

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo

Modalidad: Proyecto

EFECTO DE LA DESCOMPACTACIÓN
SUBSUPERFICIAL Y TRÁNSITO DE MAQUINARIAS
SOBRE VARIABLES HIDROFÍSICAS DEL SUELO Y LA
PRODUCCIÓN DE MAÍZ

Alumno: Zaniboni, Rafael

DNI: 34687379

Director: Cholaky, Carmen

Co-Director: Moreno, Inés

Río Cuarto - Córdoba

Agosto/2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Efecto de la descompactación
subsuperficial y tránsito de maquinarias sobre variables
hidrofísicas del suelo y la producción de maíz

Autor: Rafael Zaniboni

DNI: 34687379

Director: Carmen Cholaky

Co-Director: Inés Moreno

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

(Nombres)

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida.

A mi familia, por su apoyo incondicional en todo momento.

A mi novia por su constante apoyo y ayuda.

A mis amigos, compañeros por compartir estos años y por su ayuda.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto y sus docentes.

A Leonardo Bergesio y Flia por brindar su establecimiento, apoyo y atención.

A mi directora Carmen Cholaky por su apoyo constante, confianza y conocimiento.

ÍNDICE DE CAPÍTULOS

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Planteo del problema.....	1
1.2 Antecedentes	3
1.3 Hipótesis.....	5
1.4 Objetivos	5
Capítulo 2: Materiales y métodos	6
2.1 Área de trabajo	6
2.2 Tratamientos y diseño experimental	8
2.3 Evaluaciones.....	11
2.4 Análisis estadístico de los resultados	14
Capítulo 3: Resultados y discusión	15
3.1 Efecto de la labor de descompactación sobre el comportamiento hidrofísico del suelo	15
3.1.1 Características estructurales del perfil cultural.....	15
3.1.2 Resistencia mecánica y sistema de labranza	16
3.1.3 Resistencia mecánica y tránsito de cosecha	19
3.1.4 Grado de aflojamiento	20
3.1.5 Velocidad de infiltración y sistema de labranza.....	21
3.1.6 Velocidad de infiltración y tránsito de cosecha.....	22
3.1.7 Perfil de huellado.....	25
3.2 Rendimiento	26
Capítulo 4: Conclusiones.....	27
Capítulo 5: Bibliografía.....	28
Anexos.....	32
1. Características morfológicas y analíticas del perfil representativo.....	32
2. Precipitaciones en el período 2013-2014	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución de la RM en profundidad y sistema de labranza.....	16
Tabla 2: Distribución de la RM en profundidad y momento de evaluación.	17
Tabla 3: Humedad gravimétrica en profundidad y momento de evaluación.	18
Tabla 4: Resistencia mecánica en los diferentes tratamientos a la profundidad de 10- 20cm.	19
Tabla 5: Velocidad de infiltración en SDd y SD.....	22
Tabla 6: Velocidad de infiltración en SDd y SD.....	23
Tabla 7: Velocidad de infiltración FH y SH de la cosechadora.	23
Tabla 8: Profundidad de huella en SDd y SD.	25

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Perfil de distribución de RM en SD y SDd.	17
Gráfico 2: Perfil de distribución del contenido de agua del suelo en SD y SDd.	17
Gráfico 3: Perfil de distribución de RM en los momentos DS y DC.	18
Gráfico 4: Perfil de distribución del contenido de agua del suelo en los momentos DS y DC.	19
Gráfico 5: Distribución del GDA en DS, DC (fuera de huella) y sobre la huella de la cosechadora.	21
Gráfico 9: Profundidad del frente de humedecimiento en los tratamientos SD y SDd, y sobre la huella de la cosechadora.	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del sitio experimental.	7
Figura 2: Imagen del equipo tractor/descompactador/rolo, en el sitio experimental.	8
Figura 3: Imagen del equipo descompactador y vista lateral de la reja descompactadora.	9
Figura 4: Esquema de la distribución de parcelas. En la parcela principal el factor labranza SD y SDd y en la subparcela el factor huella SH y FH.	10
Figura 5: Imagen del permeámetro de disco en funcionamiento.	11
Figura 6: Imagen del penetrómetro de impacto.	12
Figura 7: Imagen de la trilladora estática manual.	14
Figura 8: Detalle de la superficie del suelo y terrones de la capa 20-28 cm. Del lado izquierdo el tratamiento SDd y del derecho SD.	15
Figura 9: Ensayo de infiltración. Perfil de humedecimiento. Imagen izquierda SDd, imagen derecha SD.	22
Figura 10: Perfil de humedecimiento. Imagen izquierda SDh, imagen derecha SDfh.	24
Figura 11: Perfil de humedecimiento. Imagen izquierda SDdh, imagen derecha SDdfh.	24
Figura 12: Imagen de huellado de la cosechadora en SDd.	25
Figura 13: Detalles de las raíces de maíz. Izquierda SDd, derecha SD.	26

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

DC: Después de cosecha.

DS: Después de la siembra.

FH: Fuera de huella.

GDA: Grado de aflojamiento.

HG: Humedad gravimétrica.

RM: Resistencia mecánica.

SD: Siembra directa.

SDd: Siembra directa descompactado.

SDdfh: Siembra directa descompactado fuera de huella.

SDdh: Siembra directa descompactado sobre huella.

SDfh: Siembra directa fuera de huella.

SDh: Siembra directa sobre huella.

SH: Sobre huella.

VI: Velocidad de infiltración.

EFFECTO DE LA DESCOMPACTACIÓN SUBSUPERFICIAL Y TRÁNSITO DE MAQUINARIAS SOBRE VARIABLES HIDROFÍSICAS DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de una labor de descompactación posterior a la siembra y del tránsito de maquinaria de cosecha sobre la condición hidrofísica del suelo, manejado en siembra directa continua, y sobre el rendimiento de maíz. El estudio se llevó a cabo en cercanías de la localidad de Bulnes, Córdoba, Argentina durante el período 2013-2014. Las variables analizadas fueron: **RM** (Resistencia mecánica), **VI** (Velocidad de infiltración), **HG** (Humedad gravimétrica), **GDA** (Grado de aflojamiento), profundidad y perímetro de huella y rendimiento. Para las variables **RM**, **VI** y **HG** el diseño fue en parcelas divididas. En la parcela principal se ubicó el factor labranza con dos niveles **SD** (Siembra directa) y **SDd** (Siembra directa descompactado) y en la subparcela se evaluó el factor momento con dos niveles **DS** (después de la siembra) y **DC** (después de la cosecha). De igual manera se analizaron las mismas variables en el momento **DC**, donde en la parcela principal se ubicó el factor labranza con dos niveles (**SD** y **SDd**) y en la subparcela se evaluó el factor huella con dos niveles **SH** (sobre huella) y **FH** (fuera de huella). Para el análisis de rendimiento, profundidad y perímetro de huella y **GDA**, el diseño fue completamente aleatorizado con submuestreo, donde los dos niveles de labranza fueron **SD** y **SDd**. La **RM** fue inferior y la **VI** superior en **SDd** respecto a **SD** en los dos momentos. El tránsito de cosecha elevó la **RM** en **SDd** y produjo una marcada disminución en la **VI** tanto en **SD** como en **SDd**. La aplicación de la labor de descompactación deja el suelo más susceptible al paso de la cosechadora generando una mayor profundidad de huellado. El impacto sobre el rendimiento fue mínimo.

Palabras clave: siembra directa, velocidad de infiltración, resistencia mecánica, descompactación, tránsito de cosecha, rendimiento.

EFFECT OF SUBSURFACE DECOMPACTING AND MACHINERY TRANSIT ABOUT HYDROPHYSICAL VARIABLES ON SOIL AND CORN PRODUCTION

SUMMARY

The objective was to evaluate the effect of decompacting labor after sowing and the transit of harvesting machinery on soil condition, handled continuous direct sowing, and corn yield.

The study was carried out in the vicinity of the town of Bulnes, Córdoba, Argentina during the 2013-2014 period. The variables analyzed were: **RM** (Mechanical resistance/strength), **VI** (Infiltration rate), **HG** (Gravimetric humidity), **GDA** (Degree of loosening), depth and perimeter track and performance. For the **RM**, **VI** and **HG** variables, the design was in split (divided) plots. In the main plot the factor farming was evaluated at two levels **SD** (Direct sowing) and **SDd** (Decompacted direct sowing). In the subplot was evaluated the factor time with two levels, **DS** (After planting) and **DC** (After harvest). Similarly the identical variables were analysed at the time, **DC** where in the main plot were located the tillage factor with two levels (**SD** and **SDd**) and in the subplot was evaluated the track factor with two levels, **SH** (On the track) and **FH** (Out of the track). For the analyses of yield, depth and perimeter of tracks and **GDA**, the design was completely randomized with subsampling, where the two levels of tillage were **SD** and **SDd**. The **RM** was lower and the **VI** was upper in **SDd** with regard to **SD** in the two moments. The combine harvester transit raised the **RM** in **SDd** and produced a marked decrease in the **VI** both **SD** as **SDd**. The implementation of the labour leaves more susceptible soil through the combine harvester generating a greater depth of track. The yield impact was minimal.

