

**EFFECTO DE LA CONDICION FÍSICA DE UN HAPLUDOL TÍPICO SOBRE  
VARIABLES DEL CULTIVO DE MAÍZ (*ZEA MAYS L.*)**

Trabajo Final de Grado  
del alumno

FELIPE JOAQUIN ETCHART

Este trabajo ha sido presentado como requisito  
para la obtención del título de

INGENIERO AGRÓNOMO

Carrera: Ingeniería Agronómica

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.  
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Pergamino, 25 de Marzo de 2015

**EFFECTO DE LA CONDICION FISICA DE UN HAPLUDOL TÍPICO SOBRE  
VARIABLES DEL CULTIVO DE MAÍZ (*ZEA MAYS L.*)**

Trabajo Final de Grado

del alumno

FELIPE JOAQUIN ETCHART

Aprobada por el Tribunal Evaluador de Tesina

Ing. – Ing. – Ing.

JUAN PABLO D'AMICO  
**Director**

NESTOR CAMILO GONZÁLEZ  
**Co-director**

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,  
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires

Pergamino, 25 de Marzo de 2015

## **Índice general:**

Índice de tablas	4
Índice de Figuras	5
Introducción	6
Hipótesis	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Materiales y Métodos	9
Sitio experimental	9
Diseño del experimento y tratamientos	9
Manejo del cultivo de maíz	10
Variables de estudio del suelo	11
Variables de estudio del cultivo de maíz	13
Pluviometría	14
Análisis e interpretación de resultados	14
Resultados y Discusión	15
Condiciones agrometeorológicas durante el experimento	15
Efecto de los tratamientos sobre las propiedades del suelo	16
Efecto de los tratamientos sobre la implantación del cultivo de maíz	25
Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz	27
Conclusiones	31
Bibliografía	32

## Índice de tablas:

1: Precipitaciones decádicas desde Septiembre a Febrero de la campaña agrícola 2011-2012.	15
2: Materia seca en los tratamientos D, L y T.	17
3: Lámina acumulada de agua infiltrada en los tratamientos D, L y T a diferentes intervalos de tiempo.	18
4: Densidad Aparente en los tratamientos D, L y T en los diferentes rangos de profundidad.	19
5: Resistencia a la penetración vertical en los tratamientos D, L y T en las diferentes profundidades.	21
6: Aceptables, Duplicaciones y Fallas registradas luego de plena emergencia de los tratamientos D, L y T.	25
7: Profundidad de siembra de los tratamientos D, L y T.	26
8: Cantidad de hojas activas fotosintéticamente totalmente expandidas por planta en R1 a través de los tratamientos D, L y T	27
9: Altura máxima de las plantas en los tratamientos D, L y T	27
10: Diámetro de la base del tallo en los tratamientos D, L y T.	28
11: Cantidad de plantas por metro de surco, espigas a cosecha por metro de surco, plantas sin espigas por metro de surco, plantas con dos espigas por metro de surco y prolificidad de las plantas de maíz en los tratamientos siembra directa D, L y T.	28
12: Rendimiento en los tratamientos D, L y T.	29

## Índice de figuras:

1: Timón y reja del equipo escarificador	10
2: Precipitaciones mensuales registradas durante el ciclo del cultivo de maíz y promedio 2000-2011.	15
3: Esquema de ocurrencia de precipitaciones desde Septiembre 2011 a Febrero 2012.	15
4: Humedad gravimétrica en los tratamientos D, L y T en las diferentes profundidades.	20
5: Mapa de isoresistencia del tratamiento D.	22
6: Mapa de isoresistencia del tratamiento T.	23
7: Mapa de isoresistencia del tratamiento L.	23
8: Perfil cultural del tratamiento D.	24
9: Perfil cultural del tratamiento T	24
10: Perfil cultural del tratamiento Labranza L	25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE  
BUENOS AIRES**

**Efecto de la condición física de un Hapludol típico sobre  
variables del cultivo de maíz**

**INTRODUCCION**

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia a nivel mundial, debido a su extenso uso como grano forrajero y a su utilización en la alimentación humana y en la molienda industrial.

La producción a nivel mundial es de 700 millones de toneladas anuales, siendo la Argentina el séptimo productor. Durante la campaña 2010/2011 se implantaron en nuestro país 4,5 millones de hectáreas de maíz con destino a la producción de granos y se cosecharon aproximadamente, 23,8 millones de toneladas, récord para este cultivo (SIIA, 2012). Durante el año 2010 la molienda industrializó 3.185.582 toneladas (MAGyP, 2012).

En nuestro país, 27 millones de hectáreas se encuentran bajo siembra directa (SD), lo que representa un 78,5% de la superficie agrícola del país, en cuanto a la producción de maíz la adopción de la SD supera el 85% de la superficie. (Aapresid, 2012).

Los suelos manejados bajo SD suelen presentar valores de resistencia a la penetración más elevados y, en algunos casos, mayor densidad aparente (Álvarez *et al.*, 2004; Díaz Zorita *et al.*, 2002). Ello se atribuye a la ausencia de remoción, sumado al efecto de compactación provocado por el pasaje de maquinarias (Botta *et al.*, 2004). Taylor & Gill (1984) mostraron que la principal fuente de compactación es el tráfico vehicular. Según Jorajuría (1996) puede causar disminución del espacio poroso y de la capacidad de retención agua y una mayor impedancia para el desarrollo radicular, además Soane *et al.* (1981) mostraron que la compactación altera el volumen y la estructura de los poros del suelo. Smith & Dickson (1990) indicaron que la compactación de las capas superficiales está influenciada principalmente por la presión superficial en la

zona de contacto rueda-suelo, mientras que la compactación subsuperficial está directamente influenciada por el peso. Sin embargo, esta depende no solo del peso del vehículo sino también del número de pasajes que se efectúe (Jorajuría & Draghi, 1997). Gameda *et al.* (1987) indicaron que la compactación en los horizontes superficiales de suelos agrícolas estuvo más fuertemente emparentada con el número de pasajes que con la presión de contacto ejercida. El incremento en la densidad aparente y la profundidad afectada dependen de factores como la textura del suelo, el contenido de humedad, la presión de contacto, el peso de los ejes, la velocidad del vehículo y el número de pasadas (Arvidsson & Hakansson, 1996; Raghavan, 1990). La compactación es un proceso de degradación estructural de los suelos agrícolas con incidencia en diversas regiones del mundo (Soane & van Ouwerkerk, 1994). Según Schafer *et al.* (1992) resulta clave conocer los efectos que este fenómeno tiene sobre el crecimiento de los cultivos. Diversos autores reportan el efecto depresor que la compactación del suelo tiene sobre el desarrollo y el rendimiento del maíz (Hilbert & Tesouro. 1996; Ressia *et al.*, 2000; Alvarez *et al.*, 2006).

El deterioro del estado físico del suelo puede ser mitigado mediante sistemas de labranzas conservacionistas como la labranza en franjas (Raper *et al.*, 1994; Schwab *et al.*, 2002) o por medio del subsolado (Al Adawi & Reeder, 1996). Schuller & Wood (1992) mostraron que el subsolado puede ser utilizado para remover capas compactadas, cuando estas limitan el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, la mejora en la estructura lograda a través del laboreo es en general transitoria, particularmente en suelos degradados con bajo contenido de materia orgánica y pobre estabilidad de agregados (Dexter, 1991). Una vez que el suelo se encuentra compactado y degradado puede ser difícil corregirlo y de elevado costo. Por lo tanto, hay que tomar las medidas necesarias para que este fenómeno no ocurra o bien se mitigue, de manera que no llegue a niveles que limiten el potencial productivo. Existe el riesgo de recompactar el suelo logrando un mayor nivel de degradación luego de realizar tareas de descompactación. Es sabido que el mejor método para prevenir los efectos negativos de la compactación es evitar generarla. Esto puede lograrse con acumulación de rastrojo en superficie, sectorizando áreas de maniobras y

circulación de maquinaria, reduciendo el número de pasadas sobre el lote, usando correcta presión de inflado en neumáticos y evitando el tránsito con altos tenores de humedad (Tarawally *et al.*, 2003). El uso de cubiertas de alta flotación es otra forma de reducir las fuerzas compactivas aplicadas sobre los suelos (Wood *et al.*, 1991). Torbert & Reeves (1995) informaron que los residuos de cosecha aportan no solamente en el aumento de la capacidad portante del suelo, sino también en la disminución de los efectos perjudiciales del tránsito. Por su parte, Zorita & Grosso (2000) informaron que el mayor contenido de MO en los suelos de la región pampeana reduce su compactabilidad, independientemente de la textura. Sin embargo, la mayor cantidad de información generada en relación a esta problemática está referida a suelos Argiudoles o de texturas finas, que según Tesouro *et al.* (2005) son los más susceptibles de adquirir estructuras perjudiciales para el normal desarrollo del cultivo. No obstante, la menor disponibilidad de información respecto de esta problemática en sistemas productivos sobre suelos Hapludoles genera la necesidad de realizar trabajos que aporten a solucionar esta carencia.

