

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

PERSISTENCIA DEL AFLOJAMIENTO PRODUCIDO POR
UNA LABOR DE DESCOMPACTACIÓN EN UN SISTEMA
DE PRODUCCIÓN MIXTO EN UN HAPLUSTOL TÍPICO
DEL SUR CORDOBÉS

Alumno: Bergesio, Leonardo Bartolomé
DNI: 32336696

Directora: Cholaky, Carmen
Co-Directora: Bricchi, Estela

Río Cuarto – Córdoba
Septiembre/2011



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Persistencia del aflojamiento producido por una labor de descompactación en un sistema de producción mixto en un Haplustol típico del sur cordobés

Autor: Bergesio, Leonardo Bartolomé

DNI: 32.336.696

Directora: Cholaky, Carmen

Co-Directora: Bricchi, Estela

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

Ing. Agr. Cholaky, Carmen _____

Ing. Agr. Crespi, Raúl _____

Ing. Agr. Degioani, Américo _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico



A José, Ana, Lorena...

... y a Paula

AGRADECIMIENTOS

- A mi familia, por su apoyo permanente, por darme la posibilidad de estudiar y depositar toda su confianza en mí.

- A mi novia, por estar presente en cada momento de mi carrera, brindándome todo su apoyo y cariño.

- A la Universidad Nacional de Río Cuarto, que me brindó la posibilidad de graduarme, brindándome todas las herramientas necesarias para hacerlo.

- A la Ing. Agr. Carmen Cholaky por conducirme en la realización de la presente trabajo, por la confianza depositada en mí y la presencia continua en el seguimiento de la investigación.

- A mis amigos y compañeros Julián Moreno y Adrian Moncalero, por su ayuda en la toma de datos.

- A la Ing. Agr. Estela Bricchi, directora del Programa de Investigación subsidiado por la SECyT- UNRC, en el que se enmarcó este trabajo.

ÍNDICE DE CAPÍTULOS

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Planteo del problema	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Hipótesis	6
1.4 Objetivos	6
Capítulo 2: Materiales y Métodos	7
2.1 Área de Trabajo	7
2.2 Tratamientos y diseño experimental	8
2.3 Evaluaciones	10
Capítulo 3: Resultados y Discusión	13
3.1 Efecto de la labor sobre el comportamiento físico del suelo	13
3.1.1 Perfil cultural	13
3.1.2 Resistencia mecánica y grado de aflojamiento	18
3.1.3 Densidad aparente	21
3.1.4 Persistencia del aflojamiento producido por la labor	23
3.2 Relación resistencia mecánica – contenido hídrico	26
3.3 Cobertura superficial y cantidad de rastrojo	27
Capítulo 4: Conclusiones	32
Capítulo 5: Posibles líneas futuras de investigación	33
Capítulo 6: Bibliografía	34
Anexos	40
1. Características morfológicas y analíticas del perfil representativo	40
2. Gráficos de relación resistencia mecánica – contenido hídrico	42
3. Curva de retención hídrica del suelo estudiado	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resistencia mecánica de cada capa del perfil cultural en ambos tratamientos en el momento posterior a la labor.	19
Tabla 2: Grado de Aflojamiento postlabor.....	21
Tabla 3: Densidad aparente estimada para D.....	21
Tabla 4: Densidad aparente estimada para SD.....	22
Tabla 5: Grado de aflojamiento producido por la labor de descompactación según datos estimados de densidad aparente.	22
Tabla 6: Resistencia Mecánica (Mpa) y Grado de aflojamiento (%) para los momentos postlabor, postcosecha y postpastoreo en los distintos tratamientos evaluados.....	25
Tabla 7: Ecuación de regresión entre resistencia mecánica y contenido de agua de diferentes capas del suelo con descompactación subsuperficial (D).	26
Tabla 8: Cobertura superficial y Cantidad de rastrojo con y sin pastoreo.	28

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Perfil de distribución de RM en SD y D después de la labor de descompactación.	20
Gráfico 2: Perfil de distribución del contenido de agua edáfica en SD y D después de la labor.	20
Gráfico 3: Perfil de distribución de RM en D, SD y DSP luego de la cosecha.....	23
Gráfico 4: Perfil de distribución de RM en SD, DSP, DP7 y DP26 luego de la cosecha y pastoreos correspondientes.	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del sitio experimental.	7
Figura 3: Vista frontal de la reja descompactadora.	9
Figura 4: Vista posterior de la reja descompactadora.	9
Figura 2: Vista lateral de la reja descompactadora.	9
Figura 5: Equipo descompactador en acción.	9
Figura 6: Bosquejo de parcelas.	10
Figura 7: Perfil cultural prelabor y de SD.	14
Figura 8: Detalles de las capas del perfil cultural prelabor y de SD.	14
Figura 9: Detalles de terrones de la capa H8 prelabor y de SD.	14
Figura 10: Perfil cultural postlabor de descompactación subsuperficial (D).	15
Figura 11: Detalle de las capas del perfil cultural postlabor de descompactación subsuperficial (D).	15
Figura 12: Detalles de los agregados de la capa H5 postlabor de descompactación subsuperficial (D).	16
Figura 13: Presencia de micelio de hongos agregando partículas.	16
Figura 14: Perfil cultural de DP26.	17
Figura 15: Cobertura superficial prelabor.	28
Figura 16: Cobertura superficial postlabor.	28
Figura 17: Efecto del pastoreo sobre la cobertura superficial y la emergencia de malezas. ...	29
Figura 18: Efecto del pastoreo sobre la cobertura superficial y la emergencia de malezas. ...	29
Figura 19: Raíces creciendo en sentido vertical explorando todo el perfil en D.	30
Figura 20: Detalle de raíz ramificada y acintada en la capa compactada en SD.	30
Figura 21: Detalle de raíces creciendo sobre los agregados en la capa compactada de SD. ...	31
Figura 22: Presencia de raíces creciendo en sentido horizontal sobre la capa compactada en SD.	31

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AC: Alta compactación.

AG: Agua gravimétrica.

AUM: Animales por unidad de mes.

BC: Baja compactación.

CC: Capacidad de campo.

D: Descompactación con escarificado alado seguido de siembra directa (tratamiento).

DAP: Densidad aparente.

DP26: Descompactación con escarificado alado seguido de siembra directa y pastoreo de rastrojos durante veintiséis días (tratamiento).

DP7: Descompactación con escarificado alado seguido de siembra directa y pastoreo de rastrojos durante siete días (tratamiento).

DSP: Descompactación con escarificado alado seguido de siembra directa sin pastoreo de rastrojos (tratamiento).

GDA: Grado de aflojamiento.

PEA: Peso específico aparente.

PER: Peso específico real.

PMP: Punto de marchitez permanente.

PT: Porosidad total.

RM: Resistencia mecánica.

SD: Siembra directa con suelo compactado (tratamiento).

SH: Suelo friable.

PERSISTENCIA DEL AFLOJAMIENTO PRODUCIDO POR UNA LABOR DE DESCOMPACTACIÓN EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN MIXTO EN UN HAPLUSTOL TÍPICO DEL SUR CORDOBÉS

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la persistencia del aflojamiento producido por una labor de descompactación en un Haplustol típico con siembra directa en un sistema de producción mixto. El estudio se realizó próximo a la localidad de Bulnes, Córdoba, Argentina. Los tratamientos abarcaron dos sistemas de labranza: siembra directa con suelo compactado (**SD**) y siembra directa con suelo descompactado mediante escarificador alado (**D**). Este último tratamiento se subdividió en tres según el manejo de los rastrojos: pastoreo directo durante 7 días (**DP7**), 26 días (**DP26**) y sin pastoreo de rastrojo (**DSP**). Se sembró maíz en segunda fecha de siembra. El diseño experimental fue completamente aleatorizado. Se evaluó: perfil cultural, persistencia de la descompactación mediante monitoreo de resistencia mecánica (**RM**) y humedad gravimétrica (**AG**), grado de aflojamiento (**GDA**) y rendimiento en granos. Se realizó una función de ajuste entre **RM** y **AG**. El perfil cultural de **D** mostró marcada fragmentación respecto a **SD**. En **D** la **RM** fue inferior a **SD** aún luego de la cosecha, observándose un **GDA** mayor a 40%. En **DP7** y **DP26** no se observó efecto del pisoteo, aunque el **GDA** evidenció recompactación subsuperficial respecto a **DSP**. Se halló una relación lineal entre **RM** y **AG**. El rendimiento en grano de **D** superó en 1 Mg ha⁻¹ a **SD**. El efecto de la labor persistió luego de la cosecha, al menos en zonas no transitadas por la cosechadora. Luego del pastoreo el efecto de la labor persiste evidenciándose una tendencia a la recompactación subsuperficial.

Palabras clave: siembra directa, descompactación, persistencia, rendimiento, pastoreo.

PERSISTENCE OF SOIL LOOSENING BY DECOMPACTION TILLAGE IN A MIXED PRODUCTION SYSTEM IN A TYPIC HAPLUSTOLL IN SOUTH OF CORDOBA

SUMMARY

The objective was to evaluate the persistence of soil loosening caused by decompression tillage in a Typic Haplustoll under no-till system in a mixed production system. The research was carried out near the village of Bulnes, Córdoba, Argentina. The soil treatment encompasses two systems of tillage: no-till with compacted soil (**SD**) and no-till with loosened soil through winged scarifier tillage (**D**). The latter treatment was subdivided into three stover handling; grazing for 7 days (**DP7**), 26 days (**DP26**) and no grazing of stover (**DSP**). The experimental design was completely at random. There were several aspects that were evaluated such as cultural profile, persistence of the decompression by mechanical resistance (**RM**) and gravimetric moisture (**AG**), soil loosening degree (**GDA**) and grain yield. There was an adjust performed between **RM** and **AG**. The cultural profile of **D** showed marked fragmentation compared to **SD**. **RM** in **D** was lower than **SD** even after harvest, showing a **GDA** of above 40%. There were no effect of trampling in **DP7** and **DP26**, but the **GDA** showed subsurface reconsolidation about **DSP**. A linear relationship was found between **RM** and **AG**. **D**'s grain yield exceeded 1 Mg ha⁻¹ to **SD**. The effect of tillage continued after the harvest, at least in the areas where there was no harvester trampling. After grazing the effect of tillage continues showing a tendency towards surface reconsolidation.

Keywords: no-till, soil loosening, persistence, yield, grazing.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteo del problema

La intensificación de los sistemas de producción es una realidad y una necesidad indiscutible, pero deberá implementarse un uso eficiente de los recursos naturales en un marco de sustentabilidad y de preservación del medio ambiente, especialmente del suelo. Productividad y Sustentabilidad no son conceptos contrapuestos, por el contrario solo planteos intensivos de producción que sean capaces de asegurar el mantenimiento de los recursos naturales y la no contaminación ambiental lograrán la sustentabilidad biológica y la viabilidad económica para hacerlos perdurables en el tiempo (Gonella, 2000).

La expansión agrícola, según Paruelo *et al.* (2005), fue acompañada entre 1988 y 2002 por una disminución de la carga animal en la mayor parte de la zona cerealera pampeana, mientras que en las áreas que, sin serlo antes, se transformaron en agrícolas, o las que rodean al núcleo agrícola pampeano, aumentó. Esta expansión agrícola es un caso particular de los frecuentes cambios producidos por los humanos en el uso del suelo, o en el tipo de aprovechamiento que realizan de los ecosistemas terrestres. Hoy, tal cambio es parte importante del llamado cambio global, junto con las alteraciones climáticas y las modificaciones en la composición atmosférica.

La ganadería argentina está basada fundamentalmente en el pastoreo directo por la hacienda de pastizales, pasturas, verdeos y rastrojos de cultivos. Esto la diferencia de la ganadería existente en otros países, donde los animales tienen una alimentación más bien basada en granos y otros suplementos. Una de las principales novedades acontecidas en la última década fue la irrupción de los sistemas ganaderos manejados en siembra directa, no ya sólo por el aprovechamiento de rastrojos, sino también de pasturas implantadas con este sistema (Taboada, 2007).

A pesar de los avances de la frontera agrícola, los sistemas de producción en la región semiárida pampeana son principalmente mixtos, basados en cultivos anuales (forrajeros y de cosecha), y en pasturas perennes. En este tipo de sistemas la interacción entre agricultura y ganadería ocurre a nivel del mismo lote. Es en especial en estos últimos lotes donde la aplicación de la siembra directa genera dudas sobre su viabilidad. Tales dudas se refieren al efecto del pastoreo directo sobre la evaluación de la cobertura de residuos y la compactación del suelo (Krüger *et al.*, 2004).

Para Unger (1996), la siembra directa, si bien tiende a mejorar la conservación del suelo, tiene resultados contradictorios en cuanto a la compactación, evolución y persistencia en el tiempo. Es por ello que debe realizarse un seguimiento de la densidad

aparente y la resistencia a la penetración, puesto que ambos factores pueden modificar la infiltración, crecimiento radicular y el rendimiento de los cultivos.

