

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

“Trabajo Final para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

**PERSISTENCIA DE LA DESCOMPACTACIÓN SUBSUPERFICIAL EN FUNCIÓN
DEL MOMENTO DE REALIZACIÓN DE UNA LABOR PROFUNDA SOBRE UN
SUELO HAPLUDOL TÍPICO DEL SUR DE SANTA FE.**

Alumno: GUAZZARONI, MARCOS DANIEL

D.N.I: 30699700

Directora: CHOLAKY, CARMEN

Coodirectora: BRICHI, ESTELA

RÍO CUARTO – CÓRDOBA

OCTUBRE 2013

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	IX
SUMMARY	X

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN:.....	1
1.2 ANTECEDENTES:.....	2
1.3 HIPOTESIS:.....	4
1.4 OBJETIVOS:	4
1.4.1 OBJETIVOS GENERALES:	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	4

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO:	5
2.2 TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL:.....	6
2.3 EVALUACIONES:.....	7
2.4- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	8

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESISTENCIA MECÁNICA	9
3.1.1 EFECTO DEL MOMENTO DE ANTELACION DE LA LABOR	9
3.1.1.1 Efecto del sistema de labranza sobre la RESISTENCIA MECANICA EN POSTSIEMBRA DEL CULTIVO (OCTUBRE)	9

3.1.1.2 Efecto del sistema de labranza sobre la RESISTENCIA MECANICA EN POSTCOSECHA DEL CULTIVO (MAYO).....	11
3.1.2. PERSISTENCIA DE LA LABOR DE DESCOMPACTACIÓN SUBSUPERFICIAL ..	12
3.1.2.1 MOMENTO DE ANTELACIÓN DE LA LABOR: JUNIO	12
3.1.2.2 MOMENTO DE ANTELACIÓN DE LA LABOR: OCTUBRE	14
3.2 GRADO DE AFLOJAMIENTO:.....	16
3.2.1. PERSISTENCIA DEL GRADO DE AFLOJAMIENTO	19
3.3 RENDIMIENTO	20

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES	23
BIBLIOGRAFÍA:	24
ANEXO 1:	29
ANEXO 2:	32

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Ubicación geográfica del sitio experimental.....	6
Figura 2: Perfil de la distribución de la resistencia mecánica en profundidad para los dos sistemas de labranza a la siembra del cultivo.....	11
Figura 3: Perfil de distribución de humedad en profundidad para los dos sistemas de labranza a la siembra del cultivo.....	11
Figura 4: Perfil de la distribución de la resistencia mecánica en profundidad para los dos sistemas de labranza post cosecha del cultivo.....	12
Figura 5: Perfil de distribución de humedad en profundidad para los dos sistemas de labranza post cosecha del cultivo.....	12
Figura 6: Perfil de distribución de resistencia mecánica en el tratamiento..... testigo durante los tres momentos de evaluación.	14
Figura 7: Perfil de distribución de la resistencia mecánica en el tratamiento con labranza de descompactación subsuperficial en los tres momentos de evaluación.....	14
Figura 8: Perfil de distribución de RM en el tratamiento T durante los dos momentos de evaluación.....	16
Figura 9: Perfil de distribución de RM en el tratamiento con LDS durante los dos momentos de evaluación.....	16

Figura 10: Condición hídrica del perfil bajo estudio en cada labor
de descompactación.....17

Figura 11: Rendimiento final del cultivo de soja en función de los tratamientos
de la branza (campaña 2010-2011).....21

Figura 12: Rendimiento final del cultivo de maíz en función de los tratamientos
de la branza (campaña 2011-2012).....21

INDICE DE CUADROS:

Cuadro 1: Resistencia mecánica (RM) para los diferentes sistemas de labranza y profundidades en postsiembra del cultivo.....	10
Cuadro 2: Comparación de valores medios de resistencia mecánica (RM) de los distintos sistema de labranza y profundidades en postcosecha del cultivo.....	11
Cuadro 3: Resistencia mecánica (RM) para los distintos sistema de labranza en función de la profundidad y momento de medición correspondiente al momento de antelación de la labor: junio.....	13
Cuadro 4: Resistencia mecánica (RM) para los distintos sistema de labranza en función de la profundidad y momento de medición, correspondiente al momento de antelación de la labor: octubre.....	15
Cuadro 5: Grado de Aflojamiento producido por la labor de descompactación subsuperficial en función del momento de realización de la labor y del contenido de agua edáfico al momento de la labor.....	17
Cuadro 6: Relación entre el nivel de arcilla, humedad de las capas y horizontes del suelo en los dos momentos de realización de la labor y el grado de aflojamiento.....	18
Cuadro 7: Evolución del Grado de Aflojamiento del suelo para cada momento de antelación de la labor.....	20

INDICE DE FOTOS:

Foto 1: Determinación de la resistencia mecánica mediante penetrometro de golpes.....	32
Figura 2: Vista frontal timón del utilizado.....	32
Figura 3: Vista lateral timón del utilizado.....	32
Figura 4: Perfil cultural mostrando profundidad de trabajo (35cm) y fisuramiento generado por la labor de descompactacion subsuperficial.....	33
Figura 5: Sistema radical del cultivo de soja que se encontraba en la situación T (sin labranza de descompactacion subsuperficial).....	33
Figuras 6: Sistema radical del cultivo de soja que se encontraba bajo la situación de LP (labranza de descompactacion subsuperficial).....	34
Figuras 7: Sistema radical del cultivo de soja que se encontraba bajo la situación de LP (labranza de descompactacion subsuperficial).....	34
Figura 8: Parcela con labranza de descompactacion subsuperficial, (izquierda) parcela testigo (derecha).....	34
Figura 9: Vista posterior del paratill artesanal, timones agro-flex con rejas aladas de 18cm montados sobre bastidor de cincel chiappano.....	35
Figura 10: Determinación de rendimiento con balanza de la tolva autodescargable en el cultivo de soja.....	35

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la persistencia del aflojamiento producido por una labor de descompactación subsuperficial en un sistema de producción agrícola en siembra directa, en relación al momento de antelación de dicha labor y su impacto sobre el rendimiento del cultivo. La experiencia se realizó en un Hapludol típico del sur santafecino. Sobre un lote con siembra directa durante los últimos 9 años, previo al inicio de la campaña 2010-2011, se establecieron los tratamientos: descompactación subsuperficial cuatro meses antes del cultivo a implantar, descompactación subsuperficial inmediatamente posterior a la siembra y testigo sin descompactar. El diseño experimental fue en parcelas completamente aleatorizadas, con tres repeticiones. Se evaluó la persistencia de los efectos de la labor mediante el monitoreo de la resistencia mecánica en tres momentos del cultivo: post subsolado, post siembra y post cosecha. Se determinó el grado de aflojamiento producido en el suelo en cada momento de antelación y el rendimiento final en granos de soja (*Glycine max*) y maíz (*Zea mays*) de dos campañas consecutivas. Los resultados indicaron que no hubo efecto del momento de realización de la labor sobre la persistencia del aflojamiento producido por la misma. Sí hubo diferencias significativas entre sistemas de labranza, siendo la resistencia mecánica de las situaciones descompactadas inferior al testigo en los tres momentos de evaluación, siendo el grado de aflojamiento producido del 75% hasta los 20 cm de espesor y por debajo del mismo sólo del 25%, mostrando una disminución del 30% desde siembra a cosecha, especialmente en la capa superficial. Estas diferencias se asociaron con un aumento del 4% y 7% en el rendimiento de soja y maíz, respectivamente. La descompactación en un planteo de siembra directa continua mejora la condición física del suelo e impacta positivamente en el rendimiento de los cultivos en al menos dos campañas consecutivas.

Palabras clave: descompactación subsuperficial, persistencia, grado de aflojamiento, rendimiento de soja y maíz.

SUMMARY

The objective was to evaluate the persistence of loosening produced by a subsurface decompaction work in a system of no-till farming, in relation to time in advance of this work and its impact on crop yield. The experiment was conducted in a typical southern Hapludoll santafecino. On a lot with direct seeding over the past nine years, prior to the start of the 2010-2011 season, treatments were established: subsurface decompaction four months before the crop to be planted, subsurface decompression immediately after planting and control without decompaction work. The experimental design was completely randomized plots with three replications. We assessed the continuing impact of the work by monitoring soil mechanical resistance on three occasions: post subsoiling, post planting and post harvest. We determined the degree of loosening occurred in the soil at all times in advance and the final yield of soybeans and corn in two consecutive seasons. The results indicated no effect of the timing of the work on the persistence of loosening through it. There were significant differences among tillage, with the mechanical strength of the situations loosening witness all three time points, the degree of looseness produced was 75% until 20 cm of thickness and under the same only 25%, showing a 30% decrease from planting to harvest, particularly in the surface layer. These differences were associated with an increase of 4 % and 7% in the yield of soybeans and corn, respectively. The decompression in a continuous system of no-till farming improves soil physical condition and positive impact on crop yields in at least two consecutive years.

Keywords: descompactación subsurface, persistence, degree of loosening, soybean and corn yields .

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN:

1.1 PRESENTACIÓN:

La siembra directa es una práctica que se implementó con la finalidad de hacer un uso racional del recurso suelo, que permita realizar la explotación del mismo sin contribuir a que se sigan incrementando los graves procesos de deterioro asociados al agua y al viento (ASAE, 1992). A modo de referencia, en la campaña 2004-2005, pueden citarse valores de superficie sembrada, en siembra directa, del orden de 16 millones de hectáreas (AAPRESID, 2005), de un total de aproximadamente 28 millones de hectáreas sembradas entre cereales y oleaginosas (SAGPyA 2005).