## **1.1 HIPOTESIS**

La compactación de un suelo Hapludol típico por encima de los niveles críticos produce disminución en la emergencia de las plántulas, en el crecimiento y en el rendimiento del cultivo de maíz.

## **1.2 OBJETIVO GENERAL**

Estudiar el efecto de distintos niveles de compactación de un suelo Hapludol típico sobre propiedades físicas del suelo y del cultivo de maíz.

## **1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Cuantificar y comparar el efecto de distintos niveles de compactación de un suelo Hapludol típico sobre:

- a) la condición física del suelo.
- b) la implantación del cultivo de maíz.
- c) el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz

## **MATERIALES Y METODOS**

### **2.1 Sitio experimental.**

El experimento se llevó a cabo en un establecimiento ubicado en la localidad de La Limpia, partido de Bragado, provincia de Buenos Aires a 35° 01'58" de latitud sur y 60° 37'46" de longitud oeste.

El clima es templado húmedo, siendo la precipitación media anual de 1083 mm y la temperatura media anual de 16,4 °C. El suelo corresponde a un Hapludol típico de textura franco arcillo arenosa serie Bragado con pendiente < 1 % (INTA 1990). Los valores medios de contenido de arcilla, limo y arena hasta los 30 cm de profundidad son de 25 ± 1%, 26 ± 1% y 48 ± 2%, respectivamente.

El lote presenta una historia agrícola de diez años de siembra directa, siendo la secuencia de cultivos de los últimos 5 años: soja, maíz, soja, soja, soja. Los rendimientos promedios fueron de 4.100Kg/ha y 11.000 Kg/ha para soja y maíz respectivamente.

### **2.2 Diseño del experimento y tratamientos.**

Se utilizó un Diseño Completamente Aleatorizado. Siendo el área del ensayo de 50 metros de largo por 25 metros de ancho. Sobre este diseño se instalaron tres tratamientos, los cuales fueron: Escarificado (L), Tránsito (T) y Siembra Directa (D), contando con 4 repeticiones cada uno.

El tratamiento T consistió en el tránsito, en tres oportunidades, de un equipo constituido por un tractor y carro autodescargable. El tractor utilizado fue un John Deere 3530 tracción simple, con 92 HP, rodado trasero simple 18.4-34. El carro autodescargable era un Ombú de 14 toneladas (cargado totalmente) de un eje, neumáticos 23.1-30 y presión de inflado de 285 KPa.

El tratamiento L fue un laboreo del suelo mediante la utilización de un escarificador de suelo. El tractor utilizado fue un John Deere 7505 DT de 140 HP, rodado delantero 16.9-26, rodado trasero duales 18.4-38. El escarificador tenía 7 timones rígidos y rectos agroflox, colocados a 52,5 cm entre sí,

instalados intercalados en dos barras porta herramientas sobre un chasis de cincel. Perfectamente alineadas a los timones se encontraban cuchillas del tipo turbo de 17 pulgadas que cortaban el rastrojo antes del paso de los elementos de descompactación. El timón rígido presentaba 20 mm de espesor, 920 mm de longitud total y 120 mm de avance. La púa tenía 300 mm de extensión total, 120 mm de alto, 75 mm de ancho, 24° de ángulo de ataque con respecto al suelo de 24° y 70° de ángulo de ataque con respecto al suelo del ala vertical (Figura 1). Además el equipo escarificador presentaba rolos traseros compactadores. La labor se realizó a una velocidad de 6 Km/h y una profundidad de 30 cm.

Figura 1: Timón y reja del equipo escarificador



El tratamiento D estuvo representado por las condiciones de manejo del lote en siembra directa.

### **2.3 Manejo del cultivo de maíz.**

Luego de la instalación de los diferentes tratamientos se sembró en las parcelas el cultivo de maíz. A continuación, se presentan las características del cultivo de maíz con respecto a su implantación.

- Híbrido: Dekalb 670 MGRR2
- Fecha de siembra: 01/ 10 /2011
- Densidad de siembra: 72200 pl. ha<sup>-1</sup>
- Distancia entre surcos: 0.525 m

- Pureza botánica: 98 %.
- P.G.: Superior al 90 %
- Fertilización en la línea de siembra: Fosfato monoamónico [11-52-0-0 (N-P-K-S)]: 120 kg. ha<sup>-1</sup> y producto comercial de Zinc: 7 kg. ha<sup>-1</sup> (1.2 kg ha<sup>-1</sup> elemento).
- Fertilización en el entresurco: Urea granulada [46-0-0-0 (N-P-K-S)]: 250 kg. ha<sup>-1</sup>. Sulfato de calcio [0-0-0-18-20 (N-P-K-S-Ca)]: 60 kg. ha<sup>-1</sup>.

#### Sembradora

- Marca: Agrometal TX MEGA 9 surcos a 0.525 m con doble fertilización
  - Cantidad de cuerpos sembradores: 9
  - Distancia entre cuerpos: 0.525 m
  - Sistema de dosificación de semilla: monograno, mecánico y placa horizontal alveolada. Alveolos de 11 mm de diámetro x 4.5 mm de espesor. 60 alveolos.
- Cambio de siembra utilizado: número: 9. 38 semillas en 10 metros.

#### Tractor

El mismo utilizado para el escarificado del suelo

### **2.4 Variables de estudio del suelo.**

#### 2.4.1 Cobertura

Previamente a la siembra, la cantidad de rastrojo se caracterizó utilizando cuatro aros de 0.25 m<sup>2</sup> por UE. Mientras que, el nivel de cobertura, se determinó mediante el método de la soga (Laflen et al, 1981). Se utilizó una soga con 30 nudos cada 10 cm. Se contó los nudos que interceptaron rastrojo y se dedujo el porcentaje de cobertura. Se concretó una medición por UE.

#### 2.4.2 Tasa de Infiltración

La tasa de infiltración del suelo antes de la siembra del cultivo de maíz se midió con infiltrómetro de anillo simple de 21 cm de diámetro y carga constante con lámina de agua de 10 mm durante una hora (Irurtia et al, 2008). Se realizó 5 repeticiones por tratamiento. Los datos se expresaron en milímetros de lámina de agua infiltrada acumulada hasta una hora.

### 2.4.3 Resistencia a la penetración vertical

Antes de la siembra del cultivo de maíz, la resistencia a la penetración vertical (RP), se midió mediante la utilización de un penetrómetro digital, marca Fieldscout SC900, en el cual, el área de base del cono tenía un diámetro de 12.83 mm y su punta 30° de ángulo. La RP se midió en 3 transectas de 1 m de ancho por UE y en las transectas las mediciones se hicieron a intervalos de 10 cm en sentido horizontal y de 5 cm en sentido vertical, hasta una profundidad de 45 cm. Con los datos de Índice de Cono (IC) expresados en Kilopascales (KPa) se elaboraron mapas de iso-resistencias para cada UE por interpolación a través del método de Kriging.

También se calculó el IC promedio para cada profundidad a través de todas las medidas de RP obtenidas en cada profundidad en la transecta,

Para caracterizar el estado hídrico del suelo al momento de la determinación de la RP, se determinó por el método gravimétrico. La humedad gravimétrica se expresa en gramos de agua en el suelo por cada gramo de suelo seco ( $g\ g^{-1}$ ). Las profundidades relevadas correspondieron a las mismas que las RP.

### 2.4.4 Mapas estructurales

Se realizó una trinchera de 100 cm de largo, 60 cm de ancho y 50 cm de profundidad por cada tratamiento antes de la siembra del cultivo de maíz para concretar un diagnóstico cualitativo de la condición física del suelo en base al perfil cultural (Gautronneau & Manichon, 1987). Se identificó unidades morfológicas diferenciales a partir de la extracción de terrones entre 1 y 2 cm, observando la cohesión y caras de ruptura de los mismos mediante fragmentación manual. Se clasificó el estado interno de los terrones según dos criterios: **r** (terrónes con caras de ruptura rugosa y porosidad visible importante, la cohesión es débil) y **A** (terrónes con caras de ruptura lisa, de aspecto continuo sin porosidad visible, con cohesión más elevada). Según el modo de ensamblaje de los terrones, las unidades morfológicas se clasificaron en: **M** (estado masivo, estructura continua), **SD** (se identifican elementos estructurales, pero son difícilmente disgregables), **SF** (se identifican elementos estructurales que se disgregan fácilmente) y **F** (estado fragmentario, elementos

estructurales individuales). Posteriormente, sobre la pared de la trinchera, se marcaron las distintas unidades morfológicas.

