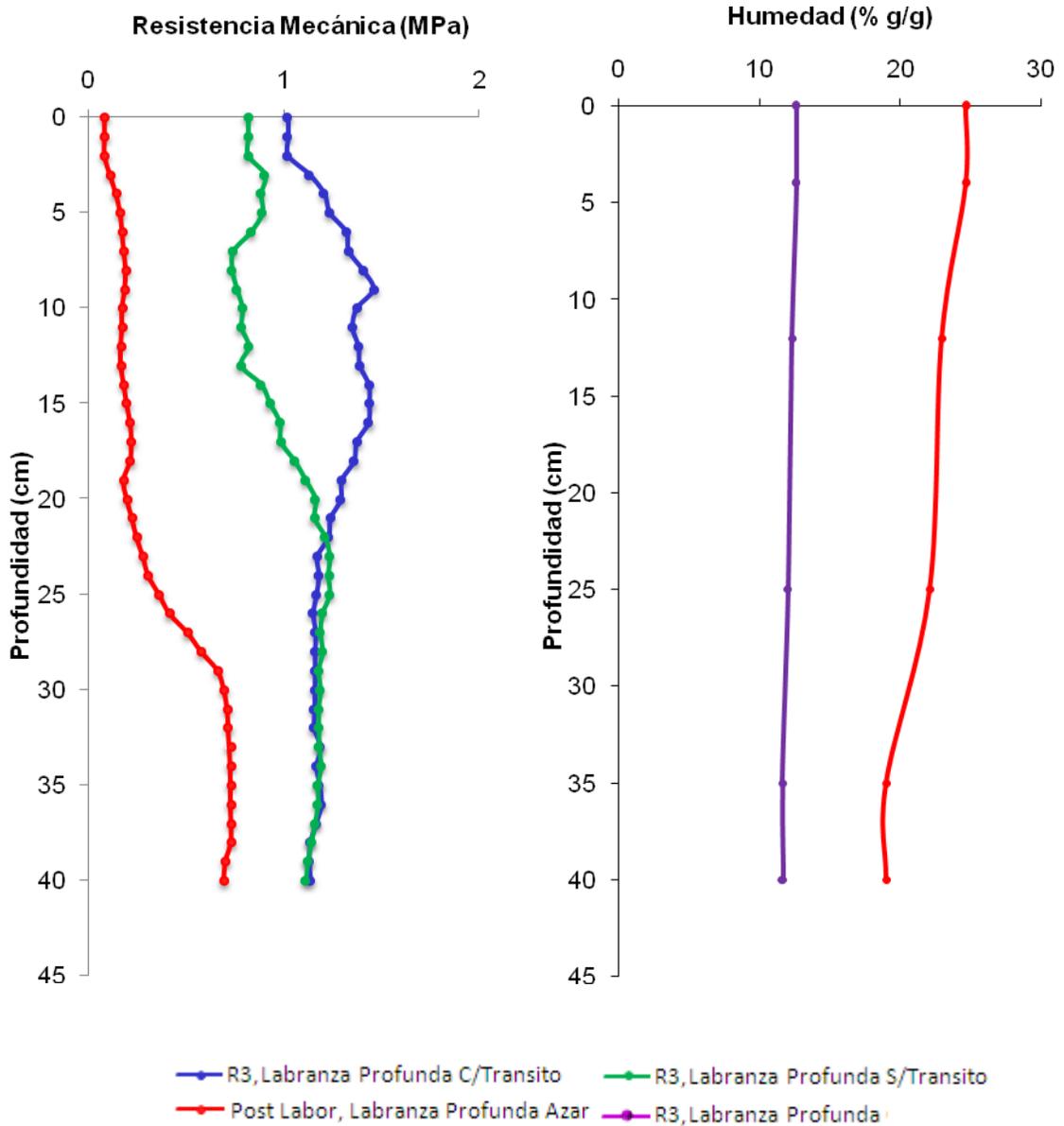
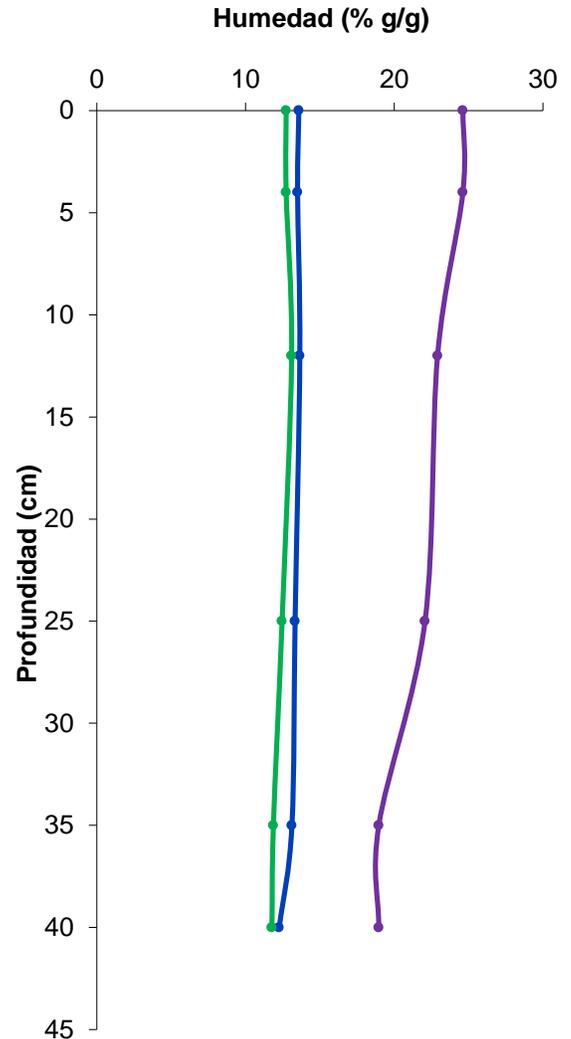
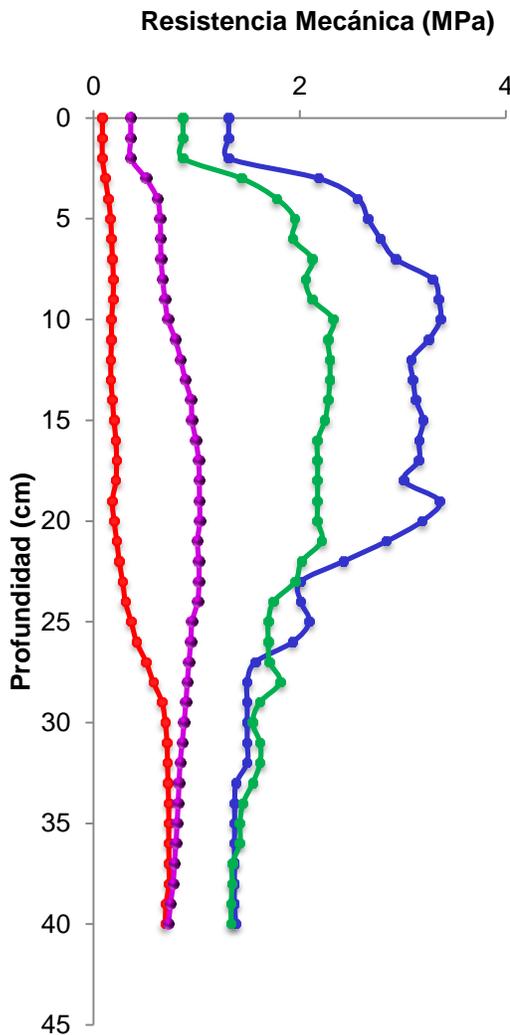


Gráfico 17: Perfil de RM en Post labor y R3 en Labranza de descompactación Profunda con y sin tránsito.

Gráfico 18: Perfil de humedad en Post labor y R3 en Labranza de descompactación Profunda con y sin tránsito.

En el momento posterior a la cosecha, en ambos tratamiento hubo un incremento marcado de la RM, alcanzando valores que superaron 2 MPa y 3 MPa en LVP y SD, respectivamente. Resulta interesante resaltar que a partir de este momento la forma del perfil de RM en LVP cambió, tendiendo a aproximarse a la forma del perfil de SD. Esta variación no puede ser solo atribuida al descenso marcado de la humedad, ya que la

misma se mantuvo en valores similares a los de R3, por lo que el cambio podría atribuirse al efecto del tránsito de la cosechadora. (Gráficos 19 y 20).