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 edáfica 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).

Taboada (2007) estudiando la respuesta del suelo al tránsito por animales observa una dependencia de dicha respuesta con el contenido hídrico que posee el mismo al momento del pastoreo. Esta influencia del pisoteo es principalmente de tipo físico-mecánico, pues afecta el estado de compactación de los primeros centímetros del perfil. Cuando el suelo está más seco, el tránsito y pisoteo causan compactación, asociada con una pérdida de macroporosidad. La compactación deja escasa evidencia visual de su daño. En cambio, el pastoreo en altas condiciones de humedad edáfica, da lugar a la ocurrencia de daño por "poaching". Este daño es causado por el flujo de suelo alrededor de la pezuña del animal, dejando una huella bien definida, o en condiciones de extrema humedad, un suelo totalmente amasado.

Limitaciones propias de algunos suelos y compactaciones adjudicadas al uso de labranzas conservacionistas 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).

En el presente trabajo, en un Haplustol típico representativo de la región centro-sur de la provincia de Córdoba, compactado subsuperficialmente producto de su historia de uso y manejo, se pretende evaluar la persistencia de la introducción de una labor de descompactación luego de un ciclo agrícola-ganadero.

1.2 Antecedentes

En relación al efecto del pastoreo, Esposito *et al.* (2002) encontraron que éste no ha tenido, solo ni de manera interactiva con las labranzas, efecto sobre el espacio poroso de un Hapludol típico del sur de Córdoba.

En relación a ello, Cholaky (2003) observó que el efecto de una labor profunda con subsolador alado en un Haplustol típico persistió al menos hasta los ocho meses posteriores a la labranza en una situación sin tránsito posterior a la labor, mientras que Draghi *et al.* (2006) plantearon que la descompactación sobre un suelo Argiudol típico bajo siembra

directa durante cinco años, persiste al menos dentro del ciclo del cultivo que le sigue, a pesar del tráfico posterior.

Fernández *et al.* (2008) estudiando dos suelos, un Hapludol típico y un Argiudol típico, apreciaron que la operación de cosecha fue un estrés superior al causado por el pastoreo invernal, atribuyendo esto a que en el período en el que se realizó la operación las precipitaciones son elevadas y es baja la capacidad portante del suelo.

El suelo agrícola está compactado cuando se ha roto el equilibrio entre las unidades estructurales, la estabilidad de las mismas, los poros, las grietas y las fisuras. Esa rotura del equilibrio en el perfil no permite asegurar un rápido drenaje, ni una adecuada aireación, ni tampoco un contenido de humedad suficiente para garantizar el crecimiento de los cultivos (Sánchez Giron, 1996 citado por Draghi *et al.*, 2006).

En relación al efecto de la humedad sobre la susceptibilidad a la compactación, los suelos de textura más gruesa tienen una humedad crítica más baja (óptima para la compactación), y alcanzan densidades máximas más elevadas que los suelos de textura más fina. Ello justifica por qué a menudo se encuentran niveles de compactación más altos en suelos franco arenosos que en suelos de textura con mayor contenido de arcilla (Taboada, 2007).

La relación entre la susceptibilidad a la compactación del suelo y el contenido de materia orgánica es útil para distinguir entre los diferentes usos y manejos de suelo. Altos valores de compactación y baja conductividad hidráulica corresponden a la disminución de contenido de materia orgánica, (Quiroga *et al.*, 1999).

Morán *et al.* (2002), trabajando sobre suelos con 6,5% de materia orgánica y siete años de siembra directa, observaron que el pastoreo produjo un aumento en la resistencia mecánica y una disminución en la infiltración a nivel superficial. En contraposición a esto, Cisneros *et al.* (2000), observaron que para dos suelos pertenecientes a la unidad ambiental sierra de Comechingones en la provincia de Córdoba, un Argiudol típico (planicie) con 11,7 % de materia orgánica y un Udorthent lítico (ladera) con 9,1 % de materia orgánica, el pastoreo directo, con cargas de 0,25; 0,5 y 1 equivalente vaca ha⁻¹, no incrementó los valores de resistencia a la penetración con respecto al testigo sin pastoreo.

Para un Haplustol típico, del centro-sur de la provincia de Córdoba, la labor con subsolador alado generó una elevada fragmentación del perfil independientemente del nivel de compactación original. La labor en suelo friable (SH), generó el mayor grado de aflojamiento del perfil tanto en situaciones con alta compactación (AC) como en aquellas con baja compactación (BC) producto del efecto de anteriores labores de descompactación. En AC, la labor en SH equilibró la posibilidad de obtener un perfil altamente fragmentado, con un menor consumo de energía por cada unidad de superficie removida. En BC, la influencia de la humedad antecedente fue menos marcada que en AC. En BC la persistencia

aunque sea parcial de los efectos de antiguas labores con reja cero, generó condiciones de menor requerimiento de potencia en futuras labores de descompactación (Cholaky, 2003).

Barber (1994) y Balbuena *et al.* (2009) afirman que en el estudio de la persistencia del efecto de aflojamiento producido por labores de descompactación subsuperficial del suelo existen resultados diversos en las experiencias citadas en la bibliografía. Además, la perdurabilidad de adecuadas condiciones físicas del suelo (*e.g.* baja resistencia a la penetración) es relevante al momento de definir la frecuencia de este tipo de operación.

Según Colareda *et al.* (2006), los efectos del tratamiento mecánico de descompactación sobre un Argiudol típico con textura franco limosa, y con una historia de 5 años bajo siembra directa, persisten hasta los 200 mm de profundidad durante el ciclo de un cultivo de soja conducido bajo el mismo sistema de labranza.

Para suelos de Costa Rica, el efecto de la carga animal se concentra en los primeros 5 cm de suelo, y se debe al peso del animal en relación a la superficie de contacto con el suelo en el que se posa (Agüero y Alvarado, 1983 citado por Fernández *et al.*, 2008).

Venanzi *et al.* (2002), a dos años de iniciadas las experiencias del pastoreo de verdeos de invierno, evidenciaron incrementos de la resistencia mecánica en la capa superficial de todos los suelos estudiados, Haplustol éntico, Argiudol thaptoárgico y Hapludol típico.

Comparando el efecto de dos tratamientos de carga animal, expresada en animales por unidad de mes por hectárea (AUM ha⁻¹), esto es, media (20 AUM ha⁻¹) y alta (60 AUM ha⁻¹), con igual contenido de humedad edáfica, Martínez *et al.* (2008) hallaron que el valor máximo de resistencia a la penetración se encontró en los primeros 10 cm del suelo del tratamiento con alta carga animal. Este valor resultó un 17% mayor en superficie (0 a 10 cm) que en profundidad (10 a 20 cm). El mínimo valor de resistencia correspondió al tratamiento con carga animal media entre 10 y 20 cm.

En cuanto al efecto del pisoteo animal, de manera opuesta a lo que ocurre con la densidad aparente (DAP), la porosidad total (PT) de un Haplustol éntico fue significativamente menor entre los 5-15 cm que en el resto de las capas del perfil, luego de 3 ciclos de pastoreo, aunque nunca alcanzó valores que comprometieran el crecimiento radicular (Kiessling *et al.*, 2008).

Cabrera (2007) trabajando en un Hapludol típico del centro sur de Córdoba, sobre el que evaluó el efecto de diferentes cargas animales y de la humedad edáfica al momento del pisoteo sobre variables hidrofísicas del perfil, observó que a pesar de no haber diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, hubo tendencias en los resultados que mostraron que el pisoteo animal generó un aumento en la densidad aparente en los primeros 10 cm de profundidad, siendo esto más acentuado en los primeros 5 cm del perfil, y una

disminución en la velocidad de infiltración inicial y final. En ambas variables, a mayor contenido de humedad edáfica al momento del pastoreo mayor fue el incremento producido.

En un Argiudol típico, en la parcela pastoreada, el aumento en la resistencia mecánica estaría relacionado directamente a la compactación provocada por el pastoreo del ganado vacuno presente en el sitio de estudio. Esta es mayor en los primeros centímetros del perfil de suelo (Álvarez *et al.*, 2008 a).

Martínez *et al.* (2008) trabajando en dos suelos, un Argialbol y un Argiudol, observaron que la resistencia a la penetración, a diferencia de la densidad aparente, se vio influida por el pisoteo. Asimismo Alakuku (1996) y Martínez *et al.* (2008) respecto a los suelos antes nombrados y Glamuzina (2008) en relación a un Hapludol típico, afirmaron que la resistencia a la penetración es un parámetro más sensible que la densidad aparente para caracterizar la compactación.

Cacciavillani (2009), estudiando el comportamiento de un Haplustol típico bajo dos sistemas de laboreo, observó que el efecto de aflojamiento producido por una labor profunda de descompactación perduró durante todo el ciclo del cultivo, solo en aquellas zonas sin tránsito posterior, coincidiendo con Cholaky (2003), pero observándose una recompactación en aquellas zonas transitadas por la maquinaria agrícola. Dicha recompactación alcanza tal magnitud que elimina por completo el efecto de la labor profunda.

Irurtia *et al.* (2008) observaron, en un Argiudol típico de Santa Fe, que después de 6 años de haberse realizado el subsolado pueden detectarse efectos residuales favorables en el suelo. La conjunción de la observación del perfil cultural y la realización de mediciones en el campo de infiltración y resistencia a la penetración permitieron detectar efectos residuales favorables para el crecimiento de las plantas.

Álvarez *et al.* (2010) analizando el uso de un descompactador y su efecto sobre el suelo y el rendimiento del maíz, encontraron que la descompactación mecánica redujo significativamente la resistencia a la penetración e incrementó la infiltración tanto a la siembra del cultivo como a su cosecha. Consecuentemente afirman que el mayor rendimiento obtenido en las parcelas descompactadas es producto de una mayor disponibilidad hídrica y nutricional para el cultivo. Diferenciando con lo expuesto, Richmon *et al.* (2010) apreciaron que los tratamientos descompactados y siembra directa no acusaron diferencias significativas entre ambos para la variable rendimiento de maíz, observándose una tendencia, en las parte altas del relieve, a un mayor rendimiento bajo siembra directa. Este comportamiento lo atribuyen a que en el año de la realización del estudio las precipitaciones fueron escasas.

1.3 Hipótesis

- El descompactado en un Haplustol típico, franco arenoso, perdura después de la cosecha e incrementan el rendimiento de un cultivo de maíz.
- En un Haplustol típico, franco arenoso, el pastoreo del rastrojo proveniente de la cosecha recompacta la parte superficial del perfil.

1.4 Objetivos

Objetivo General:

- Evaluar la persistencia del aflojamiento producido por una labor de descompactación en un sistema de producción mixto en un Haplustol típico y su impacto en el rendimiento de un cultivo de maíz.

Objetivos específicos:

- Describir y analizar el perfil cultural anterior y posterior a la labor de descompactación subsuperficial y el correspondiente al momento postcosecha.
- Monitorear la resistencia mecánica, el grado de aflojamiento producido y el contenido de agua edáfica como variables indicadoras de la persistencia del aflojamiento producido por una labor de descompactación, durante el ciclo agrícola y el ciclo ganadero del sistema de producción.
- Establecer correlaciones entre las variaciones de la resistencia mecánica y el contenido de agua del suelo para el perfil con descompactación.
- Medir la producción en grano del cultivo de maíz.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de Trabajo

La experiencia se realizó a campo en un establecimiento ubicado a 5 Km al oeste de la localidad de Bulnes, (Figura 1). El ambiente del sitio experimental está compuesto por planicies muy suavemente onduladas. El relieve es normal-subnormal (sin napa freática cercana a la superficie). Las pendientes son largas a muy largas, con gradientes generales de 0,7 a 1%, (Cantero *et al.*, 1986). El suelo es un Haplustol típico de textura franca arenosa muy fina perteneciente a la Unidad Cartográfica MNud-5 del Atlas Los Suelos (Agencia Córdoba Ambiente- INTA, 2006), correspondiendo a la serie Italó por presentar la mayor similitud morfológica y analítica. El mismo es bien drenado a algo excesivamente drenado, presenta una retención de humedad moderada (Anexo 3) y estructura superficial moderada. Es un suelo apto para agricultura, aunque presenta limitaciones de tipo climática. Las características morfológicas y analíticas se describen en el anexo 1.