Keywords: direct sowing, infiltration, mechanical resistance, decompacting, harvest transit, yield.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteo del problema

Producto de la intensificación de la producción agropecuaria, del incremento significativo en el peso total de la maquinaria, entre otros aspectos, la degradación estructural de los suelos es considerada uno de los principales problemas de las áreas cultivadas del mundo Mur *et al.* (2012).

La Argentina ocupa el tercer lugar en el mundo, en superficie, manejada bajo siembra directa. En este sistema de manejo, la compactación del suelo es causada por la alta intensidad de tránsito resultante del pasaje de los tractores utilizados en la protección de los cultivos y en la cosecha, especialmente cuando estas operaciones son realizadas con el suelo húmedo y con alta presión en los neumáticos Álvarez *et al.* (2009).

Uno de los mayores daños ocasionados directamente por la agricultura moderna ha sido la compactación del suelo debido al uso de maquinaria pesada, junto con la tendencia al monocultivo y a la creciente disminución de materia orgánica en la superficie del suelo Cabassi *et al.* (2012).

Cuando se utilizaban maquinarias más livianas, la compactación existía en los niveles superficiales del suelo. Con el uso de equipos grandes fue alcanzando niveles más profundos. La compactación de los estratos superficiales está causada por la presión específica (que está estrechamente correlacionada con la presión de inflado de las cubiertas), mientras que la compactación de los estratos más profundos (a más de 30-50 cm), está determinada solamente por la acumulación total de la carga, independientemente de la extensión de la superficie en la que se distribuye la misma Richmond *et al.* (2006).

Si bien la siembra directa tiene como objetivo reducir los impactos de la agricultura sobre el suelo, debido a la ausencia de labranzas y presencia de cobertura permanente, existen numerosas evidencias respecto a procesos de degradación física (densificaciones) determinados por sucesivos años de agricultura bajo este sistema, particularmente en suelos con alta susceptibilidad Reposo *et al.* (2012).

Entre los numerosos procesos que conducen al deterioro de la estructura del suelo, la compactación inducida por tráfico de vehículos pareciera ser el desafío más importante a largo plazo, para una agricultura sustentable. Para un suelo dado, la distribución de la compactación en el perfil será función de la textura, la carga aplicada, la presión ejercida por el rodado, el estado de humedad, y la intensidad de tráfico recibida Mur *et al.* (2012).

La preocupación sobre el impacto negativo de la compactación excesiva se ha visto incrementada en los últimos años en Argentina, en consonancia con la intensificación agrícola y la expansión geográfica de la siembra directa Álvarez *et al.* (2009).

La compactación es uno de los principales factores que afectan al crecimiento de las raíces; la presencia de capas densificadas disminuye la velocidad de elongación de las mismas, provoca 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. La descompactación profunda permite lograr un mayor enraizamiento otorgando al cultivo mayor resistencia a la sequía, mejor aprovechamiento de los nutrientes y estímulo de la actividad microbiana Cerliani *et al.* (2012).

Dos indicadores que se utilizan para caracterizar el grado de compactación de un suelo son la Resistencia Mecánica o resistencia a la penetración y la densidad aparente. Sin embargo, la porosidad total puede permanecer igual luego de la compactación, mientras que la configuración del sistema poroso siempre se modifica. Los cambios en esta configuración se ven reflejados en la alteración de las propiedades hidráulicas que son la tasa de infiltración básica y la conductividad hidráulica saturada, las cuales no solo determinan la cantidad de agua que ingresará al perfil y que estará disponible para el cultivo, sino que también el riesgo de erosión hídrica y de anegamiento de suelos Soracco *et al.* (2010).

Los suelos con infiltración moderadamente lenta a muy lenta (15-5 mm/hora) son incapaces de infiltrar las lluvias más copiosas e intensas generando escurrimiento superficial y reducción en la disponibilidad de agua para los cultivos Irurtia *et al.* (2012).

1.2 Antecedentes

La resistencia a la penetración y las variables relacionadas al movimiento de agua en el perfil del suelo, son parámetros muy sensibles a los efectos del tráfico vehicular Mur *et al.* (2012). En igual sentido, Reposo *et al.* (2012) sostienen que la resistencia mecánica e infiltración básica resultan ser las variables más sensibles para evaluar la perdurabilidad de los efectos de la descompactación.

Cholaky (2003) y Álvarez *et al.* (2009), coinciden en afirmar que el aflojamiento producido por la labor de descompactación persiste, como mínimo, por un plazo equivalente al del ciclo de un cultivo anual, cuando se anula el tránsito posterior a la labor, manifestando un aumento en la resistencia a la penetración atribuible a un proceso de reconsolidación estructural natural, sin ser restrictivo o limitante para el crecimiento radical.

En este sentido, Cacciavillani, (2009) observó en un Haplustol típico manejado durante diez años en siembra directa, que ante la aplicación de una labor de descompactación profunda se mejora la condición física del suelo produciendo una disminución de la densidad aparente y la resistencia mecánica, viéndose este efecto revertido por el tránsito de maquinarias luego de la siembra, principalmente de la cosechadora.

Bergesio, (2011) trabajando en un Haplustol típico al que se le realizó una labor de descompactación subsuperficial observó, que aunque con un aumento leve, el efecto de la labor perduró en el ciclo de un cultivo en zonas no transitadas y obtuvo un incremento en el rendimiento de maíz de 1 t ha^{-1} en comparación con una situación sin descompactar.

Por su parte, Rovera (2013), en un Haplustol údico con descompactación subsuperficial, observó que la velocidad de infiltración se vio incrementada y el rendimiento de maíz aumentó en un 13,7 % respecto al planteo de siembra directa continua. En relación a los resultados anteriores Sánchez (2012) en un Hapludol típico, no encontró efectos significativos de la descompactación subsuperficial sobre el rendimiento en grano del maíz (5,2 % de aumento). Por su parte, Cerliani *et al.* (2012) en un suelo del suroeste de la provincia de Córdoba tampoco encontraron diferencias significativas en el rendimiento de maíz entre tratamientos de descompactación subsuperficial y siembra directa sin descompactación.

Álvarez *et al.* (2006), en Hapludoles típicos con descompactación subsuperficial, observaron una mejora en la infiltración, y un mayor crecimiento radical en maíz. Ambas propiedades favorecerían la economía del agua por parte del cultivo debido al aumento de captación o ingreso de agua al perfil, y una mayor exploración radical, que permite el acceso a más recursos. Sin embargo, los incrementos de rendimiento no fueron tan importantes en términos relativos.

Richmond *et al.* (2006) informaron en Hapludoles Enticos, sobre huella de cosecha un aumento en la densidad aparente y en la resistencia mecánica en los primeros centímetros de suelo, como así también un aumento de un 21,9 % en el rendimiento de trigo fuera de las huellas de cosecha.

Gerster *et al.* (2005) en Argiudoles típicos encontraron una significativa reducción de la infiltración básica, aumento en la densidad aparente y una reducción en un 15% en el rendimiento de maíz sobre huellas generadas en la cosecha.

Álvarez, (2013) en ensayos llevados a cabo en Hapludoles y Argiudoles típicos de la pampa ondulada, durante tres campañas, observó disminuciones de la resistencia mecánica a los 20 cm y 40 cm de un 40 % y un 20 % respectivamente, y aumentos significativos de la tasa de infiltración de hasta siete veces superior en suelos descompactados que sin descompactar, valores que disminuyeron en el segundo año, principalmente en el suelo descompactado con una resistencia levemente superior en superficie (0-5 cm), a causa de un intenso tránsito de cosecha en condiciones de humedad inadecuadas.

En una experiencia realizada en la localidad de Azcuénaga, provincia de Buenos Aires sobre un Argiudol típico con diez años de siembra directa, la infiltración resultó ser mayor y la resistencia mecánica y densidad aparente menores en la superficie (0-20 cm) con labor de descompactación con herramienta tipo paratíl Guecaimburu *et al.* (2010).