—●— POSTCOSECHA, Siembra Directa Azar —●— POSTCOSECHA, Labranza Profunda Azar
—●— Post Labor, Labranza Profunda —●— Inicio, Siembra Directa

Gráfico 19: Perfil de RM en Inicio, Post labor y Poscosecha en ambos tratamientos.

Gráfico 20: Perfil de humedad en Inicio, Post labor y Poscosecha en ambos tratamientos.

El tránsito de la cosechadora ocasionó que el perfil de RM de LVP alcanzara niveles y formas similares a los del perfil de RM de SD en la situación inicial (Gráficos 21 y 22). Esto podría estar asociado con el peso de cosechadora y carros tolveros, con la presión ejercida por el rodado y/o con el número de pasadas de estos implementos,

coincidiendo con lo planteado por Cerana *et al.* (2004), quienes sostienen que la cosecha probablemente sea la tarea de mayor agresión sobre el suelo.

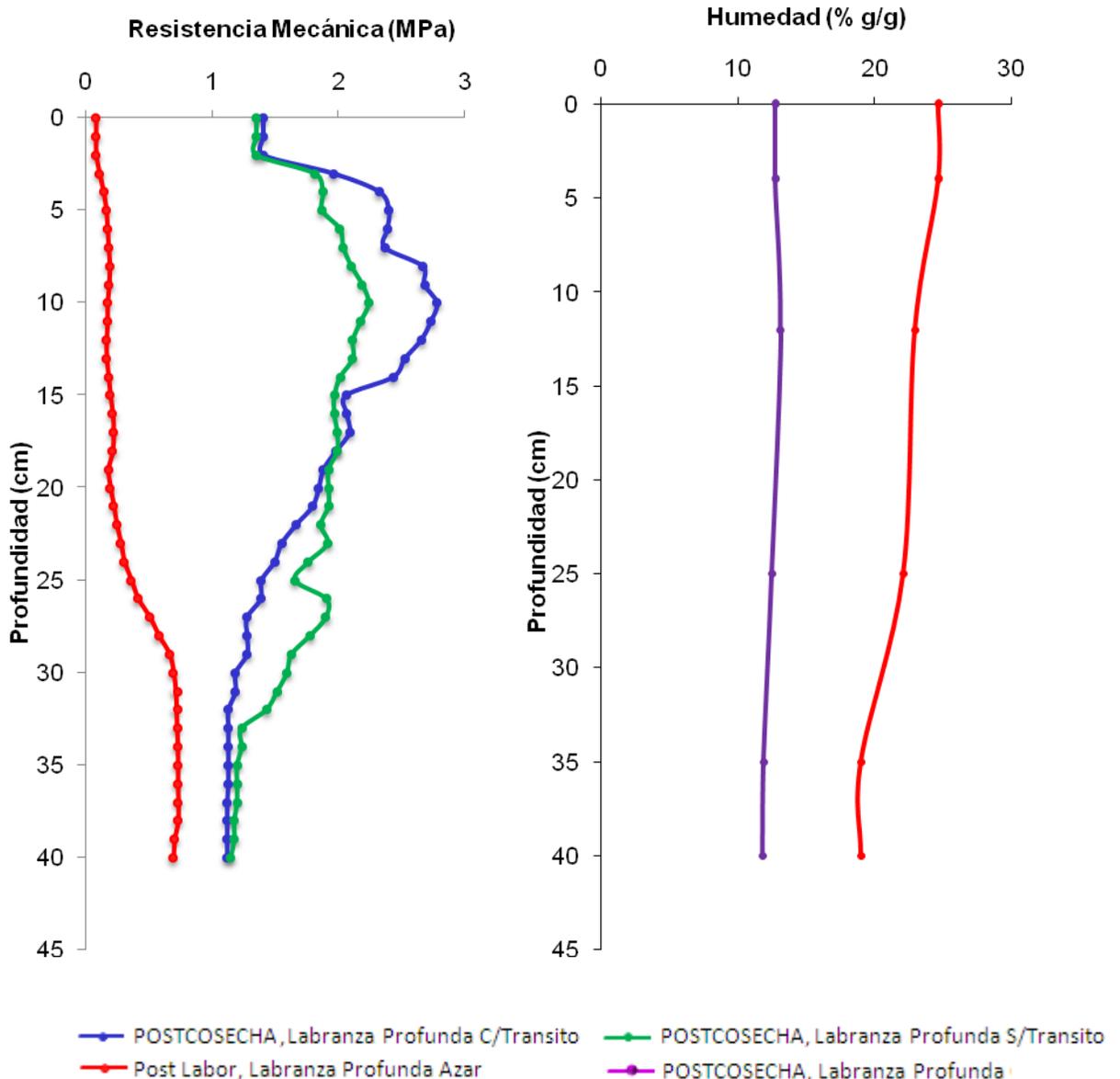


Gráfico 21: Perfil de RM en Post labor y Post cosecha en Labranza de descompactación Profunda con y sin tránsito.

Gráfico 22: Perfil de humedad en Post labor y Post cosecha en Labranza de descompactación Profunda con y sin tránsito.

La magnitud del cambio producido en la RM debido al tránsito de la cosechadora podría atribuirse a la carga total en el eje delantero de este equipo, que fue del orden de 12,74 Mg sin considerar el peso de la tolva cargada con el grano cosechado, superando ampliamente el valor de 4 Mg en el eje trasero del tractor que Botta *et al.* (2002) plantean como el peso máximo a partir del cual se incrementa la compactación

superficial. Asimismo, debería considerarse lo planteado por Hakansson (1987) en cuanto a que los tractores no representan el equipo mas pesado que transita por los suelos agrícolas, ya que los vehículos para transportar y distribuir fertilizantes y agroquímicos o para transportar granos, tienen pesos que exceden frecuentemente los 20 Mg.

Estos resultados llevan a sostener que el efecto depresor de la RM producido por la Labranza Profunda perdura a lo largo del ciclo del cultivo, evidenciando un cambio de comportamiento a partir del momento de cosecha. Sin embargo esta evolución requeriría que se pudiera realizar la medición a igual contenido hídrico que al inicio, de modo de poder descartar el efecto de la humedad sobre los resultados hallados.

4.3.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA RESISTENCIA MECÁNICA.

En SD, en el momento Postsiembra, a lo largo de toda la transecta estudiada se evidenció una capa relativamente uniforme en la profundidad entre los 0,15 m y 0,30 m en donde la RM alcanzó valores superiores o iguales a 1,30 MPa. Este comportamiento evidenció la presencia de la capa compactada identificada mediante el análisis de perfil cultural (Gráfico 23). La baja magnitud alcanzada por la RM en este momento está asociada al contenido de agua que presentaba el suelo en el mismo (19.3% g/g promedio del espesor).

En este momento surge claramente la intervención de las cuchillas de la sembradora, observándose a los 0,35 m y 0,87 m aproximadamente a lo largo de la transecta una disminución de los valores de la RM (menores a 0,70 MPa) hasta aproximadamente los 0,05 m de profundidad.