Con respecto a este sistema productivo, numerosos autores, entre ellos, Senigaglesi y Ferrari (1993), Leiva y Hansen (1984), Domínguez *et al.* (2000), han comprobado que tiene efectos no deseados. Uno de los más destacados es el aumento de la densidad aparente de los suelos que son manejados con este sistema de implantación de cultivos. Se puede mencionar como causa de estos efectos a la no remoción del suelo que provocaría una consolidación de las partículas, y el tránsito de maquinarias de gran peso, sobre todo cuando el suelo se encuentra con alto contenido de humedad (Gudelj y Masiero, 2000).

Bacigalupo y Gerster (2003) indican que en Argentina, en años húmedos, el área agrícola con problemas de piso y compactación es de 4 millones de hectáreas aproximadamente, pudiendo ocasionar mermas de rendimientos, luego del tránsito en húmedo, de 8 qq/ha en soja, 10 qq/ha en maíz y 6 qq/ha en trigo (*Triticum aestivum*). Algunas de las variables que definen el nivel de impacto del tráfico agrícola son el tipo de equipamiento, la presión en el área de contacto rueda/suelo, el número de pasadas, el tipo de suelo y la humedad del mismo al momento del tránsito, (Upahyaya *et al.*, 1994).

Di Prinzi *et al.* (2000) sostienen que la compactación adjudicada al uso de labranzas conservacionistas, hace que técnicas ligadas a la preparación del mismo, como es el caso de los aflojamientos o descompactaciones, adquieran relevancia. En este sentido, Balbuena *et al.*, (2009) afirman que las soluciones deben atender en este caso, a realizar el mínimo de pasajes posibles sobre el suelo, a disturbar lo menos posible la superficie, crear la menor cantidad de irregularidades, a no perder el capital de residuos acumulados en los años de instalación del sistema conservacionista y a resolver el problema de la descompactación subsuperficial y superficial.

Un aspecto importante en relación a las técnicas de descompactación de suelos, es la duración del efecto producido por ellas. Spoor *et al.* (2003), afirman que la labor de descompactación debe fisurar el suelo, generar grietas aliviando la capa compactada, sin modificar el estado aparente del resto del perfil. Según los autores, este tipo de roturación puede ser definido como fisuramiento sin aflojamiento permitiendo que la capacidad de soporte del suelo sea mantenida, indicando que los implementos adecuados en la búsqueda de estos objetivos serían los subsoladores de montantes inclinados, los subsoladores alados y las rejas de escardillo de laboreo subsuperficial.

Para evitar la recompactación de las capas fisuradas, Balbuena *et al.* (2009), sostienen que la operación de “fisuramiento” debe llevarse a cabo lo más tarde posible en cualquier secuencia de operaciones realizada, de preferencia justo antes, sino después de la siembra, lo que reduce el riesgo de volver al estado de compactación anterior por el pasaje posterior de las ruedas que transitan el terreno descompactado. Afirman también que cuanto más largo es el período de tiempo disponible para que el suelo logre estabilizarse, antes de ser sometido a más carga, mayor es la posibilidad de recuperar la resistencia del suelo y más permanente y la mejora probablemente sea más exitosa.

1.2 ANTECEDENTES:

Se define a la **compactación** como el aumento de la densidad del suelo como resultado de las cargas o presiones aplicadas al mismo. Su magnitud se expresa como un aumento de la densidad aparente y de la resistencia del suelo a la penetración. Las principales causas de la compactación del suelo son las presiones generadas por el paso de rodados e implementos agrícolas, el pisoteo animal y el reacomodamiento de las partículas de suelo en planteos de trabajo sin laboreo, (Richmond y Rillo, 2006).

Los parámetros para caracterizar la compactación son múltiples. Según Balbuena *et al.*, (1995) la **densidad aparente** y la **resistencia a la penetración** son frecuentemente usados para la caracterización de la compactación del suelo. La medición de la resistencia a la penetración de un suelo a través del penetrómetro de cono tiene como ventajas de ser fácil, rápida y económica, al tiempo que provee datos que pueden ser sencillamente analizados (Perumpral, 1987). Al respecto, Terminiello *et al.*, (2000) concluyen que la resistencia a la penetración es un parámetro más sensible que la densidad aparente para determinar la compactación inducida por tránsito.

La resistencia a la penetración también ha sido frecuentemente utilizada para caracterizar las condiciones físicas para la implantación y desarrollo de cultivos. Al respecto, Threadgill (1982) relacionó la resistencia a la penetración de un suelo con la capacidad de las raíces para

colonizarlo. Indicó que valores de índice de cono de 1,5 MPa pueden reducir el crecimiento de las raíces, mientras que valores superiores a 2,1Mpa lo limitarían.

La densidad aparente es una propiedad física que afecta indirectamente el desarrollo vegetal a través de sus efectos sobre la disponibilidad de agua y de oxígeno, la temperatura y la resistencia mecánica, (Balbuena *et al.*, 2003). Da Silva *et al.* (1994), sostienen que valores de densidad aparente mayores a 1,44 Mg m⁻³ son limitantes para el crecimiento radical en suelos de textura franco arenosa. De acuerdo a Giayetto *et al.* (1992) el deterioro estructural de los suelos Hapludoles típicos franco arenosos del área manisera del centro-sur de Córdoba, genera impedimentos para una adecuada infiltración de las lluvias en profundidad y provoca severos confinamientos superficiales del sistema de raíces y la consecuente disminución del volumen de suelo explorado. Ambos aspectos pueden determinar la ocurrencia de déficits hídricos al incrementarse las pérdidas de agua por escorrentías superficiales y limitar su captación desde horizontes profundos. De similar tendencia fueron los resultados obtenidos por Filgueira *et al.* (2004), quienes al trabajar en un suelo franco arcilloso de la pampa húmeda argentina con diferentes situaciones de manejo, observaron una asociación negativa entre la densidad aparente de las primeras capas del perfil y la conductividad hidráulica.

El tránsito en húmedo efectuado fundamentalmente durante la época de siembra y cosecha de los cultivos afecta notablemente a las propiedades físicas de suelos franco arcillosos, generando limitaciones al crecimiento de las raíces y afectando a la disponibilidad de agua y nutrientes, (Bacigaluppo y Gerster, 2003).

En relación con el efecto de la descompactación en suelos bajo siembra directa, Ferraris (2004) trabajando en un cultivo de maíz, llegó a la conclusión que el subsolado tiene una tendencia a incrementar los rendimientos y a disminuir el número de plantas quebradas y/o volcadas, consecuencia de un mejor anclaje y exploración radical en el suelo sin capas compactadas.

Mon e Irurtia (2001) reportaron valores de grado de aflojamiento entre el 30 % y el 60 % para el tratamiento de descompactación con cultivo, en relación al testigo, para un suelo Argiudol típico y Cholaky (2003), trabajando en un suelo Haplustol típico, concluye que el efecto de la descompactación persiste durante el periodo de desarrollo del ciclo de un cultivo anual, cuando no se efectúa tránsito luego de la labor.

Balbuena *et al* (1995), trabajando sobre un suelo Argiudol típico, evaluaron la persistencia de la labor mediante penetrometría. Concluyen que lo limitado de la persistencia de la disminución de dicho parámetro (6 meses), respecto del testigo sin descompactación, tornaría inadecuada la realización de la labor en forma muy anticipada.

Vepraskas et al. (1995) encontraron que el efecto residual del subsolado sobre el crecimiento de raíces se mantenía alrededor de los dos años posteriores a la labranza, para desaparecer al tercer año por efecto de la recompactación. Estos autores sostienen, además, que el beneficio máximo de una labranza profunda, sobre los rendimientos, ocurrió cuando la misma se realizó anualmente, coincidiendo con lo postulado por Busscher et al. (1986) quienes plantean que el efecto del subsolado se manifiesta en las etapas tempranas de crecimiento de las raíces de los cultivos, ya que posteriormente se produce la recompactación de las capas aflojadas.

A partir de estos antecedentes se plantean las siguientes hipótesis y objetivos en un suelo Hapludol típico del sur de Santa Fe.

1.3 HIPOTESIS:

El momento de antelación con respecto a la siembra de una labor de descompactación en un suelo Hapludol típico manejado con siembra directa, influye en la persistencia del efecto de la labor durante un ciclo de cultivo agrícola.

El efecto producido por una labor de descompactación subsuperficial en un planteo de siembra directa continuo incrementa el rendimiento de los cultivos en más de una campaña agrícola posterior a ella, respecto a un sistema de manejo en siembra directa sin descompactar.

1.4 OBJETIVOS:

1.4.1 OBJETIVOS GENERALES:

Evaluar la persistencia del aflojamiento producido por una labor de descompactación subsuperficial en un sistema de producción agrícola en siembra directa, en relación al momento de antelación de dicha labor y su impacto sobre el rendimiento de los cultivos.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Monitorear la dinámica de la resistencia mecánica y del grado de aflojamiento en suelo descompactado por una labor profunda y sin descompactar, en diferentes etapas de un ciclo agrícola.
- Estimar el rendimiento final de cultivos agrícolas en dos campañas consecutivas manejados con siembra directa con y sin labor de descompactación subsuperficial.

CAPITULO 2

MATÉRIALES Y METODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO:

El proyecto se llevó a cabo en un campo ubicado a 6 Km al norte de la localidad de Villa Cañas, departamento General López, provincia de Santa fe (33° 57' 54,3'' Sur, 61° 37' 11,72'' Oeste) (Figura 1).

El área corresponde a la unidad fisiográfica de la pampa ondulada, caracterizada por un relieve suavemente ondulado, por poseer una red de drenaje bien definida y los materiales sobre los cuales se formaron los suelos están representados por sedimentos loesicos de textura predominantemente franco limosa con pendientes menores al 1% (INTA, 1984). El suelo es un Hapludol típico de textura franco limosa, profundo, bien drenado, sin limitaciones para el uso agrícola. Las características del perfil fueron extraídas de la Carta de Suelos (INTA, 1984), correspondiendo a la Serie Santa Isabel, cuyas características analíticas y morfológicas se detallan en el Anexo 1.