#### 2.4.5 Densidad Aparente

El método del cilindro (Blake y Hartge, 1986) fue utilizado para obtener densidad aparente realizando tres repeticiones por cada tratamiento, en los siguientes rangos de profundidad: 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm. Las mediciones fueron realizadas antes de la siembra del cultivo de maíz. Los datos se expresaron en  $\text{g cm}^{-3}$ .

### **2.5 Variables de estudio del cultivo de maíz.**

#### 2.5.1 Fenología

La evolución fenológica del cultivo de maíz se realizó según Ritchie y Hanway (1993).

#### 2.5.2 Distancia entre plantas y uniformidad de distribución de las plantas en la línea de siembra

En plena emergencia del cultivo de maíz se midió la distancia consecutiva entre plántulas a lo largo de dos metros de surco por cada UE. Con estos datos se calculó el porcentaje de plántulas aceptablemente sembradas, tomado la separación media entre plántulas en la línea de siembra ( $X_{ref}$ ). Todas las separación entre plántulas consecutivas comprendida entre  $0.5 X_{ref}$  y  $1.5 X_{ref}$  se consideraron como aceptables. Cuando la separación fue igual o inferior a  $0.5 X_{ref}$  se computa como entregas múltiples o doble golpe, mientras que, las que presentaron distancias mayores a  $1.5 X_{ref}$ , se consideraron como fallas (Norma ISO 7256/1). Esto significa que si la distancia promedio entre plántulas es de 20 cm será considerada entrega múltiple si la distancia es igual o menor a 10 cm y falla mayor a 30 cm.

#### 2.5.3 Profundidad y uniformidad de la profundidad de siembra

En plena emergencia del cultivo de maíz se extrajeron las plántulas existentes en dos metros de surco por UE. Se midió en cada plántula la longitud desde el sitio de inserción de la semilla hasta el ápice de crecimiento.

2.5.4 Altura de las plantas, cantidad de hojas activas fotosintéticamente totalmente expandidas y diámetro del tallo.

Durante la floración del cultivo de maíz (R1) se registró la altura de las plantas, cantidad de hojas activas fotosintéticamente totalmente expandidas y diámetro del tallo. Estas mediciones se concretaron en 40 plantas al azar por tratamiento.

2.5.5 Cantidad de plantas totales, cantidad de plantas sin espigas, cantidad de plantas con dos espigas, prolificidad de las plantas y rendimiento.

En madurez fisiológica (MF) del cultivo de maíz se realizó la cosecha manual de 7.8 m<sup>2</sup> por UE registrando número de plantas totales, plantas sin espigas, plantas con dos espigas fértiles y prolificidad por planta. Posteriormente se realizó la trilla de las espigas registrando el rendimiento en grano por unidad de superficie.

## **2.6 Pluviometría.**

El registro de pluviometría durante el período que duró el experimento se realizó en el propio establecimiento, contando además con datos aportados por AER INTA Bragado.

## **2.7 Análisis e interpretación de los resultados.**

En el análisis de varianza se utilizó el test de tukey para comparar las medias con un nivel de significancia de 0,05.

Los análisis se realizaron con el software estadístico Infostat (2008).

Los mapas de iso-resistencias y los mapas estructurales se analizaron descriptivamente.

## Resultados y Discusión.

### 3.1 Condiciones agrometeorológicas durante el experimento.

Durante el ciclo del cultivo de maíz los registros de precipitaciones fueron los que se presentan a continuación.

Figura 2: Precipitaciones mensuales registradas durante el ciclo del cultivo de maíz y promedio 2000-2011.

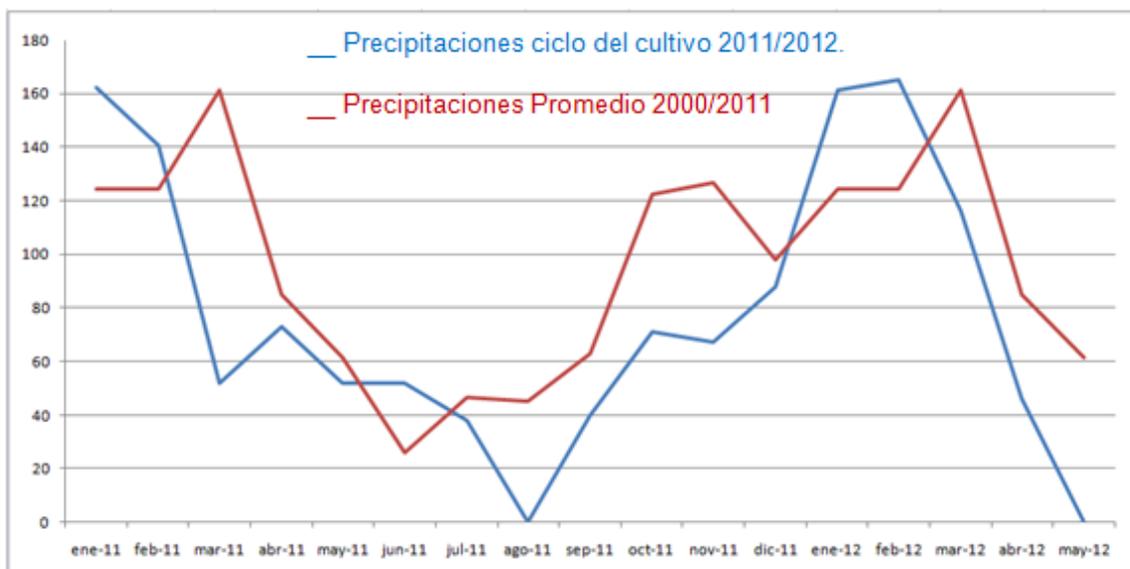


Figura 3: Esquema de ocurrencia de precipitaciones desde Septiembre 2011 a Febrero 2012.



Tabla 1: Precipitaciones decádicas desde Septiembre a Febrero de la campaña agrícola 2011-2012.

	MESES					
	sep-11	oct-11	nov-11	dic-11	ene-12	feb-12
Decenas	mm					
1	0	58	25	5	33	0
2	30	13	32	0	0	104
3	10	0	0	83	128	61
Total mensual	<b>40</b>	<b>71</b>	<b>57</b>	<b>88</b>	<b>161</b>	<b>165</b>
Total mensual 2000/2011	<b>63</b>	<b>122,4</b>	<b>126,7</b>	<b>97,7</b>	<b>124,4</b>	<b>124,7</b>

En la región, las lluvias durante los meses de invierno son escasas, razón por la cual resulta muy importante la cantidad de agua almacenada en el suelo durante los barbechos para no depender solamente de las precipitaciones primaverales. Durante todo el 2011, las lluvias fueron más escasas que el promedio de los últimos años. Solo se revierte esta tendencia a partir del mes de enero de 2012.

Es importante destacar, que desde que se realizó la siembra del maíz (01/10/11) hasta R1 (08/12/2011) para SD y L y (22/12/2011) para T, de los diez eventos de lluvias ocurridos, siete de ellos no superaron los 20 mm. Es interesante agregar que desde el 20/11/11 fecha en la que llovieron 42 mm, el cultivo debió esperar hasta el 21/12/11 que llovieron casi 70 mm para comenzar a revertir la falta de agua.

Las precipitaciones desde Septiembre a febrero acumularon un total de 582 mm. Siendo este registro 77 mm menor al promedio de los últimos 11 años.

### **3.2 Efecto de los tratamientos sobre las propiedades del suelo.**

#### **3.2.1 Cobertura**

El nivel de cobertura de rastrojo resultó afectado por los tratamientos. Partiendo de una cobertura del 93% en el tratamiento D, se redujo a un 76% en el tratamiento L por efecto de la labranza, siendo este resultado similar al hallado por Elisei *et al.*, (2012). El pasaje del conjunto formado por tractor-autodescargable en tres oportunidades redujo a un 50% el rastrojo presente en el tratamiento T.

Al comparar la cantidad de materia seca presente en superficie hubo diferencias significativas ( $p < 0,0323$ ) entre los tratamientos D y T que mostraron las cantidades de rastrojos más altos y más bajos respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2: Materia seca en los tratamientos siembra directa (D), escarificado (L) y tránsito (T).

Tratamiento	Materia Seca	
	Kg ha <sup>-1</sup>	
D	5355,4	a <sup>(1)</sup>
L	4919,6	ab
T	3492,9	b

(1) Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos. D: siembra directa. T: con tránsito (3 veces) de un equipo constituido por tractor y carro autodescargable cargado. L: escarificado del suelo utilizando un implemento de labranza vertical de timones rígidos y rectos.

La reducción de la cobertura resultó importante en el tratamiento de labranza. Al respecto, Elisei *et al.*, (2012) afirma que los escarificadores deberían generar el menor disturbio de la cobertura superficial en los lotes bajo siembra directa, para mejorar la eficiencia de uso del agua.