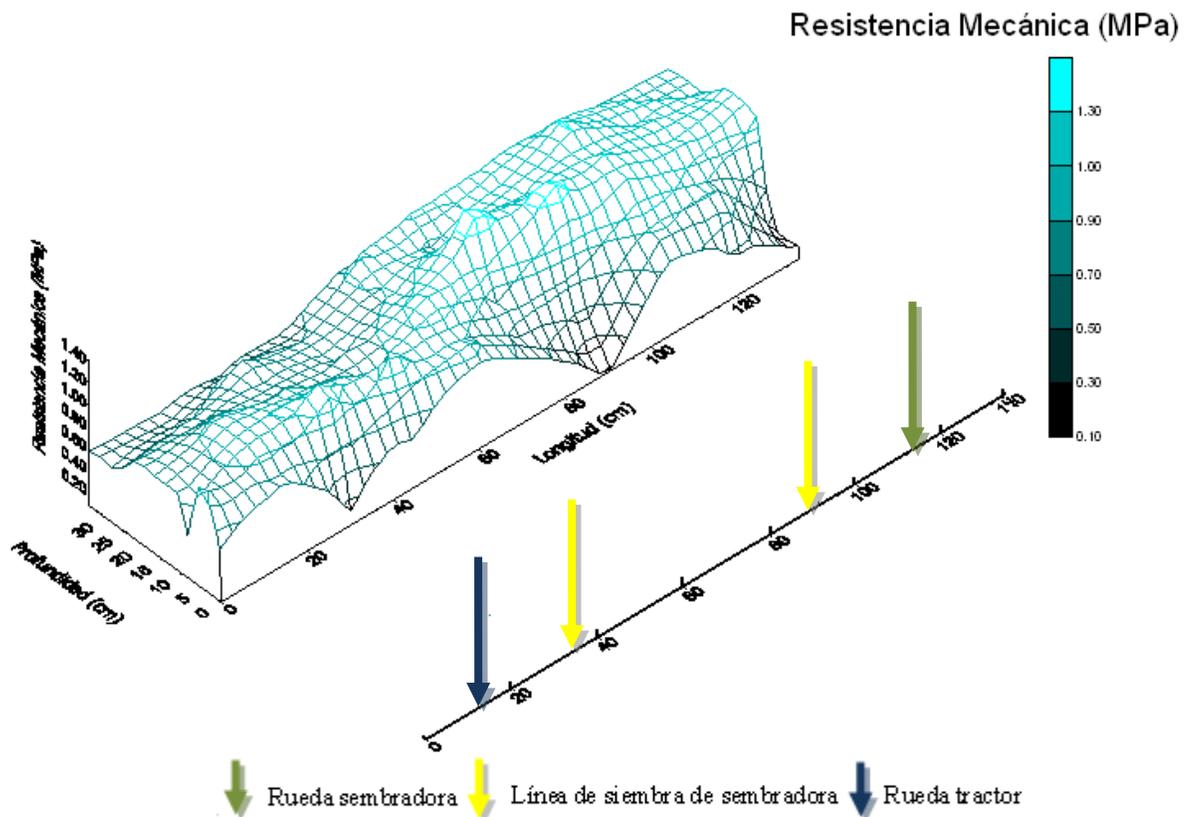


Gráfico 23: Mapa de distribución de la Resistencia Mecánica en el momento Post siembra en Siembra Directa.

la RM alcanzó los valores más bajos registrados en la evaluación. A los 0,10 m de la transecta y a partir de los 0,15 m de profundidad se produjo un incremento de la RM producto del tránsito de la rueda de la sembradora, aproximándose a 0,8 MPa.

En el momento R1 en el tratamiento SD se observó la capa uniforme entre los 0,15 m y 0,30 m de profundidad a lo largo de la transecta, formada por valores de RM iguales o superiores a 1,5 MPa (Gráfico 25). La humedad promedio existente en el perfil en el momento de análisis fue de 17,4% g/g.

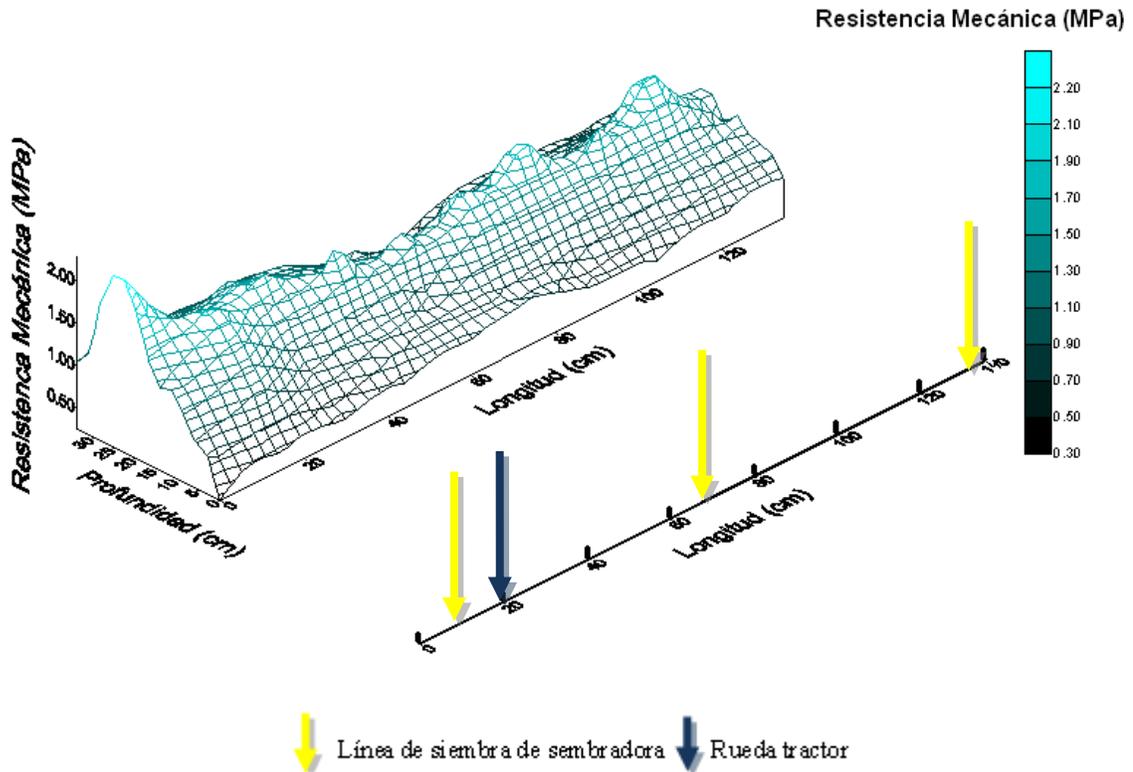


Gráfico 25: Distribución de la Resistencia Mecánica en R1 en Siembra Directa.

Si bien a partir de la observación a campo se identificaron las líneas de siembra a los 0,05 m, 0,65 m y a los 1,30 m, los valores de RM a lo largo de la transecta no mostraron variaciones en los primeros 0,5 m de profundidad, a diferencia de lo observado en Post Siembra. Esto podría deberse a un sellamiento del surco producido por el asentamiento natural del suelo producto de alguna lluvia ocurrida entre ambos períodos.

En LVP sin tránsito el efecto de la labranza profunda perduró hasta este momento (R1), que corresponde al estado fenológico del cultivo en el que sistema

radical ya se ha desarrollado completamente (Fehr y Caviness, 1977), (Gráfico 26). Este aspecto es de relevancia desde el punto de vista de la homogeneidad física del perfil, para la exploración de las raíces y la toma de agua y nutrientes del mismo. Según Gregory (1992) los principales factores que afectan generalmente el crecimiento radicular son: el contenido de humedad del suelo; la temperatura del suelo; el sistema de poros en el que pueden crecer las raíces, junto a la resistencia del efecto cortante y la compresibilidad del suelo; el suministro de oxígeno, el nivel de toxinas y patógenos en el suelo y el aporte de nutrientes. Muchos de estos factores interactúan con los demás hasta cierto punto de manera que, por ejemplo la compactación del perfil puede no solo reducir el tamaño medio de los poros sino también cambiar la aireación y el estado hídrico del mismo.