Las características climatológicas del área son las siguientes: El régimen térmico ubica a esta área dentro de las de clima templado con temperaturas extremas no marcadas, es decir con veranos e inviernos suaves. La época de heladas comienza alrededor del 20 de mayo y finaliza aproximadamente el 10 de septiembre, en valores promedios, siendo en consecuencia el periodo medio libre de heladas de unos 225 días. La temperatura media anual es de 16.2 °C, presentándose la máxima temperatura media anual en el mes de enero con 23.7 °C y la mínima de 9.2 °C en el mes de julio. El gradiente anual de precipitaciones tiene un valor medio de 905mm pudiendo darse valores extremos máximos de 1250mm y mínimos de 580mm, la distribución de las mismas se presenta bajo un régimen monzónico, concentrándose la mayor parte de las lluvias en verano, decreciendo en primavera, otoño e invierno, siendo esta la última estación de menor precipitación. El balance hidrológico presenta valores negativos mínimos desde el mes de noviembre a febrero en el que la evapotranspiración potencial puede superar a la oferta hídrica. En el otoño se repone el agua consumida del suelo en la estación anterior, produciéndose además un pequeño exceso, permaneciendo esta situación durante la estación de invierno y primavera.

En valores medios se puede afirmar que este balance está equilibrado, lo cual no significa que en determinados años no se den condiciones de exceso o deficiencia de agua debido a la gran variabilidad de los elementos meteorológicos, sobre todo las precipitaciones, por este motivo es necesario tener en cuenta la aplicación de prácticas de conservación de agua como es la siembra directa.

Durante las campañas 2009-2010 y 2010-2011 las precipitaciones ocurridas fueron 898mm Y 978mm respectivamente y en ambos ciclos estuvieron dentro de los valores medios regionales los que se ubican en 905mm.



Figura 1: Ubicación geográfica del sitio experimental.

2.2 TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL:

Sobre un lote proveniente de una rotación agrícola en siembra directa durante los últimos 9 años, previo al inicio de la campaña 2010-2011, se realizaron los siguientes tratamientos:

- Labranza profunda de descompactación subsuperficial realizada cuatro meses antes de la siembra del cultivo a implantar (LPM1)
- Labranza profunda de descompactación subsuperficial realizada inmediatamente posterior a la siembra, antes de la emergencia del cultivo implantado (LPM2)
- Testigo sin labranza profunda (T)

Para los tratamientos LP M1 y LP M2 se utilizó el mismo implemento, constituido por 7 timones rectos, con un frente de ataque de 1.9 m de ancho, filos longitudinales para disminuir requerimientos de HP y generar mínima remoción superficial, marca Agro-flex. Los mismos estaban provistos de rejas aladas de 18 cm de ancho con una inclinación aproximada de 5 grados, y fueron montados sobre un bastidor de un cincel Chiappano, a su vez cada timón estaba precedido por una cuchilla de corte.

Los dos tratamientos de labranza de descompactación se realizaron con piloto automático, lo que nos permitió en LP M2 dirigir el implemento sobre el centro de la línea de los surcos de siembra, sin generar disturbios sobre ellos. A partir de una evaluación exploratoria se determinó la existencia de un piso de arado entre los 15 y 38 cm de profundidad, por lo cual la profundidad teórica de trabajo fue de 38 cm. El distanciamiento entre rejas fue del orden de $1,4 \pm 25\%$ veces la profundidad de trabajo (Godwin *et al.*, 1984), por lo cual el mismo estuvo en el orden de los 50 cm. Para realizar esta operación se utilizó un tractor John Deere 7815 de 200 HP. La siembra y las labores posteriores fueron similares a las detalladas para el tratamiento testigo (T)

El Testigo (T) consistió en la siembra mediante un sembradora de siembra directa marca John Deere 1740, de 18 surcos espaciados a 0,52 cm (ancho total de labor 9,36 m), utilizando un tractor John Deere 7815 de 200 Hp. La pulverización se realizó con una pulverizadora autopropulsada de marca Agro-flex de 25 m de ancho de labor. La cosecha fue realizada con cosechadora John Deere 9750 STS.

En todos los tratamientos y en el testigo se realizó la siembra del cultivo de soja (*Glycine max*) en la campaña 2009/2010, con una fecha de implantación del 25 de octubre y la realización de la cosecha 20 de marzo; en el caso del maíz (*Zea mays*) en la campaña 2010/2011, su fecha de implantación fue del 15 de septiembre y de cosecha 22 de febrero.

El diseño experimental se realizó en parcelas completamente al azar, realizando tres repeticiones de los diferentes tratamientos. Las parcelas experimentales presentaban una superficie de 0.91 hectáreas, con un ancho de 20 m por 455 m de largo.

2.3 EVALUACIONES:

Del suelo:

- En los tratamientos LPM1 se midió la resistencia mecánica RM hasta los 40 cm de profundidad en tres momentos del ciclo del cultivo: post subsolado, post siembra, y pre cosecha. Para ello se utilizó un penetrómetro mecánico de golpe, provisto con un cono de área basal de 1 cm^2 y un ángulo de 30° .
- En el tratamiento LPM2 se midió la RM hasta los 40 cm de profundidad en dos momentos del ciclo del cultivo: post siembra (que coincidió con post subsolado) y pre cosecha. Para ello se utilizó el mismo equipo que el mencionado precedentemente.

En cada momento de medición, en cada parcela de los tratamientos y en el testigo, se realizaron cuatro mediciones de RM y mediante barreno se extrajeron muestras de suelo para la determinación de humedad gravimétrica en laboratorio, a intervalos de 5 cm hasta la profundidad en que se evalúa la resistencia mecánica.

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

$$GDA = (1-RPDT/RPAT) \times 100$$

Donde: RPDT = resistencia a la penetración después del tratamiento.

RPAT = resistencia a la penetración de la situación sin tratamiento o testigo

- Se estudió la persistencia de la labor profunda mediante el monitoreo de la resistencia mecánica en los momentos propuestos anteriormente.

Del cultivo:

- Se midió el rendimiento final de granos de los cultivos de soja (2010-2012) y maíz (campaña 2011-2012) por medio de la balanza de la tolva autodescargable. Los resultados se expresaron en kilogramos por hectárea.

2.4- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el programa INFOSTAT (Di Rienzo 2011). Se realizaron ANOVAS ($p < 0,05$) y la comparación de medias se realizó mediante el test DGC.

Para evaluar el efecto del momento de antelación de la labor sobre la persistencia de sus efectos se comparó la RM de los tratamientos de labranza en dos momentos de medición, octubre (siembra del cultivo) y mayo (post cosecha del cultivo). Los valores de RM fueron promediados para obtener el valor correspondiente a los siguientes espesores del perfil: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 y 30-40cm. La comparación de los rendimientos entre tratamientos se realizó para cada una de las campañas agrícolas consideradas en el estudio, expresando sus resultados en kilogramos por hectárea.

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 RESISTENCIA MECÁNICA

3.1.1 EFECTO DEL MOMENTO DE ANTELACION DE LA LABOR

El análisis de la varianza indicó que no hubo efecto del momento de antelación de la labor sobre la RM del suelo en ninguno de los momentos de medición de esta variable (siembra y postcosecha del cultivo). La ausencia de efecto del momento de antelación de la labor sobre los resultados, indicó que la labor realizada con tres meses de anticipación, presentó un perfil de RM similar al de la labor realizada al momento inmediatamente después de siembra del cultivo. Al no haber efecto del momento de antelación de la labor, se presenta a continuación la comparación del efecto de los “sistemas de labranza” sobre la RM en post siembra y post cosecha.

3.1.1.1 EFECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA SOBRE LA RESISTENCIA MECANICA EN POSTSIEMBRA DEL CULTUVO (OCTUBRE)

En ambos momentos de antelación de la labor, la RM del perfil trabajado con labranza de descompactación subsuperficial fue significativamente inferior al testigo, indicando que los efectos de labor realizada en junio perduraban a la siembra y eran similares a los de la labor realizada inmediatamente después de siembra, hasta la profundidad de 30 cm . En la profundidad de 40 cm no hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de labranza (Cuadro 1), pudiendo deberse a que la profundidad de trabajo en la labor de descompactación subsuperficial fue de 35cm, por lo que a los 40 cm no debería haber diferencias con respecto al tratamiento testigo.

Cuadro 1: Resistencia mecánica (RM) para los diferentes sistemas de labranza y profundidades

en postsiembra del cultivo.

Profundidad (cm)	Sistema de labranza	
	Labranza desc. subsuperficial	Testigo
0-5	0,15 A	0,96 B
5-10	0,15 A	4,36 B
10-15	0,81 A	5,42 B
15-20	1,26 A	4,87 B
20-30	1,75 A	2,60 B
30-40	1,86 A	2,19 A

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas ($p <= 0,05$) (Test:DGC)

Del análisis dentro de cada sistema de labranza se puede observar que en el perfil del T, se evidencia que en el espesor comprendido entre 5 y 20 cm la RM fue marcadamente superior a la de las capas supra y suba yacentes, superando el nivel crítico de 2 MPa para el desarrollo radicular, mientras que en labranza de descompactación subsuperficial la RM fue incrementándose con la profundidad, siendo inferior a 1 MPa en los primeros 20 cm, y superior a este valor en las capas restantes, aunque en ningún caso la RM superó el nivel crítico para el crecimiento de raíces de 2 MPa planteado por (Threadgill, 1982; Gill et al., 1996) (figura 2). Si se considera que los valores de humedad eran similares en ambos tratamientos (figura 3) y que existe una relación inversa entre RM y humedad edáfica, según lo informado por Bergesio, (2011), Bonadeo *et al.* (2003) y Gomez Giacomelli, (2012), las diferencias halladas entre tratamientos de labranza evidenciaron un marcado efecto de la labor de descompactación sobre la condición física del perfil bajo estudio.