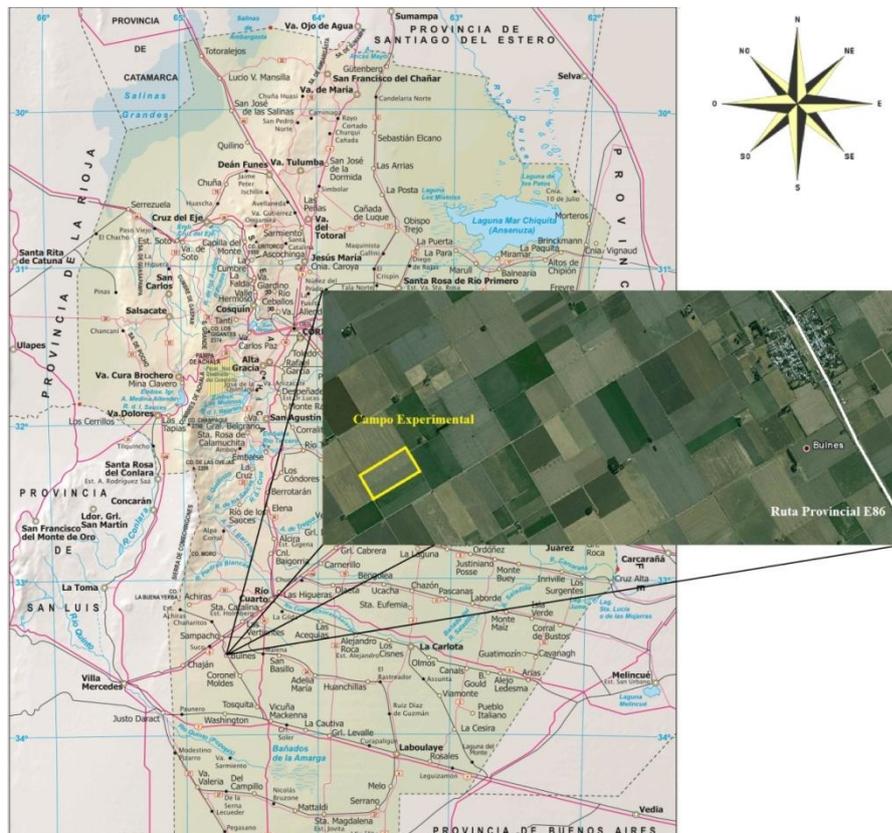


Figura 1: Ubicación del sitio experimental.

2.2 Tratamientos y diseño experimental

El ensayo a campo comprendió los siguientes tratamientos de labranza: siembra directa con suelo compactado (**SD**) proveniente de una historia de manejo con labranza convencional y en los últimos dos años con siembra directa, y siembra directa en suelo descompactado mediante escarificador alado (**D**). Dentro de éste último, luego de la cosecha, se subdividieron tres tratamientos según el manejo de rastrojo: pastoreo directo de rastrojo durante 7 días (**DP7**) y 26 días (**DP26**), con vacas de 400-450 Kg y una carga de 10 cabezas ha⁻¹ y sin pastoreo de rastrojo (**DSP**).

El tratamiento **SD** consistió en la siembra de un cultivo de Maíz (*Zea mays* L.), con el híbrido Tornado TD Max (Syngenta) el día 26 de diciembre de 2008, mediante una sembradora CELE Plus 7000 (2007), de tipo siembra directa con equipo de doble fertilización. La misma es de 14 surcos espaciados a 0,525 m, (ancho total de trabajo 7,35 m). Este equipo fue arrastrado por un tractor JOHN DEERE 6615 de 119 HP (88,5 kW). Las pulverizaciones se realizaron con una pulverizadora de arrastre PAMPERO Tetra Full (2008) (ancho de labor de 23,5 m) que permite aplicaciones variables en caudal y en espectro de aplicación, la cual fue tirada por un tractor JOHN DEERE 5705 de 85 HP (63 kW). La cosecha se realizó con una cosechadora JOHN DEERE 1185 (1998).

El tratamiento **D** consistió en realizar una labor de descompactación con un escarificador de 6 rejas aladas, rígidas, con un ancho de trabajo de 0,1 m, que constan de timones rectos con regulación para el ángulo de ataque, presentan filos longitudinales y verticales, están elaborados con acero boro, tratados y cementados, de un espesor de 9,52 mm (Figuras 2, 3 y 4). Dichas rejas son fabricadas por la empresa INGERSOLL, código IAR-0642-C y se montaron sobre el bastidor de un arado de cinceles PAMPERO (1998), espaciadas a 0,4 m y con una capacidad de trabajo de hasta 0,35 m de profundidad. Esta disposición responde a la relación espaciamiento/profundidad $1,4 \pm 25\%$ veces la profundidad de trabajo, propuesta por Godwin *et al.* (1984) para rejas de similares características. La labor se realizó a una velocidad de 4 Km/h, a 0,3 m de profundidad aproximadamente, con un contenido de agua gravimétrica promedio del perfil de 11,3 %, en suelo friable, condición óptima para este tipo de labor, según lo propuesto por Cholaky (2003) para un suelo similar al de la presente experiencia. A este implemento se le enganchó un rolo que tiene por función romper terrones y realizar el cierre de los surcos superficiales. Para realizar esta operación se utilizó un tractor ZANELLO 460C de 160 HP (120 kW) (Figura 5).

La siembra, las labores de postsiembra y cosecha fueron similares a las detalladas para el tratamiento **SD**.



Figura 4: Vista lateral de la reja descompactadora.



Figura 2: Vista frontal de la reja descompactadora.



Figura 3: Vista posterior de la reja descompactadora.



Figura 5: Equipo descompactador en acción.

El tratamiento **DSP** fue similar al tratamiento **D**, correspondiendo al ciclo ganadero y agrícola, respectivamente.

El diseño del experimento realizado correspondió a parcelas completamente aleatorizadas, dos para **SD** y ocho para **D** en el ciclo agrícola; y dos para **SD**, cuatro para **DSP**, dos para **DP7** y dos para **DP26** en el ciclo ganadero, (Figura 1). Tanto para la evaluación del ciclo agrícola como del ciclo ganadero, se tomaron 4 muestras al azar de la variable en estudio, por parcela y por tratamiento.

Cada parcela experimental tuvo 350 m de largo por 40 m de ancho (1,4 ha). Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2009).

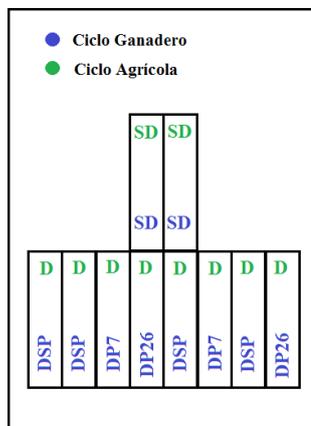


Figura 6: Bosquejo de parcelas.

2.3 Evaluaciones

En los tratamientos **SD**, **D**, **DSP**, **DP7** y **DP26** se estudiaron las siguientes variables edáficas:

-En el ciclo agrícola, se caracterizó el perfil cultural en tres momentos: prelabor de escarificado, postlabor de escarificado y posterior al pastoreo. Se utilizó 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 0,4 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, de 0,3 x 1,02 m, definiendo una superficie total de 0,306 m², siendo cada cuadrado de 0,03 m de lado, con cuya ayuda se transfiere la forma de las zonas a un papel que reproduce la grilla. La información obtenida fue digitalizada mediante el software ARC INFO (Esri, 1992) con el que se obtuvieron mapas de los perfiles culturales.

-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, en 4 momentos: en prelabor de escarificado en **SD**, postlabor de escarificado (previo asentamiento del suelo) en **SD** y **D**, en postcosecha (en sitios no transitados por la cosechadora) en **SD** y **DSP** y en postpastoreo en **DP7** y **DP26**. Las evaluaciones de los dos últimos momentos se realizaron en la misma fecha.

En cada medición se extrajeron 2 muestras compuestas de suelo por parcela

mediante barreno para la determinación del contenido de agua gravimétrica (**AG**) hasta los 0,3 m de profundidad, siendo los intervalos de muestreo ajustados de acuerdo a las diferentes capas del perfil cultural, quedando definidos de la siguiente manera: 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3 m. Las determinaciones de **AG** se realizaron mediante el secado en estufa a 105°C hasta peso constante.

-Se determinó el grado de aflojamiento (**GDA**) según Tola *et al.* (2000), con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{GDA} = (1 - \mathbf{RPDT}/\mathbf{RPAT}) * 100$$

Donde:

RPDT = resistencia a la penetración después del tratamiento

RPAT = resistencia a la penetración antes del tratamiento

-Se realizó un ajuste entre **RM** y **AG** del tratamiento **D** mediante una recta de regresión para cada capa del perfil cultural.

-Para eliminar la variación del contenido de **AG** existente entre **DSP**, **DP7**, **DP26** y **SD** en postcosecha y postpastoreo, se utilizó la relación propuesta por Krüger *et al.* (2008),

$$\mathbf{RM}_{wr} = \mathbf{RM}_o - [(\mathbf{W}_r - \mathbf{W}_o) * \mathbf{P}]$$

donde, **RM_{wr}**: Resistencia mecánica en **D** con agua de referencia, **RM_o**: Resistencia mecánica observada en **D**, **W_r**: Agua de referencia (%) en **SD**, **W_o**: Agua observada en **D** (%) y **P**: Pendiente de la recta de ajuste entre **RM** y **AG** para **D**.

El **W_r** elegido fue el contenido hídrico del perfil de **SD** en postcosecha y postpastoreo debido a que en este tratamiento no se realizaron las rectas de ajuste entre **AG** y **RM**.

-Se estudió la persistencia de la labor de descompactación mediante el monitoreo de la **RM** en los cuatro momentos propuestos (prelabor, postlabor, postcosecha y postpastoreo).

-Se estimó la densidad aparente (**DAP**) según la relación encontrada entre **RM** y **DAP** por Mapfumo y Chanasyk (1998) para suelos de textura franco arenosa como la de la presente experiencia, la cual responde a la siguiente ecuación:

$$\mathbf{RM} = 4,19 \mathbf{DAP} - 4,98$$

$$\mathbf{R}^2 = 0.85$$

-Se estimó la porosidad total (**PT**) a través de la relación propuesta por Danielson y Sutherland (1986), a partir del siguiente modelo:

$$\mathbf{PT} = (1 - (\mathbf{PEA}/\mathbf{PER})) * 100$$

Donde, **PEA**: Peso específico aparente y **PER**: peso específico real.

-Durante el ciclo ganadero, se midió el contenido de agua edáfica al inicio y al final de cada período de pastoreo de rastrojo, con lo que se calculó el contenido de agua promedio de los primeros 0,3 m de suelo para cada tratamiento de pastoreo, en los intervalos de profundidad mencionados *ut supra*.

-Se realizó la medición de la cobertura superficial de rastrojos de cosecha mediante el método de la transecta (Laflen *et al.*, 1981) antes y después de realizada la labor en el ciclo agrícola y antes y después del pastoreo en el ciclo ganadero; en este último ciclo además se midió la cantidad de materia seca por hectárea remanente como rastrojo para cada tratamiento.

-Se estimó la producción en granos (Mg ha^{-1}) de maíz para los tratamientos **D** y **SD** cosechando mecánicamente la totalidad de las parcelas, por lo que no se pudo realizar el tratamiento estadístico de los datos obtenidos.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efecto de la labor sobre el comportamiento físico del suelo

3.1.1 Perfil cultural

El perfil cultural previo a la labor (Figura 7 y 8) presentó, en sentido vertical, tres capas antrópicas bien diferenciadas:

H1, capa superficial de 0,1 m de espesor aproximadamente, con estructura en bloques subangulares a angulares, pequeños a medios, de grado débil. El estado interno de los agregados era “T” (gamma), caracterizado por presencia de caras internas rugosas y porosidad visible; la disposición de las unidades estructurales era fragmentaria “F”, es decir, que las mismas podían ser individualizadas fácilmente. Además, esta capa se presentó desmenuzada, con abundante tierra fina o grano suelto, abundantes raíces y lombrices.

H7, correspondió al sector descompactado por labores anteriores (cincel), de 0,05 m de espesor, y en el que perduraban los efectos producidos por dicha labor. La disposición de los terrones era solados fácilmente discernibles “SF”, el estado interno de los mismos “Δ” (delta), es decir, con caras internas lisas y escasa porosidad visible. La estructura se presentó en bloques angulares, algunos aplanados, medios, de grado moderado a fuerte, con presencia de escasa tierra fina, raíces creciendo en planos de debilidad, menor cantidad de lombrices que en la capa supradyacente.

H8, capa compactada, uniforme, de 0,15 m de espesor, correspondiente a un pan antrópico asociado al laboreo con arados de reja y vertedera (piso de arado), con disposición de los terrones masiva “M”, caracterizada por unidades estructurales muy grandes con tamaño promedio de muestro al azar de 0,12 x 0,13 x 0,1 m (Figura 9), que rompían por planos de debilidad, estado interno Δ similar a H7, grado de consistencia en húmedo fuerte. Se avizoró menor cantidad de raíces que en H7 las cuales se encontraban en planos de debilidad. Esta capa y sus características coinciden con las encontradas por Cholaky (2003) y Cacciavillani (2009) para suelos con historias de uso y manejo similares.