Con este trabajo se pretende continuar generando información acerca del efecto de laboreos de descompactación en suelos representativos del sur cordobés que tienen historia de manejo con siembra directa, sobre indicadores edáficos y el rendimiento de los cultivos, así como del impacto que puede tener el tránsito de maquinarias, específicamente de cosecha, sobre propiedades hidrofísicas, contribuyendo de esta manera a la generación de pautas que orienten las decisiones de manejo del suelo y cultivo, a mejorar la calidad del mismo y consecuentemente del ambiente que lo rodea.

1.3 Hipótesis

- La labor de descompactación en un planteo de siembra directa continua mejora el comportamiento hidrofísico del suelo y aumenta el rendimiento del cultivo de maíz.
- El tránsito de cosecha disminuye la velocidad de infiltración e incrementa la resistencia mecánica del suelo, en mayor magnitud, en donde se realizó una labor de descompactación respecto a una situación sin descompactar.

1.4 Objetivos

Objetivo general:

- Evaluar el efecto de una labor de descompactación y del tránsito de maquinaria de cosecha sobre la condición hidrofísica del suelo manejado en siembra directa continua y sobre el rendimiento de un cultivo de maíz (*Zea Mays L.*).

Objetivos específicos:

- Estimar el grado de aflojamiento producido por una labor de descompactación subsuperficial, posterior a la realización de la misma.
- Evaluar el efecto de esta labor sobre la velocidad de infiltración en comparación con una situación sin descompactar.
- Determinar el rendimiento del cultivo en las situaciones con y sin labor de descompactación.
- Medir la resistencia mecánica y la velocidad de infiltración en postcosecha, en situaciones con y sin labor de descompactación, dentro y fuera de huella de la cosechadora.
- Caracterizar las huellas generadas por el tránsito de la cosechadora a partir de su profundidad y perímetro.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de trabajo

La experiencia se realizó a campo en un establecimiento ubicado 5 km al oeste de la localidad de Bulnes, provincia de Córdoba, (Figura 1). El relieve del área donde se encuentra el sitio experimental es normal-subnormal y está compuesto por planicies muy suavemente onduladas. 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 y estructura superficial moderada. Es un suelo apto para agricultura, aunque presenta limitaciones del tipo climática. Las características morfológicas y analíticas se describen en el anexo 1.

El clima es templado subhúmedo, con un régimen de precipitaciones monzónico, ya que el grueso de las precipitaciones se concentra en los meses más calurosos del año (Diciembre, Enero y Febrero). La precipitación media del periodo 1974/1993 es de aproximadamente de 801,2 mm. En cuanto a las heladas, la fecha extrema de primeras heladas es el 29 de abril, la fecha media de primeras heladas corresponde al 25 de mayo con una desviación típica de +/- 44,3 días. La fecha extrema de últimas heladas es el 4 de noviembre, la fecha media de últimas heladas es el 12 de septiembre con una desviación típica de +/- 20,3 días. El periodo medio con heladas corresponde aproximadamente a 109,3 días, y el periodo medio libre de heladas corresponde a 255,7 días. La temperatura media anual es de 16,5 °C, siendo el mes de enero el más caluroso con una media de 23,6 °C y el mes más frío julio con una media de 9,4 °C Seiler *et al.* (1995).



Figura 1: Ubicación del sitio experimental.

2.2 Tratamientos y diseño experimental

El ensayo a campo comprendió dos factores: labranza y condición superficial de huellado por cosechadora, con dos niveles cada uno. Para el primer factor los niveles fueron: siembra directa + labor de descompactación subsuperficial (**SDd**) y siembra directa sin descompactación subsuperficial (**SD**) y para el segundo factor: sobre huella (**h**) y fuera de huella (**fh**), quedando definidos cuatro tratamientos: **SDdh**, **SDdfh**, **SDh**, **SDfh**.

En todos los tratamientos se sembró maíz (*Zea mays* L.), con el híbrido SYN 960 TDTG (Syngenta) el día 5 de diciembre de 2013 (65000 pl/ha), con una sembradora CELE Plus 7000 (2007), de tipo siembra directa con equipo de doble fertilización. La misma tiene 14 surcos espaciados a 52,5 cm, (ancho de trabajo 7,35 m). La fertilización se realizó a la siembra aplicándose 33,6 kg/ha de nitrógeno, 12 kg/ha de fósforo con nitrocomplex. El tractor utilizado para la siembra fue un JOHN DEERE 6615 de 119 HP (88,5 kW).

Para el tratamiento (**SDd**) se realizó una labor de descompactación con un escarificador de 6 rejas aladas, rígidas, con un ancho de trabajo de 10 cm, que constan de timones rectos con regulación para el ángulo de ataque, presentan filos longitudinales y verticales, compuestos de acero boro, tratados y cementados, de un espesor de 9,52 mm. Las mismas 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 40 cm con una capacidad de trabajo de hasta 35 cm 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 (Figuras 2 y 3).

A este implemento se le enganchó un rolo a fin de romper los terrones que van quedando en superficie y emparejar y cerrar los surcos que va dejando el escarificador.

El tractor que se utilizó para realizar esta labor fue un ZANELLO 460C de 160 HP (120 kW).



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



Figura 3: Imagen del equipo descompactador y vista lateral de la reja descompactadora.

La labor se realizó el 28 de octubre de 2013 a una velocidad de 5,1 Km/h, a 29 cm de profundidad aproximadamente, en condición friable, óptima para este tipo de labor, según lo propuesto por Cholaky (2003) para un suelo similar al estudiado.

La cosecha se realizó con una cosechadora John Deere 9600 maximizer, dotada de ruedas duales delanteras radiales, donde luego sobre las huellas de la misma se evaluaron la **RM** y **VI**.

Las parcelas experimentales tuvieron una longitud de 30 m y un ancho de 20 m.

Para las variables **RM**, **VI** y **HG** el diseño fue en parcelas divididas con cuatro repeticiones al azar. En la parcela principal se ubicó el factor labranza con dos niveles (**SD** y **SDd**) y en la subparcela se evaluó el factor momento con dos niveles **DS** (después de la siembra) y **DC** (después de la cosecha). De igual manera se analizaron las mismas variables en el momento **DC**, donde en la parcela principal se ubicó el factor labranza con dos niveles (**SD** y **SDd**) y en la subparcela se evaluó el factor huella con dos niveles **SH** (sobre huella) y **FH** (fuera de huella) (Figura 4).

Para el análisis de rendimiento, profundidad y perímetro de huella y **GDA**, el diseño fue un completamente aleatorizado con submuestreo, con cuatro repeticiones donde los dos niveles de labranza fueron **SD** y **SDd**.

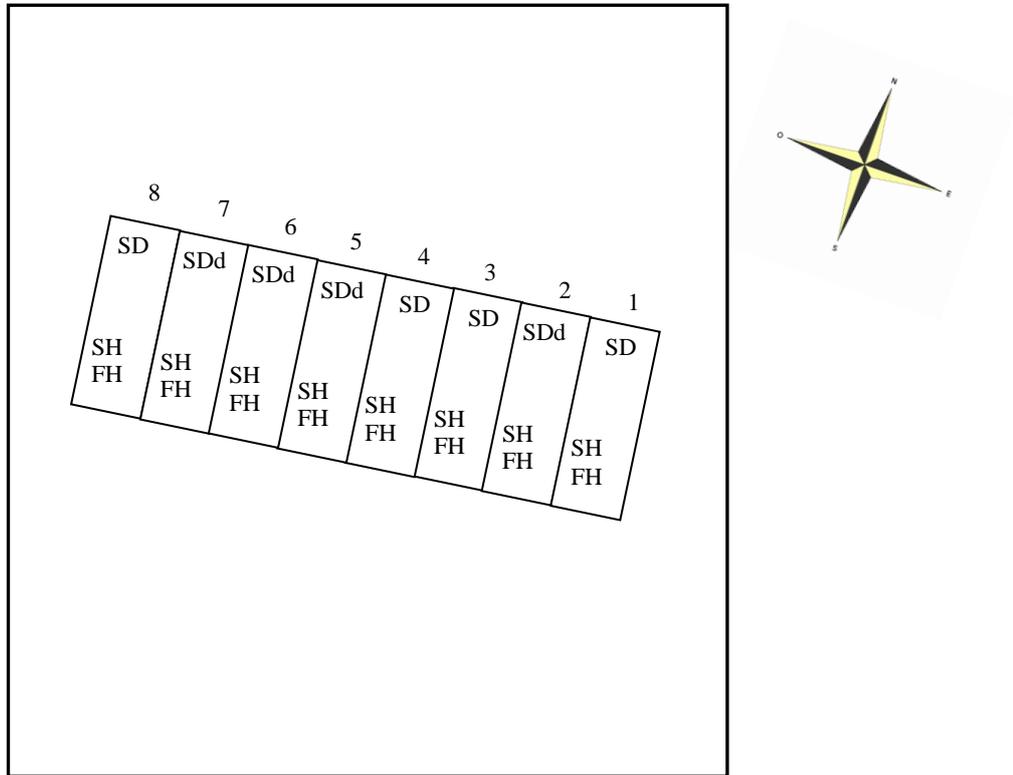


Figura 4: Esquema de la distribución de parcelas. En la parcela principal el factor labranza **SD** y **SDd** y en la subparcela el factor huella **SH** y **FH**.