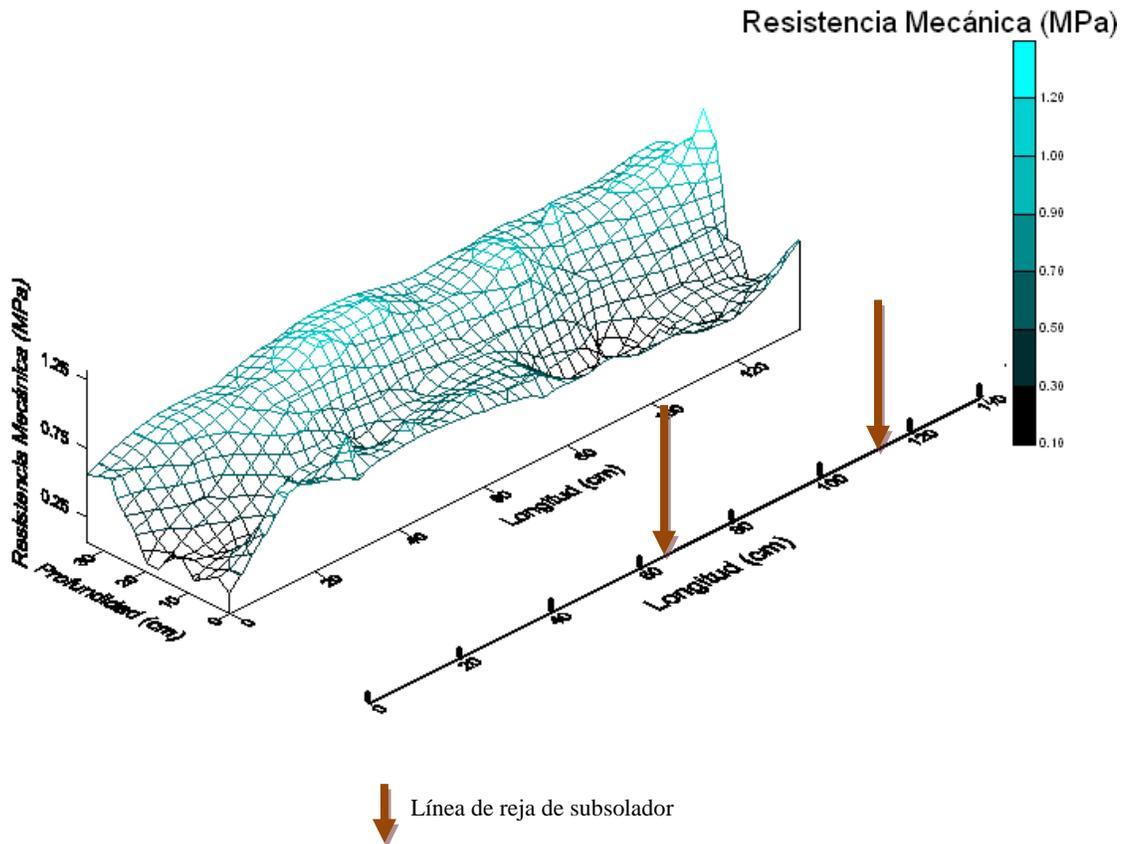


Gráfico 26: Distribución de la Resistencia Mecánica en R1 en Labranza de descompactación Profunda sin tránsito.

A partir de los 0,25 m los valores de RM fueron iguales o superiores a 1,20 MPa, siendo algo inferiores a los observados en SD para el mismo momento, posiblemente debido al mayor contenido de humedad promedio que presentó LVP con respecto a SD en el espesor (18,2% g/g).

En este momento aún perduraban los sectores de baja RM correspondientes a los sitios por donde pasaron las rejas del implemento (aproximadamente a los 0,45 m y 0,90 m de la transecta) en donde se aprecia un descenso de los valores de RM entre los 0,10 m y 0,20 m de profundidad. Si se considera el espesor de suelo aflojado en la Situación LVP post labor, se podría sostener que se ha iniciado un proceso de reconsolidación en el que los valores de RM comienzan a aumentar desde la parte inferior del perfil hacia la superficie, similar a lo observado por Cholaky (2003) en un suelo de similares características y desde la superficie hacia abajo tal cual lo observado por Baber (1994).

Esta reconsolidación, por tratarse de una situación sin tránsito luego de la labranza, puede atribuirse a la influencia de factores naturales como la ocurrencia de precipitaciones y a la inestabilidad de la estructura, asociados a procesos de humedecimiento y secado bajo la influencia de las raíces del cultivo de soja (Koolen y Kuipers, 1983). En este sentido Karter *et al.* (1996), sostienen que la desintegración de agregados debido a ciclos de humedecimiento, puede causar una rápida recompactación, especialmente en suelos de textura franco arenosa con alto porcentaje de limo, como el de la presente experiencia.

A pesar de este proceso de reconsolidación, es de resaltar que los valores de RM en la profundidad estudiada, no superaron a 1 MPa, por lo que esta variable no se tornaría restrictiva para el crecimiento radicular según Vepraskas (1988), quien plantea que a partir de 1,5 MPa la RM comienza a restringir el crecimiento radical y según Busscher *et al.* (1987), quienes sostienen que a partir de 2 a 2,5 MPa el crecimiento radicular se ve limitado. Sin embargo si se considera lo planteado por Rosolem *et al.* (1994), en cuanto a que a partir de 0,69 MPa se produce una reducción en un 50% del crecimiento radicular de soja, los valores hallados en esta experiencia podrían tornarse restrictivos.

Al analizar LVP con tránsito, se sigue evidenciando el efecto de la Labranza Profunda (Gráfico 27), ya que por ejemplo a los 0,45 m de la transecta, la RM presenta valores iguales o menores que 0,60 MPa hasta los 0,20 m de profundidad aproximadamente siendo inferiores a los observados en SD en igual momento y similar contenido hídrico.

Entre los 0,60 m y 0,80 m de la transecta se observó una zona en donde se produjo un incremento en la RM, alcanzando valores iguales o superiores a 1 MPa, coincidiendo con los sitios donde transitó la rueda del tractor (Gráfico 27), el cual pudo ser el causante de este incremento, tal cual lo informado por Raper (2005), para un suelo franco arenoso.

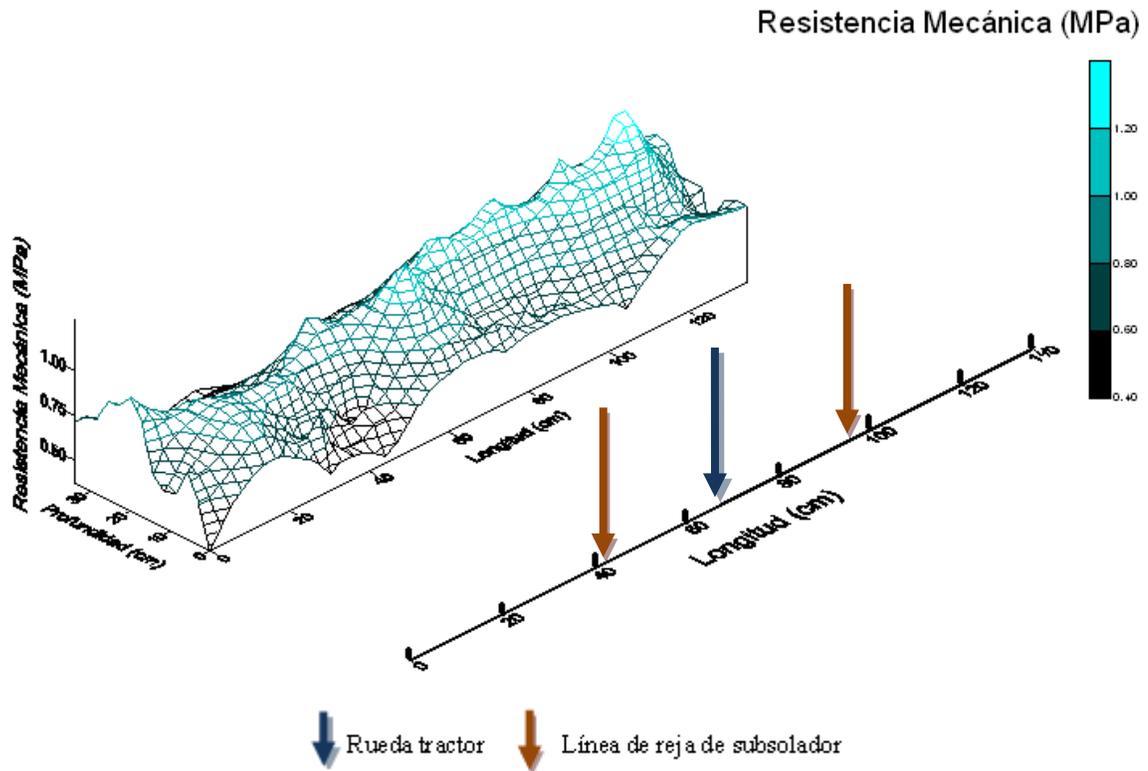


Gráfico 27: Distribución de la Resistencia Mecánica en R1 en Labranza de descompactación Profunda con tránsito.

De la misma manera que en el resto de los casos precedentemente descritos, a partir de los 0,20 m de profundidad se observa una capa uniforme en toda la longitud de la transecta con valores de RM iguales o superiores a 1,2 MPa, evidenciando el proceso de recompactación citado anteriormente.

En R3 la transecta analizada en SD evidenció una marcada uniformidad de los valores de RM en toda su longitud, especialmente en el espesor comprendido entre los 0,05 m y los 0,25 m, alcanzando una magnitud restrictiva para el crecimiento de las raíces (Gráfico 28). Entre los 0,10 m y 0,25 m de profundidad a lo largo de toda la transecta, nuevamente como para la situación inicial, se observó una capa con elevados valores de Resistencia Mecánica comparados con el resto de valores en profundidad (mayores a 1,5 MPa.) (Gráfico 28).