Vidal Vazquez & Paz Gonzalez (2003) sostienen que el uso de escarificadores genera en el corto plazo modificaciones de diferente grado en las variables de la superficie del suelo, tales como el grado de cobertura y la rugosidad. Esto es importante por la vinculación de estas propiedades con la conservación del suelo y el almacenaje de agua,

### 3.2.2 Tasa de Infiltración

Los tratamientos evaluados afectaron la lámina acumulada de agua infiltrada a los 60 minutos. Los valores para esta variable al cabo de 60 minutos fueron 115 mm para el tratamiento L, 31 mm para el tratamiento D y solamente 1,42 mm para el tratamiento T. En este sentido, resultados similares fueron hallados por Álvarez (2013), donde la tasa de infiltración al momento de la siembra del maíz fue 7 veces mayor en el tratamiento descompactado que en el testigo.

En la tabla 3 se presentan los valores de lámina acumulada de agua infiltrada registrados a diferentes intervalos de tiempo.

Tabla 3: Lámina acumulada de agua infiltrada en los tratamientos siembra directa (D), escarificado (L) y tránsito (T) a diferentes intervalos de tiempo.

Tiempo (minutos)	Lámina acumulada de agua infiltrada (mm)		
	L	D	T
5	11,8 b <sup>(1)</sup>	7 b	0 a
10	36 b	9 a	0,4 a
15	60,3 b	12,1 a	0,6 a
20	70,5 b	15,5 a	0,8 a
30	87,7 b	18,8 a	1,2a
40	99,4 b	23,7 a	1,2 a
50	107,8 b	28,3 a	1,3 a
60	114,4 b	31,4 a	1,4 a

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos. D: siembra directa. T: con tránsito (3 veces) de un equipo constituido por tractor y carro autodescargable cargado. L: escarificado del suelo utilizando un implemento de labranza vertical de timones rígidos y rectos.

Estos resultados son coincidentes con los informados por Colombani, (2004) quien afirma que cualquier factor que afecte el tamaño y la configuración de los poros del suelo influirá sobre la conductividad hidráulica. En este sentido Gil (2004) informa que la infiltración básica generalmente disminuye como consecuencia de las compactaciones y determina una menor disponibilidad de agua útil para el cultivo. Por su parte diversos autores sostienen que los escarificadores actúan sobre el suelo formando una red de macroporos interconectados que pueden conformar vías para la penetración de raíces y el flujo de agua y aire. (Wesley *et al.*, 1994; Suwardji & Eberbarch, 1998; Hilbert & Tesouro, 2002).

### 3.2.3 Densidad aparente

Se detectaron diferencias significativas en DAP debido al efecto del tratamiento ( $p = 0,0022$ ) y de la profundidad ( $p = 0,001$ ), sin que haya interacción entre

ambas fuentes de variación ( $p < 0,3851$ ). En el rango de profundidad 5-10 cm hubo diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento T con valores superiores se diferenció significativamente ( $p < 0,05$ ) del tratamiento L (Tabla 4).

Asimismo, en el rango de profundidad 10-15 cm existió diferencias significativas entre los tratamientos T y D, con valores más altos, con respecto al tratamiento L (Tabla 4).

Resultados que coinciden con lo hallado por Flanzluebbers *et al* (2007) quién afirmó que la DA se redujo al utilizar Paraplow en comparación con SD, pero se contraponen a lo informado por Álvarez *et al.* (2009) quien reporto que la DA fue insensible a las prácticas utilizadas.

Tabla 4: Densidad Aparente en los tratamientos siembra directa (D), labranza profunda (L) y tránsito (T) en los diferentes rangos de profundidad

Profundidad (cm)	Densidad Aparente (g cm <sup>-3</sup> )		
	D	L	T
0-5	1,29 a <sup>(1)</sup>	1,30 a	1,38 a
5-10	1,45 ab	1,39 a	1,51 b
10-15	1,47 b	1,39 a	1,47 b
15-20	1,53 a	1,39 a	1,49 a

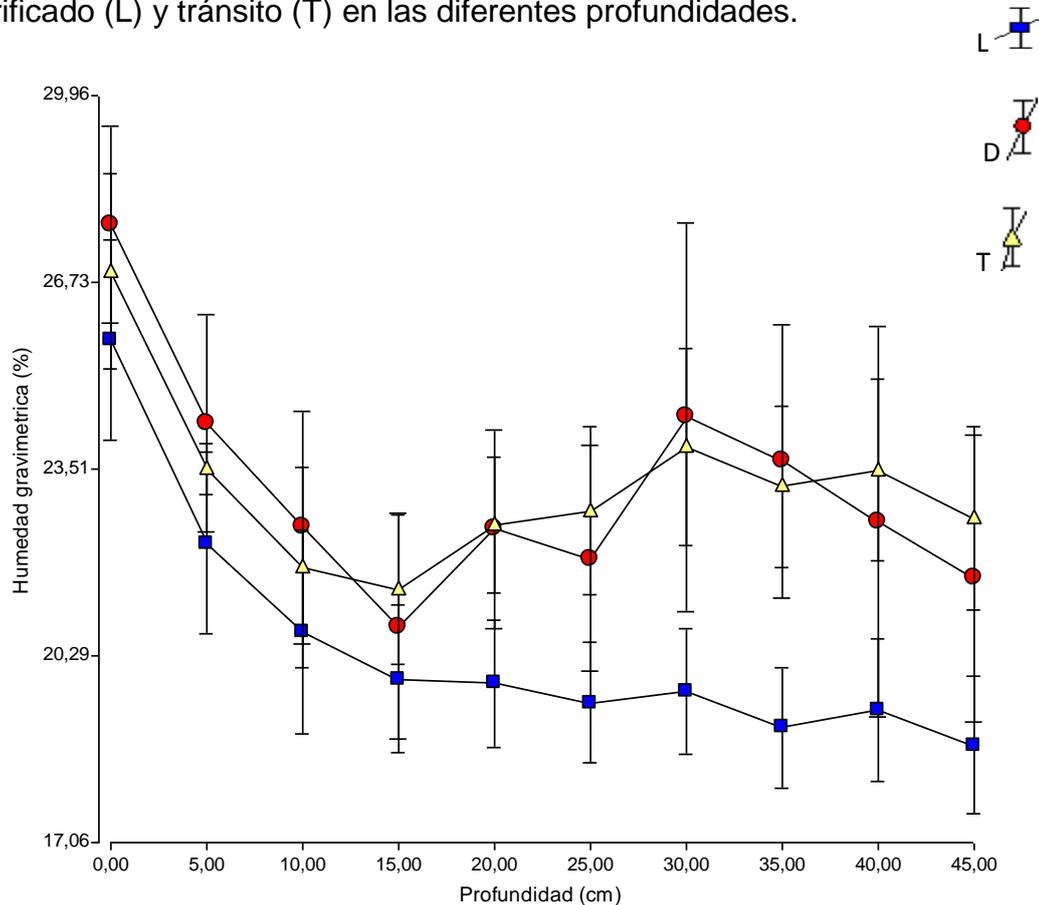
<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos dentro de cada rango de profundidad D: siembra directa. T: con tránsito (3 veces) de un equipo constituido por tractor y carro autodescargable cargado. L: escarificado del suelo utilizando un implemento de labranza vertical de timones rígidos y rectos.

### 3.2.4 Humedad gravimétrica

Para la humedad gravimétrica, también se registraron diferencias por efecto del tratamiento ( $p < 0,0001$ ) y la profundidad ( $p < 0,0001$ ). El tratamiento L presentó menor contenido hídrico que los tratamientos restantes (Figura 3). Este comportamiento resulta coincidente con lo informado por Navarro Bravo *et al.* (2000) que afirma que los menores contenidos de humedad de un suelo se relacionan con los mayores niveles de disturbación y la menor cobertura de residuos vegetales.

A partir de los 15 cm las diferencias se acentúan notoriamente por el aumento en el contenido de agua en los tratamientos sin labranza que se registra entre los 15 y los 30 cm de profundidad (Figura 3).

Figura 4: Humedad gravimétrica en los tratamientos siembra directa (D), escarificado (L) y tránsito (T) en las diferentes profundidades.



### 3.2.5 Resistencia a la Penetración vertical.

Los valores registrados para la resistencia a la penetración vertical se diferenciaron estadísticamente por efecto del tratamiento ( $p < 0,0001$ ), y la profundidad ( $p < 0,0001$ ).

Tabla 5: Resistencia a la penetración vertical en los tratamientos siembra directa (D), escarificado (L) y tránsito (T) en las diferentes profundidades.