2.3 Evaluaciones

En todos los tratamientos (**SD, SDd, SDfh, SDh, SDdfh, SDdh**) se midieron las siguientes variables:

- Caracterización de la estructura del perfil afectado por la labranza
- Velocidad de infiltración (**VI**) con el método del permeámetro de disco Perroux y

White. (1988), que consiste en un disco de 12,5 cm de diámetro, cubierto en su base por una fina membrana de nylon con poros de 20 μ de diámetro. El tubo sirve de Mariotte y posee una entrada móvil de aire que se usa para ajustar el potencial agua en la base de la malla de nylon. Este tubo de depósito de agua para la infiltración lleva una escala graduada que permite leer los volúmenes de agua infiltrada en función del tiempo (Figura 5).

En el lugar asignado para realizar la evaluación se retiró la vegetación y residuos presentes, de manera de lograr una superficie de terreno nivelada y lisa. Para establecer un buen contacto entre la base del disco y el suelo, se colocó un anillo metálico de 14 cm de diámetro y 0,5 cm de espesor, el cual se relleno con arena fina tamizada y enrasó con una regla, asegurándose que estuviera bien nivelado y firme. Los datos fueron tomados y registrados cada cinco minutos, las primeras tres mediciones y luego cada diez minutos, tomando cada medición de infiltración un tiempo promedio de ciento diez minutos hasta llegar a un valor constante de la misma. Luego de finalizada cada medición se realizó una calicata para determinar la profundidad de mojado o frente de humedecimiento y el diámetro de mojado generado en la superficie del terreno.

Se realizaron dos mediciones por tratamiento y repetición.



Figura 5: Imagen del permeámetro de disco en funcionamiento.

-La resistencia mecánica (**RM**) hasta una profundidad de 40 cm, a través del penetrómetro de impacto, modelo INTA Villegas (2010), graduado cada 5 cm, con un ángulo del cono de 30°, correspondiendo cada golpe a 2,75 kg/cm² (Figura 6). Se realizaron 3 mediciones por tratamiento y repetición.



Figura 6: Imagen del penetrómetro de impacto.

La (**RM**) se estimó a partir de la siguiente relación:

$$RM (MPa) \approx \frac{2,75kg / cm^2 \times N^{\circ} \text{ impactos}}{10}$$

Donde:

2,75 Kg/cm² = Energía por cada impacto.

10 = Constante para transformar a Mpa.

De manera simultánea a la medición de **RM**, se extrajo con barreno una muestra compuesta de suelo de cada tratamiento y repetición para la determinación de humedad gravimétrica (**HG**) (g 100 g⁻¹) hasta los 40 cm de profundidad, en intervalos de 10 cm. Las mediciones de (**HG**) se realizaron mediante el secado con estufa a 105 °C hasta peso constante.

Para ambas variables los sitios de medición fueron elegidos al azar, en el momento **DS** en el entresurco del cultivo, y **DC** en el centro de la huella de la cosechadora y fuera de la huella. En los momentos de realizar las mediciones no fue posible detectar las líneas de pasaje del descompactador.

-Se estimó el grado de aflojamiento **GDA** mediante el procedimiento propuesto por Tola *et al.* (2000), a partir del cual se evaluó el efecto de la labor de descompactación sobre el aflojamiento del suelo (con la medición posterior a la siembra del cultivo) y la perdurabilidad del aflojamiento (a partir de la medición posterior a la cosecha del mismo) evaluando sobre la huella de la cosechadora y fuera de la misma, para analizar el impacto del tránsito.

Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

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

Donde:

RPDT = resistencia mecánica del tratamiento con descompactación.

RPAT = resistencia mecánica a la penetración del tratamiento sin descompactación.

-Se caracterizó el huellado de la cosechadora mediante el perímetro y profundidad de la misma. El perímetro se midió mediante un hilo contorneando la huella transversalmente en su totalidad y su posterior medición. La profundidad de huellado fue tomada en tres puntos diferentes, uno en el centro de la huella y dos en los extremos; el procedimiento se llevó a cabo colocando transversalmente a la huella una varilla de hierro, midiendo desde la base de la varilla hasta el suelo la profundidad de la misma.

Para valorar los efectos del tránsito de cosecha sobre el perfil de suelo en estudio es que se determinaron estas variables.

-Se estimó la producción de granos (qq ha^{-1}) de maíz cosechando manualmente cada parcela. Se tomaron cuatro muestras por parcela, para las mismas se eligieron dos surcos en competencia perfecta y se midieron tres metros lineales recolectando las espigas comprendidas en estos; posteriormente se desgranó con una máquina trilladora estática (Figura 7) pesando cada muestra, se midió la humedad ajustando los rendimientos a un 13 % de humedad.



Figura 7: Imagen de la trilladora estática manual.

2.4 Análisis estadístico de los resultados

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el programa INFOSTAT DiRienzo *et al.* (2009). Se realizaron los anovas correspondientes a cada variable con un nivel de significancia $\alpha= 0,05$ y el test de comparación de medias se hizo mediante la prueba Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) con un nivel de significancia $\alpha= 0,10$ para la variable VI y un $\alpha= 0,05$ para las demás variables.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efecto de la labor de descompactación sobre el comportamiento hidrofísico del suelo

3.1.1 Características de la estructura del perfil cultural

El tratamiento **SD** presentó, en sentido vertical las siguientes características: una capa superficial de 8 cm de espesor en la que se observó la presencia de bloques angulares a subangulares, finos a medios, débiles. Consolidando la estructura presentó abundantes raíces de gramón (*Cynodon dactylon*) y de alfalfa (*Medicago sativa*) en proceso de descomposición.

En el espesor comprendido entre 8- 18 cm, la estructura fue en bloques subangulares gruesos, moderados y de 18- 28 cm se observaron algunos bloques aplanados, gruesos, moderados en húmedo, correspondientes a la capa compactada (Figura 8).

En el tratamiento **SDd** hasta los 18 cm de profundidad se observaron bloques angulares y subangulares, finos y débiles.

En el espesor comprendido entre 18- 25 cm presentó bloques angulares, medios, moderados a débiles (Figura 8) y de aquí hasta los 30 cm bloques angulares, gruesos, moderados.

Hasta los 28 cm se observó el fisuramiento provocado por la labor de descompactación, siendo este uniforme en la capa compactada producto del adecuado distanciamiento entre las púas del implemento.



Figura 8: Detalle de la superficie del suelo y terrones de la capa 20-28 cm. Del lado izquierdo el tratamiento **SDd** y del derecho **SD**.

3.1.2 Resistencia mecánica y sistema de labranza

No se halló interacción entre el factor labranza (**SD**, **SDd**) y momento (**DS**, **DC**), por lo cual ambos factores se analizaron por separado.

Para el factor labranza se observó que en todo el perfil analizado la **RM** presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre **SD** y **SDd**, siendo menor en este último, salvo en la profundidad de 30-40 cm en la cual no hubo diferencias significativas, debido a que el paso del descompactador estuvo por encima de esta profundidad y no generó cambio alguno (Tabla 1).

Tabla 1: Distribución de la RM en profundidad y sistema de labranza.

Espesor de capa (cm)	Labranza	Resistencia Mecánica (Mpa)
0-10	SD	3,42 a
	SDd	1,71 b
10-20	SD	5,74 a
	SDd	2,96 b
20-30	SD	4,93 a
	SDd	2,84 b

Para cada espesor, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, según DGC ($\alpha = 0,05$).

Estos resultados concuerdan con lo observado por Cerliani *et al.* (2014), en suelos similares del sur de Córdoba y con Álvarez *et al.* (2009) en donde la labor de descompactación provocó una disminución significativa de la **RM** en todo el perfil de influencia.