Resulta interesante observar el perfil de distribución de la RM en profundidad para ambos tratamientos de labranza. En SD la condición interna del perfil de suelo presentaba una elevada heterogeneidad en la RM para el crecimiento de las raíces, mientras que la labor de descompactación subsuperficial ofrecía una condición física interna de elevada homogeneidad para el crecimiento radicular (Figura 2).

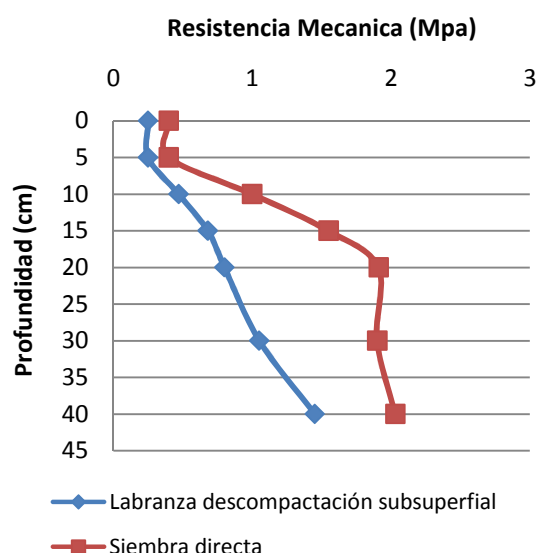
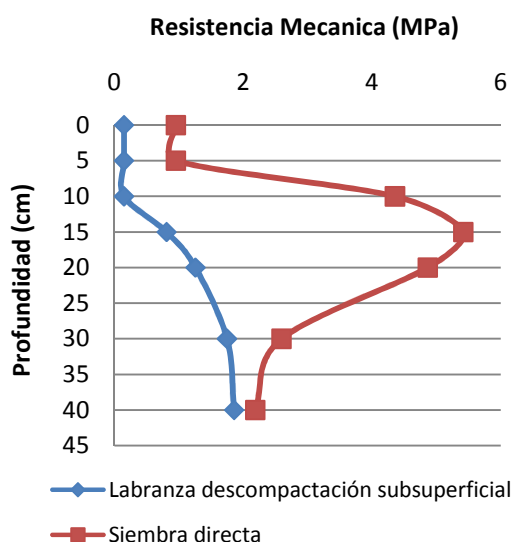


Figura 2: Perfil de la distribución de la resistencia mecánica en profundidad para los dos sistemas de labranza a la fecha de siembra del cultivo.

Figura 3: Perfil de distribución de humedad en profundidad para los dos sistemas de labranza a la fecha de siembra del cultivo.

3.1.1.2 EFECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA SOBRE LA RESISTENCIA MECANICA EN POSTCOSECHA DEL CULTIVO (MAYO)

Del análisis del efecto del sistema de labranza sobre la RM en el momento de postcosecha, surge que hubieron diferencias significativas entre tratamientos de labranzas en los valores medios de esta variable en todas las profundidades, excepto en el espesor de 0-5 cm (cuadro 2).

Cuadro 2: Comparación de valores medios de resistencia mecánica (RM) de los distintos sistemas de labranza y profundidades en postcosecha del cultivo.

Profundidad (cm)	Sistema de labranza	
	Labranza desc. subsuperficial	Siembra directa
0-5	0,25 A	0,40 A
5-10	0,47 A	1,00 B
10-15	0,68 A	1,55 B
15-20	0,80 A	1,91 B
20-30	1,05 A	1,90 B
30-40	1,45 A	2,03 B

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$) (Test:DGC)

Si bien los valores de RM fueron marcadamente inferiores a los de la evaluación de octubre (postsiembra) (figura 4), probablemente asociado al elevado y similar contenido de agua que presentaban ambos perfiles (figura 5), la diferencia entre sistemas de labranza permite sostener que los efectos de la labor de descompactación perduraron durante todo el ciclo del cultivo y posterior a la cosecha independientemente del momento que se realizó la labor, a pesar de que la operación de cosecha es una labor de alto impacto sobre la condición física del suelo, según lo observado por Raper (2005) y Cacchiavillani (2010).

El perfil de distribución de la RM en profundidad indicó que en ambos tratamiento la RM se incrementó con la profundidad, no alcanzando el valor de 2 MPa que autores como Threadgill, (1982) y Gill *et al.* (1996) plantean como restrictivos para el desarrollo radicular, considerando en este caso la condición física del perfil donde se desarrollará el próximo cultivo invernal o estival según sea el caso.

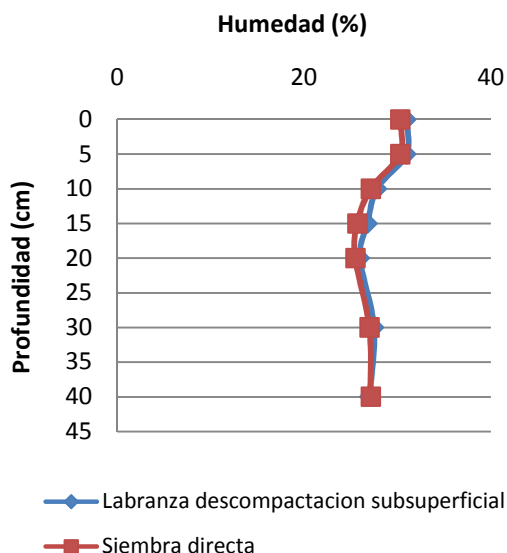
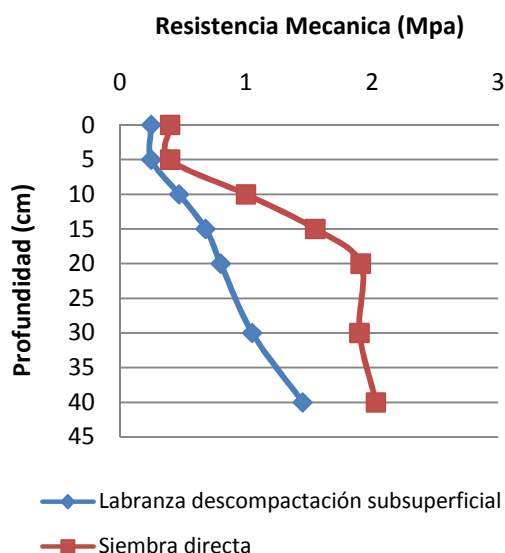


Figura 4: Perfil de la distribución de la resistencia mecánica en profundidad para los dos sistemas de labranza en post cosecha del cultivo.

Figura 5: Perfil de distribución de humedad en profundidad para los dos sistemas de labranza en post cosecha del cultivo.

3.1.2. PERSISTENCIA DE LA LABOR DE DESCOMPACTACIÓN SUBSUPERFICIAL

3.1.2.1 MOMENTO DE ANTELACIÓN DE LA LABOR: JUNIO

En la labor realizada en junio en el sistema de labranza de descompactación subsuperficial la RM fue significativamente inferior en prácticamente todas las profundidades,

durante todo el periodo estudiado (pre-siembra, siembra y post-labor) que en el tratamiento testigo bajo siembra directa (cuadro 3).

Cuadro 3: Resistencia mecánica (RM) para los distintos sistema de labranza en función de la profundidad y momento de medición, correspondiente al momento de antelación de la labor: junio.

Momento de medición	Sistema de labranza	Profundidad (cm)					
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40
INMEDIATAMENTE DESPUES DE LA LABOR (JUNIO)	LP	0,25 A	0,39 A	0,76 A	1,20 A	1,75 A	1,83 A
	SD	0,80 A	1,97 B	2,94 B	3,11 B	2,33 A	2,43 A
INMEDIATAMENTE DESPUES DE SIEMBRA(OCTUBRE)	LP	0,08 A	0,65 A	1,06 A	1,40 A	1,45 A	1,40 A
	SD	1,18 B	4,42 B	5,38 B	4,75 B	2,15 B	1,67 B
INMEDIATAMENTE DESPUES DE COSECHA (MAYO)	LP	0,46 A	0,62 A	0,78 A	0,92 A	1,17 A	1,40 A
	SD	0,57 A	1,08 B	1,59 A	1,95 B	1,97 B	2,11 B

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada profundidad y momento de evaluación ($p \leq 0,05$). (Test:DGC)

Es de remarcar los bajos valores de RM que hubo en los tratamientos con descompactación subsuperficial con respecto a los observados en siembra directa. Aún en el momento de menor contenido agua en el suelo (19% humedad) durante el período estudiado, como fue a la siembra del cultivo (octubre), los valores de RM estuvieron por debajo del nivel crítico (2 MPa), mientras que en dicho momento en siembra directa (T) la resistencia mecánica alcanzó hasta 5 MPa en todo el espesor estudiado (figura 6 y 7).

Así mismo ante situaciones de elevada humedad, como en los momentos postlabor (junio) y postcosecha (mayo), si bien los valores de RM fueron más bajos que a la siembra (octubre), debido a la relación inversa entre RM y humedad, según lo observado por Bonadeo (1997) Uberto et. al. (2001) y Cholaky (2003), la RM en el testigo superó al valor crítico en el momento después de labor y se aproximó a este valor en postcosecha, mientras que en LDS fue inferior a este umbral en todos los momentos y profundidades (figuras 6 y 7).

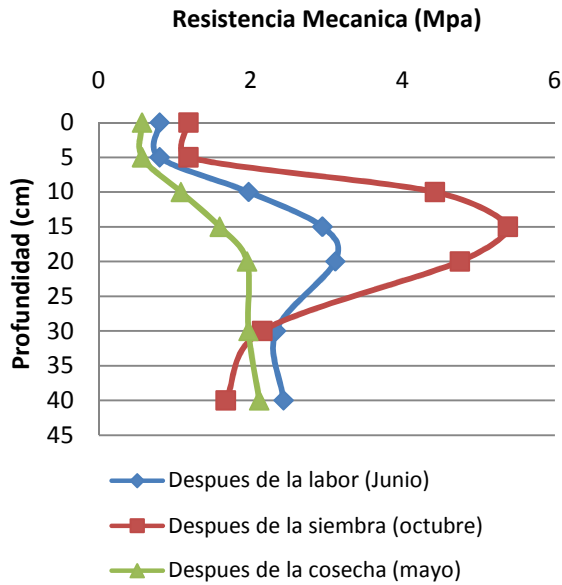


Figura 6: Perfil de distribución de resistencia mecánica en el tratamiento testigo durante los tres momentos de evaluación.