Las particularidades de la estructura de la capa H8, demuestran el deterioro existente en éste suelo en cuanto a su capacidad para permitir los principales procesos responsables de la producción de cultivos y pastos, entre ellos espacio físico para la exploración por parte de la raíces, aireación, almacenamiento y suministro de agua y nutrientes.

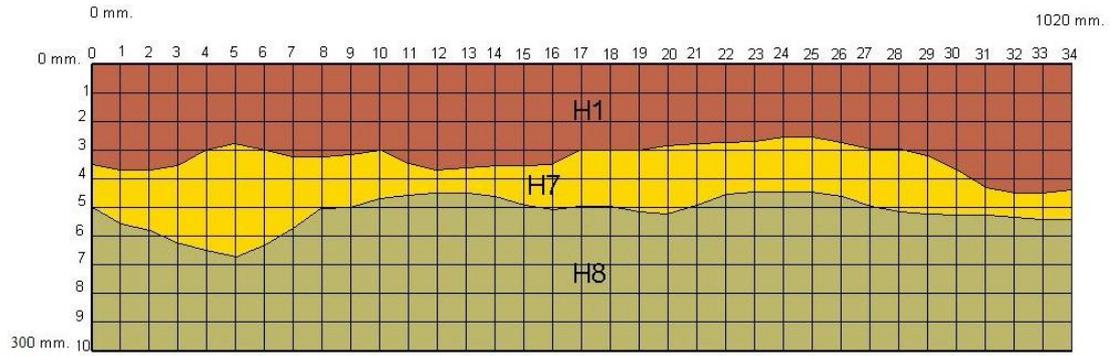


Figura 7: Perfil cultural prelabor y de SD.



Figura 8: Detalles de las capas del perfil cultural prelabor y de SD.



Figura 9: Detalles de terrones de la capa H8 prelabor y de SD.

Posterior a la labor de descompactación subsuperficial, el perfil cultural (Figura 10 y 11) mostró marcadas variaciones en su estructura respecto al perfil previo a la labor, diferenciándose dos capas:

H5, correspondiente a los sectores fisurados por la labor, con una disposición de los terrones fragmentaria “F”, con un tamaño medio de agregados menores a 0,01 m de diámetro, presencia de abundante tierra fina (Figura 12), estado interno de los terrones Δ , presencia de abundantes lombrices y micelios de hongos agregando las unidades estructurales (Figura 13), y

H8, correspondiente a sectores de la capa compactada que no fueron alcanzados por la labor, (Figura 11).

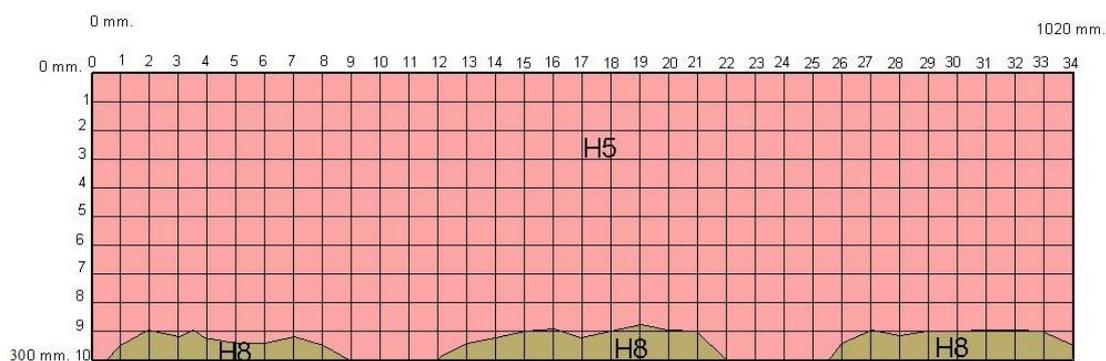


Figura 10: Perfil cultural postlabor de descompactación subsuperficial (D).



Figura 11: Detalle de las capas del perfil cultural postlabor de descompactación subsuperficial (D).



Figura 12: Detalles de los agregados de la capa H5 postlabor de descompactación subsuperficial (D).



Figura 13: Presencia de micelio de hongos agregando partículas.

Las características estructurales descritas indican que se produjo un fisuramiento uniforme de la capa densificada, producto del adecuado distanciamiento entre cuerpos del implemento, que trabajaron con un solapamiento eficiente al no evidenciarse sectores no disturbados entre rejas. En cuanto a la profundidad real de trabajo, la evaluación indicó que la misma fue variable, presentándose sectores en donde la capa H8 fue totalmente fisurada y otros en los que no lo fue, debido a la consistencia dura que presentaba la capa lo que ocasionó un patinamiento excesivo del tractor requiriendo una disminución de la profundidad de trabajo.

El perfil cultural luego de realizada la labor de descompactación, siembra, pulverizaciones, cosecha y el pastoreo del rastrojo durante veintiséis días, esto es **DP26**, presentó un grado de compactación intermedio entre los dos anteriores, observándose las siguientes capas:

H1 capa de 0,1 a 0,12 m de espesor, similar a la hallada en el momento prelabor de descompactación, presentó abundante tierra fina y raíces, estructura en bloques subangulares a angulares, pequeños a medios y grado débil. El estado interno de los agregados era “T” (gamma), con disposición fragmentaria “F”.

H7 y H7' capas de similares características, observándose en la segunda agregados más pequeños producto del paso por ese lugar del órgano activo (reja) del implemento. La capa H7 presentó un espesor de 0,10 m en donde perduraban los efectos producidos por la labor de descompactación. La disposición de los terrones era fragmentaria “F” y el estado interno de los mismos Δ . La estructura se presentaba en bloques angulares a subangulares, medios, de grado moderado. Poca tierra fina, raíces creciendo dentro y entre agregados.

H8 capa de 0,05 m de espesor, compactada donde no se observó efecto de la reja, con similares características a las descritas en los momentos prelabor y postlabor.

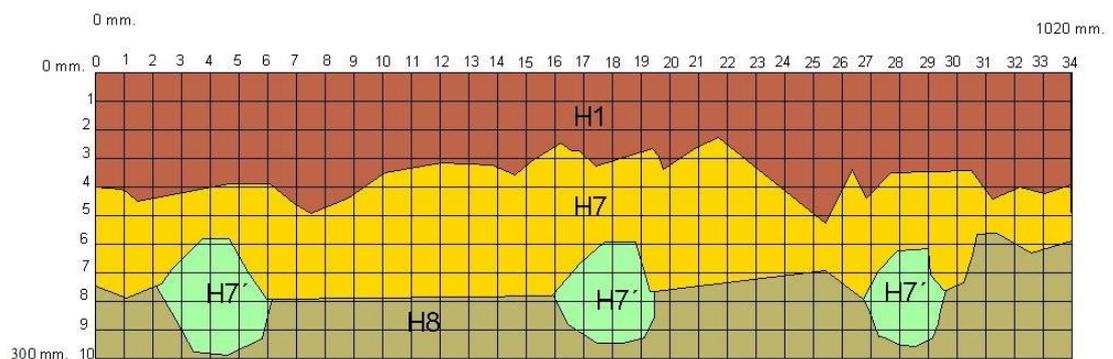


Figura 14: Perfil cultural de DP26.

Transcurrido aproximadamente un año de realizada la labor de descompactación aún perduraban los efectos producidos por la misma, aunque se apreciaron cambios en la estructura que evidenciaron una tendencia a la recompactación debido a las presiones ejercidas por el uso y manejo posterior (*e.g.* labores de siembra, cosecha), así como por un reordenamiento natural de las partículas y agregados dentro de las capas del perfil cultural, asociado al movimiento de agua dentro del perfil, a la ocurrencia de precipitaciones, a procesos biológicos, crecimiento de raíces, entre otros aspectos, producidos durante dicho período. En relación a la recompactación natural, Davies (1975, citado por Carter *et al.*, 1996) sostiene que la desintegración de agregados debido a ciclos de humedecimiento puede causar una rápida reconsolidación, especialmente en suelos franco arenosos con alto porcentaje de limos.

De acuerdo al autor citado precedentemente, generalmente el grado de consolidación es una función de la distribución de tamaño de partículas y del contenido de carbono

orgánico. Este factor podría ser de relevancia en los suelos de esta experiencia, por presentar alrededor de un 83% de arenas finas, muy finas y limos y menos del 1,6% de coloide orgánico, lo que le confiere a la estructura de las capas subsuperficiales una mínima estabilidad. Sumado a ello las precipitaciones en la zona ocurren en el período posterior a las labranzas, potenciando las posibilidades de reconsolidación de las capas aflojadas de acuerdo a lo observado por Sojka *et al.* (1990), quienes en un suelo de baja estabilidad estructural, apreciaron una reconsolidación dentro de un período de 27 días después del subsolado debido al ingreso del agua de lluvia al perfil.

De acuerdo a Taboada (2010) no solo es importante que el suelo posea un determinado tipo de estructura, sino que también esa estructura deseada persista en el tiempo. Esa persistencia es caracterizada por la estabilidad que posee una estructura ante diferentes tipos de estreses o fuerzas exógenas. El origen de esas fuerzas es tanto natural como antrópico. Claramente, de los estreses naturales los climáticos (*i.e.* lluvias erosivas, rápidos humedecimientos de suelos secos, vientos) son los más importantes, mientras que los estreses antrópicos son causados por acciones como las labranzas, el pastoreo y pisoteo animal, o el tráfico agrícola.

Cacciavillani (2009) y Balbuena *et al.* (2009) sostienen que 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.

3.1.2 Resistencia mecánica y grado de aflojamiento

Luego de realizada la labor de descompactación, se observó que en todas las capas del perfil cultural, la diferencias entre los valores de **RM** fueron altamente significativas entre **SD** y **D**, siendo menores en éste último tratamiento, (Tabla 1).

Coincidiendo con trabajos de varios autores como Cholaky (2003), Terminello *et al.* (2007), Cacciavillani (2010), Álvarez *et al.* (2009), la labor de descompactación redujo significativamente la **RM** de todo el espesor de suelo estudiado corroborando lo observado en la evaluación del perfil cultural de **D** (Tabla 1, Figura 3, Gráfico 1). El **AG** fue similar en **D** y **SD**, no habiendo diferencias estadísticamente significativas (Gráfico 2), por lo que la reducción observada en la **RM** fue atribuida al efecto de la labor. Bajo esta condición hídrica, superior a capacidad de campo, en ninguno de los dos tratamientos se alcanzó el valor crítico para el crecimiento de las raíces de 2 MPa, citado por Gil (2007), sin embargo en **SD**, en la capa H8, la **RM** alcanzó 1,78 MPa, valor que de acuerdo a este mismo autor afecta la tasa de profundización radicular.

Tabla 1: Resistencia mecánica de cada capa del perfil cultural en ambos tratamientos en el momento posterior a la labor.

Espesor de capa (m)	Tratamiento	Resistencia Mecánica (MPa)	Coefficiente de Variación (%)
0-0,1	SD	0,295 a	34
	D	0,153 b	
0,1-0,2	SD	0,922 a	33
	D	0,243 b	
0,2-0,3	SD	1,446 a	18
	D	0,351 b	
0,3-0,4	SD	0,952 a	11
	D	0,750 b	

Letras distintas entre filas para un mismo espesor indican diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$), según test de Tukey-Cramer.

Resulta interesante observar la distribución espacial de estos valores en el perfil de suelo (Gráfico 1), pudiéndose observar claramente en el perfil de **SD** un pico de **RM** a los 0,2 m de profundidad, correspondiendo éste a un viejo piso de arado ya que en la zona donde se encuentra el sitio de estudio, se utilizó esta herramienta de labor primaria hasta hace 10 años de manera anual, con una y hasta dos pasadas de dicho implemento por año, a lo que se le debe sumar el paso de labores secundarias y la cosecha (Jorajuria *et al.*, 1996). Coincidiendo con éste último autor, Botta *et al.* (2006), sostienen que la compactación inducida dentro de la capa compactada es acumulativa porque la labranza convencional rara vez llega a esa profundidad. En el perfil de distribución de **RM** en profundidad para **D** se aprecia una homogeneidad en la distribución de los valores en el espesor alcanzado por la labor de descompactación (Gráfico 1). Estos resultados concordaron con la evaluación cualitativa del perfil cultural.

