



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO**

**EFFECTO DEL USO DE DIFERENTES ESCARIFICADORES SOBRE LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS DE SUELO Y DE CULTIVO EN LA SECUENCIA MAÍZ (*ZEA MAYS, L.*)-SOJA  
(*GLYCINE MAX, L. MERR.*)**

**Ing. Agr. JAVIER HÉCTOR ELISEI**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN MANEJO Y CONSERVACIÓN  
DE RECURSOS NATURALES**

**DIRECTOR: Ing. Agr. MSc. Beatriz Bonel**

**CO- DIRECTOR: Ing. Agr. Dr. Sergio Montico**

**2013**

**EFFECTO DEL USO DE DIFERENTES ESCARIFICADORES SOBRE LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS DE SUELO Y DE CULTIVO EN LA SECUENCIA MAÍZ-SOJA**

Javier Héctor Elisei

Ingeniero Agrónomo- Universidad Nacional de Rosario

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Magister en Manejo y conservación de recursos naturales, de la Universidad Nacional de Rosario y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en ésta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en INTA Pergamino, durante el período comprendido entre mayo 2010 y junio 2012, bajo la dirección de la Ing. Agr (MSc) Beatriz Bonel.

Javier Héctor Elisei

Beatriz Bonel

Sergio Montico

Defendida: .....de 20\_\_.

## **Agradecimientos**

Especialmente a mi directora de tesis, Beatriz Bonel, por sus aportes, intensa participación y colaboración en el presente trabajo y por sobre todas las cosas, calidad humana.

A mi compañero de trabajo, Néstor González, quien me incentivó permanentemente a interesarme y dedicarme en esta área del conocimiento.

A mi co-director, Sergio Montico, por su participación y predisposición en el presente trabajo.

A las siguientes Instituciones:

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria de Pergamino.

Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Agrarias.

Las mismas posibilitaron el aporte formal del presente trabajo.

A todas las personas que cooperaron en diferentes aspectos técnicos, administrativos y operativos del presente trabajo.

**Dedicatoria:**

Para mis padres que me han dado la vida y la libertad.

Para Andrea y mis hijos, Candela e Ignacio, por querernos, estar y compartir.

### **Presentaciones en Congreso:**

XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 31 al 4 de mayo de 2010, Rosario, Argentina.

%Variación en el corto plazo del microrrelieve y la cobertura superficial en un suelo subsolado bajo siembra directa+ Irurtia, C; Mon, R.;González, N.; Elisei, J.; Cruzate, G. y Llovet, A.

XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16 al 20 de abril de 2012, Mar del Plata, Argentina.

%Descompactación de un Argiudol típico en siembra directa mediante el uso de escarificadores+ Elisei, J.; Bonel, B.; Irurtia, C.; Montico, S.; Senigagliesi, C. y Mon, R.

%Análisis de la modificación del perfil cultural en Argiudoles típicos luego de la labor de escarificado+ Elisei, J.; De Felipe, M.; Bonel, B.;González, N. y Senigagliesi, C.

19 th ISTRO Conference y IV Reunión SUCS. 24 al28 de septiembre de 2012, Montevideo, Uruguay.

%Efectos de diferentes escarificadores en propiedades físicas de suelo y enraizamiento del cultivo de maíz+ Elisei, J.; Bonel, B.; Irurtia, C.; González, N.;Senigagliesi, C. y Mon, R.

## INDICE

Índice de Tablas y Figuras.	9
Abreviaturas.	15
Resumen.	17
Abstract.	19
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN</b>	<b>20</b>
1.1 Compactación en siembra directa.	20
1.1.1 Orígenes de la compactación.	20
1.1.2 Efectos de la compactación en siembra directa.	21
1.2 Recuperación de suelos compactados. Uso de escarificadores.	22
1.2.1 Efectos sobre las propiedades de suelo y el desarrollo de los cultivos.	22
1.2.2 Residualidad de las labores de descompactación.	23
1.2.3 Herramientas disponibles para la descompactación.	24
1.3 Hipótesis.	25
1.4 Objetivos de la investigación.	25
1.4.1 Objetivo General.	25
1.4.2 Objetivos Específicos.	25
<b>CAPÍTULO 2 - MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>26</b>
2.1 Diseño del experimento y tratamientos.	26
2.2 Cronograma de muestreo.	29
2.3 Muestreo inicial.	31
2.4 Variables de estudio.	31
2.4.1 Evaluación del espacio sólido y poroso del suelo.	31
2.4.1.1 Resistencia a la penetración vertical.	31

2.4.1.2 Mapas estructurales.	32
2.4.1.3 Distribución del tamaño de agregados y diámetro medio ponderado de Agregados	33
2.4.1.4 Densidad aparente.	33
2.4.1.5 Carbono orgánico total y estabilidad estructural.	33
2.4.1.6 Abundancia de raíces.	34
2.4.2 Evaluación de los cultivos de maíz y soja.	34
2.4.2.1 Fenología.	34
2.4.2.2 Rendimiento y componentes de rendimiento.	34
2.4.2.3 Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa.	35
2.4.2.4 Eficiencia de uso de la radiación fotosintéticamente activa.	35
2.4.2.5 Captación de agua.	36
2.4.2.5.1 Rugosidad y cobertura.	36
2.4.2.5.2 Tasa de Infiltración.	36
2.5 Análisis e interpretación de resultados.	36
 <b>CAPÍTULO 3 - RESULTADOS</b>	 37
3.1 Primer año: análisis posterior a las labores y durante el cultivo de maíz.	37
3.1.1 Modificaciones en el espacio sólido y poroso del suelo. Aspectos funcionales ligados al movimiento del agua y exploración radical.	37
3.1.2 Producción del cultivo de maíz. Disponibilidad, captación, eficiencia de uso de recursos	52
3.2 Segundo año: efectos residuales y durante el cultivo de soja posterior al maíz.	53
3.2.1 Modificaciones en el espacio sólido y poroso del suelo. Aspectos funcionales ligados al movimiento del agua y exploración radical.	53
3.2.2 Modificaciones de suelo durante el cultivo de soja.	57

3.2.2.1 Sistema sólido y poroso y desarrollo radical.	57
3.2.2.2 Producción del cultivo de soja. Disponibilidad, captación, eficiencia de uso de recursos.	62
3.2.3. Posterior a la cosecha de soja.	64
3.2.3.1 Espacio sólido y poroso del suelo.	64
3.3 Tendencia a través del tiempo de las variables analizadas.	68
3.3.1 Grado de aflojamiento.	68
3.3.2 Tasa de infiltración.	68
3.3.3 Rugosidad.	69
3.3.4 Densidad aparente.	70
<b>CAPÍTULO 4 - DISCUSIÓN</b>	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES</b>	<b>78</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>80</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características edáficas iniciales del sitio experimental	26
Tabla 2: Manejo del cultivo de maíz	29
Tabla 3: Manejo del cultivo de soja	29
Tabla 4: Fecha de muestreo de variables de suelo y cultivos según etapas fenológicas de los cultivos de maíz y soja	30
Tabla 5: Índice de Cono y Grado de Aflojamiento (GDA) correspondiente a los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) posterior a las labores.	38
Tabla 6: Humedad gravimétrica de suelo (HG) en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) al momento de toma de datos de Resistencia a la penetración posterior a las labores	39
Tabla 7: Densidad aparente (DA) en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR) Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en los diferentes espesores posterior a las labores.	41
Tabla 8: Participación porcentual de las diferentes unidades morfológicas en los Perfiles Culturales de los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR) Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) posterior a las labores.	42
Tabla 9: Distribución de tamaños de agregados (DTA) y Diámetro medio ponderado de agregados (DMP) por espesor de suelo y tratamiento de labranza posterior a las labranzas.	44
Tabla 10: Cobertura (CS), Rugosidad (RR) y Tasa de Infiltración del suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) posterior a las labores.	45