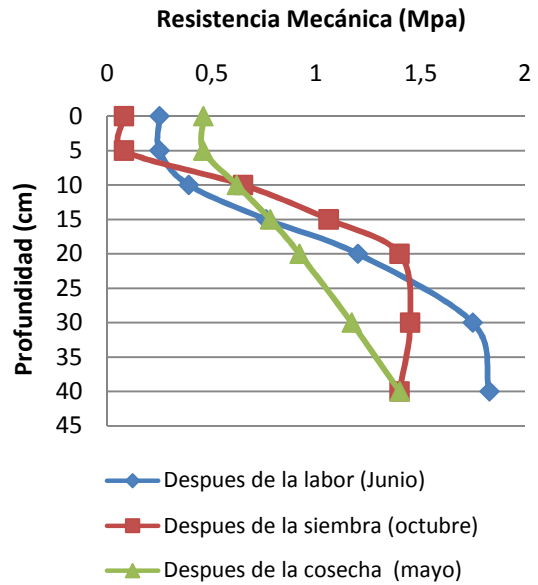


Figura 7: Perfil de distribución de la resistencia mecánica en el tratamiento con labranza de descompactación subsuperficial en los tres momentos de evaluación.

3.1.2.2 MOMENTO DE ANTELACIÓN DE LA LABOR: OCTUBRE

En la labor realizada en octubre en el sistema de labranza de descompactación subsuperficial, la RM fue significativamente inferior que en el testigo en los dos momentos evaluados (postsiembra y postcosecha) hasta la profundidad de 20 cm. Por debajo de esta profundidad, si bien las diferencias no fueron estadísticamente significativas la tendencia indica que la labranza de descompactación presentó valores inferiores que los del testigo (Cuadro 4).

En el momento de medición postsiembra (octubre) el contenido de agua del suelo fue inferior al otro momento evaluado (mayo), explicando el incremento en la resistencia mecánica del T, mientras que en el tratamiento LDS la resistencia mecánica no superó 1MPa hasta los 20 cm y por debajo fue levemente superior a este valor.

Cuadro 4: Resistencia mecánica (RM) para los distintos sistema de labranza en función de la profundidad y momento de medición, correspondiente al momento de antelación de la labor: octubre.

Momento de medición	Sistema de labranza	Profundidad (cm)					
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40
INMEDIATAMENTE DESPUES DE SIEMBRA (OCTUBRE)	LDS	0,72 A	0,40 A	0,27 A	0,62 A	1,28 A	1,36 A
	SD	0,67 B	4,05 B	5,07 B	4,50 B	2,15 A	1,72 A
INMEDIATAMENTE DESPUES DE COSECHA (MAYO)	LDS	0,97 A	0,82 A	0,96 A	1,08 A	1,49 A	1,82 A
	SD	1,12 A	1,37 B	1,77 B	2,10 B	2,25 A	2,40 A

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada profundidad y momento de evaluación ($p < 0,05$). (Test:DGC).

Al analizar los perfiles de distribución de la RM en la profundidad para los dos sistemas de labranza, surge claramente la marcada relación inversa existente entre esta variable y el contenido hídrico del perfil, ya que como se mencionó anteriormente, al momento inmediatamente después de siembra (octubre) el suelo presentaba menor contenido de agua que a la cosecha (mayo). Esta variación en el contenido hídrico del suelo puso de manifiesto la marcada restricción física presente en el suelo de la situación T, en donde la RM alcanzó valores ampliamente superiores al valor umbral planteado por Gill et al. (1996) y por otro lado evidenció el efecto de aflojamiento producido por la labor, ya que a similar contenido de agua la RM no supero los 2 MPa (figuras 8 y 9). A modo de síntesis se puede sostener que la labranza de descompactación subsuperficial generó condiciones físicas del suelo más propicias para el crecimiento y exploración radicular, las cuales perduraron al menos durante todo el ciclo del cultivo de soja (período 2009-2010) y posiblemente también durante el período que abarcó el cultivo de maíz (2010-2011), ya que en ambos casos hubo efecto positivo sobre el rendimiento, como se analizará en el apartado 4.3.

En este efecto resultó indistinto realizar la labor con tres meses de anticipación a la siembra que realizarla inmediatamente posterior a ella. Este comportamiento resulta interesante porque permite adecuar el momento de la labor a las mejores condiciones de humedad del suelo que definen la eficiencia de la misma, como lo es el estado de consistencia friable, que de acuerdo a Baver (1994) es la mejor condición para realizar el laboreo de suelo y a Cholaky *et al.* (2010) quienes evaluaron el efecto de la humedad al momento de realizar este tipo de labor y encontraron que los mejores efectos sobre la condición física del suelo se obtuvieron cuando el suelo estaba friable.

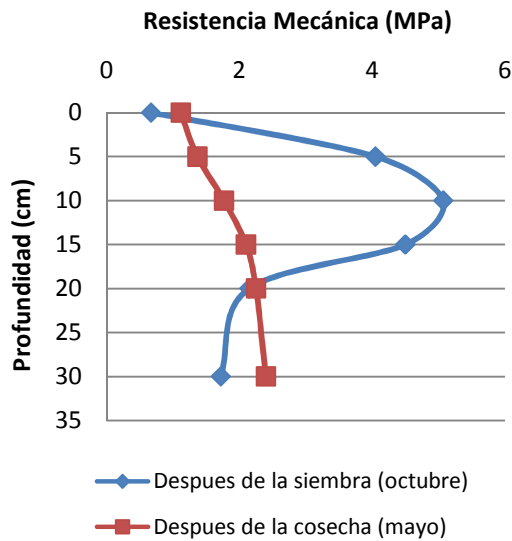


Figura 8: Perfil de distribución de RM en el tratamiento T durante los dos momentos de evaluación.

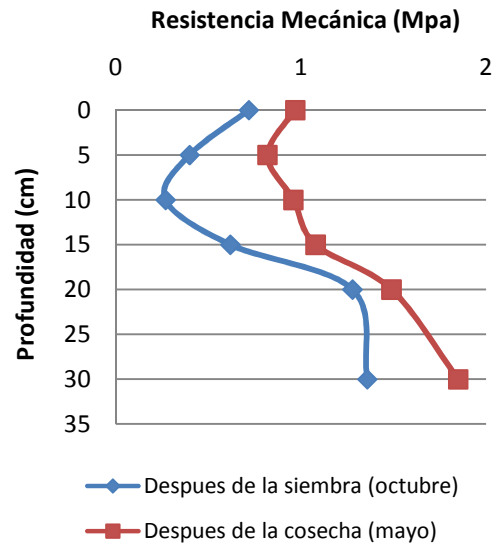


Figura 9: Perfil de distribución de RM en el tratamiento con LDS durante los dos momentos de evaluación.

En el caso particular del presente trabajo, en relación a los diferentes momentos de antelación de la labor, se puede sostener que la labor de descompactación subsuperficial se realizó bajo dos estados de humedad: LDSM1 se realizó con una condición de humedad media en el perfil de 23% (g g^{-1}), indicando que el mismo se encontraba por arriba de la capacidad de campo (22% g g^{-1}), mientras que LDSM2 se realizó con una condición de humedad media en el perfil de (19% g g^{-1}), indicando que el suelo presentaba una contenido de humedad por debajo de la capacidad de campo, pudiendo esta segunda condición haber influido en un mayor fisuramiento del espesor trabajado.

3.2 GRADO DE AFLOJAMIENTO:

El mayor grado de aflojamiento debido a la labor de descompactación se produjo en los primeros 20 cm de profundidad, alcanzando valores superiores al 60% cuando la labor se realizó con tres meses de anticipación respecto a la siembra (LDSMA1), y superiores al 70% en la labor realizada inmediatamente después de siembra (LDSMA2), siendo los valores medios de todo el espesor estudiado (40 cm) de 55% y 64%, respectivamente (cuadro 5).

Cuadro 5: Grado de Aflojamiento producido por la labor de descompactación subsuperficial en función del momento de realización de la labor y del contenido de agua edáfico al momento de la labor.

Profundidad (cm)	GDA Momento de antelación de la labor 1 (junio) (%)	Contenido de Agua (%)	GDA Momento de antelación de la labor 2 (octubre) (%)	Contenido de Agua (%)
0-5	69.23	23.58	80.95	14.58
5-10	79.17	22.64	92.64	16.79
10-15	73.61	22.65	87.04	19.61
15-20	60	21.63	73.08	18.94
20-30	24.77	24.24	33.28	22.45
30-40	24.13	23.73	20.16	23.95
Promedio	55.15	23.03	64.5	19.39

GDA: grado de aflojamiento

El mayor GDA producido por la labor en el momento de antelación octubre (LDM2), puede relacionarse con la condición de humedad que presentaba el suelo al momento de realizar la labor. En esa ocasión el contenido de agua promedio en el perfil era de aproximadamente un 19%, encontrándose por debajo de capacidad de campo (valor medio de agua a CC para el perfil bajo estudio $22.5 \text{ } \text{gg}^{-1}$), mientras que en la labor realizada en junio (LDM1) el contenido de agua en el suelo promedio era de 23%, es decir por encima de la capacidad de campo (figura N° 10). Estos resultados coinciden con lo planteado por Baver (1994) y por Cholaky et al. (2010), en cuanto a que la condición óptima humedad de trabajo para lograr un mayor nivel de fisuramiento del perfil se encuentra por debajo del contenido de agua a capacidad de campo.