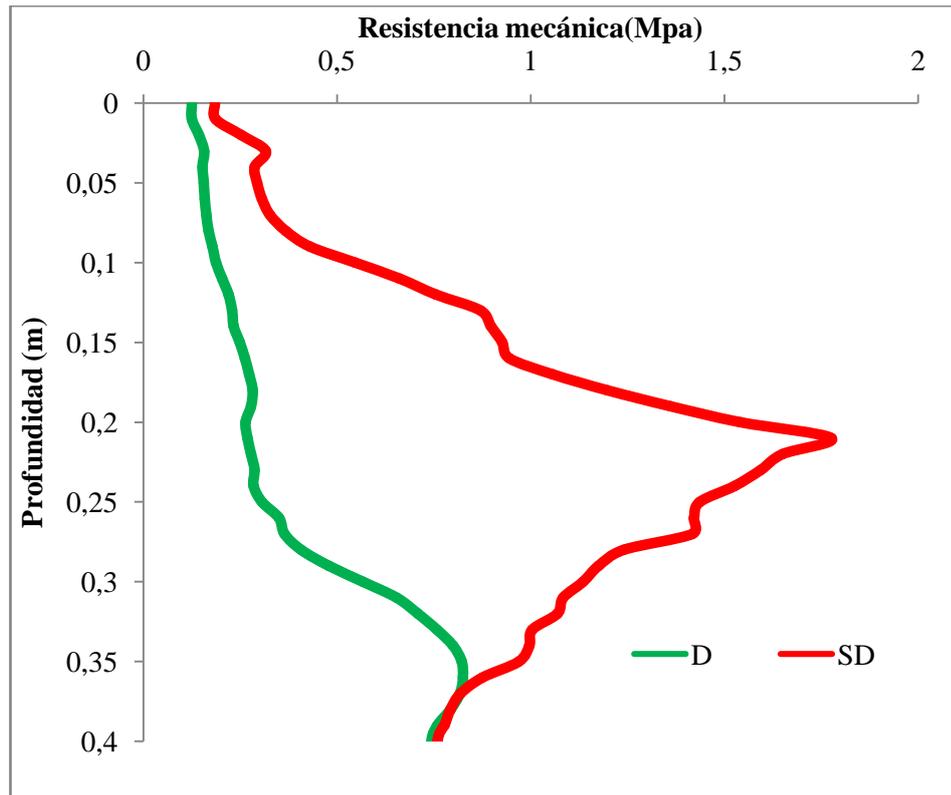


Gráfico 1: Perfil de distribución de RM en SD y D después de la labor de descompactación.

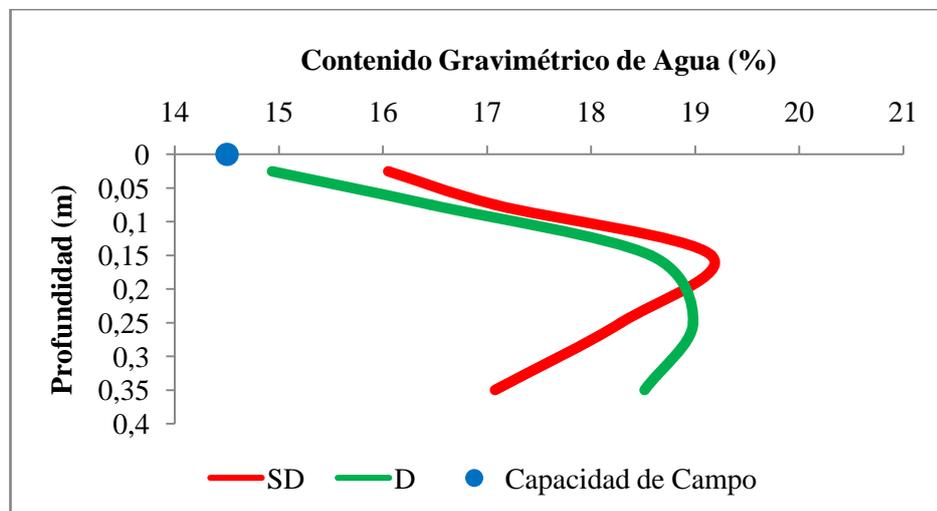


Gráfico 2: Perfil de distribución del contenido de agua edáfica en SD y D después de la labor. No existen diferencias significativas entre tratamientos en ninguna capa estudiada ($p \leq 0,05$) según test de Tukey-Cramer.

En cuanto al grado de aflojamiento producido por la labor, se observó que el mismo fue marcado en todas las capas del perfil cultural, alcanzando valores del 70% en el espesor del perfil más compactado y menos de 50% en la capa superficial (Tabla 2). Este

comportamiento, de acuerdo a Smith *et al.* (1989) podría estar asociado a la mayor compactación que presentaba el perfil en la capa de 0,2 a 0,3 m, lo cual modificaría el patrón de ruptura del mismo: el suelo se desplaza tridimensionalmente, hacia arriba, hacia adelante y hacia los costados de la herramienta de labranza, mientras que en las zonas menos compactadas lo haría solo hacia adelante y hacia los costados. En las zonas compactadas se genera un aumento en la tensión de ruptura, produciendo con ello una mayor propagación de las grietas y fisuras respecto a las menos densificadas (Snyder y Miller, 1989).

Similar tendencia fue observada por Colareda *et al.* (2006) en un Argiudol típico, sin embargo el **GDA** no superó el 45% en la capa más densificada, debido probablemente a un modo de fractura diferente por el tipo matriz con mayor contenido de arcilla de este suelo respecto al del presente trabajo.

Tabla 2: Grado de Aflojamiento postlabor.

Espesor de Capa (cm)	RM prelabor	RM postlabor	GDA (%)
0-10	0,295	0,153	48,30
10-20	0,922	0,242	73,75
20-30	1,446	0,351	75,76
30-40	0,952	0,750	21,18

3.1.3 Densidad aparente

A partir de la estimación realizada, las **DAP** en las diferentes capas del perfil cultural de **D** y **SD** se presentan en las tablas 3 y 4, respectivamente.

Tabla 3: Densidad aparente estimada para D

Espesor de Capa (cm)	DAP estimada (Mg/m ³)	Porosidad total estimada (%)
0-10	1,22	53,77
10-20	1,24	52,97
20-30	1,27	52,19
30-40	1,37	48,39

Tabla 4: Densidad aparente estimada para SD

Espesor de Capa (cm)	DAP estimada (Mg m ⁻³)	Porosidad total estimada (%)
0-10	1,26	52,49
10-20	1,41	46,85
20-30	1,54	41,84
30-40	1,42	46,58

La labor de descompactación produciría una marcada reducción en la **DAP** y con ello un aumento en la **PT** de las capas laboreadas.

Los valores de densidad aparente estimados para la situación **D** son coincidentes con los valores medidos por Cacciavillani (2009) y Cholaky (2003) en Haplustoles típicos similares a los de la presente experiencia, en los que realizaron labores de descompactación subsuperficial. Esta última autora midió valores de **DAP**, en la capa compactada de **SD** previa a la labor, semejantes a los obtenidos en la estimación aquí realizada.

Varios autores señalan la mayor sensibilidad de la **RM** en comparación a la **DAP** como variables indicadoras de la compactación presente en los suelos (Alakuko, 1996; Glamuzina, 2008). Esta mayor sensibilidad puede evidenciarse a través del **GDA** producido por la labor, cuando es calculado según Tola *et al.* (2000) con los valores de **RM** y utilizando el mismo modelo con los valores de **DAP**. Para el primer caso, cuando el **GDA** fue calculado con la **RM**, como se mencionó previamente alcanzó valores promedios de la capa densificada (H8) de 70% mientras que cuando el **GDA** fue calculado con la **DAP**, resultó ser sustancialmente menor, solo del 17% (Tabla 5), valor semejante al hallado por Glamuzina (2008).

Tabla 5: Grado de aflojamiento producido por la labor de descompactación según datos estimados de densidad aparente.

Espesor de Capa (cm)	GDA según DAP (%)
0-10	3,17
10-20	12,06
20-30	17,53
30-40	3,52

La disminución de la **DAP** en **D** respecto a **SD**, generaría un incremento esperado de la **PT** (tablas 3 y 4) con una tendencia similar a la observada por Cholaky (2003) produciendo condiciones más propicias para el movimiento del agua y del aire, como así también para el crecimiento de las raíces.

3.1.4 Persistencia del aflojamiento producido por la labor

Para analizar la persistencia del aflojamiento producido por la labor se tomó como agua de referencia el valor de 19,5% y de este modo se aisló del análisis el efecto de las variaciones hídricas entre tratamientos.

En el momento postcosecha, las diferencias de **RM** entre **DSP** y **SD** se mantuvieron con respecto al momento de evaluación postlabor (Gráfico 3, Tabla 6), siendo significativas solo en las capas de 0,11-0,20 m y de 0,21-0,30 m. Esto indicó que aún perduraban los efectos producidos por la labor de descompactación en los sitios no transitados por la cosechadora, concordando con la evolución del perfil de **RM** a lo largo del ciclo agrícola observado por Cacciavillani (2009) en los sectores sin tránsito agrícola.

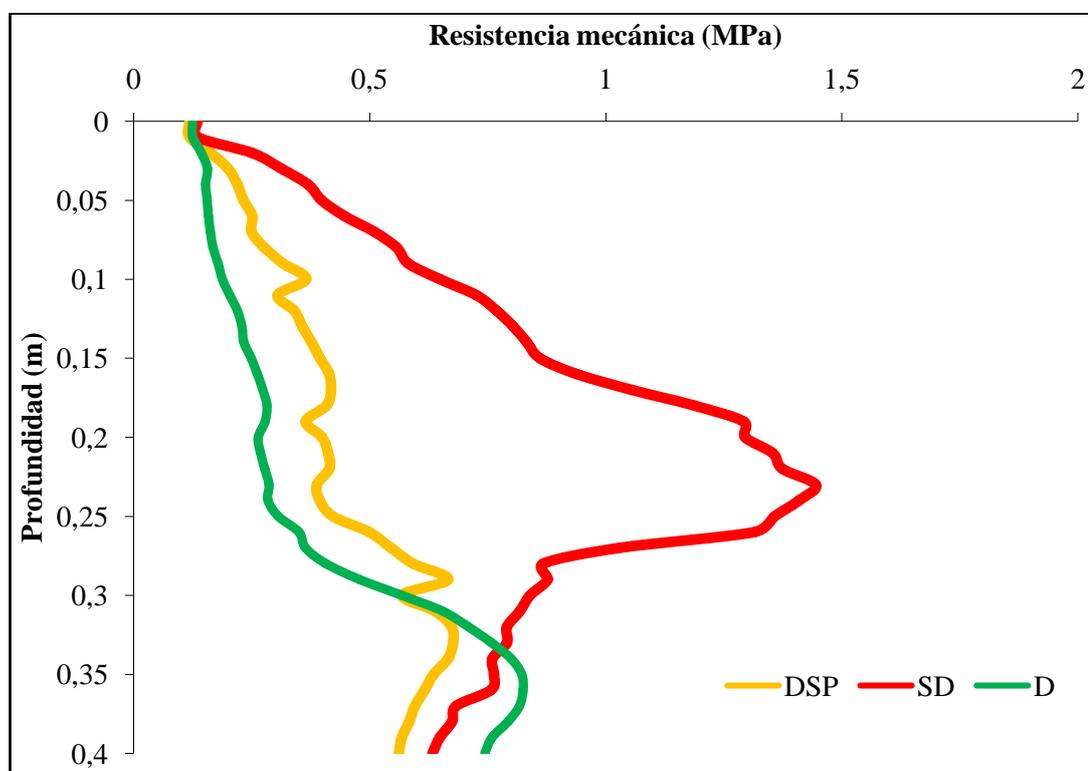


Gráfico 3: Perfil de distribución de RM en D, SD y DSP luego de la cosecha.

Al comparar el perfil de distribución de la **RM** de **DSP** con **D**, a pesar de presentar un similar contenido hídrico (19,5%), se apreció un leve incremento en la magnitud de la **RM** en todo el espesor del perfil el cual se atribuyó a la influencia de factores naturales (*i.e.* humedecimiento, secado, precipitaciones) ya que las mediciones en **DSP** se realizaron en sectores donde no era posible avizorar huellas del tránsito agrícola. Similar comportamiento fue observado por Cholaky (2003) en una situación descompactada sin tránsito posterior y discutido precedentemente en el apartado 3.1.1. del presente capítulo.

A similar contenido hídrico de referencia que en el momento anterior, la evaluación postpastoreo indicó que éste no afectó significativamente a la variable estudiada coincidiendo con lo hallado por Fernández *et al.* (2008) en un Hapludol típico. Sin embargo, en la capa de 0,21 – 0,3 m se observó un leve incremento en los valores de **RM** en **DP7** y **DP26** respecto a **DSP**, que en ningún caso fueron restrictivos para el crecimiento de las raíces (Gráfico 4, Tabla 6), como lo observado por Krüger (2008) aunque en este caso alcanzaron valores críticos para el crecimiento radicular. Éste pequeño incremento, estadísticamente no significativo de la **RM** en la capa inferior del perfil de **DP26** especialmente, se puede adjudicar al efecto del uso y manejo (*i.e.* tránsito de la cosechadora y pastoreo) ya que la evaluación de **RM** en los cuatro tratamientos (**SD**, **DSP**, **DP7** y **DP26**) se realizó en la misma fecha de medición (Gráfico 4, Tabla 6), no pudiendo adjudicar este cambio al efecto de factores naturales.