IC (KPa)						
Profundidad	Tratamientos					
cm	L		D		T	
0	303,94	a	297,63	a	338,46	a
5	680,91	a	915,44	a	1674,38	b
10	1030,79	a	1740,54	b	2461,48	c
15	1370,22	a	2577,77	b	2670,52	b
20	2044,46	a	2802,76	b	2976	b
25	2107,17	a	2479,53	b	2616,33	b
30	2123,11	a	2124,63	a	2385,81	b
35	2143,31	ab	1950,39	a	2205,07	b
40	2096,5	b	1810,74	a	2056,89	b
45	1922,83	a	1826,14	a	1981,41	a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de la misma fila, (entre tratamientos dentro de cada rango de profundidad D: siembra directa. T: con tránsito (3 veces) de un equipo constituido por tractor y carro autodescargable cargado. L: escarificado del suelo utilizando un implemento de labranza vertical de timones rígidos y rectos.

Tanto la Dap como como el IC son las principales propiedades físicas utilizadas para el diagnóstico de la compactación como condicionante del crecimiento de las raíces (Glinski & Lipiec 1990).

Para el tratamiento L, la estabilización de los valores de IC a profundidades mayores de 25 cm indica que el efecto de la labor se propagó hasta esa profundidad. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Álvarez *et al.* (2010), Sanzano *et al.* (2008) y Elissondo *et al.* (2001) quienes reportaron reducciones significativas en el IC por efecto del subsolado en sistemas de SD. A partir de los 30 cm la resistencia a la penetración registrada para este tratamiento resultó mayor que la observada para el suelo sometido a D, lo cual puede explicarse por el mayor contenido de humedad gravimétrica observado para este último (Tabla 5).

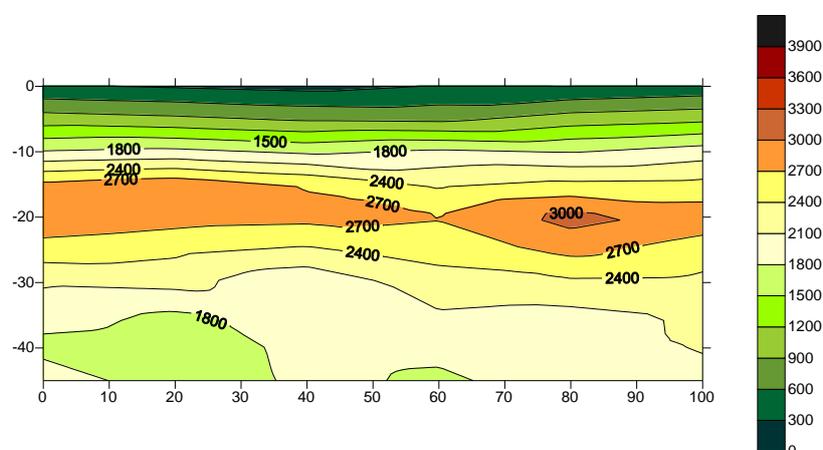
La reducción del IC, estaría indicando un incremento de la macroporosidad del suelo, que determinaría una mayor captación del recurso hídrico. (Reposo *et al.*2012)

El efecto del tránsito se evidenció en prácticamente todas las profundidades relevadas. El IC para este tratamiento fue superior en todo el perfil excepto en el estrato ubicado entre los 15 cm y los 25 cm (Tabla 5). En esta porción del perfil, la mayor resistencia que presentaba el suelo previo a la realización del tránsito se tradujo en una mayor capacidad portante que mantuvo invariable esta condición física frente a las presiones ejercidas por los neumáticos durante la operación.

El tratamiento D presenta valores que están cerca de ser limitante para el desarrollo radical y el movimiento del agua y el aire. Este sistema suele originar compactación del suelo por consolidación natural de las partículas y/o tráfico de maquinarias Dominguez *et al.* (2000) determinando la modificación de algunas propiedades físicas como la densidad aparente (Dap), la resistencia mecánica (RM) y la infiltración básica (IB). Díaz Zorita *et al.*, 2002; Álvarez *et al.*, 2006; Gueçaimburu *et al.*, (2010)

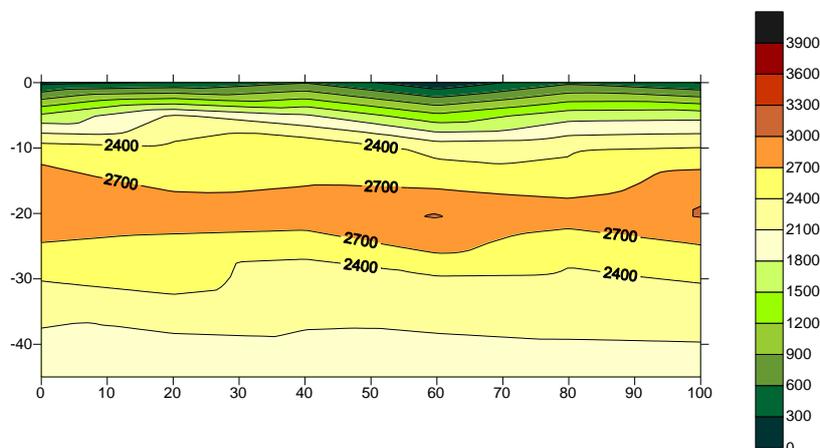
### 3.2.6 Mapas de isoresistencia

Figura 5: Mapa de isoresistencia del tratamiento siembra directa.



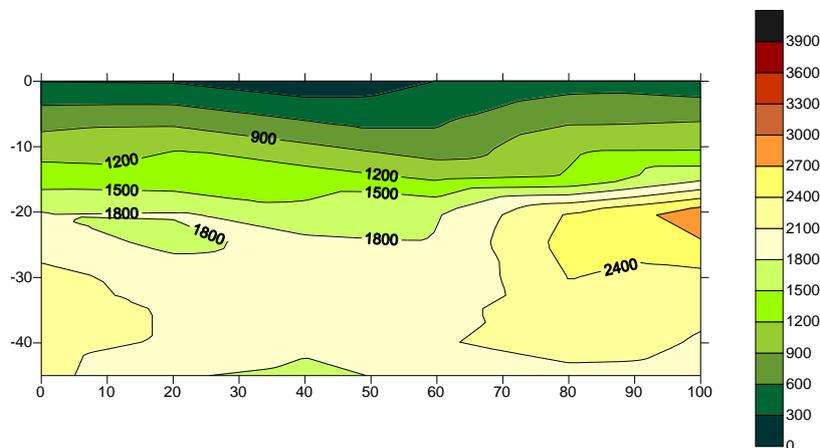
En el tratamiento D hasta los 10 cm de profundidad los valores de RP están por debajo de 2000 KPa. Entre los 15 y 25 cm de profundidad se percibe una capa compactada con valores superiores a 2000 KPa

Figura 6: Mapa de iso-resistencia del tratamiento transito.



En el tratamiento transito claramente se puede observar que la capa compactada con valores superiores a 2000 KPa comienza antes de los 10 cm. llegando hasta los 30 cm de profundidad, presentando valores aun mas elevados que los registrados en directa.

Figura 7: Mapa de iso-resistencia del tratamiento labranza.



En este tratamiento no se observan zonas compactadas que puedan impedir el normal desarrollo radicular del cultivo ni el movimiento del agua y aire.

### 3.2.7 Perfil cultural

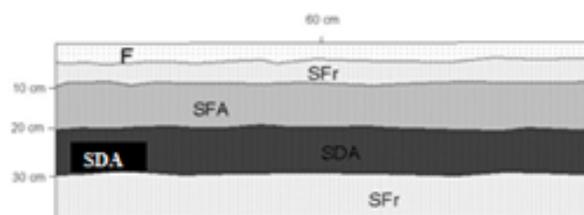
El tratamiento D, hasta los 10 cm de profundidad, presenta unidades morfológicas discernibles. Entre 10 y 20 cm de profundidad continúa existiendo unidades estructurales disgregables pero los terrones poseen caras de ruptura

lisa con cohesión más elevada. En el espesor 20-30 cm existen elementos estructurales difícilmente discernibles con poca porosidad visible (Figura 8).

En el tratamiento T, hasta los 30 cm de profundidad, las unidades estructurales son difícilmente disgregables con terrones de cara lisa, elevada cohesión y baja porosidad visible (Figura 8). Estos resultados están explicados por el tratamiento de tránsito pesado cuyo efecto se percibe entre 0 y 20 cm de profundidad en comparación al testigo.

En el tratamiento L las zonas donde las rejillas y timones pasaron presenta unidades fácilmente disgregables con terrones de cara más rugosa y cohesión débil (Figura 8). El aflojamiento y agrietamiento generado por los órganos activos del escarificador producen cambios positivos en la condición física del suelo entre 10 y 30 cm.