Tabla 11: Índice de Cono (IC) y Grado de Aflojamiento (GDA) de los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en el período reproductivo del maíz.	46
Tabla 12: Humedad volumétrica (HV) de suelo en los Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) al momento de toma de datos de Resistencia a la penetración en el período reproductivo del maíz.	47
Tabla 13: Densidad aparente (DA) en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) de los diferentes espesores dentro del período reproductivo del maíz.	49
Tabla 14: Participación porcentual de unidades morfológicas en los Perfiles Culturales de los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en el período reproductivo del cultivo de maíz.	49
Tabla 15: Abundancia relativa de raíces (AR) en el cultivo de maíz correspondiente a los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en el período reproductivo del cultivo de maíz.	51
Tabla 16: Precipitaciones decádicas durante la campaña agrícola 2010-2011.	52
Tabla 17: Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo total del cultivo ( $RFA_i$ t) y alrededor de floración ( $RFA_i$ R1), Rendimiento (R), Número de granos (NG), Peso de granos (PG) y Eficiencia de uso de la radiación fotosintéticamente activa interceptada durante el ciclo (ERFA) del cultivo de maíz en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC).	53
Tabla 18: Índice de cono (IC) y Grado de aflojamiento (GDA) en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (R), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en Agosto de 2011.	54

Tabla 19: Humedad volumétrica (HV) de suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) al momento de toma de datos de Resistencia a la penetración en Agosto de 2011.	54
Tabla 20: Cobertura (CS), Rugosidad (RR) y Tasa de Infiltración del suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en Agosto de 2011.	56
Tabla 21: Carbono Orgánico Total (COT) y Estabilidad Estructural (EE) de diferentes espesores en el suelo de los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en Agosto de 2011.	56
Tabla 22: Humedad gravimétrica (HG) del suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) al momento de toma de datos de Resistencia a la penetración durante el estadio de R5 del cultivo de soja.	57
Tabla 23: Índice de cono (IC) y Grado de aflojamiento (GDA) correspondiente a los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en el estadio R5 del cultivo de soja.	58
Tabla 24: Densidad aparente (DA) en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en los diferentes espesores en el estadio R5 del cultivo de soja.	60
Tabla 25: Participación porcentual de las diferentes unidades morfológicas en los Perfiles Culturales de los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA), Timón Curvo (TC) en el estadio R5 del cultivo de soja.	60
Tabla 26: Abundancia relativa de raíces (AR) en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en el estadio R5 del cultivo de soja.	62

Tabla 27: Precipitaciones decádicas durante la campaña agrícola 2011-2012.	63
Tabla 28: Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo total del cultivo ( $RFA_i t$ ) y entre R3-R6 ( $RFA_i R3-R6$ ), Rendimiento (R), Número de granos (NG), Peso de granos (PG) y Eficiencia de uso de la intercepción de la Radiación fotosintéticamente activa (EUR) del cultivo de soja en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC).	63
Tabla 29: Índice de cono (IC) y Grado de aflojamiento (GDA) correspondiente a los tratamientos Testigo (T), Timón Recto TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en Junio de 2012.	64
Tabla 30: Humedad volumétrica (HV) de suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) al momento de toma de datos de Resistencia a la penetración en Junio de 2012.	65
Tabla 31: Cobertura (CS), Rugosidad (RR) y Tasa de Infiltración del suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en Junio de 2012.	67
Tabla 32: Carbono orgánico total (COT) y Estabilidad Estructural (EE) del suelo correspondientes a los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en los diferentes espesores de profundidad en Junio de 2012.	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diseño y disposición de los timones sobre el chasis en el equipo de Timón Recto.	27
Figura 2: Diseño y disposición de los timones sobre el chasis en el equipo de Timón Angulado.	27
Figura 3: Diseño y disposición de los timones sobre el chasis en el equipo de Timón Curvo.	28
Figura 4: Mapas de iso-resistencias (KPa) de los tratamientos Testigo y Timón Recto posterior a las labores.	40
Figura 5: Mapas de iso-resistencias (KPa) de los tratamientos Timón Angulado y Timón Curvo posterior a las labores.	40
Figura 6: Mapas estructurales de las unidades morfológicas descritas en el Perfil Cultural de los tratamientos Testigo, Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo posterior a las labores.	43
Figura 7: Mapas de iso-resistencias (KPa) de los tratamientos Testigo y Timón Recto en el período reproductivo del maíz.	47
Figura 8: Mapas de iso-resistencias (KPa) de los tratamientos Timón Angulado y Timón Curvo en el período reproductivo del maíz.	48
Figura 9: Mapas estructurales de las unidades morfológicas descritas en el Perfil Cultural de los tratamientos Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo en el período reproductivo del cultivo de maíz	50
Figura 10: Mapas de iso-resistencias (KPa) de los tratamientos Testigo, Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo en Agosto de 2011.	55
Figura 11: Mapas de iso-resistencias (KPa) de los tratamientos Testigo, Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo en el estadio R5 del cultivo de soja.	59

- Figura 12: Mapas estructurales de las unidades morfológicas descritas en el Perfil Cultural en los tratamientos Testigo, Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo en el estadio R5 del cultivo de soja. 61
- Figura 13: Mapas de isoresistencias (KPa) en los tratamientos Testigo, Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo en Junio de 2012. 66
- Figura 14: Evolución en el tiempo del Grado de aflojamiento (GDA) promedio en el espesor superficial de suelo en los diferentes tratamientos, previo a la siembra del cultivo de maíz (PM), estado reproductivo del cultivo de maíz (M), previo a la siembra del cultivo de soja (PS), estado reproductivo de soja (S) y luego del cultivo de soja (LS). 68
- Figura 15: Evolución en el tiempo de la Tasa de infiltración en los diferentes tratamientos, previa a la siembra del cultivo de maíz (PM), previo a la siembra del cultivo de soja (PS) y luego del cultivo de soja (LS). 69
- Figura 16: Evolución en el tiempo de la Rugosidad Aleatoria en los diferentes tratamientos, previa a la siembra del cultivo e maíz (PM), previo a la siembra del cultivo de soja (PS) y luego del cultivo de soja (LS). 70

## ABREVIATURAS

: Terrones con caras de ruptura lisa, sin porosidad visible y alta cohesión

AR: Abundancia de raíces

CE: Conductividad eléctrica

CS: Cobertura

COT: Carbono orgánico total

DA: Densidad aparente

DMP: Diámetro medio ponderado de agregados

DTA: Distribución del tamaño de agregados

EE: Estabilidad estructural

ERFA: Eficiencia de uso de la radiación fotosintéticamente activa interceptada

F: Estado fragmentario

GDA: Grado de aflojamiento

HG: Humedad gravimétrica

HV: Humedad volumétrica

IC: Índice de cono

K: Potasio

kPa: Kilopascales

Lam: Estructura laminar

M: Estado masivo

MPa: Megapascales

N: Nitrógeno

NG: Número de granos

P: Fósforo

PC: Perfil cultural

PG: Peso de grano

: Terrones con caras de ruptura rugosa, porosidad visible y cohesión débil

R: Rendimiento

RFA: Radiación fotosintéticamente activa

RFA<sub>i</sub>: Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa

RFA<sub>i</sub> R1: Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa alrededor de floración en el cultivo de maíz

RFA<sub>i</sub> R3-R6: Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa entre R3-R6 en el cultivo de soja

RFA<sub>i</sub> t: Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo del cultivo

RR: Rugosidad

S: Azufre

Sd: Siembra directa

SD: Elementos estructurales difícilmente disgregables

SF: Elementos estructurales que se disgregan fácilmente

T: Testigo

TA: Timón Angulado

TC: Timón Curvo

TR: Timón Recto

UE: Unidad experimental

V: Cavidades

## RESUMEN

En la pampa ondulada, el tránsito con maquinaria agrícola pesada en suelo húmedo, la falta de remoción, la pérdida de materia orgánica como consecuencia de la desaparición de la ganadería, la falta de rotación de cultivos y, asociado a ello, la disminución de la estabilidad estructural, de la macroporosidad y un deficiente estado de agregación, constituyen las principales causas que explican los problemas de compactación en los suelos.