Esta escasa variación en los valores de **RM** de los tratamientos anteriormente mencionados podría estar asociada al bajo contenido de **AG** promedio que presentó el perfil (9%) tanto a la cosecha como durante el periodo del pastoreo animal, mejorando la capacidad portante del suelo, con la consiguiente disminución de la susceptibilidad a la compactación. Así también pudo manifestarse una cierta estabilización de las unidades estructurales generadas mecánicamente mediante de la labor (e.g. efecto de hifas y micelios de hongos) como se puede observar en la Figura 13.

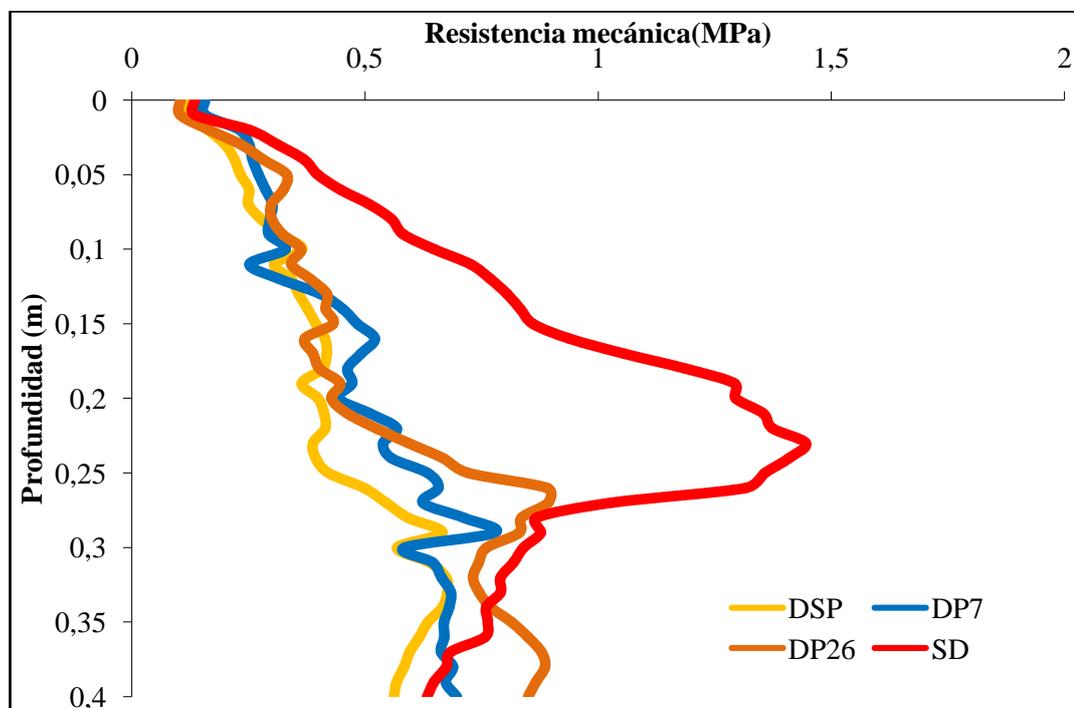


Gráfico 4: Perfil de distribución de **RM** en **SD**, **DSP**, **DP7** y **DP26** luego de la cosecha y pastoreos correspondientes.

Tabla 6: Resistencia Mecánica (Mpa) y Grado de aflojamiento (%) para los momentos postlabor, postcosecha y postpastoreo en los distintos tratamientos evaluados.

Espesor de Capa (m)	Resistencia Mecánica (MPa)		GDA (%)
	Postlabor		
	SD	D	
0-0,10	0,267 a	0,153 b	42,92*
0,11-0,20	0,922 a	0,242 b	73,75*
0,21-0,30	1,446 a	0,351 b	75,76*
	Postcosecha		
	SD	DSP	
0-0,10	0,396 a	0,220 a	44,36
0,11-0,20	0,968 a	0,378 b	60,92*
0,21-0,30	1,060 a	0,490 b	53,75*
	Postpastoreo		
	DSP	DP7	
0-0,10	0,220 a	0,246 a	-11,42
0,11-0,20	0,378 a	0,430 a	-13,59
0,21-0,30	0,490 a	0,616 a	-25,73
	DSP	DP26	
0-0,10	0,220 a	0,251 a	-13,64
0,11-0,20	0,378 a	0,403 a	-6,39
0,21-0,30	0,490 a	0,718 a	-46,45
	SD	DP7	
0-0,10	0,396 a	0,246 a	37,88
0,11-0,20	0,968 a	0,430 a	55,58
0,21-0,30	1,060 a	0,616 b	41,89*
	SD	DP26	
0-0,10	0,396 a	0,251 a	36,62
0,11-0,20	0,968 a	0,403 a	58,37
0,21-0,30	1,060 b	0,718 a	32,26*
	DP7	DP26	
0-0,10	0,246 a	0,251 a	-2,03
0,11-0,20	0,430 a	0,403 a	6,28
0,21-0,30	0,616 a	0,718 a	-16,56

Letras distintas en las filas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según test de Tukey-Cramer.

El análisis de la variación en el grado de aflojamiento producido por la labor, indicó que luego de la cosecha, esta variable se mantuvo por arriba del 50% en **DSP** con respecto a **SD** (Tabla 6), coincidiendo con lo observado por Colareda *et al.* (2002) en un Argiudol típico. Sin embargo, luego del pastoreo, los valores negativos de **GDA** resultantes de comparar **DSP** con **DP7** y **DP26** indican y corroboran la recompactación observada en la evaluación del perfil cultural y de la **RM** ya discutidos precedentemente, así como también los valores de **GDA** resultantes de comparar **DP7** y **DP26** indican que en éste último caso se produjo una mayor recompactación en la capa inferior del perfil. La recompactación producida en los tratamientos pastoreados no alcanzó los valores que presentaba **SD** al momento de medición, lo que indica la perdurabilidad parcial del efecto de la labor especialmente en el espesor del perfil por donde pasaron las rejas del implemento, sector de mayor compactación previo a la labor.

3.2 Relación resistencia mecánica – contenido hídrico

Se halló una respuesta lineal inversa en relación al contenido de humedad gravimétrico del suelo y la **RM** para el tratamiento **D**, (Tabla 7). La relación entre ambas variables fue mayor a medida que se incrementó la profundidad y la **RM** de las capas, similar a lo observado por Cisneros *et al.* (1998) y por Fernández *et al.* (2008), indicando que en el espesor de 0 – 0,1 m de H5 la variación de la **RM** no solo está influenciada por el contenido de agua, sino también por otras variables como el contenido de carbono orgánico (Breune *et al.*, 1996), la **DAP**, entre otros factores (Jorajuría, 2004), esto considerando el nivel de desagregación que presentaba dicha capa en la evaluación del perfil cultural.

Tabla 7: Ecuación de regresión entre resistencia mecánica y contenido de agua de diferentes capas del suelo con descompactación subsuperficial (D).

Espesor de Capa (m)	Ecuación de regresión	Rango de x (%)	R ²	n
0-0,1	$y = -0,0332x + 0,6908$	$3 < x < 20$	0,5612	16
0,11-0,2	$y = -0,0965x + 2,0713$	$7 < x < 20$	0,7333	18
0,21-0,3	$y = -0,1249x + 2,7007$	$7 < x < 20$	0,7689	17

Donde; “y” es la Resistencia mecánica (MPa) de la capa para un determinado porcentaje de agua gravimétrica en el suelo, y “x” es el contenido de AG (%). Dichas ecuaciones, son válidas para el rango de x que se observa en la tabla.

Por otro lado, surge que las pendientes de las rectas de regresión siguieron similar tendencia, siendo mayor a medida que aumentó la **RM** y profundidad de la capa, por lo cual,

ante una misma variación en el contenido hídrico del perfil, aumentará o disminuirá la **RM** en mayor magnitud para el espesor 0,21 -0,3 m que para los restantes intervalos, según el suelo se seque o humedezca, respectivamente. La magnitud de la pendiente fue inferior a las halladas por Cisneros *et al.* (1998), para una condición de suelo similar a las del presente trabajo pero sin labranza de descompactación, por lo que los valores de **RM** eran superiores a los de **D** (Anexo 2).

En este perfil laboreado **D**, cuando su contenido de **AG** esté próximo a **PMP** (8 %), de acuerdo a las relaciones encontradas, la magnitud de la **RM** podría alcanzar valores de 1,7 MPa en el espesor de 0,2 a 0,3 m, valor no restrictivo para el crecimiento de la raíces, según Gil (2007). Cabe considerar que la misma capa en el perfil de **SD** presentó similar valor a un contenido de agua superior a capacidad de campo (**CC**), por lo que es de esperar que cuando dicho perfil se presente a un contenido de **AG** próximo a **PMP**, la **RM** alcance valores altamente restrictivos para el crecimiento radicular, similar a los hallados por Cisneros *et al.* (1998) y por Bonadeo *et al.* (2003) para un suelo Hapludol típico compactado de la región sur de Córdoba.

3.3 Cobertura superficial y cantidad de rastrojo

La cobertura superficial media dejada por el rastrojo del cultivo antecesor a la labor, soja, era de 70% (Figura 15); luego de realizada la labor la cobertura fue de 64% (Figura 16), no habiendo diferencias significativas entre los momentos pre y postlabor según el test de comparación de medias de Tukey-Cramer ($p \leq 0,05$). Estos valores indican que el porcentaje de enterramiento de rastrojos debido a la labor fue del 6%, valor que difirió de lo observado por Cholaky (2003) quien midió un grado de enterramiento del orden del 20 % por una labor de descompactación similar a la del presente trabajo. Esta diferencia se pueden atribuir a variaciones en la velocidad de trabajo, a la geometría y filo del conjunto timón-reja entre otros aspectos (Balbuena *et al.* 2009). Varios autores señalan la importancia de mantener una elevada cobertura superficial ya que la misma contribuye a disminuir el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo disminuyendo la erosión hídrica (Gottfriedt *et al.*, 2004), disminuye la evaporación desde el suelo manteniendo mayor cantidad de agua disponible para la producción de biomasa (Dardanelli *et al.*, 1994, Sosa y Martín 2006), amortigua los efectos de compactación por tránsito de animales (Venanzi *et al.*, 2002), además de otros aspectos de importancia para el suelo y el cultivo a implantar.



Figura 15: Cobertura superficial prelabor.



Figura 16: Cobertura superficial postlabor.

Al comparar el efecto del pastoreo de rastrojo, de 7 y 26 días, con el tratamiento sin pastoreo se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de cobertura superficial y la cantidad de materia seca de rastrojo remanente en el suelo (Tabla 8). El análisis de estos datos junto con lo analizado en relación al impacto del pastoreo sobre la **RM**, muestran que el pastoreo no afectó significativamente el comportamiento de las propiedades físicas del suelo, representando una posibilidad de aprovechamiento ganadero de la biomasa vegetal postcosecha, bajo las condiciones estudiadas. Sin embargo, si bien el contenido de agua edáfico promedio del perfil cultural en el momento del pastoreo fue 9% aproximadamente, y no hubo un incremento significativo de la **RM** evaluada posterior al pastoreo, Taboada *et al.* (2007) plantean que el pisoteo, aún en condiciones de baja humedad del suelo, afecta la macroporosidad superficial sin generar efectos visibles sobre la superficie del suelo (e.g. huellas de pezuñas)

Tabla 8: Cobertura superficial y Cantidad de rastrojo con y sin pastoreo.

Tratamientos	Cobertura superficial (%)	Materia seca de rastrojo (Kg ha ⁻¹)
DSP	95 a	12475 a
DP7	89 b	9875 b
DP26	73 c	7525 c

Letras distintas entre filas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según test de Tukey-Cramer.

Sin embargo, como puede observarse en las figuras 17 y 18, las parcelas más pastoreadas, con menos cantidad de materia seca de rastrojo por hectárea y con menos cobertura superficial son las más enmalezadas, lo cual representa una desventaja desde el punto de vista productivo para el cultivo siguiente debido al consumo de agua y nutrientes por parte de estas malezas y/o al incremento en los costos de control de las mismas. Esta apreciación difirió con lo observado por Damario (2005), quien analizando el comportamiento de las malezas en un rastrojo de maíz halló que, en las parcelas pastoreadas la cobertura de malezas era menor que en las parcelas no pastoreadas, debido a que en el momento de iniciar el pastoreo del rastrojo existía una alta cobertura de malezas y los animales no solo se alimentaron del rastrojo, sino que también de las malezas presentes.