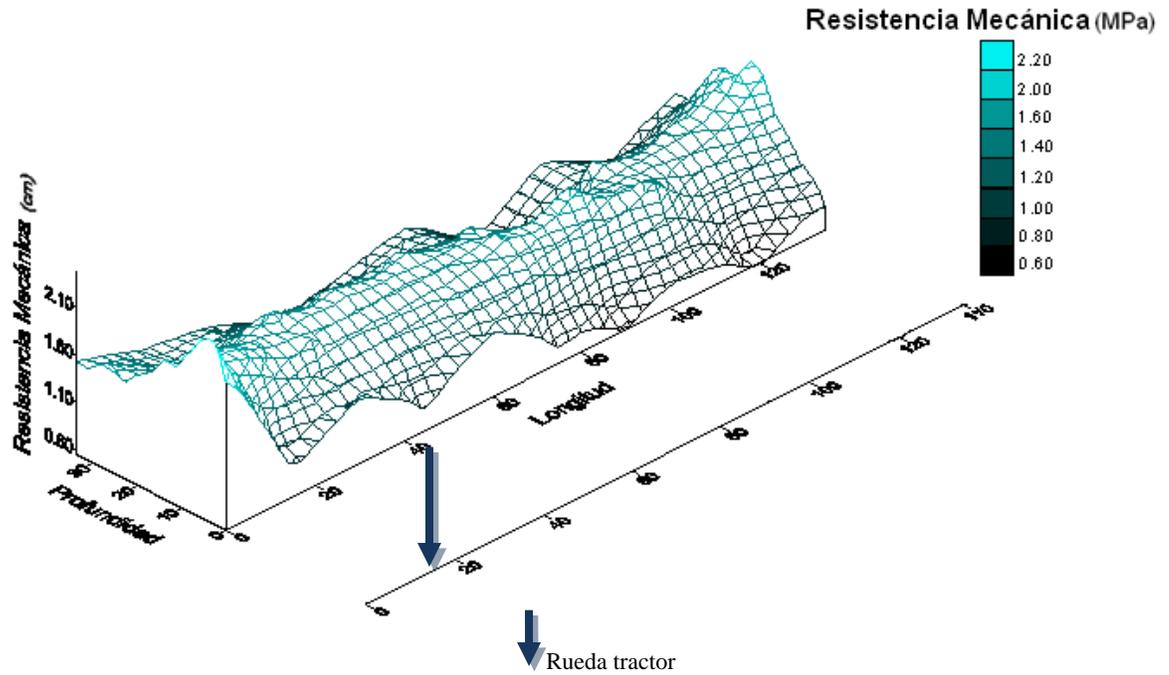


Gráfico 28: Distribución de la Resistencia Mecánica en R3 en Siembra Directa.

En LVP sin tránsito, si bien los valores de RM que se observaron en este momento fueron más elevados que los observados en R1, se observó que perduró el efecto de la Labor Profunda (Gráfico 29), apreciándose a lo largo de la transecta los sectores por donde pasaron las

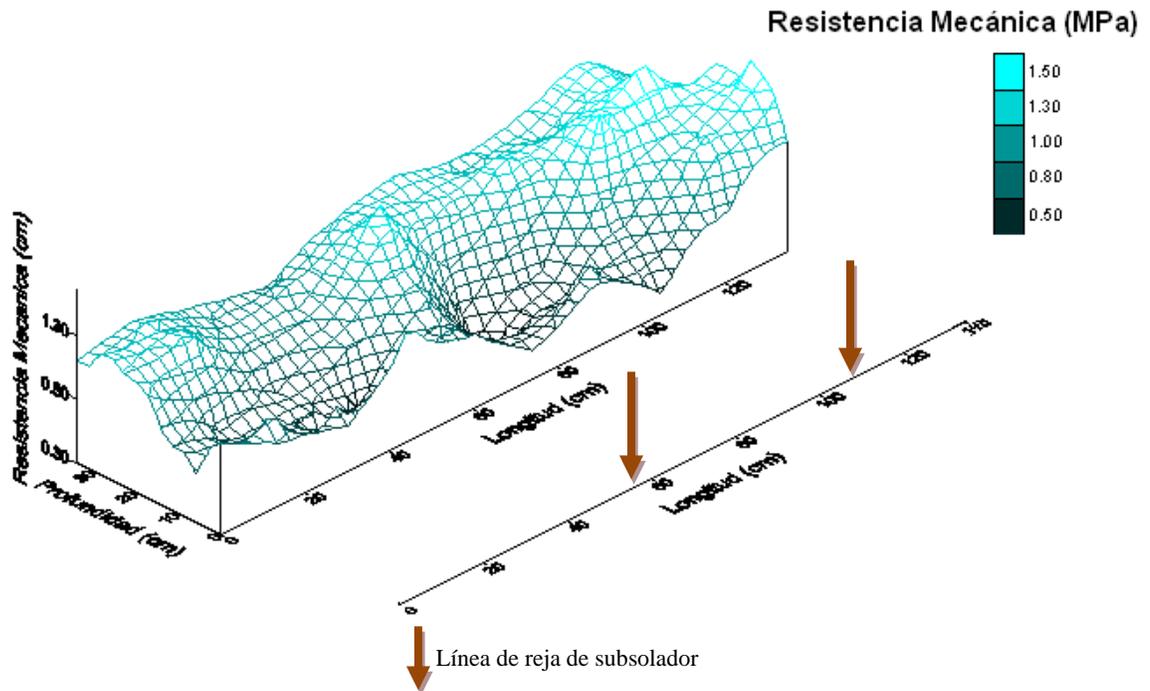


Gráfico 29: Distribución de la Resistencia Mecánica en R3 en Labranza de descompactación Profunda sin Tránsito.

rejas del implemento, evidenciados por zonas de baja magnitud de RM con respecto al resto del área estudiada, como por ejemplo a los 0,38 m y a los 0,80 m, aproximadamente con valores de RM inferiores a 1 MPa.

A partir de los primeros centímetros de profundidad hasta 1 m aproximadamente de la longitud de la transecta, se observaron valores de RM superiores a los observados en este sector en momentos anteriores de medición, pudiendo inferirse una recompactación natural tal cual lo planteado precedentemente para la situación sin tránsito en el momento R1. Es importante aclarar que la humedad promedio del perfil para este momento de medición fue de (11,9% g/g).

En LVP con tránsito, los valores de RM a lo largo de toda la transecta fueron superiores a 1 MPa, evidenciando escasamente los sectores con efecto de la labor profunda, como en los distintos momentos anteriores, pudiendo deberse esto al bajo contenido hídrico del perfil (Gráfico 30).