Una de las alternativas en el corto plazo para atenuar o corregir en parte la compactación edáfica es el escarificado de suelo. Actualmente en Argentina existen diferentes fábricas de implementos agrícolas que ofrecen variados diseños de equipos escarificadores, pero la información experimental sobre el modo de acción y la efectividad en la descompactación, tanto sobre el suelo como sobre los cultivos es escasa.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de distintos diseños de escarificadores en un Argiudol típico bajo siembra directa con evidencias de compactación edáfica.

El experimento se realizó en un Argiudol típico, serie Pergamino, con siete años de siembra directa. Los tratamientos fueron cuatro: Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC). El diseño fue en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones. El experimento tuvo una duración de dos años y se implantaron los cultivos de maíz y soja. Se realizaron evaluaciones de algunas propiedades de suelo, de variables de desarrollo de los cultivos y de procesos vinculados a la captación de agua y energía. Los tratamientos se compararon mediante análisis de la varianza y el test de comparación de media para cada variable estudiada.

Luego de las labores, en el espesor modificado del suelo, los tratamientos de escarificado, modificaron la condición física del suelo, a través de menores valores de resistencia a la penetración vertical (RP) e incrementos en unidades morfológicas deseadas (unidades fragmentarias, unidades fácilmente disgregables, púa y cavidades) en los perfiles culturales (PC). El tratamiento TA produjo los menores valores de RP como consecuencia del diseño de la reja y el timón. Mientras que el TC, también por sus características constructivas, produjo fisuras en diferentes sentidos en el horizonte B1. Además, los tratamientos de escarificado incrementaron los valores de infiltración y rugosidad impactando en la captación de agua.

Estas modificaciones mejoraron el desarrollo radical en el cultivo de maíz en los tratamientos escarificados, destacándose el TC hasta los 25 cm de profundidad. También, los tratamientos escarificados, lograron mayor rendimiento (R) en comparación al T captando más radiación fotosintéticamente activa en todo el ciclo del cultivo ( $RFA_{i t}$ ) y

durante el período crítico (RFA<sub>i</sub> R1), incrementando el número de granos por unidad de superficie (NG).

Posteriormente, en el cultivo de soja, los PC mostraron residualidad de las labores por la presencia de zonas por donde pasaron el timón y la púa. Se corroboró que las diferencias en las características del sistema sólido y poroso entre tratamientos a lo largo del tiempo fueron cada vez menores. El TC fue el único tratamiento que se diferenció del T en el R, explicado por un aumento en el NG. Los PC en este tratamiento muestran todavía una aceptable proporción de unidades estructurales favorables en la base del horizonte A y B1. Además de que los valores de RP y grado de aflojamiento (GDA) hasta 20 y 22,5 cm fueron más favorables a pesar de no existir diferencias significativas.

Al final del experimento, luego de la cosecha del cultivo de soja, se continuaron hallando efectos de los tratamientos con labranza, ya que las tasas de infiltración son mayores y los valores de RP menores.

Finalmente, el escarificado de suelo atenuó el problema de compactación edáfica y permitió respuestas productivas en los cultivos en las campañas agrícolas evaluadas. Asimismo, los equipos de timones no rectos presentaron un mejor comportamiento en los aspectos evaluados. Futuras experiencias, relacionadas a la comparación de diferentes equipos escarificadores, tendrían que incluir equipos con timones rectos y rejas aladas dado el mayor efecto lateral en el perfil del suelo que tienen estas últimas.

## **SOIL COMPACTION: EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF DEEP TILLAGE EQUIPMENT IN A CORN-SOYBEAN CROPPING SYSTEM**

Compaction of soil is a constraint to crop production in the Argentina Pampa Region. Deep tillage is a practice that can reverse this problem. The aim of this study was evaluate the effect of different types of deep tillage equipment on the deep loosening and crop production. The experiment located in Pergamino on a Typic Argiudoll under no-till during seven years had a random complete block design, with four treatments the different types of deep tillage equipment (straight shanks <SSH>, curved shanks <CSH>, angled shanks <ASH>, and control <T> without tillage) and four replicates . The experiment lasted two years through the corn and soybean crops. Soil and crop properties and processes related to energy and water uptake were evaluated. Deep tillage treatments increased desirable structural units, infiltration and surface roughness while decreased vertical penetration resistance.

CSH and ASH treatments had the best performance. Subsequently, these changes improved root development in maize in tillage treatments highlighting the CSH and ASH. Also, deep tillage treatments captured more photosynthetically active radiation throughout the crop cycle and during the critical period, achieving higher yield in maize.

Then, in the soybean crop, the cultural profiles showed areas through which passed the shanks. CSH had more yield than T, due to an increase in the number of grains per unit area. The cultural profile of the CSH showed favorable proportion of desirable structural units at the base of horizon A and B1. Besides, the values of RP and degree of loosening (GDA) between 20 and 22.5 cm are more suitable.

Deep tillage equipments tended to produce positive effects on soil physical conditions and production crop in corn-soybean sequence, particularly after the use of equipment with no straight shanks.

# **EFFECTO DEL USO DE DIFERENTES ESCARIFICADORES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE SUELO Y DE CULTIVO EN LA SECUENCIA MAÍZ-SOJA**

## **CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN**

En Argentina, desde 1980, la práctica de la siembra directa (Sd) se ha incrementado a un ritmo acelerado, superando en la campaña 2010/11, las veintisiete millones de hectáreas (Bragachini, 2011). La Sd asociada a la rotación de cultivos, la fertilización, el manejo integrado de plagas y enfermedades, impactó en el uso más eficiente del agua en el corto plazo. Asimismo, disminuyó la erosión, sostuvo y/o aumentó la materia orgánica y mejoró la estructura de suelo (Senigagliesi y Ferrari, 1992; Senigagliesi, 2004).

La notable expansión de la Sd se asoció al menor costo, a su mayor practicidad, a la disponibilidad de equipos de siembra adaptados a este sistema y, fundamentalmente, a la introducción de cultivares genéticamente modificados resistentes a glifosato (Gerster, 2008). Estas causas fueron más determinantes para el productor agrícola que la reducción de los riesgos de erosión y degradación superficial. Asimismo, investigadores y extensionistas difundieron con especial atención este sistema en el medio productivo (Senigagliesi y Massoni, 1999).

### **1.1. Compactación en siembra directa**

#### **1.1.1. Orígenes de la compactación**

Actualmente, en la región correspondiente a la pampa ondulada, con aproximadamente cinco millones de hectáreas, las cuales en un gran porcentaje están bajo siembra directa continua, existen problemas de compactación superficial y subsuperficial. La falta de remoción y la utilización de maquinarias agrícolas pesadas utilizadas en las operaciones de siembra y cosecha, y bajo condiciones de alta humedad del suelo durante otoño y primavera, son características definitorias en la aparición de la compactación de suelo en los actuales sistemas agrícolas bajo siembra directa (Cazorla, 2005). También, la pérdida de materia orgánica, y asociado a ello, la pérdida de estabilidad estructural, macroporosidad y agregación como consecuencia de la larga secuencia agrícola que enfrentan la mayoría de los lotes, otorgan a los suelos menor capacidad de resistir estos procesos de degradación (Ferraris, 2004).