De La Fuente y Ghera (1998) explicaron que la germinación y emergencia de las malezas depende de las condiciones del suelo, las que son modificadas por el tipo de laboreo. La perturbación incrementa la aireación, la exposición de las semillas a la luz, modifica la temperatura y el contenido de agua de los mismos, mientras que la siembra directa con cubierta de rastrojo, se caracteriza por reducir la intensidad de radiación, la temperatura e incrementar la humedad. Es por ello que se interpreta que el pastoreo de rastrojo (perturbación) bajo las condiciones del estudio favoreció la emergencia de malezas.



Figura 18: Efecto del pastoreo sobre la cobertura superficial y la emergencia de malezas.



Figura 17: Efecto del pastoreo sobre la cobertura superficial y la emergencia de malezas.

3.4 Rendimiento

La producción total de granos arrojó una diferencia de 1 Mg ha⁻¹ a favor de **D** respecto de **SD**, siendo de 7 Mg ha⁻¹ y 6 Mg ha⁻¹ en **D** y **SD**, respectivamente. Esto podría explicarse no solo por la ruptura de la capa compactada (Álvarez *et al.*, 2006), sino también por una mayor mineralización de la materia orgánica existente, debido principalmente a la

remoción del suelo y su mayor exposición a los agentes mineralizantes. Esta última afirmación se contrapone con la hallado por Álvarez *et al.* (2008) y Díaz Zorita (2000), quienes realizando análisis químicos del suelo para evaluar la cantidad de nitratos (NO_3^-) en dos condiciones de suelo distintos, descompactado y bajo siembra directa, no encontraron diferencias significativas en esta variable.

Por otra parte resulta interesante la evaluación cualitativa que se realizó de la distribución y cantidad de raíces del cultivo de maíz bajo los dos tratamientos, en la cual se observó que las raíces en **D** presentaban una mayor proliferación y profundización que en **SD** donde las mismas crecían concentradas y dispuestas de manera horizontal sobre la capa compactada, figuras 19, 20, 21 y 22. Esta apreciación coincidió con lo observado por Álvarez *et al.* (2006) en maíz y por Botta *et al.* (2010) en soja, en un Argiudol típico al comparar el crecimiento de las raíces en parcelas descompactadas respecto a las compactadas.



Figura 19: Raíces creciendo en sentido vertical explorando todo el perfil en D.

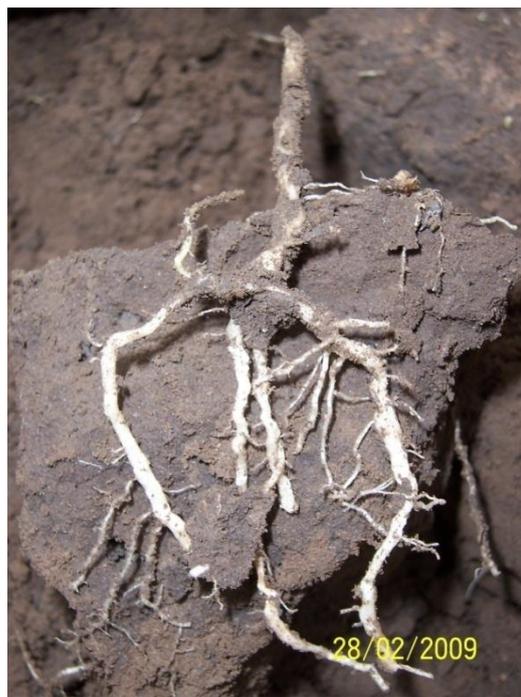


Figura 20: Detalle de raíz ramificada y acintada en la capa compactada en SD.



Figura 22: Presencia de raíces creciendo en sentido horizontal sobre la capa compactada en SD.



Figura 21: Detalle de raíces creciendo sobre los agregados en la capa compactada de SD.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

En un Haplustol típico, franco arenoso, luego de haberse realizado una labor de descompactación con escarificador alado en una situación con siembra directa, se concluye que:

- El efecto de aflojamiento producido por la labor persiste en el ciclo del cultivo y posterior a su cosecha, al menos en las zonas no transitadas por la cosechadora.
- La introducción de una labor de descompactación subsuperficial en un planteo de siembra directa, incrementa el rendimiento de maíz.
- Luego del pastoreo del rastrojo el efecto de la labor persiste aunque se evidencia una tendencia a la recompactación subsuperficial.
- La metodología del perfil cultural constituye una herramienta de utilidad para diferenciar sectores del suelo, contribuyendo a interpretar las mediciones realizadas de diferentes indicadores de la condición física del perfil.
- La relación lineal entre **RM** y **AG** y el grado de ajuste de las ecuaciones halladas, permite su utilización como herramienta para la estimación sencilla de la **RM** en el rango de **AG** entre 7 y 20 % en situaciones descompactadas.

CAPÍTULO 5: POSIBLES LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

- Evaluar la dinámica del agua durante el ciclo de diferentes cultivos y estimar la eficiencia en el uso de este recurso en un suelo compactado y otro descompactado.
- Estudiar el impacto que genera una labor de descompactación subsuperficial sobre la dinámica de la materia orgánica y de los nutrientes.
- Evaluar el efecto de la descompactación sobre la actividad microbiológica del suelo.
- Analizar la estabilidad estructural y la perdurabilidad de la nueva estructura (dinámica estructural en el suelo) principalmente en los primeros meses posteriores a la labor.
- Estudiar y comparar el efecto que realizan diferentes tipos de cultivos sobre la nueva estructura generada por la labor, de manera tal de poder extender la perdurabilidad de la misma.
- Ajustar el momento óptimo de realización de este tipo de labor, respecto al período de lluvias y a la siembra del cultivo, para mejorar la persistencia de los efectos generados.

CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA CORDOBA AMBIENTE – INTA EEA MANFREDI. 2006. Recursos naturales de la provincia de Córdoba: los suelos. Nivel de reconocimiento escala 1:500000 (en CD).

ALAKUKU L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. Short term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil Till. Res.* 37: 211-222.

ÁLVAREZ C. R.; M. A. TABOADA; M. TORRES DUGAN; C. BUSTINGORRI y E. CHAMORRO. 2010. Uso de descompactadores en planteos de siembra directa en la pampa ondulada: efectos sobre el suelo y el cultivo de maíz. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Santa Fe, Argentina (en CD) – 2010.

ÁLVAREZ, C. R.; M. A. TABOADA; C. BUSTINGORRI; B. GUTIÉRREZ y H. FLAVIO. 2006. Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. *Ci. Suelo (argentina)* 24 (1) 0-0.

ÁLVAREZ, C. R.; M. A. TABOADA; M. T. DUGGAN; C. BUSTINGORRI y F. G. BOEM. 2009. Uso de descompactadores en planteos de siembra directa: efectos sobre el suelo y el cultivo en la región pampeana. III Taller de física del suelo (AACS), Río Cuarto, Córdoba, Argentina (en CD) – 2009.

ÁLVAREZ, C. R.; M. TORRES DUGGAN; E. CHAMORRO; D. D´AMBROSIO y M. A. TABOADA. 2008 a. Efecto de la descompactación sobre algunas propiedades edáficas y el rendimiento de maíz en planteos de siembra directa. XXI Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina (en CD) – 2008.

ÁLVAREZ, M. F.; M. L. OSTERRIETH y J. L. DEL RÍO. 2008 b. Efecto de distintos usos del suelo sobre propiedades físicas de argiudoles típicos del sudeste bonaerense. XXI Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina (en CD) – 2008.

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

BARBER, R.G. 1994. Persistence of loosened Horizons and Soybean Yield Increases in Bolivia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 943-950.

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

BOTTA, G. F.; R. JORAJURIA y H. ROSATTO. 2006. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Till. Res.* 86: 9-14.

BOTTA, G. F.; A. TOLON-BECERRA; X. LASTRA-BRAVO; M. TOURN. 2010. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and Soybean (glycine max L.) Yields in argentinean pampas. *Soil Till. Res.* 110: 167-174.

BREUNE, I.; M. C. NOLIN; J. CARON y S. TRESSIER. 1996. La pénétrometrie et son utilisation dans la caractérisation de la qualité des sols. *Aerosol.* 9: 13-21.

CABRERA, F. S. 2007. *Efecto de la carga animal y humedad edáfica sobre el comportamiento hidrofísico de un suelo franco-arenoso del centro-sur de Córdoba*. Tesis de grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 56 p.

CACCIAVILLANI, M. 2009. *Evolución del comportamiento de un suelo Haplustol típico de Córdoba bajo dos sistemas de laboreo*. Tesis de grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 58 p.

CACCIAVILLANI, M.; C. CHOLAKY; J. CISNEROS y E. BRICCHI. 2010. Evolución del comportamiento físico de un suelo Haplustol típico de Córdoba bajo dos sistemas de laboreo. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Santa Fe, Argentina (en CD) – 2010.

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

CARTER, M. R.; D. A. HOLMSTROM; L. M. COCHRANE; P. C. BRENTON; J. A. VAN ROESTEL; D. R. LANGILLE y W. G. THOMAS. 1996. Persistence of deep loosening of naturally compacted subsoils in Novo Scotia. *Can. J. Soil Sci.* 76: 541-547.

CHOLAKY, C. 2003. *Efectividad y persistencia de una labor de descompactación con subsolador alado, en función de la compactación y humedad antecedente*. Tesis de Maestría en Manejo y Recuperación de Tierras, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 218 p.

CISNEROS, J. M.; C. CHOLAKY; J. GONZÁLEZ; M. UBERTO y J. J. CANTERO. 2000. Interacciones suelo-pastoreo en la sierra de Comechingón (Córdoba). XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina (en CD) - 2002.

CISNEROS, J.; C. CHOLAKY; O. GIAYETTO; E. BRICCHI; J. MARCOS y G. CERIONI. 1998. Homogeneidad física, resistencia a la penetración y humedad del suelo en sistemas de labranza para el área manisera de Córdoba. En: Balbuena R., Benez, S. H. y D. Jorajuría (Eds.). *Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito de Latinoamérica*. Editorial de la Universidad de La Plata, Argentina. p: 120-127

COLAREDA, G. O.; A. TERMINIELLO; R. H. BALBUENA y J. A. HILBERT. 2002. Descompactación de suelos bajo el sistema de siembra directa de cultivos. Persistencia

de la labor. XVIII Congreso Nacional de la Ciencia de Suelos, Puerto Madryn, Chubut (en CD) - 2002

DAMARIO P. 2005. *Efecto de las labranzas y del pastoreo animal sobre la comunidad de malezas asociadas a los rastrojos de cultivos estivales*. Tesis de grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 30 p.

DANIELSON, R. E. y P. L. SUTHERLAND. 1986. Porosity. En A Klute (de) *Methods of soil analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph* no. 9, 2nd Edition. ASA and SSSA, Madison, WI. p. 443-461.

DARDANELLI, J. L.; O. A. BACHMEIER; H. P. SALAS; E. F. LOVERA y F. NÚÑEZ VÁZQUES. 1994. Evaporación en un Hplustol entico bajo dos sistemas de labranzas. *Ci. Suelo (Argentina)* 12: 17-21.

DE LA FUENTE, E. Y C. GHERSA. 1998. Establecimiento de malezas de soja en ambientes con distinta degradación y sistema de labranza en la pampa ondulada. III Reunión Nacional de Oleaginosas. Actas: 57-58.

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. Téc.* [online]. abr. 2001, vol.61, no.2, p. 235-240. En: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072001000200014&lng=es&nrm=iso. ISSN 0365-2807. Consultado 22/11/08.

DI RIENZO J.A.; F. CASANOVE; M. G.BALZARINI; L. GONZALEZ; M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

DÍAZ-ZORITA, M. 2000. Effect of deep-tillage and nitrogen fertilization interactions on dryland corn (*Zea mays* L.) productivity. *Soil Till. Res.* 54: 11-19.

DRAGHI, L.; A. TERMINIELLO; J. CLAVERIE; T. PALANCAR; G. BOTTA; R. BALBUENA y D. JORAJURIA. 2006. Tráfico y Descompactación en Siembra Directa. XX Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo, Salta y Jujuy, Argentina (en CD) – 2006.

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

ESPOSITO, G. P.; J. GESUMARIA; E. BRICCHI; C. CASTILLO y R. BALBOA. 2002. Modificaciones del espacio poroso del suelo por las labranzas y el pastoreo de los rastrojos. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina (en CD) - 2002.

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

FERNÁNDEZ, P. L.; C. R. ÁLVAREZ y M. A. TABOADA. 2008. Pastoreo invernal de residuos vegetales en sistemas agrícola-ganaderos bajo siembra directa: I. Efectos sobre la resistencia mecánica y la densidad aparente del suelo. XXI Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina (en CD) - 2008

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

GIL, R. 2008. El ambiente del suelo y el crecimiento de las raíces. 2007. Publicación miscelánea. EEA Rafaela. 107: 12-16.

GLAMUZINA, J. J. 2008. *Evaluación de la compactación edáfica causada por el tránsito bajo siembra directa en función del contenido hídrico del suelo*. Tesis de grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 51 p.