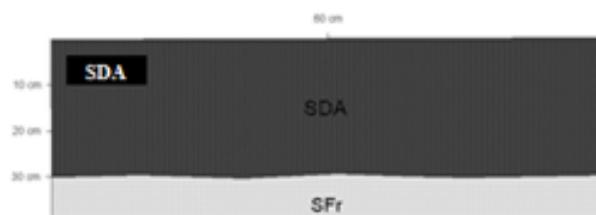
Figura 8: Perfil cultural del tratamiento Siembra directa D



Se clasificó el estado interno de los terrones según dos criterios: **r** (terrones con caras de ruptura rugosa y porosidad visible importante, la cohesión es débil) **A** (terrones con caras de ruptura lisa, de aspecto continuo sin porosidad visible, con cohesión más elevada).

Según el modo de ensamblaje de los terrones, **M** (estado masivo, estructura continua), **SD** (se identifican elementos estructurales, pero son difícilmente disgregables), **SF** (se identifican elementos estructurales que se disgregan fácilmente) y **F** (estado fragmentario, elementos estructurales individuales).

Figura 9: Perfil cultural del tratamiento Tránsito T.



Se clasificó el estado interno de los terrones según dos criterios: **r** (terrones con caras de ruptura rugosa y porosidad visible importante, la cohesión es débil) **A** (terrones con caras de ruptura lisa, de aspecto continuo sin porosidad visible, con cohesión más elevada).

Según el modo de ensamblaje de los terrones, **M** (estado masivo, estructura continua), **SD** (se identifican elementos estructurales, pero son difícilmente disgregables), **SF** (se identifican elementos estructurales que se disgregan fácilmente) y **F** (estado fragmentario, elementos estructurales individuales).

Figura 10: Perfil cultural del tratamiento Labranza L



Se clasificó el estado interno de los terrones según dos criterios: **r** (terrones con caras de ruptura rugosa y porosidad visible importante, la cohesión es débil) **A** (terrones con caras de ruptura lisa, de aspecto continuo sin porosidad visible, con cohesión más elevada).

Según el modo de ensamblaje de los terrones, **M** (estado masivo, estructura continua), **SD** (se identifican elementos estructurales, pero son difícilmente disgregables), **SF** (se identifican elementos estructurales que se disgregan fácilmente) y **F** (estado fragmentario, elementos estructurales individuales).

### 3.3 Efecto de los tratamientos sobre la implantación del cultivo de maíz.

Se realizaron mediciones a campo, en los días posteriores a la siembra, acorde con la metodología descrita en la Norma ISO 7256/1: Sowing Equipment-Test methods-Part 1: Single seeds drills (Precision drills).

3.3.1 Distancia entre plantas y uniformidad en la distribución de las plantas en la línea de siembra.

La distribución desuniforme de las plantas de maíz modifica el tamaño de las mismas y/o su tasa de crecimiento y puede reducir el rendimiento potencial del cultivo. Uhart S *et al.* 1998

Luego de plena emergencia, se registró una separación entre plantas de 25,14 cm para el tratamiento D, 26,24 cm para el tratamiento L y 26,49 cm para el tratamiento T. Estos espaciamentos no presentaron diferencias de significancia estadística entre ellos sí. ( $p < 0,4344$ ).

Tabla 6: Aceptables, Duplicaciones y Fallas registradas luego de plena emergencia de los tratamientos siembra directa (D), labranza (L) y tránsito (T).

		Tratamiento		
		L	D	T
Aceptables	%	94,44	87,18	74,36
Fallas	%	2,78	5,13	6,41
Duplicaciones	%	2,78	7,69	12,82

D: siembra directa. T: con tránsito (3 veces) de un equipo constituido por tractor y carro autodescargable cargado. L: escarificado del suelo utilizando un implemento de labranza vertical de timones rígidos y rectos.

La uniformidad en la distribución de las plantas resultó afectada por la condición física del suelo. La uniformidad en la distribución de las plantas fue mayor en el tratamiento L con 95% de aceptables, mientras que, el tratamiento T tuvo los valores más bajo con 75 % de aceptables y 13 % de fallas. Una condición intermedia fue registrada para el tratamiento D con 87% de aceptables y 8% de fallas (Tabla 4).

Los resultados de semillas aceptablemente sembradas están dentro del rango de resultados registrados por Elisei *et al* (2010).

### 3.3.2 Profundidad y uniformidad de la profundidad de siembra

La profundidad de siembra en los diferentes tratamientos presentada en la tabla 7 presentó diferencias estadísticas. ( $p < 0,0001$ ).

Tabla 7: Profundidad de siembra de los tratamientos siembra directa (D), labranza (L) y tránsito (T).

Tratamiento	Profundidad (mm)
T	38,75 a <sup>(1)</sup>
D	45,99 b
L	46,15 b

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos dentro de cada rango de profundidad D: siembra directa. T: con tránsito (3 veces) de un equipo constituido por tractor y carro autodescargable cargado. L: escarificado del suelo utilizando un implemento de labranza vertical de timones rígidos y rectos.

La prueba de F para igualdad de varianzas no permitió detectar diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la regularidad de la profundidad lograda en cada tratamiento. Las profundidades logradas en D y L son similares a los 5 cm de profundidad mencionados por Bragachini *et al.*, (2002) y D'Amico *et al.*, (2011) para lograr una siembra apropiada.

El tratamiento T modificó en una mayor proporción la profundidad de siembra. Bragachini *et al.*, (2002) expresa que con suelos muy densificados alrededor de la semilla se reduce la posibilidad de recibir el oxígeno necesario para germinar o bien si germina las raíces no pueden explorar agua y nutrientes con rapidez.

### 3.4 Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.

El crecimiento del cultivo resultó influenciado por los tratamientos (Tabla 8). En el tratamiento L en R1 se registraron 11,5 hojas activas fotosintéticamente totalmente expandidas mientras que en D y T la cantidad de hojas activas fotosintéticamente totalmente expandidas fue de aproximadamente 10 resultando estadísticamente diferentes a L ( $p < 0,0001$ ).

Tabla 8: Cantidad de hojas activas fotosintéticamente totalmente expandidas por planta en R1 a través de los tratamientos siembra directa (D), escarificado (L) y tránsito (T)

Tratamiento	Hojas planta <sup>-1</sup>
T	9,98 a <sup>(1)</sup>
D	10,10 a
L	11,55 b

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos dentro de cada rango de profundidad D: siembra directa. T: con tránsito (3 veces) de un equipo constituido por tractor y carro autodescargable cargado. L: escarificado del suelo utilizando un implemento de labranza vertical de timones rígidos y rectos.

La altura máxima de la planta también resultó afectada por los tratamientos. Los tres tratamientos se diferenciaron estadísticamente entre sí, teniendo los valores más altos el tratamiento L (Tabla 9).

Tabla 9: Altura máxima de las plantas en los tratamientos siembra directa (D), labranza (L) y tránsito (T)

Tratamiento	Altura (cm)
T	181,08 a <sup>(1)</sup>
D	200,48 b
L	217,18 c

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos dentro de cada rango de profundidad D: siembra directa. T: con tránsito (3 veces) de un equipo constituido por tractor y carro autodescargable cargado. L: escarificado del suelo utilizando un implemento de labranza vertical de timones rígidos y rectos.

Asimismo, el diámetro de la base del tallo resultó afectado por los tratamientos. Los tres tratamientos se diferenciaron estadísticamente entre sí, teniendo los valores más altos el tratamiento L (Tabla 10).

Tabla 10: Diámetro de la base del tallo en los tratamientos siembra directa (D), labranza (L) y tránsito (T).

Tratamiento	Diámetro del Tallo (mm)
T	22,73 a <sup>(1)</sup>
D	25,16 b
L	26,70 c

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos dentro de cada rango de profundidad D: siembra directa. T: con tránsito (3 veces) de un equipo constituido por tractor y carro autodescargable cargado. L: escarificado del suelo utilizando un implemento de labranza vertical de timones rígidos y rectos.

Los tratamientos no tuvieron efectos diferenciales sobre la cantidad de plantas a cosecha, la cantidad de espigas fértiles ni la prolificidad cuantificadas por metro lineal de surco (tabla 11).

Tabla 11: Cantidad de plantas por metro de surco, espigas a cosecha por metro de surco, plantas sin espigas por metro de surco, plantas con dos espigas por metro de surco y prolificidad de las plantas de maíz en los tratamientos siembra directa (D), labranza (L) y tránsito (T)

Tratamiento	Plantas m <sup>-1</sup>	Espigas m <sup>-1</sup>	Plantas sin espigas m <sup>-1</sup>	Plantas con dos espigas m <sup>-1</sup>	Prolificidad
T	3,75	3,88	0,08	0,22	1,04
D	3,82	4,02	0,08	0,28	1,05
L	3,63	3,92	0,05	0,33	1,08

D: siembra directa. T: con tránsito (3 veces) de un equipo constituido por tractor y carro autodescargable cargado. L: escarificado del suelo utilizando un implemento de labranza vertical de timones rígidos y rectos.