El aumento de la superficie en Sd estuvo acompañado por un incremento continuo de la destinada al cultivo de soja y por una disminución de las áreas cultivadas con gramíneas anuales, principalmente trigo y maíz, y pasturas. Sumado a esto, la intensificación agrícola y el aumento de la escala productiva, demandaron equipos de máquinas agrícolas de mayor capacidad de trabajo y peso, de mayor impacto sobre el suelo, especialmente, cuando el tránsito se realiza con alto contenido de humedad (Gerster, 2008).

### **1.1.2. Efectos de la compactación en siembra directa**

La compactación modifica el volumen y la organización de los poros del suelo, altera el estado de agregación y las interacciones existentes entre las fases sólida, líquida y gaseosa. Esto disminuye la conductividad, la permeabilidad y la difusión del agua a través del sistema poroso (Soane et al., 1982; Bingham, 2001; Passioura, 2002).

La compactación afecta la producción de cultivos, especialmente en años secos, por el impacto en la economía de agua y el crecimiento de las raíces. Reducciones en rendimiento de granos atribuibles a una alta impedancia mecánica han sido reportadas en varias especies cultivadas en un amplio rango de suelos, desde arenosos a arcillosos. Arvidsson y Hakansson (1996) en suelos con contenidos de arcilla entre un 11 y un 65 %, evaluando el efecto de la compactación generada con tránsito de máquinas pesada, evidenciaron disminuciones de la porosidad total e incremento de la resistencia a la tracción de agregados en seco. Además, los rendimientos de los cultivos evaluados decrecieron en el tratamiento compactado durante los cuatro primeros años hasta alcanzar un nivel de pérdida estable alrededor del 11,4 % en comparación con el tratamiento Testigo. Luego de cuatro o cinco años de haber terminado el tratamiento de compactación, los rendimientos de los cultivos volvieron a ser semejante al Testigo.

Ishaq et al. (2001) evaluando el impacto de la compactación subsuperficial, comprobaron aumentos de la densidad aparente y resistencia a la penetración, y disminuciones en la porosidad total y porosidad de aireación en suelos franco-arcillo- arenosos. En relación a esto, hallaron disminuciones de rendimiento en un rango comprendido entre un 38 y 8 % para trigo y entre un 22 y 14 % para sorgo. La disminución en la eficiencia de uso del agua y de los nutrientes tuvo magnitudes similares. Asimismo, luego de tres campañas los valores de densidad aparente y resistencia a la penetración comenzaron a disminuir demostrando efectos positivos por parte de los cultivos en las propiedades físicas del suelo.

Radford et al. (2001) en un Vertisol evidenciaron que la compactación redujo el porcentaje de emergencia de las plántulas, el rendimiento y la eficiencia de uso del agua de los cultivos,

además del almacenamiento de agua en el suelo a 1,5 m de profundidad. Chichidichimo et al. (1997) demostraron en ensayos en macetas conteniendo suelo del horizonte A de un Argiudol típico, reducciones significativas de la biomasa y longitud de raíces de maíz, resultando esta reducción más severa ante una densidad aparente de 1,41 g cm<sup>-3</sup>. Además, encontraron que el efecto negativo se acentuó con menor disponibilidad hídrica. Imvinkelried et al. (2010) en un Argiudol ácuico del centro de Santa Fe, hallaron que el estrés provocado por la compactación afectó diferencialmente a los componentes del rendimiento del cultivo de soja, siendo los más sensibles, el número de plantas, el número de granos por unidad de área, la tasa de crecimiento del cultivo, la duración del área foliar de R2 a R6 y la materia seca producida en R8.

## **1.2. Recuperación de suelos compactados. Uso de escarificadores**

### **1.2.1. Efecto sobre las propiedades de suelo y el desarrollo de los cultivos**

A raíz de los efectos adversos planteados anteriormente respecto a la compactación edáfica, adquieren relevancia los procesos naturales y artificiales de recuperación de los suelos deteriorados en su condición física. Estos están relacionados con los ciclos de humectación-deseccación, congelamiento-descongelamiento, la actividad biológica, la generación de poros por acción de raíces, la incorporación de materia orgánica por la rotación de cultivos, además de labranzas profundas con escarificadores (Balbuena y Claverie, 2006). Este tipo de labranza se presenta como una alternativa viable en el corto plazo para corregir o atenuar los efectos negativos de la compactación.

Los escarificadores aflojan un espesor de suelo comprendido entre los 15 y 25 cm de profundidad. Asimismo, modifican levemente la condición superficial del mismo. Los equipos utilizados levantan las capas generando una orientación diferente de los bloques de suelo, formándose una red de macroporos interconectados que pueden actuar como vías para la penetración de raíces y el flujo de agua y aire (Wesley et al., 1994; Suwardji y Eberbach, 1998; Hilbert y Tesouro, 2001).

Las evidencias de efectos favorables por el uso de escarificadores sobre propiedades edáficas y cultivos son numerosas. Bonel et al. (2004) sobre un Argiudol vértico, evidenciaron incremento de la porosidad total, macroporos y mesoporos hasta los 20 cm de profundidad por la labor de escarificado en parcelas bajo siembra directa continua. Sobre el mismo tipo de suelos, Morrás et al. (2001), hallaron incrementos en la porosidad total, disminución en la resistencia a la penetración e incremento en la tasa de infiltración en situaciones de Sd escarificada en comparación con la siembra directa sin escarificar. El

efecto de la labor sobre la condición física, estuvo acompañado de incrementos en el rendimiento en los dos cultivos posteriores a la labor profunda.

Harrison et al. (1994), observaron que el efecto del escarificado aumentó la conductividad hidráulica de la capa compactada, la longitud de raíces y el porcentaje total de raíces presentes por debajo de los 30 cm, lo que finalmente se tradujo en un mayor rendimiento del cultivo, comparado con una situación no laboreada. Leiva y Hansen (1984) encontraron en un Argiudol típico, que la capa compactada entre 5 y 20 cm de profundidad en el horizonte superficial bajo labranza cero tuvo concentración superficial y crecimiento lateral de las raíces de maíz comparado con tratamientos de labranzas.

Vilche y Alzugaray (2008) en Argiudol vértico del sur de Santa Fe, hallaron mayor longitud de raíces en floración del cultivo de maíz en la profundidad de labor del tratamiento siembra directa escarificado, en comparación al tratamiento siembra directa sin escarificar. Sobre el mismo suelo midieron tasas de infiltración tres veces mayor en el tratamiento de siembra directa escarificada antes del cultivo de soja con respecto al tratamiento de siembra directa no escarificado (Vilche et al. 2009). Alvarez et al. (2006), encontraron en suelos de Chivilcoy mayor abundancia radical de maíz en el estrato 5-35 cm y 60-85 cm en parcelas descompactadas en comparación con parcelas Testigos. Esto demostró no sólo una mayor exploración radical en la zona donde se realizó la descompactación sino por debajo de la misma.

### **1.2.2. Residualidad de las labores de descompactación**

La labranza profunda es una práctica costosa, demanda alto consumo de combustible por hectárea y tiene elevado desgaste del órgano activo. También, el tractor utilizado para arrastrar el apero posee alto deterioro. Por lo tanto la perdurabilidad de los efectos del escarificado de suelo adquiere relevancia. Cholaky Pérez (2003), en un suelo Haplustol típico, evidenció efectos del escarificado de suelo luego de 2 años de la labor profunda pero la evolución del perfil cultural mostró el avance de procesos de recompactación. Reposo et al. (2012) en un Argiudol típico percibieron disminuciones en la resistencia mecánica e incrementos en la infiltración básica 8 meses luego de la labor profunda.

Vilche et al. (2009) evaluaron aumentos en rendimientos de soja hasta dos años después del paso del escarificador en un Argiudol vértico profundo del sur de Santa Fe.