A pesar de que en **SDd** la **RM** fue menor que en **SD** como se puede apreciar en el Gráfico 1, solo en la profundidad de 0-10 cm estuvo por debajo del valor crítico para el crecimiento de las raíces. En las demás profundidades este valor fue superado aunque no pasando el valor máximo al cual las raíces ya no crecen, como ocurrió en el tratamiento **SD** en donde la **RM** fue muy superior a éste en todo el perfil analizado. Los valores críticos citados varían desde 1,5 Mpa como límite crítico inferior a partir del cual el crecimiento radical se reduce en un 50 % y 3 Mpa como límite crítico superior a partir del cual el crecimiento radical del cultivo de maíz cesa Boone *et al.* (1986).

En cuanto a la **HG** del suelo (Gráfico 2), no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$) salvo en la profundidad de 10- 20 cm en donde si hubo diferencias presentando **SD** mayor **HG** que **SDd**, lo que permitiría interpretar que la labor de descompactación fue la causa de la disminución de la **RM** en **SDd**. En base a esto puede sugerirse que la labor de descompactación revirtió parcialmente la densificación subsuperficial observada en el tratamiento sin descompactar.

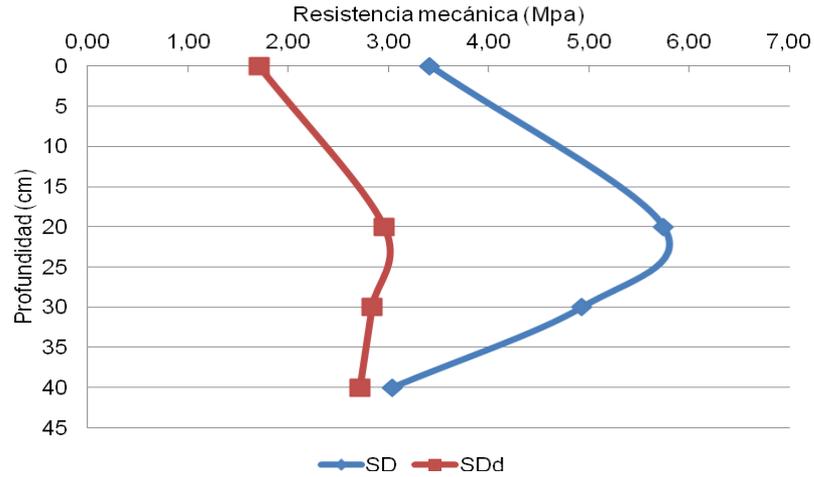


Gráfico 1: Perfil de distribución de RM en SD y SDd.

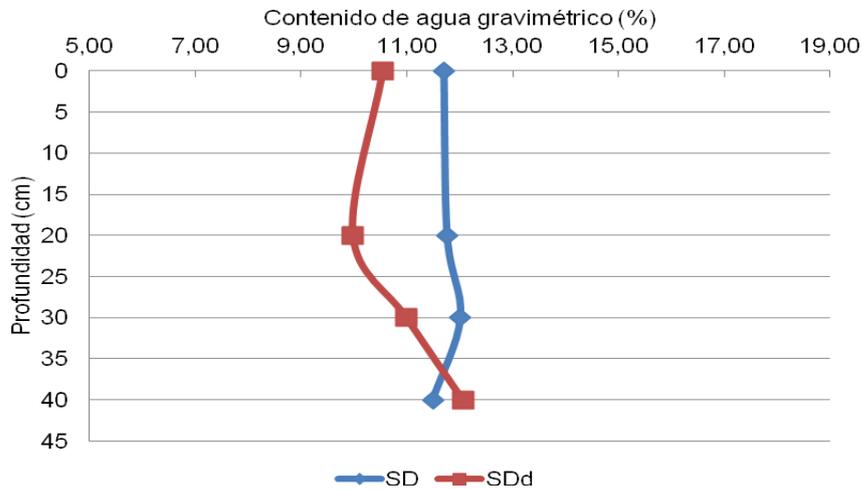


Gráfico 2: Perfil de distribución del contenido de agua del suelo en SD y SDd.

Como se puede ver en el (Gráfico 1), el pico de **RM** coincide con lo observado en la caracterización del perfil cultural del suelo en donde la capa densificada se evidenciaba en el espesor comprendido entre 18- 28 cm.

Al analizar el factor momento solo se encontró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la profundidad de 0- 20 cm, siendo el momento **DC** el que presentó mayor **RM** (Tabla 2).

Tabla 2: Distribución de la **RM** en profundidad y momento de evaluación.

Espesor de capa (cm)	Momento	Resistencia Mecánica (Mpa)
0-10	DS	1,52 a
	DC	3,60 b
10-20	DS	2,67 a
	DC	6,03 b

Para cada espesor, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, según DGC ($\alpha = 0,05$).

En cuanto a lo observado en la **HG** del suelo según el momento de evaluación, en la profundidad de 0- 20 cm evidenció diferencias significativas ($p \leq 0,05$) siendo el momento **DS** el de mayor **HG**. En las demás profundidades no presentó diferencias (Tabla 3).

Tabla 3: Humedad gravimétrica en profundidad y momento de evaluación.

Espesor de capa (cm)	Momento	Humedad (%)
0-10	DS	13,9 a
	DC	8,35 b
10-20	DS	12,75 a
	DC	8,99 b

Para cada espesor, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, según DGC ($\alpha = 0,05$).

En base a esto puede inferirse que el aumento observado en la **RM** en el momento **DC** se deba a la menor **HG** que presentó el suelo al momento del análisis y/o al efecto del tránsito de cosecha, no pudiendo separar ambos efectos.

En las Figuras 3 y 4 se presentan los perfiles de distribución de **RM** y **HG** en todo el espesor, respectivamente.

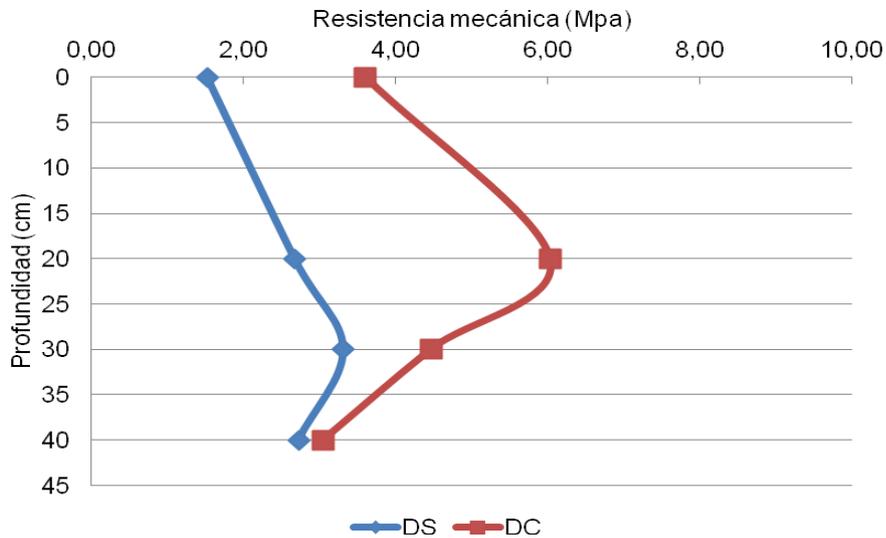


Gráfico 3: Perfil de distribución de **RM** en los momentos **DS** y **DC**.

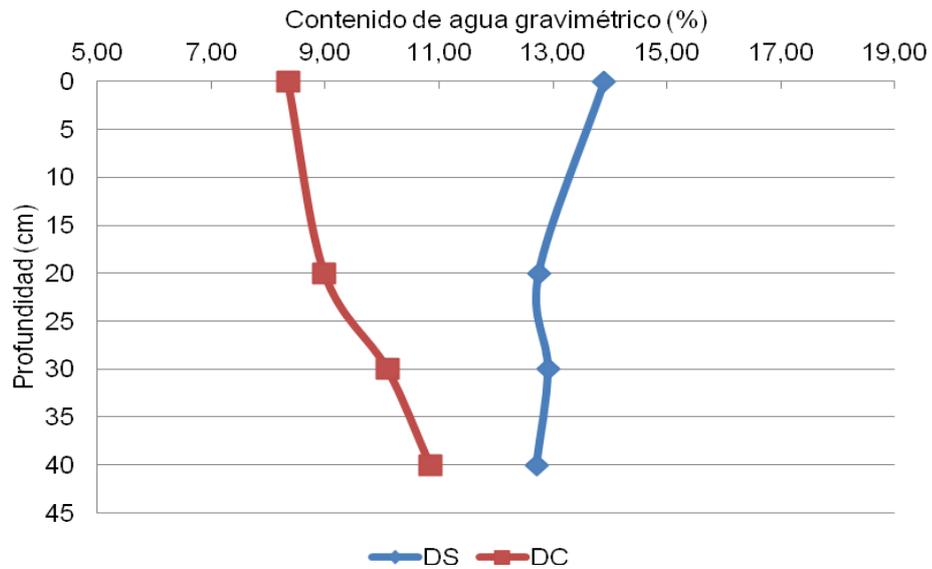


Gráfico 4: Perfil de distribución del contenido de agua del suelo en los momentos **DS** y **DC**.