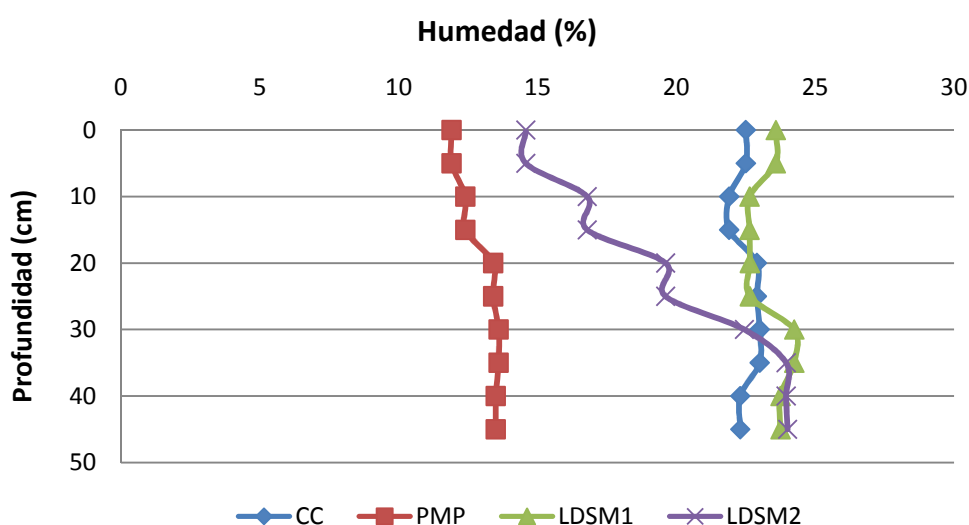


Figura 10: Condición hídrica del perfil bajo estudio en cada labor de descompactación.

Es interesante resaltar la variación del GDA con la profundidad del suelo y relacionarlo con la profundidad de trabajo de la herramienta, la textura del suelo y la humedad que presentaba éste al momento de la labor. La profundidad de 20 cm indica un cambio muy significativo en el grado de aflojamiento producido. Por encima de los 20 cm de profundidad el GDA promedio producido por la labor realizada en los dos momentos de antelación estudiados fue de 75%, mientras que por debajo de los 20 cm de profundidad descendió al orden del 25%, representando este valor una disminución del 66.7%.

El comportamiento mencionado anteriormente puede estar relacionado con el cambio textural marcado que se produce a los 20 cm del perfil, ya que por encima de este espesor el suelo posee un 16% de arcilla mientras que por debajo de él, el porcentaje de arcilla se incrementa a un 22% (cuadro 6) lo que llevó a que el suelo presentara diferentes condiciones hídricas lo largo del perfil (figura 10) al momento de realizar la labor.

Cuadro 6: Relación entre el nivel de arcilla, humedad de las capas y horizontes del suelo en los dos momentos de realización de la labor y el grado de aflojamiento.

%H LDSM1: Contenido de humedad a momento de realización de la labor 1; %H LDSM2 Contenido de humedad a momento de realización de la labor 2; GDA: Grado de aflojamiento.

Horizonte	Profundidad (cm)	% Arcilla	%H LDSM1	%H LDSM2	GDA LDSM1 (%)	GDA LDSM2 (%)
Ap	0-5	16	23.58	14.58	69.23	80.95
	5-10	16	22.64	16.79	79.17	92.64
	10-15	16	22.65	19.61	73.61	87.04
	15-20	16	21.63	18.94	60	73.08
A1	20-30	24	24.24	22.45	24.77	33.28
B2	30-40	24	23.73	23.9	24.13	20.16

Si se considera que la profundidad de trabajo fue de 35 cm, las características del suelo mencionadas anteriormente, pudieron generar, según Balbuena *et al.* (2009) diferencias en el modo en que fracturó el suelo por encima y por debajo de los 20 cm (profundidad crítica), de modo que arriba de esta profundidad se fisuró según un patrón en falla creciente en el que el suelo es desplazado hacia arriba, adelante y lateralmente, rompiéndose a lo largo de planos bien definidos que se propagan desde el extremo de la reja hacia la superficie con una angulación aproximada de 45° con respecto a la horizontal, mientras que por debajo de ella, el suelo habría fracturado según un patrón de fracturamiento lateral, en el que el suelo comienza a deslizarse solamente hacia adelante y hacia los lados, generando compactación en profundidad.

Si bien los valores de GDA no indicaron que se produjo compactación en el suelo bajo estudio, tal vez, de acuerdo a Godwin y Spoor (1984), debido a la presencia de alas en las rejas del implemento o a que las condiciones de textura y humedad no generaron elevada plasticidad, el cambio en el GDA fue muy marcado, resultado que lleva a considerar que al momento de realizar la labor se debe tener en cuenta la condición hídrica de todo el perfil a trabajar, más aún cuando el mismo presenta variaciones texturales marcadas en el espesor a trabajar como en el caso del presente trabajo y no solo considerar la condición hídrica de los primeros centímetros del suelo.

3.2.1. PERSISTENCIA DEL GRADO DE AFLOJAMIENTO

Al analizar la evolución del GDA producido por la labor en los dos momentos de antelación estudiados respecto a la postcosecha, surge que durante el período entre la realización de la labor y postcosecha, en los perfiles de suelo laboreados en ambos momentos, se produjo una disminución en el GDA respecto a la condición inicial, alcanzando un valor promedio de todo el perfil del orden del 40% (cuadro 7), indicando que se habría producido un proceso de recompactación, principalmente en los primeros cm del perfil, que puede estar asociado a las condiciones ambientales, principalmente la ocurrencia de precipitaciones y a las condiciones de manejo y tránsito posteriores a la labor, tal cual lo observado por Brusasca (2013), quien estudió la evolución del GDA de un suelo descompactado y observó que al cabo de 6 meses posteriores a dicha labranza esta variable había disminuido alrededor del 30 %, atribuyéndolo al reacondomiento de la estructura debido principalmente al efecto de las precipitaciones y al tránsito producido posterior a la labor.

Es de remarcar que las variaciones en el contenido de agua del suelo entre el momento inicial y postcosecha pudieron influir en los valores de RM con los que se estima el GDA, pudiendo explicar los incrementos en el GDA al momento de post-cosecha en los espesores de 20-40 cm del perfil.

En relación a la variación en el GDA, los resultados obtenidos por Bergesio (2011), quien evaluó el efecto de una labor de descompactación en un Haplustol típico del sur de Córdoba, observó que inmediatamente después de la labor el GDA promedio del perfil cultural hasta los 30 cm de profundidad fue de 64.14% y en el momento post-cosecha fue de 53.01% por lo que la recompactación del perfil entre esos dos momentos fue del 17.36%. Para el mismo espesor que el autor mencionado precedentemente, el GDA en el presente trabajo fue de 73.40% y 51.92% inmediatamente post-labor y post-cosecha, respectivamente indicando que la recompactación en el mismo periodo fue del 30%, Esta diferencia podría estar asociada a la diferencias en la

matriz del suelo, ya que el perfil estudiado por Bergesio (2011) solo posee 10% promedio de arcilla en el espesor, mientras que el suelo estudiado en esta experiencia posee algo más del 20% de esta fracción granulométrica, condición que lo hace más susceptible a sufrir compactación por tránsito cuando el mismo se realiza a elevado contenido de agua (Raper, 2005).

Cuadro 7: Evolución del Grado de Aflojamiento del suelo para cada momento de antelación de la labor.

Profundidad (cm)	GDA Momento de antelación de la labor 1 (junio)	GDA Momento de antelación de la labor 2 (octubre)	GDA en mayo (postcosecha) del MA1	GDA en mayo (postcosecha) del MA2
0-5	79.33	80.95	32.29	33.98
5-10	82.52	92.64	47.92	58.33
10-15	79.4	87.04	53.7	57.79
15-20	69.62	73.08	52.85	63.82
20-30	11.95	33.28	42.38	45.7
30-40	16.54	20.16	35.86	22
Promedio	56.56	64.5	40.8	46.94

GDA: Grado de aflojamiento

3.3 RENDIMIENTO

El análisis de la varianza indicó que sobre el rendimiento de los cultivos de soja y maíz sólo influyó el sistema de labranza utilizado y no así el momento de antelación de la labor de descompactación. En ambas campañas agrícolas evaluadas el tratamiento con labranza de descompactación subsuperficial presentó un rendimiento final significativamente superior que el tratamiento sin descompactar (figuras 11 y 12).

Las diferencias entre tratamientos pueden estar asociadas a la diferente condición física que presentaron los perfiles de suelos en ambos casos, tal cual se lo demostró con los resultados discutidos precedentemente.

Altos niveles de RM en el perfil tienen implicancias directas sobre el desarrollo vegetal, disminuyendo la velocidad de elongación de las raíces, provocando alteraciones en su morfología, modificando el sistema de conducción de agua y nutrientes hacia la parte aérea, estas alteraciones conllevan a la disminución de los rendimientos de los cultivos agrícolas (Botta *et al.*, 2005).

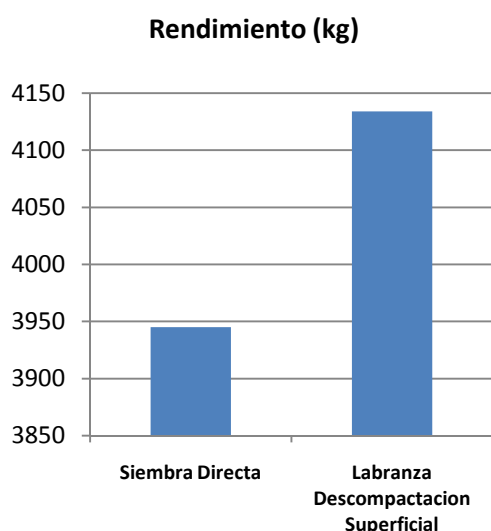


Figura 11: Rendimiento final del cultivo de soja en función de los tratamientos de la branza (campaña 2010-2011).