Busscher et al. (1986) observaron en un suelo franco arenoso, débilmente estructurado, luego de la labranza profunda, que la resistencia a la penetración se había incrementado de 1 MPa a 2,5 MPa en un año y todos los efectos habían desaparecido a los 2 años.

Sojka et al. (1990) trabajando en un suelo similar al anterior (Paleudult franco arenoso) encontró que la reconsolidación ocurrió dentro de un período de 27 días después del escarificado, produciéndose después de una lluvia, y que todos los signos del subsolado habían desaparecido al final de la estación del cultivo.

Reeder et al. (1993) compararon diferentes equipos escarificadores en un suelo franco arcillo-limoso, a través de dos campañas agrícolas, evidenciando diferencias en la resistencia a la penetración vertical en diferentes momentos del experimento.

### **1.2.3. Herramientas disponibles para la descompactación**

Actualmente en Argentina, las empresas nacionales dedicadas a la fabricación de equipos escarificadores, ofrecen diferentes diseños de los mismos. La característica común es la presencia de montantes rígidos, mientras que, una característica distintiva es el tipo de montante, existiendo recto y curvo. Este último puede ser de lámina plana o curva. También, la disposición de los montantes en el chasis es variable, puede ser convergente de a pares o en conjunto en diferentes planos de acción, o convergente en conjunto en un único plano de acción. Cabe agregar que para los montantes rectos las empresas ofrecen la disposición punta de flecha en varios planos de acción. Raper (2005), comprobó diferente intensidad en las fuerzas verticales, laterales y frontales evaluando distintos tipos de timones y púas en suelos francos limosos y francos arcillosos. Además, considerando mínima ruptura de suelo en superficie, máxima ruptura de suelo en profundidad y el menor requerimiento de fuerza de tiro, comprobó que los montantes curvos tuvieron mejor comportamiento con respecto a los montantes rectos.

En la región de la pampa ondulada Argentina, la información experimental sobre el modo de acción y la efectividad en la descompactación, tanto sobre el suelo como sobre los cultivos es escasa. Los sistemas productivos agrícolas, basados en la siembra directa, requieren escarificadores que no modifiquen la superficie del suelo, que actúen en la profundidad donde se encuentran los problemas importantes de compactación y que los efectos producidos en el suelo y el cultivo tengan residualidad. Esta condición permite un uso eficiente del agua por parte del cultivo dado que la cobertura de rastrojo no se modifica y, por otro lado, permite mantener la capacidad de soporte del suelo para el tránsito de diferentes maquinarias agrícolas. También se logra una aceptable implantación del cultivo dado que la superficie del suelo no tiene grandes cambios en su rugosidad, por lo cual la sembradora realiza un trabajo eficiente (González N., com. pers.).

De los argumentos hasta aquí destacados, se asume que la evaluación del efecto de los principales tipos de escarificadores disponibles, sobre el suelo y los cultivos, aportará información de utilidad para precisar diagnósticos y recomendaciones de uso. Además, contribuirá al avance del conocimiento científico tanto en el área de la física de suelo aplicada, como en el área de desarrollo tecnológico de equipos descompactadores

### **1.3. Hipótesis**

El tipo y disposición de montantes en los diferentes modelos de escarificadores, producen distintos grados de aflojamiento de las capas de suelo compactadas, modificando sus propiedades físicas, y el crecimiento de los cultivos que le suceden a la labor.

### **1.4. Objetivos de la investigación**

#### **1.4.1. General**

Evaluar el efecto de distintos diseños de escarificadores en un argiudol típico bajo siembra directa con evidencias de compactación.

#### **1.4.2. Específicos**

- a) Comparar las modificaciones del espacio sólido y poroso del suelo logradas por el uso de diferentes escarificadores y su impacto sobre aspectos funcionales ligados al movimiento del agua y exploración radical.
- b) Evaluar el efecto de las modificaciones estructurales y funcionales provocados por los diferentes escarificadores sobre la captación, eficiencia de uso de la radiación fotosintéticamente activa, rendimiento y componentes de rendimiento de maíz y soja.

## CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Diseño del experimento y tratamientos

Los datos se obtuvieron de un experimento de labranzas llevado a cabo en la Estación Experimental de INTA Pergamino sobre un Argiudol típico serie Pergamino (INTA, 1972) con 7 años de siembra directa y la siguiente secuencia de cultivos: Soja, Maíz, Soja, Trigo/Soja, Maíz, Soja y Soja. En la Tabla 1 se detallan características edáficas del sitio experimental.

Tabla 1. Características edáficas iniciales del sitio experimental.

Horizonte		A		B1	B21 t
		0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40
Espesor	cm				
Arena	%	17,4	17,7	15,1	14,7
Arcilla	%	22,9	23,4	30,7	37,4
Limo	%	59,7	58,9	54,1	47,9
COT	g kg <sup>-1</sup>	15,3	14,5	11,5	10,3
EE	%	14,5	11,1	11,9	13,3
pH en agua (1:2.5)	-	5,6	5,6	5,9	6,1
Conductividad eléctrica	dS m <sup>-1</sup>	0,09	0,08	0,08	0,08
Nitrógeno orgánico total	g kg <sup>-1</sup>	1,3	1,3	1,0	0,9
P extractable	mg kg <sup>-1</sup>	10,1	5,0	5,4	3,3
S de sulfatos	mg kg <sup>-1</sup>	1,0	3,0	2,0	3,0

El diseño del experimento corresponde a bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones, siendo el área de las unidades experimentales (UE) de 30 m de largo por 7 m de ancho. Sobre este diseño se instalaron en mayo de 2010 cuatro tratamientos de labranzas correspondientes a labores con diferentes equipos escarificadores y a un Testigo: **a) Equipo de cinco montantes rectos (TR)** y rejas (ancho: 0,035 m y ángulo: 40\_) sin ala, distanciados 0,5 m, dispuestos en punta de flecha, en tres planos de acción, siendo 0,8 m y 1,6 m la distancia del primero al segundo y del segundo al tercero respectivamente, con un distanciamiento entre punto de vinculación al chasis de 1 m y 2 m en el segundo y tercer plano de acción respectivamente. El despeje del implemento fue de 0,8 m (Figura 1).

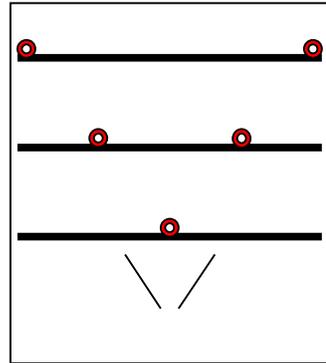


Figura 1. Diseño y disposición de los timones sobre el chasis en el equipo con Timón Recto.

b) Equipo de **cuatro montantes curvos de lámina plana (TA) y rejas** (ancho: 0,07 m y ángulo: 20\_) **sin ala**, dispuestos en forma diagonal a la línea de avance, con distancia entre órganos activos de 0,5 m, con cuatro planos de acción separados 1,03 m, con un solo montante por plano de acción. El despeje del implemento fue de 0,88 m (figura 2).

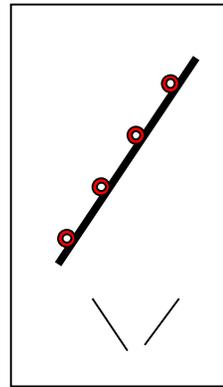


Figura 2. Diseño y disposición de los timones sobre el chasis en el equipo con Timón Angulado.

c) Equipo de **cuatro montantes curvos de lámina curva (TC) y rejas** (ancho: 0,07 m y ángulo 30\_) **sin ala** dispuestos convergente al centro del equipo, con distancia entre órganos activos de 0,5 m, con dos planos de acción separados a 0,6 m, con distancia entre los puntos de vinculación al bastidor de 0,85 m y 1,88 m en el primer y segundo plano de acción

respectivamente y con una separación de 0,5 m y 1,6 m entre órganos activos en el primer y segundo plano de acción respectivamente. El despeje del implemento fue 0,9 m (figura 3).