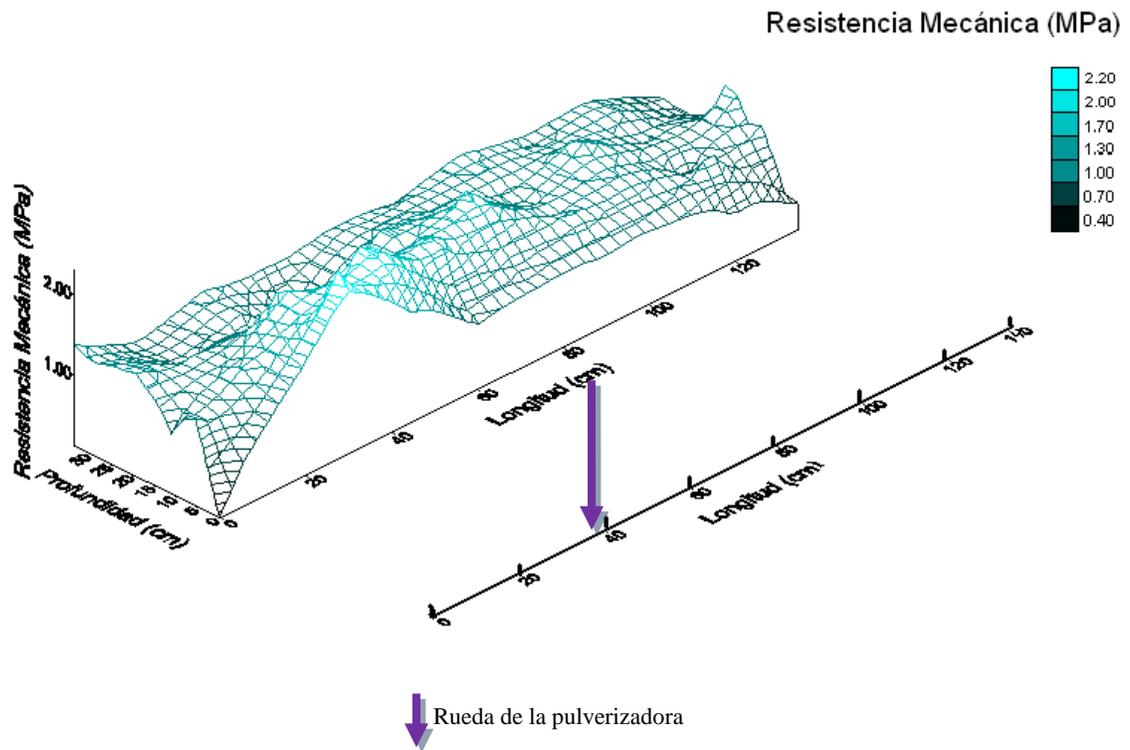


Gráfico 30: Distribución de la Resistencia Mecánica en R3 en Labranza de descompactación Profunda con Tránsito.

Al analizar la longitud de la transecta, se distinguieron elevados valores de RM a los 0,40 m de la misma y en los primeros 0,15 m de profundidad. Los mismos correspondieron al lugar por donde pasó la rueda de la pulverizadora (Gráfico 30).

En Poscosecha, en el tratamiento SD, pudo observarse nuevamente la capa uniforme, conformada por elevados valores de RM a lo largo de toda la longitud de la transecta (Gráfico 31).

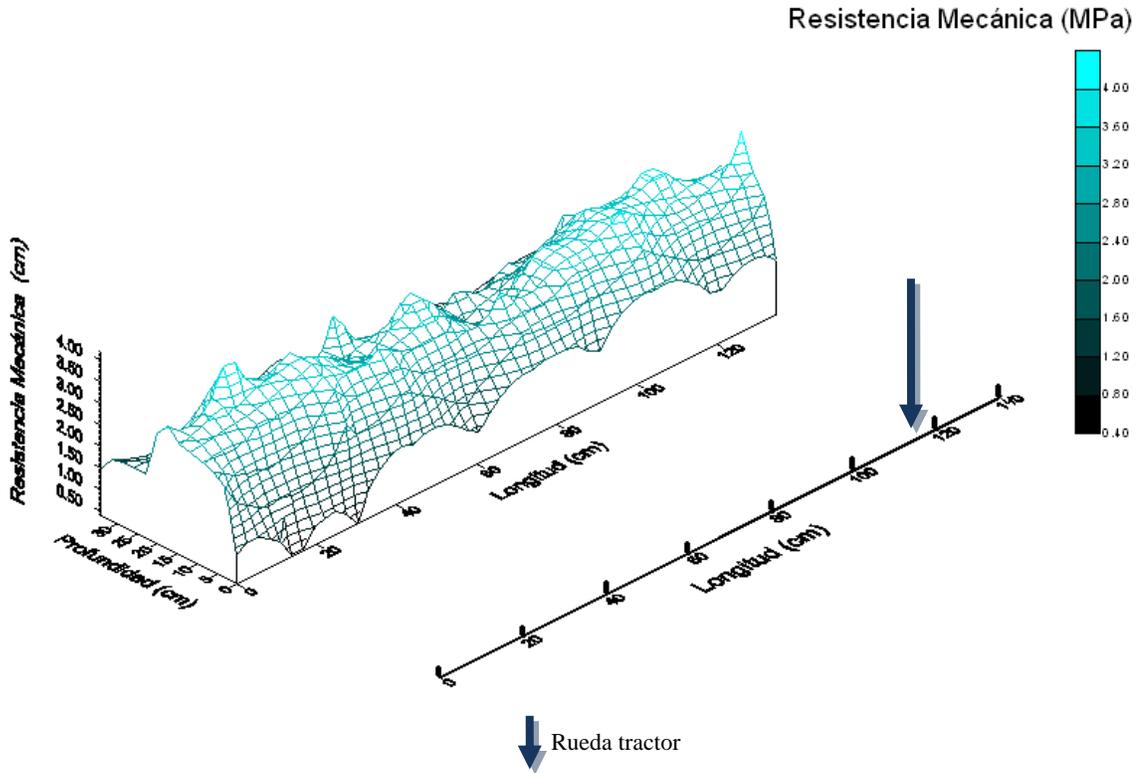


Gráfico 31: Distribución de la Resistencia Mecánica en Post cosecha en Siembra Directa.

En igual momento, en LVP sin tránsito, si bien el perfil presentaba escasa humedad, aún se evidenciaron sectores localizados con baja RM como por ejemplo a los 0,60 m de la transecta, que se correspondieron a los sitios por donde pasaron las rejas del escarificador (Gráfico 32).

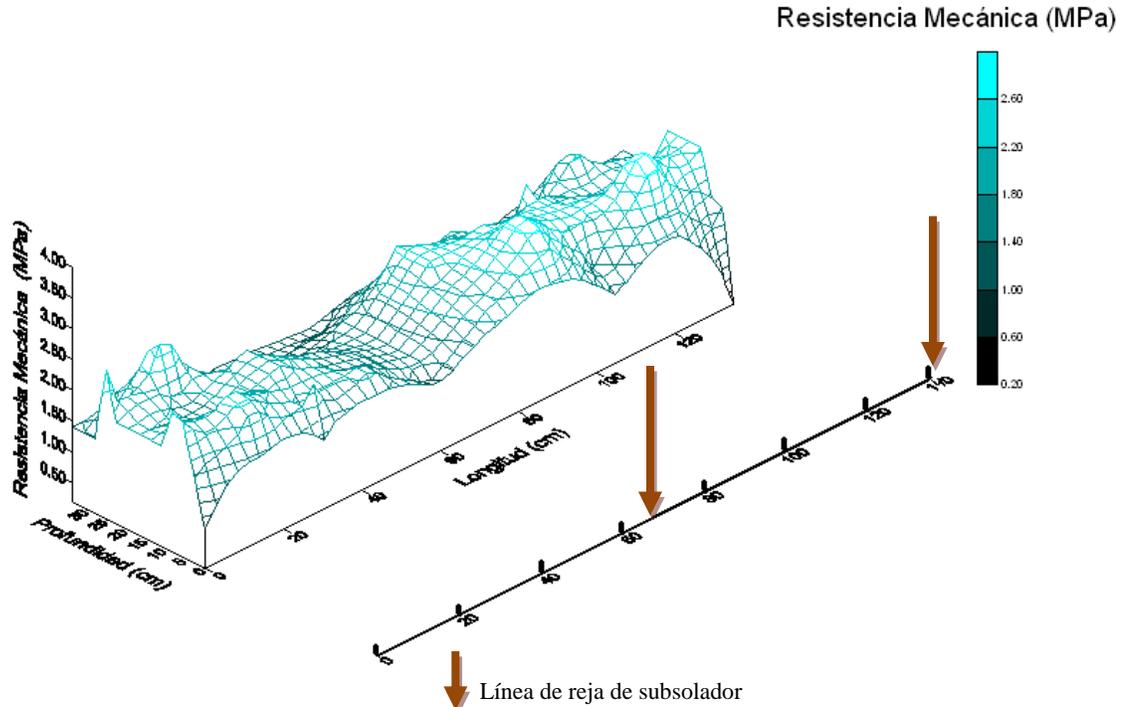


Gráfico 32: Distribución de la Resistencia Mecánica en Post Cosecha en Labranza de descompactación Profunda sin Tránsito previo.

En LVP con tránsito ya no fue posible distinguir claramente a lo largo de la transecta analizada, sectores por donde pasaron las rejas del implemento (Gráfico 33). Si en cambio, fue posible detectar los valores correspondientes al paso de la cosechadora, caracterizados por el marcado incremento de la RM como se aprecia a los 1,10 m de la transecta, diferenciándose de lo ocurrido en el primer tramo de la transecta, en donde, si bien los valores de RM fueron elevados, no presentaron la magnitud alcanzada en el sitio por el que transitó la rueda de la cosechadora.