Pese a estas coincidencias estadísticas en los principales componentes del rendimiento fue posible detectar diferencias en el rendimiento entre los

diferentes tratamientos (Tabla 12). El tratamiento T, con el rendimiento más bajo, se diferenci6 estadisticamente ( $p < 0,05$ ) del tratamiento D. Mientras que, el tratamiento D no se diferenci6 estadisticamente ( $p < 0,05$ ) del tratamiento L (Tabla 12).

Tabla 12: Rendimiento en los tratamientos siembra directa (D), labranza (L) y tr6nsito (T)

Tratamiento	Rendimiento (Kg ha <sup>-1</sup> )
T	12397,17 a <sup>(1)</sup>
L	13203,27 ab
D	13729,40 b

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos dentro de cada rango de profundidad D: siembra directa. T: con tr6nsito (3 veces) de un equipo constituido por tractor y carro autodescargable cargado. L: escarificado del suelo utilizando un implemento de labranza vertical de timones r6gidos y rectos.

Los resultados observados indican que el tratamiento T ofrece condiciones menos favorables para el cultivo. Botta *et al.*, (2002), explica que, la presencia de capas densificadas disminuye la velocidad de elongaci6n de las ra6ces, provoca alteraciones en su morfolog6a, modificando el sistema de conducci6n de agua y nutrientes hacia la parte a6rea. Estas alteraciones conllevan a la disminuci6n de los rendimientos de los cultivos agr6colas, Tourn *et al.*, (2012), debido a una menor captura de la radiaci6n fotosint6ticamente activa por reducci6n del crecimiento del canopeo, afectando en forma directa la productividad de los cultivos, especialmente en a6os secos. Elisei *et al.*, (2012)

A nivel de ra6ces, la descompactaci6n profunda permite lograr un mayor enraizamiento otorgando al cultivo mayor resistencia a la sequ6a, mejor aprovechamiento de los nutrientes y est6mulo de la actividad microbiana Passioura, (2002). Seg6n Carcova *et al.*, (2003) tanto la descompactaci6n como la fertilizaci6n permiten que los cultivos puedan generar un sistema radical capaz de captar eficientemente los recursos, generando una mejor condici6n de crecimiento y desarrollo que se traduce en mejores rendimientos.

Las condiciones de los tratamientos D y L permitieron captar y eficientizar el uso de los recursos (agua, nutrientes, lluvias, radiación, temperatura) necesarios en el ambiente explorado para lograr altos rendimientos. Sin embargo es posible que el tratamiento L al construir plantas más grandes y llegar antes al período crítico haya evapotranspirado más con respecto a las plantas del tratamiento D y como las precipitaciones estuvieron por debajo de lo normal a lo largo de todo el ciclo productivo esto impactara en el rinde a cosecha.

## CONCLUSIONES

Los tratamientos mecánicos de suelo tuvieron efecto sobre la condición física del suelo modificando la densidad aparente, la humedad gravimétrica, la resistencia a la penetración, el nivel de cobertura de rastrojo y materia seca en superficie, la infiltración hasta constante y el perfil cultural.

El tratamiento escarificado presentó mejores registros de condición física del suelo frente a los demás tratamientos.

Los tratamientos mecánicos de suelo no modificaron la separación efectiva de siembra, aunque si afectaron la calidad de la distribución y la profundidad efectiva de siembra.

El tratamiento que mejor calidad de distribución y profundidad efectiva de siembra presentó fue el escarificado.

Los tratamientos mecánicos de suelo influenciaron el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo afectando el número de hojas verdes desplegadas totales, la altura máxima de las plantas y el diámetro de la base del tallo del cultivo.

El tratamiento con escarificado presentó el mayor crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo.

Los tratamientos mecánicos de suelo no tuvieron efectos diferenciales sobre la cantidad de plantas a cosecha, la cantidad de espigas fértiles y la prolificidad.

Los tratamientos mecánicos de suelos produjeron diferencias en el rendimiento del cultivo.

El tratamiento con mayor rinde fue siembra directa, aunque no resulto estadísticamente significativo.

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten observar que son mayores los efectos depresores de rendimiento sobre el cultivo ocasionados por la compactación, que las mejoras generadas por la labor de labranzas.

## BIBLIOGRAFIA

Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. Porcentaje de Superficie bajo siembra directa en Argentina y por cultivos 2010/2011.

Al Adawi, S.S. & Reeder, R.C. 1996. Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties. Transaction of the ASAE 1996 Vol 39 (5): 1641-1649.

Álvarez, C.R; Gutierrez Boem, F.H; Taboada, M.A; Prystupa, P; Ocampo, J.F *et al.* 2004. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. Pp.238. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del suelo*. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Álvarez, CR; Taboada, MA; Bustingorri, C.& Gutierrez Boem, F.H. 2006. Descompactación de suelo en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo* 24: 1-10.

Álvarez, CR; 2013. Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: Caracterización, génesis y manejo.

Álvarez, C.R.; Duggan, M.T.; Chamorro, E.R.; D'Ambrosio, & D.; Taboada, M.A. 2009. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. *Ciencia del Suelo* 27(2):159-169.

Álvarez, CR; Taboada, M.A; Duggan, M. T; Bustingorri, C. & Chamorro, E. 2010. Uso de descompactadores en planteos de siembra directa en la pampa ondulada: efecto sobre el suelo y el cultivo de maíz. XXII Congreso argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Santa Fe. 5 pp.

Arvidsson, J. & Hakansson, I. 1996. Do effects of soil compaction persist after Ploughing? Results from 21 long-term field experiments in Sweden. *Soil Till. Res.* 39:175-197.

Blake G & Hartge K. 1986. Bulk density. In: A. Klute (ed.). *Methods of soil analysis, Part 1*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, Agronomy. 9: 363-375.

Bragachini, M; von Martini, A; Mendez, A; Pacioni, F; Alfaro, M. 2002. Siembra de maíz, eficiencia de implantación y su efecto sobre la producción de grano. Trabajo preparado para el Tercer Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América, 17-19 Diciembre 2002, Carlos Paz, Córdoba, Argentina. Organizado por PROCISUR (Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur)

Botta, G; Jorajuria, D & Draghi, L. 2002. Influence of the axle load, tire size and configuration, on the compaction of a freshly tilled clayey soil. *Journal of Terramechanics*, 39: 47-54.

Botta, GF; Jorajuria, D; Balbuena, R & Rosatto, H. 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect of soybean (*Glycine max* L.) yields. *SoilTill. Res.* 78(1):53-78.

Carcova, J; Borrás, L. & Otegui, M.E. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en maíz.. *En: Satorre EH; RL Benech Arnold; GA Slafer; EB de la fuente; D Miralles; ME Otegui & R Savin. Producción de Granos Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad Agronomía UBA. Cap. 8. pp 135-166.*

Carta de suelos de la República Argentina. Serie de suelos. INTA. 1990. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3560-20-2. Comodoro PY

Colombani, E. 2004. Evaluación de propiedades físicas de suelos del sudeste bonaerense bajo distintos manejos. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce. 50 pp.

D'Amico, J. P.; Tesouro, M. O.; Romito, A; Paredes, D.; Roba, M.. 2011. Desuniformidad de distribución espacial: Caracterización de su impacto sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* (2011) Vol 110 (1): 50-62

Daddow, R&Warrington, G. 1983. Growth-limiting soil bulk densities as influenced by soil texture. USDA F5, Wattershed systems development group Rep. WSD6 TN-00005, USDA- FS Fort Collins 203 pp.

Dexter, A.R. 1991. Amelioration of soil by natural processes. *SoilTill. Res.* 20:87-100.

Diaz Zorita, M; Duarte, G.A & Groove, J.H. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65: 1-18.

Dominguez J., Ressia J., Jorajuría D., Balbuena R. & Mendivil G. 2000. Reología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. *Avances en Ingeniería Agrícola. II Congreso Americano de Ingeniería Agrícola.* pp. 110-115.

Elisei, J; Bonel, B; Iruetia, C; Montico, S; Senigagliesi, C; Mon, R. 2012. Descompactación de un argiudol típico en siembra directa mediante el uso de escarificadores. "*Latinoamérica unida protegiendo sus suelos*" XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012

Elisei, J; González, N; Borrás, P; Tesouro, O; Romito, A; D'Amico, J.P; Roba, M; Senigagliesi, C. 2010. Caracterización de la siembra de maíz en el área de influencia de la EEA Pergamino, Bs. As, Argentina. IX Congreso Nacional de Maíz y 1º Simposio Nacional de Sorgo realizado entre el 17 y 19 de noviembre del 2010.