3.1.3 Resistencia mecánica y tránsito de cosecha

En **DC** se analizó la **RM** dentro y fuera de la huella de la cosechadora para analizar el impacto de la misma sobre esta variable.

Para las profundidades de 0 - 10 cm, 20- 30 cm y 30- 40 cm no se encontró interacción entre la labranza y el huellado y tampoco hubo diferencias significativas ($p \geq 0,05$) atribuidas al efecto de la labranza y del huellado por separado sobre la **RM**. En la profundidad de 10- 20 cm hubo interacción entre ambos factores, siendo **SDh**, **SDfh**, **SDdh** los que presentaron mayor **RM** no habiendo diferencias significativas entre ellos, pero diferenciándose significativamente ($p \leq 0,05$) con **SDdfh** que presentó la menor **RM** (Tabla 4).

Tabla 4: Resistencia mecánica en los diferentes tratamientos a la profundidad de 10- 20 cm.

Labranza	Sitio	Resistencia mecánica (Mpa)
Siembra Directa	Huella	8,49 a
Siembra Directa	Fuera de huella	7,94 a
Siembra Directa descompactado	Huella	7,12 a
Siembra Directa descompactado	Fuera de huella	4,11 b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, según DGC ($\alpha = 0,05$).

Cabe destacar que la **HG** en el momento del análisis no presentó diferencias significativas en ningún tratamiento.

Los resultados indican que en las parcelas descompactadas el paso de la cosechadora aumentó la **RM** a valores similares que las parcelas sin descompactar en los sectores de la huella y a la profundidad de 10-20 cm. A su vez, las parcelas sin descompactar no presentaron diferencias significativas entre los sectores de la huella y fuera de la huella.

Las parcelas descompactadas presentaron mayor susceptibilidad a la compactación frente al tránsito de la cosechadora, producto de la menor capacidad portante a la que queda el suelo, aspecto que es tomado por Botta *et al.* (2007) como un efecto negativo de la labor de descompactación.

Similares resultados fueron encontrados por Smith *et al.* (2006) y Richmond *et al.* (2005) en un Argiudol típico, en el cual la **RM** en la huella de la cosechadora fue muy superior que fuera de la huella en los primeros centímetros del suelo..

Por su parte, Cacciavillani (2009), trabajando en un Haplustol típico del sur cordobés, observó que la presión ejercida por el tráfico posterior a la siembra en una situación manejada en siembra directa con labor de descompactación, produjo un incremento de la **RM** hasta los 0,18 m respecto a los sitios sin tránsito, coincidiendo con lo hallado en el presente trabajo en el momento **DC**.

3.1.4 Grado de aflojamiento

En el momento **DS** se observó un alto grado de aflojamiento en todo el perfil analizado, resultando este mayor en la profundidad de 20-30 cm, donde se encontraba la capa más compactada (Gráfico 5). Resultados similares fueron encontrados por Bergesio (2011), quien observó un marcado **GDA** en todas las capas del perfil, alcanzando el máximo valor en el espesor más compactado.

En el momento **DC** se observó una disminución del **GDA** en el espesor de 20-40 cm asociado a la menor **HG** a la que se encontraba el suelo en ese momento en comparación con el momento **DS** y probablemente también al efecto de recompactación producido por el tráfico de cosecha (Gráfico 5).

Al analizar el **GDA** sobre la huella de la cosechadora, se observó una notable disminución del mismo en todo el perfil estudiado principalmente, en el espesor de 20- 30 cm (Gráfico 5). Las disminuciones fueron del 9,5 %, 33 %, 46,6 % y 21,4 % para las profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm y 30-40 cm respectivamente, comparándolas con el momento **DS**.

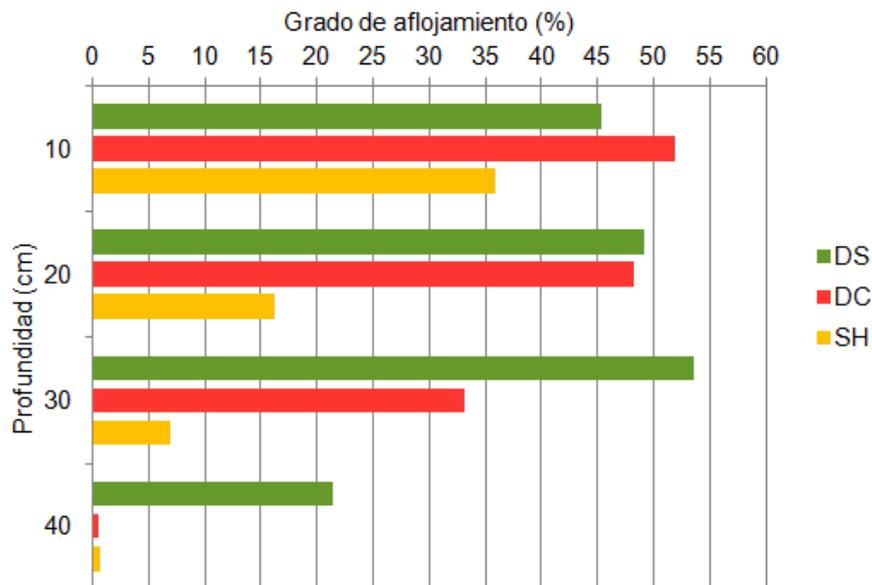


Gráfico 5: Distribución del **GDA** en **DS**, **DC** (fuera de huella) y sobre la huella de la cosechadora.

3.1.5 Velocidad de infiltración y sistema de labranza

La **VI** no presentó interacción entre la labranza y el momento de evaluación, y tampoco hubo diferencias significativas entre sistemas de labranza y entre los momentos de evaluación por separado con un nivel de significancia $\alpha=0,5\%$.

No obstante al realizar una comparación de medias con un $\alpha=0,10\%$, el tratamiento **SDd** presentó un valor de **VI** superior y estadísticamente significativo frente al de **SD** (Tabla 5) y una mejora en la distribución del agua en el perfil evidenciado en la profundidad de mojado (Figura 9). Resultados similares fueron encontrados por Álvarez *et al.* (2006) en Hapludoles típicos donde los sectores descompactados demostraron una mayor velocidad de infiltración frente a los sin descompactar. Por su parte, Rovera *et al.* (2014) en un Haplustol údico también encontró un incremento significativo de la **VI** en el tratamiento descompactado, y una mejora en la redistribución del agua en el perfil.

Los resultados obtenidos en **SD** se atribuyen principalmente a la elevada **RM**, lo que se asocia a un cambio en la configuración del sistema poroso, que se ve reflejado en las propiedades hidráulicas del suelo, en este caso la **VI**, al igual que lo observado por Soracco *et al.* (2010).

Tabla 5: Velocidad de infiltración en **SDd** y **SD**.

Labranza	Velocidad de infiltración (mm/h)
Siembra Directa descompactado	79,47 a
Siembra Directa	37,92 b

Test DGC. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$).

Cabe destacar que los valores de infiltración presentaron una alta variabilidad, aún más en el tratamiento **SDd** que al no poder visualizar el lugar de paso de las púas, se obtuvieron valores máximos cuando el ensayo se colocaba sobre el sector de paso de las púas y se reducían considerablemente al tomarlos entre púas, corroborado esto al realizar calicatas luego de la toma de datos. Álvarez *et al.* (2009) encontró, al igual que en el presente trabajo, una elevada variabilidad entre réplicas en los tratamientos descompactados, debido al trabajo propio del descompactador que genera áreas de mayor remoción en la zona de la púa, incrementando los macro y mesoporos Bonel *et al.* (2004) y menor disrupción hacia los laterales.



Figura 9: Ensayo de infiltración. Perfil de humedecimiento. Imagen izquierda **SDd**, imagen derecha **SD**.

3.1.6 Velocidad de infiltración y tránsito de cosecha

Al analizar la **VI** en el momento **DC**, no hubo interacción entre la labranza y el sitio.

Se encontró diferencias significativas ($p \leq 0,10$) entre los sistemas de labranza (Tabla 6), no así entre sitios de tránsito de cosecha. Sin embargo, en este último caso al realizar una comparación de medias con un $\alpha = 0,10$ %, en el sitio fuera de huella la variable fue mayor que sobre la misma (Tabla 7).