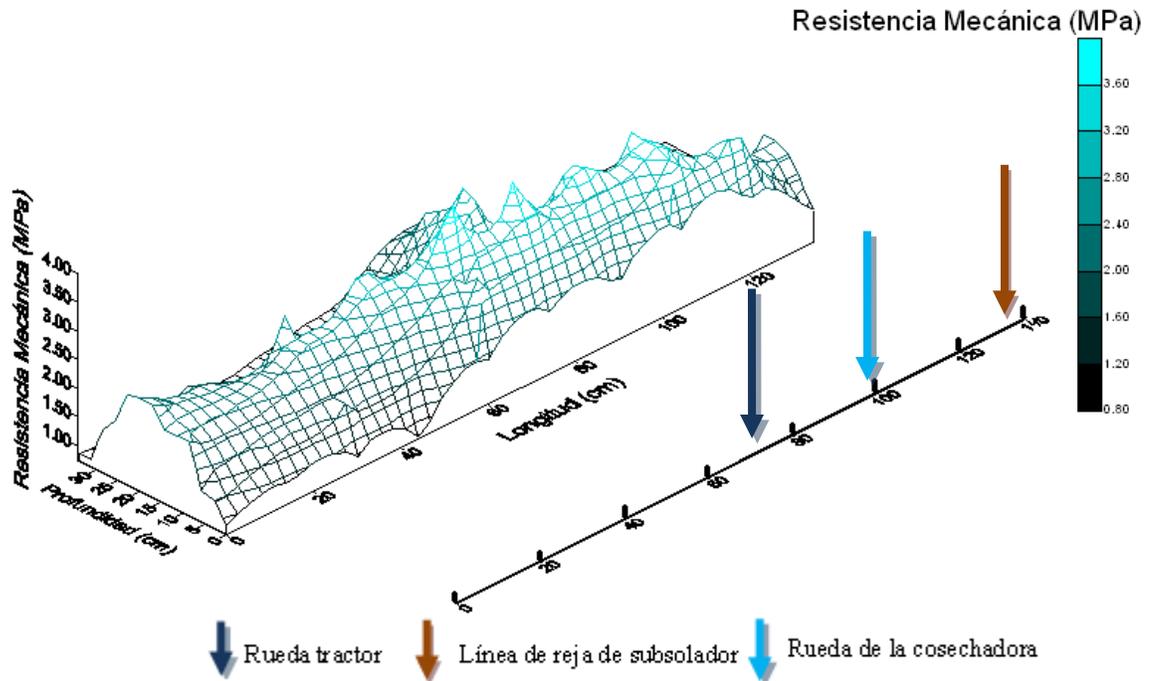


Gráfico 33: Distribución de la Resistencia Mecánica en Post cosecha en Labranza de descompactación Profunda con Tránsito.

CAPITULO 5:

5. CONCLUSIONES

- ✓ El efecto de la aplicación de una labor de descompactación profunda mejora la condición física de suelos Haplustoles típicos manejados en siembra directa. Esta misma labor contribuye a disminuir la Densidad Aparente y la Resistencia Mecánica de las capas del perfil cultural.
- ✓ El efecto de aflojamiento producido por la labor profunda persiste durante el ciclo del cultivo, siendo más notorio en los sectores sin tránsito posterior a la siembra.
- ✓ El tráfico agrícola relacionado al manejo del cultivo posterior a la siembra produce recompactación del perfil, siendo el tránsito de la cosechadora el de mayor impacto sobre este proceso.
- ✓ El tránsito de la cosechadora genera valores de RM restrictivos para el crecimiento radicular del cultivo a implantar en la campaña siguiente.

CAPITULO 6:

6. RECOMENDACIONES

- ✓ Si bien en este trabajo se evaluaron algunos parámetros físicos del suelo, sería de importancia en próximos trabajos profundizar su estudio, como por ejemplo en la distribución del tamaño de agregados y su relación con los procesos edáficos de interés agronómico. Asimismo sería de interés evaluar el efecto del subsolado en parámetros hidrológicos, biológicos y de nutrición edáfica, midiendo variables de los cultivos, como el rendimiento; de conservación de los recursos naturales, como erosión hídrica, entre otros.
- ✓ Otro aspecto a evaluar en futuras investigaciones podría ser el efecto del tránsito o tráfico controlado dentro del lote con el objeto de evaluar su impacto sobre la compactación del suelo y consecuente producción de los cultivos.
- ✓ En cuanto al aspecto económico-productivo, sería de relevante importancia también realizar un estudio respecto de la relación costo/ingreso de la utilización de una labor de descompactación profunda, respecto del rendimiento del cultivo, no solo en un ciclo de producción, sino también a través del tiempo.
- ✓ Resultaría interesante continuar estudiando distintos aspectos operativos de este tipo de labores, como por ejemplo el momento de antelación con respecto a la siembra, así como también evaluar el efecto que ejercerían diferentes formatos de rejas que se ofrecen en el mercado, considerando tipos y condiciones de suelos, climas y cultivos.

CAPITULO 7:

7. BIBLIOGRAFÍA

ADEOYE, K.B., and M.A. MOHAMED-SALEEM. 1990. Comparison of effects of some tillage methods on soil physical properties and yield of maize in a degraded ferruginous tropical soil. *Soil Tillage Res.* 18:63-72.

AGENCIA CÓRDOBA AMBIENTE E INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. 2006. Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. Los Suelos. Argentina. 612 págs.

AAPRESID 2007. Estimaciones de área – Cultivos – Oleaginosas – Cereales en : www.aapresid.org.ar/publicaciones/area/asp/index.htm. Consultado: 09/12/07

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

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 de Maestría en Ciencias del suelo, UBA-INTA, Argentina. 124p.

BOONE F.R. y B.W. VEEN. 1994. Mechanism of Crop Responses to Soil Compaction. En B.D. Soane y C. Van Onweberkerk (Eds.) *Soil Compaction in Crop production*. Elsevier Science B.V: 662.

BOTTA, G. F., JORAJOURIA, D. y L. DRAGHI 2002. Influence of the axle load, tyre size, and configuration, on the compaction of freshly tilled clay soil. *Journal of Terra mechanics* 39 (1) :47-54

BRAGACHIN, M.; MENDEZ A.; VON MARTÍN A. y J. MONCHAMP, 2000. Eslabonamiento productivo del sector maquinaria agrícola Argentina. Informe técnico el Consejo Federal de Inversiones, 104

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. I.* 64 (3) 999:1003

CANTERO, A. G.; BRICCHI E. M.; BECERRA V. H.; CISNEROS J. M. y H. A. GIL. 1986. Zonificación y descripción de tierras del departamento Rio Cuarto (Córdoba). 1º ed. UNRC. Rio Cuarto, Córdoba, Argentina.

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

CERANA, J.; POZZOLO, O.; BENAVIDEZ, R.; RIVAROLA, S.; WILSON, M. y J.J. DE BATTISTA, 2004. La determinación de la Resistencia Mecánica a la penetración, para la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas productivos. En Filgueira, R. y Micucci, F. (Eds). *Metodologías físicas para la investigación del suelo: Penetrometría e Infiltrimetría*. Editorial de la Universidad de La Plata. La Plata, Argentina. Pp. 55 a 73.

CHAGAS, C.I.; MARELLI, H .J.y O.J.SANTANOTOGILIA. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol Típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencias de Suelo* 12:11-16.

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, UNRC-Argentina: 218 págs.

CHOLAKY, C. CISNEROS J. M y R.H. BALBUENA; 200. El Perfil Cultural: Una Herramienta para discriminar modificaciones en la estructura edáfica producidas por una labor profunda. *Revista de la UNRC*, (25-1: 53-83)

CISNEROS, J. M.; CHOLAKY, C.; BRICCHI, E.; GIAYETTO, O. Y J. J. CANTERO.1997. Evaluación del efecto del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un haplustol típico del centro de cordoba. *Rev. UNRC* 17(1): 13-22.

CISNEROS, J. M.; CHOLAKY C.; GIAYETTO O.; BRICCHI E.; MARCOS J. 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 Latinoamericano*. ISBN 950-34-0125-9. Publicado por Editorial de la UNLP, 120-127.