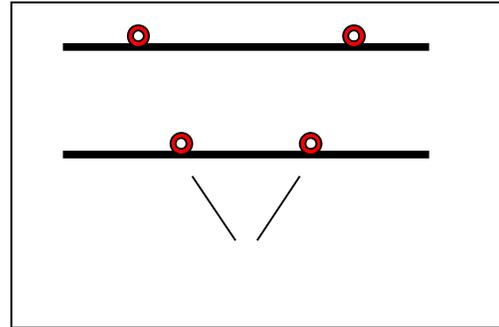


Figura 3. Diseño y disposición de los timones sobre el chasis en el equipo con Timón Curvo.

**d) Testigo (T)** representado por parcelas sin labor de escarificado.

Dado que el tipo de perturbación de los equipos sobre el suelo está influenciado por la humedad edáfica y la equidistancia entre púas, las labores se realizaron en estado friable con una distancia entre púas no mayor a 1,5 veces la profundidad de trabajo.

La humedad gravimétrica de suelo al momento de la labranza fue de 15,5 %, 17,7 %, 19,7 % y 21,3 % para los espesores 5-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm, respectivamente. La velocidad de avance de los equipos fue de 3,5 km h<sup>-1</sup>, alcanzándose una profundidad de trabajo comprendida en el rango de 32 a 35 cm. Luego de realizadas las labores en mayo de 2010, se instaló la secuencia de cultivos de maíz-soja, cuyo manejo general se resume en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2: Manejo del cultivo de maíz.

Sistema de labranza	Siembra Directa
Cultivar de maíz	ACA 2000 BT (Híbrido Simple)
Fecha de siembra	13/10/2010
Control de Malezas preemergencia	Acetoclor (84 %) 2 l.ha <sup>-1</sup> + Atrazina (48 %) 3 l.ha <sup>-1</sup> + Glifosato (48 %) 2,5 l.ha <sup>-1</sup>
Densidad de siembra lograda	65.000 semillas por hectárea
Profundidad de siembra	0,06 m
Distancia entre surcos	0,70 m
Sembradora	Gaspardo (Dosificación Neumática)
Fertilización a la siembra	110 kg.ha <sup>-1</sup> 7-40-0-6 (N-P-K-S)
Fertilización en V5	300 kg.ha <sup>-1</sup> 46-0-0-0 (N-P-K-S)
Fecha de cosecha	12/04/2011

Tabla 3: Manejo del cultivo de soja

Sistema de labranza	Siembra Directa
Cultivar de soja	Nidera 4613 RR
Sembradora	Crucianelli, Pionera 2717 -14 surcos
Fecha de siembra	01/11/2011
Densidad lograda	240.000 plantas por hectárea
Profundidad de siembra	0,05 m
Distancia entre surcos	0,35 m
Fertilización en línea a la siembra	70 Kg.ha <sup>-1</sup> 0-10,2-0-4,2 (N-P-K-S)
Control de Malezas preemergencia	Glifosato (48 %) 2,5 l.ha <sup>-1</sup>
Control de Malezas posemergencia	Glifosato (48 %) 3 l.ha <sup>-1</sup>
Fecha de cosecha	03/04/2012

## 2.2. Cronograma de muestreo

En la siguiente Tabla se indican las fechas de muestreo de las variables de suelo y cultivo en las etapas fenológicas de maíz y soja.

Tabla 4: Fecha de muestreo de las variables de suelo y cultivos según las etapas fenológicas de los cultivos de maíz y soja.

Variables de suelo y cultivo	Labor		Condición pos labores			Evolución cultivo de maíz						Condición pos cultivo maíz						Evolución cultivo de soja						Condición pos cultivo soja						
	Abрил	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio		
	2010			2011			2011						2012																	
Textura																														
COT																														
N - P - S																														
PH																														
CE																														
EE																														
DA																														
IC																														
PC																														
DTA																														
DMP																														
RR																														
CS																														
Infiltración																														
Humedad de suelo																														
Abundancia de Raíces																														
RFA																														
Rendimiento																														
Comp. Rend.																														

**Referencias:** COT: Carbono orgánico total; N: Nitrógeno; P: Fósforo; S: Azufre; CE: Conductividad Eléctrica; EE: Estabilidad Estructural; DA: Densidad Aparente; IC: Índice Cono; PC: Mapas Estructurales; DTA: Distribución del Tamaño de Agregados; DMP: Diámetro medio ponderado de Agregados; RR: Rugosidad; CS: Cobertura; RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; Comp. Rend: Componentes de Rendimiento; S: Siembra; F: Floración; MC: Madurez Comercial; C: Cosecha.

## **2.3. Muestreo inicial**

Previo a las labores de escarificado (abril de 2010), en el sitio experimental se extrajo una muestra compuestas de 18 submuestras en rangos de 10 cm de profundidad en el espesor 0-40 cm para la determinación de fósforo disponible (P) según Bray y Kurtz (1945), nitrógeno total (Nt) según el método de Kjeldhal (Page et al., 1982), azufre de sulfatos (S-SO<sub>4</sub>) según Lisle et al. (1994), composición textural según el método de la pipeta (Gee y Bauder, 1986) y estabilidad estructural (EE) según el método modificado de Douglas y Goss (1982). Además, se determinó carbono orgánico total (COT) según el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982) expresado en en g kg<sup>-1</sup>.

## **2.4. Variables de estudio**

### **2.4.1. Evaluación del espacio sólido y poroso del suelo**

#### **2.4.1.1. Resistencia a la penetración vertical**

En junio de 2010, febrero de 2011, agosto de 2011, febrero de 2012 y junio de 2012 se midió la resistencia a la penetración vertical (RP) mediante la utilización de un penetrómetro digital, marca Fieldscout SC 900 cuya área de base del cono es 12,83 mm y 30° de ángulo. La RP se midió en transectas de 2 m de ancho en junio de 2010, agosto de 2011 y junio de 2012 mientras que en febrero de 2011 y febrero de 2012 fue de 0.7 m. En las transectas las mediciones se hicieron a intervalos de 10 cm en sentido horizontal y de 2,5 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 isoresistencias 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, y se estimó el Grado de aflojamiento (GDA) para cada profundidad a partir de la siguiente ecuación:

$$(1) \text{ GDA} = (1 - \text{RPDL} / \text{RPAL}) * 100$$

siendo: RPDL la RP después de la labranza y RPAL la RP antes de la labranza (Tola et al., 2000).

Para caracterizar el estado hídrico del suelo al momento de la determinación de la RP, se midió la humedad por el método volumétrico con TDR (Santos et al., 2012). En los momentos donde no se dispuso del equipo TDR, se determinó humedad de suelo por el

método gravimétrico (Santos et al., 2012). La humedad gravimétrica se expresa en gramos de agua en el suelo por cada gramo de suelo seco (g g<sup>-1</sup>). La humedad volumétrica se expresa en cm<sup>3</sup> de agua en el suelo por cada cm<sup>3</sup> de suelo seco (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>). Los espesores relevados correspondieron a 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm.

Considerar valores de humedad de suelo a capacidad de campo para este sitio de experimentación alrededor de 0,25 g g<sup>-1</sup> o 0,35 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> en el espesor 0-30 cm y 29 g g<sup>-1</sup> o 0,40 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> en el espesor 30-40 cm.