La **HG** en el momento del análisis no presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Tabla 6: Velocidad de infiltración en **SDd** y **SD**.

Labranza	Velocidad de infiltración (mm/h)
Siembra Directa descompactado	66,5a
Siembra Directa	18,61b

Test DGC. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,10$).

Tabla 7: Velocidad de infiltración **FH** y **SH** de la cosechadora.

Sitio	Velocidad de infiltración (mm/h)
Fuera de huella	59,65 a
Huella	25,47 b

Test DGC. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,10$).

El tratamiento **SDd** presentó una marcada diferencia frente al tratamiento sin descompactar, lo que evidencia que la realización de la labor de descompactación mejoró notablemente la infiltración del agua al suelo como fue explicado anteriormente y además perduró posterior a la cosecha. Frente a esta situación se esperaría una mejora en la disponibilidad de agua para las raíces al producirse una mayor profundidad de mojado y mejor redistribución del agua en el perfil respecto a **SD** (Gráfico 9).

Al igual que los resultados obtenidos por Soracco *et al.* (2009), el paso de la cosechadora redujo notablemente la velocidad de infiltración (Gráfico 9 y Figuras 10 y 11).

La cosecha se realizó con una adecuada humedad en el suelo (Gráfico 4) menor que capacidad de campo (14,5 % **HG**), valor obtenido por Bergesio (2011) en el mismo suelo.

La labor de descompactación produce un aumento de los macroporos, elevando la porosidad total del suelo incrementando la **VI**, no obstante queda susceptible por su menor capacidad portante al tránsito de maquinarias, generándose en condiciones de humedad menores a capacidad de campo la fractura de agregados que generan partículas más pequeñas disminuyendo así el diámetro poroso y por consiguiente la **VI** Iglesias *et al.* (2014).

Esta disminución en la **VI** como la obtenida en el presente trabajo aumenta el riesgo de escurrimiento superficial, pérdida de suelo y disminución del agua aprovechable por el cultivo.

Teniendo en cuenta que el tránsito de cosecha (considerando solo el huellado de la cosechadora) equivale al 35 % de la superficie total cosechada Ferrari *et al.* (2014) es importante implementar prácticas que disminuyan el porcentaje de huellado, como ser cosechas planificadas o de tráfico controlado.

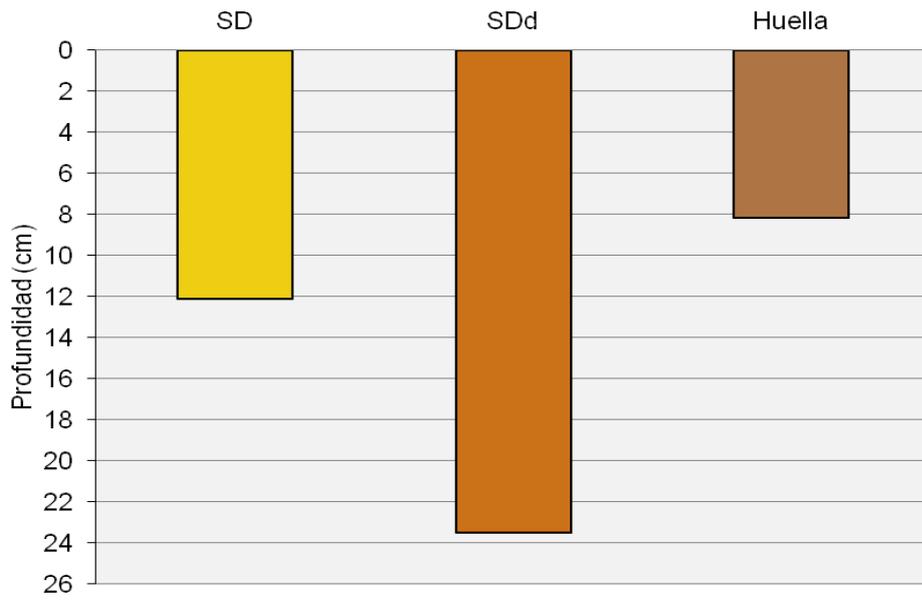


Gráfico 6: Profundidad del frente de humedecimiento en los tratamientos SD y SDd, y sobre la huella de la cosechadora.



Figura 10: Perfil de humedecimiento. Imagen izquierda SDh, imagen derecha SDfh.



Figura 11: Perfil de humedecimiento. Imagen izquierda SDdh, imagen derecha SDdfh.

3.1.7 Perfil de huellado

El perfil de la huella fue caracterizado mediante su profundidad y perímetro. Hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre sistemas de labranza y el huellado, presentando el tratamiento **SDd** la mayor profundidad de huella (Tabla 8). El perímetro no mostró diferencias significativas.

Tabla 8: Profundidad de huella en **SDd** y **SD**.

Labranza	Profundidad de huella (cm)
Siembra Directa descompactado	4,68 a
Siembra Directa	1,92 b

Test DGC. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La labor de descompactación deja el suelo más susceptible al huellado de la cosechadora por su menor capacidad portante y de reacción frente a la presión ejercida por los neumáticos. El huellado y la compactación del suelo también depende del tipo de neumático y de la calibración de los mismos, así tenemos neumáticos que producen una alta compactación y huellado como los convencionales (diagonales) por la baja flexibilidad de la carcasa. Los neumáticos radiales son más flexibles lo que permite que aumente la superficie de contacto con el suelo con la consiguiente mejor distribución de la presión y menor compactación si están correctamente inflados. Los neumáticos que generan menor disturbio al suelo son los de alta flotación y sistemas de tracción a orugas Ferrari *et al.* (2014).

En este trabajo la cosechadora contaba con neumáticos radiales duales, que frente a los simples generan mayor superficie compactada pero disminuye la compactación en profundidad. Frente a los resultados obtenidos se podría inferir que además de la baja capacidad portante del suelo, el calibrado de los neumáticos podría haber sido incorrecto (elevada presión de inflado), aunque no fue medido (Figura 12).



Figura 12: Imagen de huellado de la cosechadora en **SDd**.

3.2 Rendimiento

La producción total de granos no mostró diferencias significativas entre la labor de **SDd** y **SD**, siendo el rendimiento medio de 124,85 qq ha¹ y 127,36 qq ha¹ respectivamente, una diferencia de 2,51 qq ha¹ a favor de la **SDd**.

Estos resultados coinciden con lo encontrado por Álvarez *et al.* (2006) quienes observaron cambios en el suelo que mejorarían la economía del agua, en el tratamiento **SDd**, sin embargo estos no tuvieron gran impacto sobre el rendimiento debido a la condición hídrica favorable durante el desarrollo del cultivo (Anexo 2).

Sadras *et al.* (2005) concluyeron que aunque se produzcan cambios en el grado de compactación del suelo y en la abundancia de raíces de los cultivos, ello no implica que se produzcan variaciones en el rendimiento, y los beneficios de la labor de descompactación no se manifiesten debido a una adecuada oferta de recursos al cultivo, principalmente el agua.

Álvarez *et al.* (2009) afirmó que el impacto de la descompactación sobre los rendimientos varía en función de las condiciones físicas edáficas, la estación de crecimiento, el cultivo, el manejo, y las condiciones climáticas.

Las impedancias mecánicas del suelo pueden llevar a un cambio morfológico y de densidad de raíces del cultivo (Figura 13). Mediante estimación visual se observó que en los tratamientos **SDd** la abundancia de pelos radicales era mayor que en **SD** en donde además aparecían raíces más gruesas que en el primer caso, la mayor abundancia de pelos radicales le permitiría al cultivo al explorar mejor el suelo captar mayor cantidad de recursos (agua y nutrientes), sin embargo el efecto sobre el rendimiento fue mínimo.



Figura 13: Detalles de las raíces de maíz. Izquierda **SDd**, derecha **SD**.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

- El efecto de la aplicación de una labor de descompactación mejora la condición hidrofísica del suelo, contribuyendo a disminuir la resistencia mecánica y aumentando la velocidad de infiltración.
- La aplicación de una labor de descompactación subsuperficial en siembra directa provoca un efecto mínimo sobre el rendimiento del cultivo de maíz, bajo las condiciones edafo-climáticas que prevalecieron durante el ciclo del cultivo.
- El tránsito de cosecha incrementa la **RM** en los sectores descompactados, produciendo una recompactación del suelo.
- El tránsito de cosecha provoca una marcada disminución de la **VI** sobre la huella tanto en **SD** como en **SDd**.
- La aplicación de una labor de descompactación subsuperficial deja el suelo más susceptible al paso de la cosechadora, generando la misma una mayor profundidad de huellado.

CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, CARINA, M. TORRES DUGGAN, E. CHAMORRO, D. D'AMBROSIO Y M. TABOADA 2009. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. En http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_27n2/Alvarez%20et%20al%20159-169.pdf. Consultado 06/04/2013.

ÁLVAREZ, CARINA 2013. Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: Caracterización, génesis y manejo. En [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/F461A01A45E6B6A085257B83005CEEC1/\\$FILE/2.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/F461A01A45E6B6A085257B83005CEEC1/$FILE/2.pdf). Consultado 23/07/2013.

ÁLVAREZ, CARINA ROSA; TABOADA, M; BUSTINGORRI, C; GUTIÉRREZ, B; FLAVIO, H. 2006. Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. En <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v24n1/v24n1a01.pdf>

BERGESIO, L. (2011). *Persistencia del aflojamiento producido por una labor de descompactación en un sistema de producción mixto en un Haplustol típico del sur cordobés*. Tesis de Grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 42 p.

BOONE, FR; KH, VAN DER WERF; B, KROESBERGEN; BA TEN HAG & A BOERS. 1986. The effect of compaction of the arable layer in sandy soil on the growth of maize for silage. I. Mechanical impedance. *Netherlands Journal of Agricultural Science*.

BONEL, BA; J, DENOIA; M, COSTANZO; G, GIUBILEO & G, ZERPA. 2004. Efecto de la labor de escarificado sobre un Argiudol vértico bajo siembra directa continua. *Cien. Inv. Agr.* 31(3): 187-196.

CABASSI, F; TOMLLENOVICH, M; ROSAS, B.; ESMORIZ, G; VETTORELLO, C.I. 2012. Variación de parámetros físicos edáficos ante la aplicación de un implemento. 23° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y 19 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata- Buenos Aires, Argentina.

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

CANTERO, A, E. BRICCHI, V. BECERRA, J. CISNEROS y H. GIL 1986. *Zonificación y descripción de las tierras del Dpto. Río Cuarto*. Talleres gráficos de la UNRC, adhesión del bicentenario de la fundación de la ciudad de Río Cuarto.

CERLIANI, C; ESPÓSITO, G.P; BALBOA, G. R; CASTILLO, C. A; Y BALBOA, R.G. 2012. Sistema radical de maíz y soja y descompactación subsuperficial del suelo. 23°

Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y 19 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata- Buenos Aires, Argentina.

CERLIANI, C; MALATINI, F; BALBOA,G; CHOLAKY,C; ESPÓSITO, G. 2014. Producción de soja y descompactación del suelo en el sur de Córdoba. 24° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y 2 Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Bahía Blanca- Buenos Aires, Argentina.

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, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 183p.

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

FERRARI, H; SÁNCHEZ, F; URRETS, G. Sistema de traslado de equipos de cosecha de alta flotación para reducir compactación. En http://inta.gob.ar/documentos/sistema-de-traslado-de-equipos-de-cosecha-de-alta-flotacion-para-reducir-compactacion/at_multi_download/file/INTA_c7-Sistema%20de%20traslado%20de%20equipos%20de%20cosecha%20de%20alta%20flotaci%C3%B3n%20para%20reducir%20compactaci%C3%B3n.pdf. Consultado 18/02/2015.

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

GOOGLE EARTH 2010, versión pública <http://google-earth.softonic.com/descargar> consultado: 09/07/2013.

GUECAIMBURU, J. M; INTROCASO, R.M.; TORELLA, J.L; GOMEZ, L. 2010. Comportamiento de la infiltración ante dos estrategias de manejo en siembra directa. 22° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario- Santa Fe, Argentina.

IGLESIAS, J; VALLEJOS, A; GALANTINI, J; BONDIA, P; KLEINE, C. 2014. Efecto del tránsito sobre algunas propiedades físicas edáficas en dos sistemas de labranza. 24° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y 2 Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Bahía Blanca- Buenos Aires, Argentina.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA-SAGyP 2006. *Los suelos*. Recursos naturales de la provincia de Córdoba. Argentina.

INTA Villegas 2010. Manual de usuario de penetrómetro de impacto. 2 p.

IRURTIA, C; POZZOLO, O; BOTTA, G; MON, R; ELISEI, J; GONZALEZ, N. 2012. Descompactación mecánica: bases para un modelo predictivo de respuesta productiva. 23° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y 19 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata- Buenos Aires, Argentina.

MUR, M; TERMINIELLO, A.M.; BALBUENA, R.H.2012. Compactación de un suelo sometido a tráfico agrícola. Evaluación de propiedades físicas. 23° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y 19 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata- Buenos Aires, Argentina.

REPOSO, G.P.; BONVECCHI, V.E.2012. Efectos de la descompactación sobre las propiedades físicas de un suelo franco limoso. 23° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y 19 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata- Buenos Aires, Argentina.

RICHMOND PABLO; RILLO, S. 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. En [https://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/11DCB83A5ADDB3ED03257242006BB826/\\$file/6.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/11DCB83A5ADDB3ED03257242006BB826/$file/6.pdf). Consultado 3/01/2015.

ROVERA, J. (2013). *Efecto del sistema de labranza y de la dirección de siembra sobre el escurrimiento e infiltración del agua en un Haplustol údico y su impacto sobre el rendimiento del cultivo*. Tesis de Grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 62 p.

ROVERA, J; C, CHOLAKY; J, CISNEROS; J, GONZALEZ; L, BERGESIO. 2014. Descompactación y dirección de siembra: efecto sobre propiedades hídricas y rendimiento de maíz. 24° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y 2 Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Bahía Blanca- Buenos Aires, Argentina.

PERROUX, K. M. y I. WHITE. 1988. Design for disc permeameters. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1205-1215.

SADRAS, VO; GJ O`LEARY & DK ROGET. 2005. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radation. Field Crops Res.

SANCHEZ, G. (2012). *Efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre el contenido hídrico del suelo y el rendimiento de maíz en un planteo de siembra directa continua*. Tesis de Grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 76 p.

SEILER, R.A.; R.A FABRICIUS; V.H ROTONDO Y M.G VINOCUR. 1995. Agroclimatología de Río Cuarto 1974/1993. Volumen I. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

SMITH. J; M. AUCANÁ; J. HILBERT; C. IRURTIA. 2006. Subsulado profundo: su demanda energética y su efecto descompactador. En <http://inta.gob.ar/documentos/subsulado-profundo-su-demanda-energetica-y-su-efecto-descompactador/>. Consultado 5/01/2015.

SORACCO, G; R. FILGUEIRA; G. SARLI; L. FOURNIER; P. GELATI; J. HILBERT. 2008. Persistencia del efecto del subsulado sobre el movimiento del agua en el

suelo en siembra directa. Uso de dos modelos teóricos. En http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672009000100009&script=sci_arttext. Consultado 22/12/2014.

SORACCO, C.G.; LOZANO, L.A.; SARLI, G.O.; GELATI, P.R.; FILGUEIRA, R.R. 2010. Persistencia del efecto de la compactación por tránsito en la configuración del sistema poroso de un suelo de la región pampeana. 22° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario- Santa Fe, Argentina.

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

ANEXOS

1. Características morfológicas y analíticas del perfil representativoHaplustol 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 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 (<2 μ) (%)	10.6	11.8	7.9	6.5
Limo (2-50 μ) (%)	27.7	24.1	24.1	29.6
Arena muy fina (50-100 μ) (%)	28.2	24.5	30.5	34
Arena fina (100-250 μ) (%)	27.9	35.8	32.5	3.6
Arena media (250-500 μ) (%)	2.8	1.5	1.4	2.1
Arena gruesa (500-1000 μ) (%)	2.4	2.5	2.9	
Arena muy gruesa (1000-2000 μ) (%)	0.1			
Gravas (>2000 μ) (%)				
CaCO ₃ (%)	2.2			
Equivalente de humedad (%)	13.8	12	9.3	9.7
pH en pasta	6.3	6.5	7	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)	0.7	0.7	1.1	
	0.3	0.2	0.2	
	2.9	1.3	0.7	0.3
	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	9.5	8.7	
Saturación de bases S/T (%)	88	91	95	

Descripción del perfil típico:

El perfil típico, fue descripto a 13 Km al Norte de Italó, departamento General Roca, provincia de Córdoba y corresponde con la serie Italó, descripta 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. Precipitaciones en el período 2013-2014

2013												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	145	28	108	65	7	0	0	0	10	125	156	122
2014												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	85	235	71	125	31	7	0	0	62	60	150	75