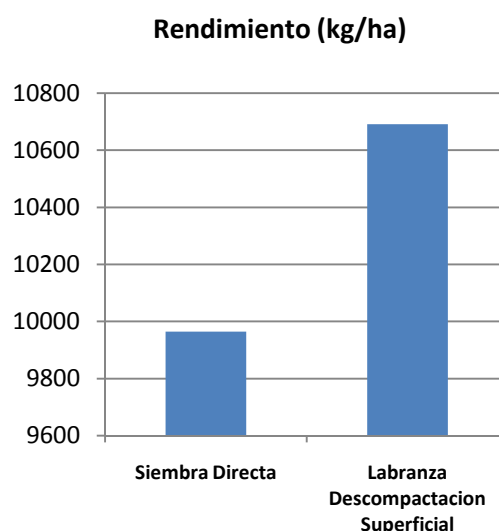


Figura 12: Rendimiento final del cultivo de maíz en función de los tratamientos de la branza (campaña 2011-2012).

Sadras *et al.* (2005) sostiene que el efecto de la descompactación sobre el rinde de los cultivos se debe a que mejoran las condiciones para que las raíces puedan captar mejor los recursos agua y nutrientes. El impacto de este tipo de labor se daría sobre el subsistema utilización del agua, ya que los valores de RM obtenidos durante todo el ciclo analizado demuestran que se incrementa el volumen de suelo explorado, se incrementa la densidad de longitud de raíces según lo hallado por Bonadeo (1997) en maní, por Cerliani (2011) en soja y maíz y Botta *et al.* (2005) en girasol y disminuiría la resistencia por la que atraviesa el flujo de agua a nivel de la raíz, debido a que el diámetro de las raíces es mayor que cuando las mismas deben atravesar capas densificadas.

En soja la diferencia media de rendimiento fue de 230 kg por hectárea, observándose una tendencia más favorable en el momento de antelación 2 de la labor respecto a la siembra que en el primer momento evaluado, en donde las diferencias con respecto al testigo fueron de 280 kg y 170 kg, respectivamente; en maíz la diferencia media en el rendimiento, respecto al testigo sin descompactar fue de 723 kg por hectárea, con una tendencia similar en cuanto al momento de antelación, en donde las diferencias fueron de 785 kg y 660 kg en LDSM2 y LDSM1, respectivamente, lo que hace suponer que estas diferencias se relacionan con mejores condiciones hídricas en el momento de realizar la labranza profunda lo que resultó en un mayor fisuramiento del perfil compactado como se nombró anteriormente

A partir de un análisis simple de costos, considerando que el costo de la labor equivalió a 245 kg de soja y que el precio de la soja en la campaña fue de \$1000 t, se puede sostener que el incremento en el rendimiento obtenido en la campaña 2010-2011 (del cultivo de soja) cubrió los costos de la labor de descompactación subsuperficial. En el ciclo 2011-2012 el incremento de rendimiento obtenido en maíz fue ganancia ya que los costos de la labor fueron cubiertos con el incremento obtenido en la primera campaña agrícola evaluada. Estos resultados indican que la introducción de una labor de descompactación en un planteo de siembra directa continua genera efectos positivos para la producción de los cultivos y también para la economía de los sistemas de producción agrícola, además de los efectos esperables en relación a la economía del agua y a la disminución de los procesos de erosión y sedimentación debidos a la disminución del escurrimiento superficial. Por otro lado cabe considerarse que las evaluaciones se realizaron durante dos años, pero esta respuesta puede perdurar durante campañas agrícolas posteriores lo que hace aun más interesante la introducción de esta labor de descompactación.

La perdurabilidad observada puede estar asociada al manejo realizado posterior a la labor, especialmente durante la cosecha, ya que durante dicho proceso las tolvas cargadas con granos no transitaban por el lote, es decir que se realizó un tránsito controlado, cuestión que de acuerdo a Botta *et al.* (2005) tiene un efecto marcado sobre la persistencia de los efectos positivos sobre la condición física de los suelos descompactados.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES

*El momento de antelación de la labor no influye en la persistencia del efecto de la labor sobre la resistencia mecánica del suelo, durante un ciclo de producción agrícola.

*El momento de antelación de la operación de descompactación no influye sobre el rendimiento de los cultivos correspondientes a dos campañas agrícolas consecutivas aunque se aprecia una tendencia a favor del momento de la realización de la labor inmediatamente después de siembra, en comparación con la realizada con tres meses de anticipación.

*La labor de descompactación disminuye significativamente la resistencia mecánica del suelo en el espesor trabajado desde pre siembra a postcosecha con respecto al suelo manejado en siembra directa continua.

*En este suelo con horizontes ricos en arcillas es muy importante el estado de humedad en el que se realiza la labor.

*La introducción de una labor de descompactación en un planteo de siembra directa continua incrementa el rendimiento de los cultivos en al menos dos campañas agrícolas consecutivas.

BIBLIOGRAFÍA:

AAPRESID 2005 XIII Congreso de AAPRESID “El futuro y los cambios de paradigmas”. Rosario. Argentina.

ASAE 1992. Asae standards. S 313.4. Soil cone penetrometer. St. Joseph, michigan. EE.UU. p: 661

BACIGALUPPO S. y GERSTER, G. 2003. Crecimiento de raíces de trigo en zonas compactadas por el tránsito en húmedo. INTA Oliveros, Argentina. p: 19-22.

BALBUENA, H.R., BOTTA, G.F. y E.R.D. RIVERO 2009. Herramientas de labranza para la descompactación del suelo agrícola. 1ª ed. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina. p: 216

BALBUENA, R.; ARAGÓN, A.; MAC DONAGH, P.; CLAVERIE, J. y TERMINIELLO, A. 1995. Efectos de tres sistemas de preparación del suelo en la resistencia a la penetración y la densidad de un suelo. XXIV Congreso Brasileiro de Ingeniería Agrícola. Vicosa. Brasil.

BALBUENA, R.; BOTTA G.; L. DRAGHI; H. ROSATTO y C. DAGOSTINO 2003 Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistemas de siembra directa. Spanish Journal of Agricultural Research. Vol.1, N° 2/ 75-80.

BAVER, L.D.; W.H. GARDNER y W.R. GARDNER. 1994. Física de suelos. UTEHA - México. 529 pp.

BERGESIO L. 2011. Persistencia del aflojamiento producido por una labor de descompactacion en un sistema de producción mixto en un Haplustol típico del sur cordobes. Tesis de grado para optar al título de Ing. Agrónomo, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad nacional de Rio Cuarto, Rio Cuarto, Argentina. 42 p.

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

BONADEO, E.; A. CANTERO GUTIERREZ y M. BONGIAVANNI. 2003. Relación entre la resistencia a la penetración, la densidad aparente y el contenido hídrico en un Hapludol típico. Rev. Universidad Nacional de Rio Cuarto 23 (1-2): 13-22.

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

BRUSASCA, D.J. 2013. Evolución del efecto de descompactación subsuperficial en un Hapludol típico manejado en siembra directa con mínimo tráfico agrícola. Trabajo final de graduación, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina.

BUSSCHER, W.J.; R.E. SOKJA & C.W. DOTY. 1986 Residual effects on tillage on coastal plain soil strength. *Soil Science*, 141: 144-148.

CACCIAVILLANI M. 2010 Evolución del comportamiento físico de un suelo Haplustol típico de Córdoba bajo dos sistemas de laboreo. Trabajo final de graduación, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina. 25 p.

CERLIANI C., 2011. Influencia de la descompactación subsuperficial y fertilización fosforada sobre el sistema radical, biomasa aérea y rendimiento de soja y maíz. Trabajo final de graduación, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina. 51 p.

CHOLAKY, C. 2003 Efectividad y persistencia de una labor de descompactación con subsolador alado, en función de la compactación y humedad antecedente. Tesis Magister Scientiae en Manejo y Recuperación de Tierras, UNRC, Argentina. 201 p.

CHOLAKY, C.; CISNEROS, J. y R.H. BALBUENA 2010. Field performance of a winged scarifier as a function of soil compaction and water content” *Chilean Journal of Agricultural Research* Volume 70, N° 1: 150-158.

DA SILVA, A.P.; B.D. KAY y E. PERFECT 1994. Characterization of the Least Limiting Water Range of Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1775-1781.

DI PRINZIO, A.P.; S. N. BEHMER Y G. L. STRIEBECK. 2000. Influencia de las rejas aladas en un subsolador combinado sobre el rendimiento de la labor. *Agric. Tec. (online)*. Abr. 2001, vol.61, no.2, p235-240. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072001000200014 Consultado: 25/10/10

DI RIENZO J.A, CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALES L., TABLADA M.,ROBLEDO C.W. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>

DOMÍNGUEZ, J.; RESSIA, J.M.; JORAJURÍA, D.; BALBUENA, R.; MENDIVIL, G. 2000. Geología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. Avances en Ingeniería Agrícola. II Congreso Americano de Ingeniería Agrícola: 110-115.

FERRARIS G. N. 2004. Descompactación de suelos bajo siembra directa continua. INTA Pergamino.

FILGUEIRA, R. R., SORACCO, C.G., GARCIA, M., CERISOLA, C. y M. G. GARCIA 2004 La densidad aparente de un suelo y la infiltración de agua en tres situaciones de manejo. Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pág. 70.

GIAYETTO, O.; BONADEO, E.; CRESPI, R.; FERNANDEZ, E. y W. ASNAL 1992 Convenio de Cooperación y Complementación entre la Cámara Argentina del maní y la Univ. Nacional de Río Cuarto (FAV). Proyecto “Manejo del agua en e sistema suelo-cultivo de maní en secano y bajo riego”. Informe Técnico 1990/91. Panorama manisero, año VI, N° 19: 14-20.