#### **2.4.1.2. Mapas estructurales**

Para cada UE, en septiembre de 2010 (posterior a la labranza profunda), febrero de 2011 (período reproductivo de maíz) y febrero de 2012 (período reproductivo de soja) se elaboró un mapa estructural aplicando el método del Perfil Cultural (Gautronneau y Manichon, 1987) a partir del análisis de trincheras. Estas, en el primer muestreo de septiembre de 2010, incorporaron dos timones y rejas para los tratamientos TA y TR y tres timones y rejas (dos centrales y un lateral) para TC, por lo que se adoptó anchos variables de trinchera de acuerdo al diseño de cada equipo. En muestreos posteriores para reducir el grado de disturbio en las parcelas se realizaron trincheras de menor ancho. En marzo de 2011 y febrero de 2012 tuvieron 0,7 m de ancho por 0,5 m de profundidad para evaluar los efectos entre dos órganos activos. Se identificaron las capas de origen genético y las capas de origen antrópico en sentido vertical. En sentido lateral también se realizó una partición, identificando 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: (terrones con caras de ruptura rugosa y porosidad visible importante, la cohesión es débil) y (terrones 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). Se registró la presencia de cavidades que separan terrones (**V**), zonas donde pasaron los órganos activos (**Púa**) y estructura laminar (**Lam**). Posteriormente, sobre la pared de la trinchera, se marcaron las distintas unidades morfológicas y se realizó una cartografía para proceder al cálculo de la importancia relativa de cada unidad morfológica. Los datos se expresaron en porcentaje (%).

### **2.4.1.3. Distribución del tamaño de agregados y diámetro medio ponderado de agregados.**

En cada parcela, en septiembre de 2010, se tomaron muestras compuestas de suelo para determinar la distribución de los distintos tamaños de agregados (DTA) y el diámetro medio ponderado (DMP) para las siguientes profundidades: 0-10; 10-20; 20-30 y 30-40 cm. Las muestras (de aproximadamente 1,5 kg cada una) fueron colocadas en bandejas para homogeneizar la humedad, una vez oreadas se tamizaron durante 15 segundos en una batería de tamices abarcando mallas de 8; 4,75; 3,35; 2; 1; 0,85 y 0,5 mm. Se pesó cada fracción y se determinó DMP (Kemper y Rosenau, 1986) según la siguiente ecuación:

$$(2) DMP = \sum_{i=1}^n x_i * w_i$$

siendo,  $x_i$ = diámetro medio de cada fracción;  $w_i$  = proporción del peso de la fracción respecto al peso total de la muestra y  $i$  = fracciones consideradas, en este caso entre 2 y 8 mm de diámetro.

### **2.4.1.4. Densidad aparente**

Para estimar la densidad aparente (DA) correspondiente a los espesores 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm, se muestreó con cilindro sobre una de las paredes de cada una de las trincheras, en septiembre de 2010, febrero de 2011 y febrero de 2012 (Blake y Hartge, 1986). El muestreo se realizó entre púas en las parcelas con la labor. Los datos se expresaron en  $g\ cm^{-3}$ .

### **2.4.1.5. Carbono orgánico total y estabilidad estructural**

En cada parcela, en agosto de 2011 y en junio de 2012 se tomó una muestra compuesta por cinco submuestras de suelo en los rangos de profundidad 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm para determinar por un lado la EE según el método modificado de Douglas y Goss (1982) y por otro lado el COT según el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982). La EE se expresó en porcentaje (%) y el COT en masa equivalente de suelo ( $tn\ ha^{-1}$ ) según lo propuesto por Irizar (2010). En agosto de 2011 la masa equivalente de suelo para 0-20 cm

fue de 2.292 tn ha<sup>-1</sup> y para 0-40 cm fue de 4.924 tn ha<sup>-1</sup>. En junio de 2012 la masa equivalente de suelo para 0-20 cm fue de 2.430 tn ha<sup>-1</sup> y para 0-40 cm fue de 4.990 tn ha<sup>-1</sup>.

#### **2.4.1.6. Abundancia de raíces**

Se elaboraron perfiles de abundancia de raíces en los estadios fenológicos de R6 en maíz (Ritchie y Hanway, 1993) y R5 en soja (Fehr y Caviness, 1977). Se estudió la morfología y distribución espacial de raíces en una trinchera cuya dimensión fue la misma que la mencionada anteriormente para la condición estructural, mediante una cuadrícula de metal de 0,7 m de ancho y 0,5 m de profundidad con celdas cuadradas de 5 cm de lado. La misma se centró en la línea de plantas para el cultivo de maíz evaluándose un surco y a la mitad del entresurco para el cultivo de soja evaluándose dos surcos. El testeo se realizó en forma visual a través de una escala de 0 a 4, donde:

0 = ausencia de raíces

1 = una raíz fina

2 = más de una raíz fina

3 = una raíz intermedia a gruesa con ramificaciones finas

4 = más de una raíz intermedia a gruesa con ramificaciones finas

Luego, por cada espesor de 5 cm de la cuadrícula, se sumaron los valores de las celdas y se calculó el porcentaje con respecto al mayor valor que podría tomar (56) y se obtuvo el perfil de abundancia de raíces por UE.

#### **2.4.2. Evaluación de los cultivos de maíz y soja**

##### **2.4.2.1. Fenología**

La evolución fenológica del cultivo de maíz se realizó según Ritchie y Hanway (1993), mientras que en el cultivo de soja se utilizó la escala de Fehr y Caviness (1977).

##### **2.4.2.2. Rendimiento y componentes de rendimiento**

El rendimiento y sus componentes se determinaron en muestras de dos metros cuadrados en cada UE. Los valores se expresaron en peso seco. En maíz la humedad de corrección fue 17,8 % mientras que en soja fue 14,2 %. Se realizaron tres determinaciones en cada UE.

Los datos de rendimiento (R), número de granos (NG) y peso de granos (PG) se expresaron en g m<sup>2</sup>, ng m<sup>2</sup> y g por semilla respectivamente.

#### **2.4.2.3. Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa**

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) se calculó según la siguiente ecuación:

$$RFA = 0.48 * [RA * (0.18 + 0.61 * hr)]$$

Siendo *RA* la radiación astronómica y *hr* la heliofanía relativa, datos provistos por la sección de climatología de la Estación Experimental de INTA Pergamino.

La intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (*RFA<sub>i</sub>*) durante el desarrollo de los cultivos se calculó en base a la ecuación:

$$(3) RFA_i = (1 - I_t / I_o) * 100$$

Siendo, *I<sub>t</sub>* la RFA incidente debajo de la capa más baja de hojas fotosintéticamente activas y *I<sub>o</sub>* la RFA incidente sobre el canopeo.

Los valores de *I<sub>t</sub>* y *I<sub>o</sub>*, fueron obtenidos con una barra medidora de flujos de fotones marca Bar-Rad 100. Cada 15 días, durante el ciclo del cultivo de soja y maíz, se realizaron cinco mediciones por UE, una en la parte superior y cuatro en la parte inferior del canopeo. Estas mediciones fueron realizadas alrededor del mediodía (11:00 h - 13:00 h) en días totalmente soleados, siguiendo la técnica descrita por Gallo y Daughtry (1986). Estos datos fueron presentados para todo el ciclo (*RFA<sub>i</sub>* t) en ambos cultivos. Asimismo en el cultivo de maíz se presentó alrededor de floración, 14 días antes y 17 días después (*RFA<sub>i</sub>* R1), mientras que, en soja, se hizo entre la formación de vainas y el llenado de los granos (*RFA<sub>i</sub>* R3-R6). Los datos se expresaron en MJ m<sup>2</sup>.

#### **2.4.2.4. Eficiencia de uso de la radiación fotosintéticamente activa**

La eficiencia de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (ERFA) surge del cociente entre el rendimiento seco de granos y la *RFA<sub>i</sub>* t para cada UE, la expresión utilizada corresponde a g m<sup>2</sup> mj<sup>-1</sup>.