CISNEROS, J. M.; DE PRADA, J. D.; DEGIOANNI, A.; CANTERO GUTIÉRREZ, A.; GIL, H.; REYNERO, M. A.; SHAH, F.; BRAVO URETA, B. 2004 EROSION HÍDRICA Y CAMBIO DE USO DE LOS SUELOS EN CÓRDOBA. EVALUACION MEDIANTE EL MODELO RUSLE 2, XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná Entre Ríos.

DANIELSON R. y P. Southerland. 1986. Porosity. In: A. Klute Editor (2ª Edition). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy monograph N°9. Madison, USA p. 443-461.

DE BATTISTA, J.J., ANDRIULO, A. y C. PECORARI (1992 – 1993). El perfil cultural: un método para la evaluación de Sistemas de Cultivo. *Ciencia del suelo*. 10-11:89-93.

DI PRINZIO, A. P.; BEHMER, S. N. y G. L. STRIEBECK 2000 Perdurabilidad del subsolado en huertos frutales. *Agric. Téc.*, ene. 2000, vol.60, no.1, p.62-68. ISSN 0365-2807.

DONALD J.; CABBELL y L. K. HENSHALL 1991. Bulk Density. En: Smith A. y C. E. Mullis (Eds.) *Soil Analysis Physical Methods*. Marcel Dekker, Inc. USA.

DORAN, J. M. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44 : 765-771

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

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

FEHR, W. R. & C.E. CAVINESS. 1977. Stages of soybean development. Special Report 80. Iowa State University, Ames, Iowa. 11 p.

FERRERAS, I. 1996 Efectos de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un suelo del sudeste bonaerense. Tesis de Magíster Scientiae. Facultad de Agronomía. Universidad nacional de Buenos Aires. 75 pp.

FERRERAS, L.; DE BATISTA, J.J.; AUSILIO, A. y C. PECORARI. 1998. Efectos de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un Argiudol Típico. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Carlos Paz. Córdoba. Pp 23-24.

FONTANETTO, H. y S. GAMBAUDO 1996. Sistemas de labranza para el trigo. Su influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Public. Misc. Nro. 74. INTA EEA Rafaela.

FRANZLUBBERS A. J.; H.H.SCHOMBERG y D.M. ENDALE 2007. Surface-soil responses to paraplowing of long term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA. In Soil & Tillage Research 96 303:315.

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

GIARDINIERI, N. CH., GUTIERREZ, N. C. y C. A. VENIALGO 2004. Influencia de la Compactación sobre el crecimiento radical en maíz y soja. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. www.unne.edu.ar/web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-073.pdf, 10 de agosto de 2009. 17 p.m.

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. Rio Cuarto, Argentina.

GOLDEN SOFTWARE INC. 1996. SURFER FOR WINDOWS. USER'S GUIDE. 483 pag.

GREGORY; P. 1992. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. Pág. 4, pág. 121-175 en Condiciones del Suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Versión española de Urbano Terron p. y Rojo Hernández C. Ediciones Mundi Prensa 1992.Madrid.

HAKANSSON, I., VOORHESS, W. ELONEN, P., RAGHAVAN, G. S., LOWERY, B., VAN WIJK, A. L. M., RASMUSSEN, K. y H. RILEY 1987. Effect of high axle load on subsoil compaction and crop yield in humid regions with anual freezing. Soil & Tillage Research 10: 259-268.

INTA 2003. El INTA ante la preocupación por la sustentabilidad de largo plazo de la producción agrícola argentina. Documento institucional en www.inta.gov.ar Consultado: 10-02-2005.

INFOSTAT 2002. InfoStat versión 1.1. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

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.

JORGE, J.A.; MANSELL, R.S.; RHOADS, F.M.; BLOOM, S.A. & L.C. HAMMOND.1992. Compaction of a Fallow Sandy Loam Soil By Tractor Tires. Soil Science 153(4):322-330.

LAFLEN, J.M.; AMENIYA, M. y E.A., HINTA 1981. Measuring crop residue cover. J. Soil Water Conservation 36: 341-343

LAL, R. 1991. Soil structure and sustainability. Sust. Agric. 1:277-294.

MIACZYNSKI, C.R.O. y J. TSSCHAPEK 1965. Los suelos de estepa de la región pampeana. Revista de investigación Agrícola. Serie 3, Vol.2 (3).

OUSSIBLE, M.; CROOSKTON, R.K. y W.E. LARSON. 1992. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield components of wheat. *Agrom. J.* 58:1782-1787.

PANIGATTI, J. L., H. MARELLI, D. BUSCHIAZZO y R. GIL. Eds. 1999. Siembra Directa. Editorial Hemisferio Sur. 333pp.

PANIGATTI, J. L. y A. PIÑEIRO. 1964. Aspectos del uso y conservación de suelos en el Departamento Castellanos. Provincia de Santa Fe. IDIA. Suplemento. no. 13. p. 36-42.

PIERCE, F.J.; FORTÍN, M.C. y M.J. STATON. 1994. Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Sci. Soc. Am J.* 58: 1782-1787.

PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M. y C. ROQUERO, 1994. Edafología para la agricultura y el medioambiente. Capítulo 11, Estructura del Suelo y propiedades relacionadas. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 807pp.

RAPER, R. L., 2005. Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics* 42: 259-280.

REEDER, R.C.; WOOD, R.K. and C.L. FINCK. 1993. Five subsoiler designs and their effects on soil properties and crop yields. *Trans. ASAE* 36:1525-1531.

ROBLEDO, et al., 2001. Infostat, Software estadístico manual del usuario versión 1. ed. Triunfar S.A. Córdoba, Argentina.

ROSOLEM, C. A., ALMEIDA, A. y L. SACRAMENTO 1994. Sistema radicular e nutricao da soja em funcao da compactacao do solo. *R. Bras. Ci. Suelo*, 53: 259:266.

SCHMIDT, C.P. y R.K. BELFORD 1994. Increasing the depth of soil disturbance increases yields of direct drilled wheat on the syplain soils of Western Australia. *Austr. J. Exp. Agric.* 34: 777-781.

SIMONES R.P.; RAPER R.L.; ARRIAGA F.I.; BALCOM K.S. y I.N. SHAW. 2009. Using conservation systems to alleviate soil compaction in a Southeastern United States Ultisol. *Soil and Tillage Research*. 104: 106-114.

SPRAGUE, M. A. & G. TRIPLETT (Eds.) 1986. No-tillage and surface-tillage agriculture. *The Tillage Revolution*. John Wiley and Sons, 467.

SPOOR, G., TIJINK, G.J. y P. WEISSKOPF 2003. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil & Tillage Reserarch*, v. 73, p. 175-182.

STENGEL, P.; DOUGLAS, P.; GUERIF, J.T.; GOSS, M.J.; MONNIER, M. y R.Q. CANNELL 1984. Factors influencing the variation of some properties of soil in relation to their suitability for direct drilling. *Soil Till Res.* 4: 35-53.

TAYLOR, H.M. 1971. Effects of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. En *compaction of Agricultural Soils*. Capítulo 6. pp. 292-305. ASE Monograph St. Joseph, Mi. USA 471 pp.

UBERTO, M. E.; CISNEROS, J. M.; VIGNOLIO, C.; CHOLAKY, C. y R. PEDELINI. 2002. Influencia de tres sistemas de labranza en algunas propiedades físicas del suelo en rotación con maní. XVII Jornada Nacional de Maní. Gral. Cabrera, Córdoba, Argentina.

UBERTO, M.E.; CISNEROS, J.M.; CHOLAKY, C.G.; VERRI, L.; CERIONI, G. y G. SANTA 2004. rotaciones y labranzas en maní, recuperación de propiedades físicas y productividad de las tierras. XIX Jornada Nacional de Maní: 6-7. Gral. Cabrera, Córdoba, Argentina.

UPADHYAYA, S.K.; CHANCELLOR, W.; PRERUMPRAL J.; SCHAFER, R.S.; GILL, W. Y G. VANDERBERG. 1994. Advances in Soil Dynamic. Vol 1 Ed. De Vore-Hansen. St. Joseph, MI. 313 pp.

VIDAL, C.M. y J.L. COSTA 1998. evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de labranza reducida y siembra directa. RIA Vol 29. P.p 211-212.

VIGLIZZO, E. F. 1994. El INTA frente al desafío del desarrollo agropecuario sustentable. En: Desarrollo agropecuario sustentable. INTA-INDEC. 85 pp