GILL, K.S. GAJRI, P.R, CHAUDHARY, M.R. y B. SINGH 1996. Tillage, mulch and irrigation effects on corn (*Zea mays* L.) in relation to evaporative demand. Soil and Tillage Research, 39 (3-4):213-227

GODWIN,R.J.; G. SPOOR Y M.S. SOOMRO. 1984. The effect of tine arrangement on soil forces and disturbance. J. agric. Engng. Research, pag 30, 47-56

GOMEZ GIACOMELLI, G.M. 2012. Descompactacion subsuperficial y direcion de lãs líneas de siembra: Efecto sobre La resistência mecânica edáfica y El rendimiento de maiz .Trabajo final de graduación, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina.

GOMEZ, M. 2011.Efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre el almacenamiento de agua en un Hapludol típico del sur Cordobés manejado en siembra directa. Trabajo final de graduación, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina.

GUDELJ, O. y MASIERO, B. 2000 Efecto Del manejo Del suelo sobre su densidad aparente. INTA Marcos Juarez. XVII Congreso Argentino de La ciência Del suelo. Mar Del Plata, argentina.

INTA, 1984 Carta de suelo de la República Argentina, hoja 35-63-6 pag. 6 y 7

LEIVA, P; HANSEN, D. 1984 Las resistencias mecánicas del suelo y el desarrollo radicular con distintos sistemas continuos de labranza. Carpeta de producción vegetal. Estación Experimental de Pergamino INTA. Argentina. Tomo 4: 181-185

MON, R. y C. IRURTIA. 2001 Recuperación de la productividad en suelos degradados. Informe Instituto de Suelos INTA Castelar. En:URL, <http://www.insuelos.org.ar/Informes>
Consultado: 25/8/09

PERUMPRAL, J. 1987. Cone penetrometer applications-a review. Transactions of the ASAE. Vol. 30 (4): 934-944.

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

RICHMOND, P. y S, RILLO. 2006 Evaluación del efecto de la compactación por el rodado de maquinarias sobre algunas propiedades físicas del suelo y el cultivo de trigo en siembra directa. INPOFOS Informaciones Agronómicas No. 32 p.22-25.

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

SAGPyA. 2005 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Ministerio de Economía de la Nación. En www.sagpya.mecon.gov.ar.

SENIGAGLESI, C y FERRARI, M. 1993 Soil and crop responses to alternative tillage practices. Crop Science. Vol 33: 27-35.

SPOOR, G. Y R.J. GODWIN. 1978. An experimental investigation into deep loosening of soil by rigid tines. J. Agric. Engng. Res. 23:243-258.

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

TERMINIELLO, A.M.; BALBUENA, R.H.; CIAVERIE, J.A.; CASADO, J.P. 2000 Compactación inducida por el tránsito vehicular sobre un suelo en producción hortícola. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 2, pp. 290-293.

THREADGILL, E.D. 1982 Residual tillage effects as determined by cone index. Transaction of the ASAE, St.Joseph, v25, p.859-863. 1982.

TOLA, E. H. M.; J. MULLER Y K. KOLLER. 2000 soil loosening in the seed zone as effected by different no-till furrow openers under different soil condition and crop residue cover rates. Actas XI international soil conservation conference . Buenos Aires. Pag 120-123.

UBERTO, M. CISNEROS, J., VIGNOLO C., CHOLAKY C. y R. PEDELINI 2001. Recuperación de la productividad en tierras del área manisera núcleo. I Propiedades físicas. Actas trabajos completos XVI Jornada Nacional de Maní, Genaral Cabrera, Argentina: 16-18

UPADHYAYA, S.; W. CHANCELLOR; J. PRERUMPRAL; S. SCHAFER; W. GILL y G. VANDERBERG 1994 Advances in Soil Dynamics. Vol. 1 Ed. De Vore-Hansen. St. Joseph, MI. 313 pág.

VEPRASKAS M.J., BUSSCHER W.J. Y J.H. EDWARDS 1995. Residual effects of deep tillage vs. no-till corn root growth and grain yield. Journal of production agriculture, 8. No. (3):401-405

ANEXO 1:

Descripciones del suelo bajo estudio.

Serie Santa Isabel:

Hapludol típico, franco, mixto, térmico.

La serie Santa Isabel es un suelo profundo y bien drenado, liviano y de escaso desarrollo, que ha evolucionado sobre sedimentos eólicos francos en el área de acumulación medanosa que cubre el paisaje en los partidos de General Arenales y Junín en la provincia de Buenos Aires y en las vecindades de Villa Cañas, provincia de Santa Fe.

El perfil del suelo muestra unos 36cm superficiales oscuros y bien provistos de materia orgánica (horizonte A1). Hacia abajo este horizonte va pasando gradualmente hacia un horizonte B2 con estructura débilmente prismática y más rojiza, de permeabilidad moderadamente rápida y con más arcilla que el A1. A unos 95 a 100 cm de profundidad el suelo disminuye en su consistencia y estructura haciéndose más masivo y suelto. No existen barnices iluviales ni moteados, aunque en las posiciones cóncavas del relieve a veces suelen observarse en el horizonte B2 escasos “clay skins” finos, en forma de puentes brillosos entre los granitos de arena.

El sedimento eólico que forma el material originario tienen las mismas texturas que el resto del perfil. Se trata de un suelo de escaso desarrollo por su relativamente corta edad ya que el ambiente ha sido remodelado en épocas más secas que la actual.

Según la posición en el relieve esta serie puede mostrar variabilidad en el espesor del A1 y en los contenidos de arcilla. Hacia el sur el horizonte C puede llegar a hacerse franco arenoso con 57% de arenas, mientras que el concepto centra esta en un 40%. Asimismo dadas las condiciones de drenaje se ha descrito una fase moderadamente bien drenada, que aparece en algunos complejos vinculados a los sistemas lagunares del sur del departamento General López (S1 fd3).

Descripción del perfil típico:

Ap	0-20cm; pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco; franco; estructura granular fina débil; límite inferior abrupto, suave.
A1	20-36cm; pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2.5) en húmedo; franco; estructura granular débil; muy friable; límite inferior claro; suave.
B2	36-67cm; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/2) en húmedo y pardo (7,5YR 5/4) en seco; franco; estructura en prismas gruesos y medios débiles; firme; límite inferior difuso, ondulado.
B3	67-98cm; pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/3) en húmedo y pardo (7,5YR 5/4) en seco; franco; estructura en bloques subangulares medios; débiles; friable; límite inferior difuso.
C	98-145cm+; pardo (7,5YR 5/4) en húmedo y pardo claro (7,5YR 6/4) en seco; franco; masivo; suelto.

Datos analíticos del perfil típico:

Horizontes	Ap	A1	B2	B3	C
Profundidad (cm)	0-20	20-36	36-67	67-98	98-145
Materia orgánica, %	2.2	1.56	1.01	0.36	0.2
Carbono Orgánico, %	1.12	0.91	0.59	0.21	0.12
Nitrogeno total, %	0.102	0.062	0.071	0.035	
Relacion C/N	11	15	8	6	
Arcilla $-2m$, %	16	23.9	21.7	16.8	15.8
Limo $2-50m$, %	43.1	39	39.5	43	42.4
Arena muy fina, $50-100m$, %	39.3	35.3	37	37.7	38.9
Arena fina, $100-250m$, %	1.6	1.8	1.8	2.5	2.9
Arena media, $250-500m$, %	0	0	0	0	0
Arena gruesa, $500-1000m$, %	0	0	0	0	0
Arena muy grueso, $1-2mm$, %	0	0	0	0	0
Calcáreo, $CaCO_3$, %	0	0	0	0	0
Equivalente humedad, %	16.5	21.7	18.2	16.5	14.5
pH en pasta	5.9	6.1	6.2	6.7	7
pH en agua, $1:2.5$	6.6	6.9	7	7.6	8
Cat. Intercambio, m.e./100gr:					
Ca ⁺⁺	9.1	10.7	9.7	8.7	7
Mg ⁺⁺	2.2	3.3	4.4	5.3	4.4
Na ⁺	0.3	0.9	0.4	0.4	0.5
H ⁺	4.4	4.2	3.4	3.1	1.8
Na ⁺ , % del valor T					
Suma de bases, m.e./100gr (s)	13.4	16.7	15.8	15.4	13.3
C.I.C., m.e./100gr (T)	15	18.8	16.5	16.1	13.9
Saturación con bases, % (S/T)	89	89	96	96	96

INTA, 1984 Carta de suelo de la República Argentina, hoja 35-63-6 pag. 6 y 7

Contenidos de humedad a capacidad de campo y punto de marchites permanente del perfil de suelo del sitio bajo estudio.

Espesor – Horizontes (cm)	Contenido de humedad (%)	
	0.3 Bares	15 Bares
0-5	22.5	11.9
5-10	21.9	12.4
10-20	22.9	13.4
20-30	23.0	13.6
30-40	22.3	13.5

ANEXOS 2:

Fotos



Foto 1: Determinación de la resistencia mecánica mediante penetrómetro de impacto.



Figura 2: Vista frontal del timón y reja utilizado.



Figura 3: Vista lateral del timón y reja utilizado.



Figura 4: Perfil cultural mostrando profundidad de trabajo (35cm) y fisuramiento generado por la labor de descompactación subsuperficial.



Figura 5: Sistema radical del cultivo de soja que se encontraba en la situación T (sin labranza de descompactación subsuperficial)



Figuras 6 y 7: Sistema radical del cultivo de soja que se encontraba bajo la situación de LP (labranza de descompactación subsuperficial)



Figura 8: Parcela con labranza de descompactación subsuperficial (izquierda); parcela testigo (derecha)



Figura 9: Vista posterior del implemento de armado artesanal, timones Agro-flex con rejas aladas de 18 cm montados sobre bastidor de cincel Chiappano.



Figura 10: Determinación de rendimiento con balanza de la tolva autodescargable en la cabecera del lote con el cultivo de soja.