Elisei, J; De Felipe, M; Bonel, B; González, N; Senigagliesi, C. 2012. Análisis de la modificación del perfil cultural en argiudoles típicos luego de la labor de escarificado. *“Latinoamérica unida protegiendo sus suelos”* XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012

Elissondo, E; Costa, J.L; Suero, E; Fabrizzi, K.P & Garcia, F. 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 19 (1): 11- 19.

Ferreras, L.A; Costa, J. C; García, F.O.&Pecorari; C. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded PetrocalcicPaleudoll of sourterm “pampa” Argentina.*Soil Till res* 52; 31-39.

Franzluebbers, A.L.; Schomberg, H.H; & Endale, D.M. 2007. Surface-soil responses to paraplowing of long-term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA. *Soil Till. Res.* 96(1-2):303-315.

Gameda, S.; Raghavan, G.S.V.; MC Kyes, E.&Thériault, R. 1987. Subsoil compaction in a clay soil. I. Cumulative effects. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.10, p.113-122.

Gautronneau y Manichon H. 1987. *Guide Methodique du Profil Cultural*. CEREF. Guera 71 pp.

Gil, R. 2004. El comportamiento físico-funcional de los suelos. <http://www.agriculturadeprecision.org/mansit/Comportamiento%20Fisicofuncional%20de%20Suelos.htm>. (15 de abril del 2010).

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

GueÇaimburu, JM; Introcaso, R; Torella, J.L & Gómez, L. 2010. Comportamiento de la infiltración ante dos estrategias de manejo en siembra directa. XXII Congreso Argentino de la Ciencia Del Suelo. Rosario, Santa Fe.

Hilbert, J. A & Tesouro, O. 1996. Estudios de compactación provocada por neumáticos en cultivos de trigo y maíz. In *Congreso argentino de ingeniería rural, 4: Congreso argentino de ingeniería rural, 2; Neuquén, AR. 23-25 octubre 1996*.

Hilbert, J.A & Tesouro, M.O. 2002. Descompactador de arcos curvos.

Prestación y esfuerzo. RIA 30:14-23

Irurtia, C; Mon, R; González, N y Elisei, J. 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 del Suelo. Potreros de los Funes. San Luis. Argentina

Jorajuría, D. 1996. El tráfico vehicular, la compactación y la sostenibilidad de la producción de madera. In: Actas del Primer Seminario de Actualización en Sistemas de Cosecha y Transporte Forestal, Eldorado. p.45-50.

Jorajuría, D & Draghi, L. 1997. The distribution of soil compaction with depth and the response of a perennial forage crop. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v. 66, p.261-265,

Lafren, J.M.; Amemiya, M.; Hintz, E.A. 1981. Measuring crop residue cover. Journal of Soil and Water Conservation, v.36, p.341- 343.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. - Dirección de Mercados Agroalimentarios – Granos, 2010.

Nars, H.M & Seles, F. 1995 Seedling emergence as influenced by aggregated size. Bulk density, and penetration resistance of the seedbed, Soil Till res 34; 61-76.

Navarro Bravo, A; Figuero Sandoval, B; Ordaz Chaparro, V & Gonzalez Cossio, F. 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la geminación y el desarrollo del Maíz y Frijol. Terra Americana Univ. Autonoma Chapingo. México 18 (1): 61 – 69.

Passioura, J.P. 2002. Soil Conditions and plant growth. Plant, Cell and Environment. 25: 311-318.

Raghavan, G.S.V.; Alvo, P. & Mckyes, E. 1990. Soil compaction in agriculture: a view toward managing the problem. Adv. Soil Sci. 11:1-36.

Raper R.L., D.W.Reeves, E.C.Burt & Tobert, H.A. 1993. Conservation tillage and traffic effects on soil condition. Transaction of the ASAE 37 (3): 763-768.

Reposo, G.P; Bonvecchi, V.E. 2012. Efectos de la descompactación sobre propiedades físicas de un suelo franco limoso. *“Latinoamérica unida protegiendo sus suelos”* XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO XXIII CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012

Ressia, J. M.; Mendivil, G. O.; Balbuena, R. H.; Chidichimo, H. O. & Asborn, M. 2000. Efecto de tres sistemas de labranza sobre la resistencia a la

penetración y humedad del suelo y la producción de maíz (*Zea mays* L.). *Agro-Ciencia*.v. 16(2) p. 197-205.

Ritchie, S & Hanway, J.. 1984. How a corn plant develops. Special Report Number 48. Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa. 21

Sanzano, GA; Sosa, F; Hasán, A.J; Hernandez, C.F; Morandini, M; Rojas Quinteros, H et al. 2008. Efecto del Paratill en las propiedades físicas de los suelos en siembra directa con monocultivo de soja y rotación soja-maíz. *Actas XXI Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Potrero de los Funes. San Luis. 7 pp.*

Swab, E.B., Reeves, D.W., Burmester C.H., & Raper, R.L.. 2002- . Conservation tillage system for cotton in Tennessee Valley. *SoilSci. Soc. Am.J.* 66 (3): 569-577

Sistema Integrado de Información Agropecuaria, Estimaciones Agrícolas 2010/2011.

Smith, D.& Dickson, J. 1990. Contributions of vehicle weight and ground pressure to soil compaction. *Journal of Agricultural Engineering Research*, London, v.46,n.1, p.13-29,

Soane, B.D.; Blackwell, P.S.; Dickson, J.W ;& Painter, D.J. 1982. Compactation by agricultural vehicles: A review. *Scottish institute of agricultural engineering Tec. Report N 5.*

Soane, B.D.&van Ouwerkerk, C. 1994. Soil compaction problems in world agriculture. In: Soane, B.D. y van Ouwerkerk, C., eds. *Soil compaction in crop production. Chapter 1. Pp.1-21. Elsevier Science, The Netherlands.*

Swardji, P & Eberbach, P.L. 1998. Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf (Red Kandosol) after 16 years of direct drilling on conventional cultivation. *Soil Till. Res.* 49: 65-77.

Tarawaly, M.A.; Medina, H.; Frómeta, M.E.&Itza, I. 2003. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Wester Ciba. *Soil and Tillage research*, v76. P:95-103.

Taylor, J.& Gill, W. 1984. Soil compaction: State-of-art report. *Journal of Terramechanics*, Oxford, v.21, n.3, p.195-213,

Tesouro, MO; Venturelli, L; Masiá, G; Fuica, A; Smith, J; Figueiro Arregui, SA. 200. Evaluación de un accesorio escarificador para sembradoras de grano grueso. *Congreso de Ingeniería Rural. CADIR 2005. San Luis. Argentina.*

Tesouro, M. O.; Paredes, D.; Roba, M.; Duro, S.; D'Amico, J.; Venturelli, L.; Romito Á.; Evaluación de un accesorio escarificador para sembradoras de grano grueso en un cultivo de girasol. IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural. "La Ingeniería Rural y el cambio climático". Facultad de Ciencias Agropecuarias. (CADIR 2007) Universidad Nacional de Córdoba. 19 al 22 de septiembre de **2007**. 10 p

Torbert H.& Reeves D., 1995. Traffic and residue management systems: effects on fate of fertilizer N in corn. *Soil & Tillage Research*. 33, 197-213

Tourn, S.N.; Studdert, G.A.; Platz, P.; Domínguez, G.F.; Agostini, M.A.; Diez, S.N.; Capurro, J.A. 2012. Efecto de paraplows y de cultivos de cobertura en planteos agrícolas bajo siembra directa continua. "*Latinoamérica unida protegiendo sus suelos*" XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO XXIII CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012

Uhart, S.S.; Andrade, F.; Cirilo, A.; Frugone, M. & Correa, O. 1998. Operación de siembra, densidad y uniformidad de plantas de maíz. Impacto sobre el rendimiento en grano. Morgan-Mycogen S.A. Buenos Aires, Argentina.

Vidal Vazquez, E & Paz Gonzalez, A. 2003. Evolución del microrrelieve de la superficie del suelo medido a diferentes escalas. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* Vol. VI. Alvarez y P. Marinero.

Wesley, RA; Smith, L.A & Spurlock, S.R. 1994. Fall deep tillage of clay agronomic and economic benefits to soybeans. Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station. Bulletin 1015. 10 pp Mississippi ST. USA.

Wood, R.K., Morgan, M.T., Holmes, R.G., Brodbeck, K.N., Carpenter, T.G. y Reeder, R.C., 1991. Soil physical properties as affected by traffic: single, dual, and flotation tires. *Trans. ASAE* 34:2363-2369.

Wood, Reeder, R.C., Morgan, M.T. y Holmes, R.G. 1993. Soil physical properties as affected by grain cart traffic. *Trans. ASAE* 36:11-15.