GODWIN R. J.; G. SPOOR y M. S. SOOMRO. 1984. The effect of tine arrangement on soil forces and disturbance. *J. Agric. Eng. Res.* 30: 47-56.

GONELLA, C. A. 2000. Producción de carne en sistemas pastoriles. Publicación Técnica 32. Área de Investigación, Estación Experimental Agropecuaria General Villegas, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, República Argentina.

GOTTFRIEDT, G.; M. DE SIERVI; C. I. CHAGAS y A. F. IORIO. 2004. Erosión laminar en suelos de pampa ondulada con contenidos contrastantes de sodio intercambiable. *Ci. Suelo (Argentina)* 22 (2): 120-125.

IRURTIA C.B.; R. MON; N. GONZALEZ Y J. ELISEI. 2008. Efectos físicos residuales en un Argiudol típico después de seis años de subsolado en condiciones de tránsito agrícola no controlado. XXI Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina (en CD) – 2008.

JORAJURÍA, D. 2004. La resistencia a la penetración como parámetro mecánico del suelo. En: Filgueira R. y F. Micucci (Ed.) *Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría*. Editorial de la Universidad de la Plata p: 43-53.

JORAJURÍA, D.; L. DRAGHI y A. ARAGÓN. 1996. Compactación del suelo bajo tráfico repetido. *Rev. Inv. Agr.*, Universidad Nacional de La Plata, 10(3): 473-482.

KIESSLING R. J.; J. A. GALANTINI; J. O. IGLESIAS; H. KRÜGER y S. VENANZI. 2008. Efecto del pisoteo animal sobre la porosidad del suelo en lotes bajo siembra directa continua. XXI Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina (en CD) – 2008.

KRÜGER, H. R.; S. VENANZI y E DE. SÁ PEREIRA. 2004. Siembra directa y pastoreo. Impacto sobre el suelo y los cultivos en el sur la región semiárida pampeana. Ciclo de conferencias INTA Expone 2004. INTA. Buenos Aires. AR. 2006. v. II, p. 84-89.

KRÜGER, H.; S. VENANZI Y E. DE SÁ PEREIRA. 2008. Resistencia mecánica del suelo en una secuencia de cultivos agrícolas y mixta bajo siembra directa. XXI Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo, Potrero de los Funes, San Luís, Argentina (en CD) - 2008.

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

MAPFUMO, E. y D. S. CHANASYK. 1998. Guidelines for safe trafficking and cultivation, and resistance-density-moisture relations of three disturbed soils from Alberta. *Soil Till. Res.* 46: 193-202.

MARTÍNEZ, D. A.; A. M. LANDINI; E. L. SOZA; D. W. AGNES y O. S. HEREDIA. 2008. Sistemas de producción animal. Parte I: Incidencia de la carga animal sobre las condiciones físicas del suelo. XXI Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina (en CD) – 2008.

MORÁN, M. S.; J. L. COSTA; P. CALVIÑO y J.C. RODRIGUEZ. 2000. Influencia del pastoreo de verdeo sobre algunas propiedades físicas del suelo y del cultivo de soja en un sistema de siembra directa. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina (en CD) - 2002.

PARUELO, J. M.; J. P. GUERSCHMAN y S. R. VERÓN. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. En: http://www.agro.uba.ar/carreras/agronomia/materias/taller_II/paruelo_05_CH.pdf.

Consultado: 22/11/08

QUIROGA, A.R.; D.E. BUSCHIAZZO y N. PEINEMANN.1999. Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. *Soil Till. Res.* 52: 21-28.

RICHMON, P.; C. B. IRURTIA; R.MON; N. GONZALES; J. ELISEI y J. TELLERIA. 2010. Efecto de la descompactación del suelo en diferentes posiciones del relieve en condiciones de sequía. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Santa Fe, Argentina (en CD) – 2010.

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.* 32: 22-25.

SMITH, D. L. O.; R. J. GODWIN y G. SPOOR. 1989. Modeling soil disturbance due to tillage and traffic. En: Larson, W. E.; G. R. Blake; R. R. Allmaras; W. B. Voorhees and S. C. Gupta (Edit). *Mechanics and related processes in structures agricultural soils.* Kluwer Academic Publishers NATO ASI Series. Serie E: Applied Sc. Vol. 172. 273 p.

SNYDER, V. y R. D. MILLER. 1989. Soil deformation and fracture under tensile forces. En: Larson, W. E.; G. R. Blake; R. R. Allmaras; W. B. Voorhees and S. C. Gupta

(Edit). *Mechanics and related processes in structures agricultural soils*. Kluwer Academic Publishers NATO ASI Series. Serie E: Applied Sc. Vol. 172. 273 p.

SOJKA R. E.; W. J. BUSSCHER; D. T. GOODEN y W. H. MORRISON. 1990. Subsoiling for sunflower production in the Southeast Coastal Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1107-1112.

SOSA O. y B. MARTÍN. 2006. La broza en las pasturas. *Revista agromensajes*. Facultad de ciencias agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Edición N°18.

TABOADA M. A. 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. 4° Simposio de Ganadería en Siembra Directa, Aapresid, Potrero de los Funes, San Luis. p: 71-83.

TERMINIELLO, A.; J. HILBERT; J. CLAVERIE; T. PALANCAR; L. DRAGHI; R. BALBUENA y D. JORAJURIA. 2007. Persistencia del efecto del escarificado en un suelo Argiudol típico bajo siembra directa. En: <http://www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/siembra/escarificado.pdf> Consultado: 30/03/2010.

TOLA, E., J. MULLER y K. KOLLER. 2000. Soil loosening in the seed zone as affected by different no-till furrow openers under different soil conditions and crop residue cover rates. XI International soil conservation conference. Buenos Aires, Argentina: p. 120-123.

UNGER, P. W. 1996. Reconsolidation of Torric Paleustoll after tillage with paratill. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 195-199.

VENANZI, S.; E DE. SÁ PEREIRA y H. R. KRÜGER. 2002. La siembra directa y la ganadería. Efectos del pastoreo sobre la compactación a corto plazo. XVIII Congreso Nacional de la Ciencia de Suelos, Puerto Madryn, Chubut, Argentina (en CD) – 2002.

TABOADA M. 2010. Influencia de la textura y la estructura sobre la fertilidad física. En: R. Alvarez, G. Rubio, C. Alvarez y R. Lavado (Eds.). *Fertilidad de Suelos. Caracterización y Manejo en la región pampeana*. Editorial Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires, Argentina. Cap. 2. 83-95 p.

ANEXOS

1. Características morfológicas y analíticas del perfil representativo

Haplustol típico

Es un suelo bien drenado a algo excesivamente drenado, desarrollado sobre materiales franco arenoso y vinculado a lomas arenosas ligeramente onduladas con pendientes del 1%.

El horizonte superficial (capa arable) de 24 cm de espesor, es de color pardo grisáceo oscuro, de textura franco arenosa y estructura en bloques moderados. Hacia abajo, pasa claramente a un horizonte B color (no textural), de color pardo oscuro y estructura en prisma y bloques débiles. El horizonte C (material originario) se encuentra a una profundidad de 57 cm, es de color pardo amarillento oscuro, textura franco arenosa y con abundante calcáreo pulverulento en la masa del suelo a partir de los 95 cm de profundidad.

Estos suelos son aptos para agricultura aunque se encuentran limitados climáticamente. Presentan una moderada retención de humedad y moderada estructura superficial.

Datos analíticos.

Perfil	A ₁	B	C ₁	C _{2ca}
Profundidad de la muestra (cm)	0-24	24-57	57-95	+ 95
Materia Orgánica (%)	1,94	0,62		
Carbono Orgánico (%)	1,12	0,36		
Nitrógeno total (%)	0,116	0,057		
Relación C/N	9,6	6,3		
Arcilla (<2μ) (%)	10,6	11,8	7,9	6,5
Limo (2-50μ) (%)	27,7	24,1	24,1	29,6
Arena muy fina (50-100μ) (%)	28,2	24,5	30,5	34,0
Arena fina (100-250μ) (%)	27,9	35,8	32,5	3,6
Arena media (250-500μ) (%)	2,8	1,5	1,4	2,1
Arena gruesa (500-1000μ) (%)	2,4	2,5	2,9	
Arena muy gruesa (1000-2000μ) (%)	0,1			
Gravas (>2000 μ) (%)				
CaCO ₃ (%)	2,2			
Equivalente de humedad (%)	13,8	12,0	9,3	9,7
pH en pasta	6,3	6,5	7,0	7,6
pH en H ₂ O (1:2,5)	6,5	6,7	7,2	7,9
Cationes de cambio (meq/100g)	Ca ⁺⁺	5,8	6,5	6,3
H ⁺ cambio (meq/100g)	Mg ⁺⁺	0,7	0,7	1,1
	Na ⁺	0,3	0,2	0,2
	K ⁺	2,9	1,3	0,7
	1,1	0,7	0,4	
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)				

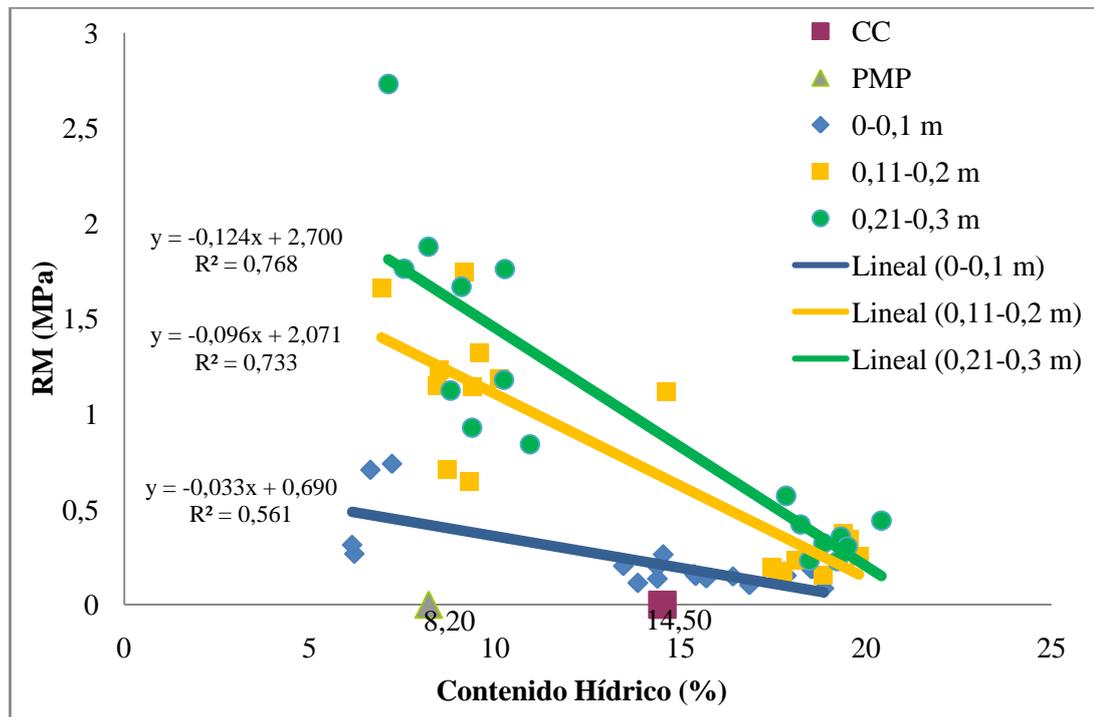
Valor S. Suma de bases (meq/100g)	9,7	8,7	8,3	
Valor T. CIC (meq/100g)	10,0	9,5	8,7	
Saturación de bases S/T (%)	88	91	95	

Descripción del perfil típico:

El perfil típico, fue descrito a 13 km al Norte de Italó, departamento General Roca, provincia de Córdoba y corresponde con la serie Italó, descrita en la Hoja 3563-14 Buchardo de la serie Editorial Cartas de Suelos de la República Argentina (INTA – ACASE), escala 1:50000.

<u>Horizonte</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Descripción</u>
A ₁	0-24 cm	Color pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2,5) en húmedo; franco arenosa; estructura en bloques subangulares medios moderados; duro en seco; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; límite inferior claro suave.
B	24-57 cm	Color pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo; franco arenosa; estructura en prismas y bloques medios, débiles; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; vestigios de barnices (“ClaySkins”) muy finos; límite inferior gradual, suave.
C ₁	57-95 cm	Color pardo amarillento oscuro (10YR3,5/4) en húmedo; franco arenosa; estructura masiva; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; límite inferior abrupto, suave.
C _{2ca}	+ 95 cm	Color pardo amarillento oscuro (10YR3,5/4) en húmedo; franco arenosa; estructura masiva; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; abundante calcáreo pulverulento diseminado en la masa del suelo.

2. Gráficos de relación resistencia mecánica – contenido hídrico



3. Curva de retención hídrica del suelo estudiado