#### **2.4.2.5. Captación de agua**

##### **2.4.2.5.1. Rugosidad y cobertura**

En junio de 2010, agosto de 2011 y junio de 2012, en la superficie del suelo, se caracterizó la rugosidad (RR) a partir de las variaciones en el microrelieve utilizando un perfilómetro de agujas (Irurtia et al., 2010). Los datos se expresaron con el desvío estándar ( ). Mientras que la medición de la cobertura (CS) se realizó con una soga de 10 m de largo, la cual posee nudos cada de 10 cm. La misma se fijó en el suelo formando un ángulo de 45° con las líneas de acción del escarificador. Luego se contaron los nudos que interceptaron el rastrojo y se determinó el porcentaje de cobertura (Laflen et al., 1981). Se realizaron tres determinaciones en cada UE.

##### **2.4.2.5.2. Tasa de infiltración**

El ingreso de agua en el suelo se midió en octubre de 2010, junio de 2011 y junio de 2012 mediante infiltrómetros de simple anillo (USDA, 1999), realizándose tres repeticiones en cada UE. En octubre de 2010, el infiltrómetro fue colocado entre las marcas visibles del pasaje de las púas. Los datos se expresaron en  $\text{mm h}^{-1}$ .

#### **2.5. Análisis e interpretación de resultados**

La significancia estadísticas de los efectos de los tratamientos se realizó con el Análisis de la Varianza (F de Snedecor) y se compararon las medias a través de test de Duncan. Mientras que en el Análisis de la Varianza el nivel de significancia fue 0.1, en la comparación de medias según el test de Duncan fue 0.05. En el caso del DTA y DMP se realizó un análisis factorial, considerando espesor y tratamientos como factores principales, previa transformación de datos (Arcoseno). Los análisis se realizaron con el *software* estadístico Infostat (2008). Los mapas de isoresistencias y los mapas estructurales se analizaron descriptivamente.

## CAPÍTULO 3 RESULTADOS

### 3.1. Primer año: análisis posterior a las labores y durante el cultivo de maíz

#### 3.1.1. Modificaciones en el espacio sólido y poroso del suelo. Aspectos funcionales ligados al movimiento del agua y exploración radical

La situación sin descompactar (Testigo) presentó valores aproximados a 2.000 kPa entre los 15 y los 22,5 cm de profundidad (Tabla 5, Figuras 4 y 5), demostrando la existencia de una capa con alta resistencia a la penetración medida a través del IC. Al mes de las labranzas, el efecto de la labor con los equipos escarificadores provocó una disminución de los valores de RP con un efecto significativo ( $p < 0,1$ ) sobre el IC (Tabla 5). En las parcelas labreadas con el equipo TA se hallaron menores valores de IC ( $p < 0,1$ ) en todas las profundidades hasta los 40 cm de profundidad. En el equipo TR hubo menores valores ( $p < 0,1$ ) de IC respecto al Testigo hasta 35 cm de profundidad (excepto a los 25 cm). En cambio, el equipo TC sólo se diferenció del Testigo ( $p < 0,1$ ) hasta 20 cm de profundidad.

Comparando los equipos, se hallaron diferencias significativas en el IC a partir de 15 cm de profundidad. A esta profundidad, a los 17,5 cm y a los 22,5 cm la resistencia a la penetración en TR fue mayor ( $p < 0,1$ ) que en TA. A los 25 y 30 cm de profundidad el valor de IC fue superior ( $p < 0,1$ ) en TC que en TA, mientras que a 27,5 cm el valor de IC en TC resultó mayor ( $p < 0,1$ ) que en TA y TR. Estos resultados evidencian un efecto significativo ( $p < 0,1$ ) sobre el IC entre los 15 y 25 cm de profundidad por parte del equipo TA.

La humedad gravimétrica del suelo correspondiente al momento en que se relevaron los datos de RP, no presentó diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos, por lo que los resultados son comparables (Tabla 6).

Analizando el GDA, se observa que hasta los 15 cm de profundidad no hubo diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos de labranza, manteniendo todos ellos valores superiores al 50 % (Tabla 5). El tratamiento TA produjo mayor GDA ( $p < 0,1$ ) que TC en el espesor de 17,5 a 22,5 cm y que TR en el espesor de 17,5 a 20 cm. A partir de los 25 cm de profundidad no se hallaron diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre los tratamientos. No obstante ello, se observa una tendencia en el tratamiento TA respecto a lograr y mantener mayores GDA respecto al resto.

Tabla 5. Índice de Cono (IC) y Grado de Aflojamiento (GDA) correspondiente a los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) posterior a las labores.

Prof. (cm)	IC (kPa)								GDA (%)			
	T		TR		TA		TC		TR	TA	TC	
0	261	b <sup>(1)</sup>	37	a	25	a	31	a	86	92	88	
2,5	637	b	101	a	70	a	98	a	81	89	86	
5	1.173	b	291	a	264	a	213	a	72	76	82	
7,5	1.656	b	561	a	413	a	377	a	64	74	77	
10	1.846	b	755	a	523	a	546	a	58	71	70	
12,5	1.811	b	917	a	601	a	702	a	48	67	61	
15	1.901	c	945	b	633	a	822	ab	50	66	57	
17,5	2.109	c	911	b	577	a	863	b	56	a 72	b 59	a
20	2.133	b	861	a	633	a	963	a	58	ab 69	b 54	a
22,5	1.873	b	828	b	778	a	1.125	b	54	ab 57	b 39	a
25	1.659	c	906	ab	840	a	1.266	bc	43	48	22	
27,5	1.544	b	899	a	837	a	1.261	b	40	44	15	
30	1.55	c	934	ab	884	a	1.244	bc	38	41	16	
32,5	1.647	b	1.066	a	987	a	1.268	ab	34	38	18	
35	1.729	b	1.351	a	1.108	a	1.396	ab	21	34	16	
37,5	1.858	b	1.589	ab	1.265	a	1.577	ab	14	30	13	
40	1.954	b	1.795	ab	1.461	a	1.718	ab	8	24	10	
42,5	2.055		1.886		1.612		1.855		8	20	8	
45	2.189		1.944		1.78		1.987		11	18	8	

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

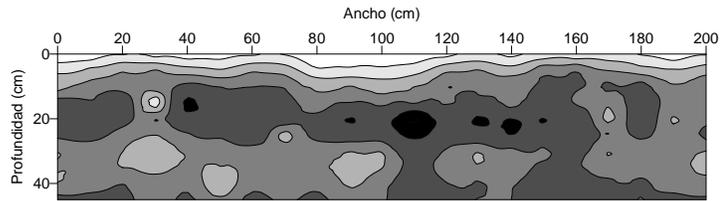
Tabla 6. Humedad gravimétrica (HG) de suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) al momento de toma de datos de Resistencia a la penetración posterior a la labores.

Espesor (cm)	HG (g g <sup>-1</sup> )			
	T	TR	TA	TC
0 - 10	0,25	0,24	0,24	0,21
10 - 20	0,23	0,23	0,23	0,22
20 - 30	0,24	0,24	0,24	0,25
30 - 40	0,25	0,24	0,24	0,24

En los mapas de iso-resistencias se observa el efecto de los equipos en los planos verticales del suelo, los cuales tenían 200 cm de ancho y 40 cm de profundidad en T, TR y TC mientras que en TA poseían 190 cm de ancho. Se observan variaciones en el patrón de remoción de suelo o fragmentación de la estructura. El GDA logrado en TC coincide con lo esquematizado en el mapa por debajo de los 22,5 cm donde el efecto de la labranza es menor que en los otros dos equipos. Los mapas de iso-resistencias en TA y TR son semejantes, aunque se detectan algunas diferencias originadas por la forma en que el timón ingresa al suelo. Mientras que en el TR tiene características rectilíneas, en el TA, entre 100 cm y 140 cm de ancho, existe una curvatura (Figuras 4 y 5).

Los tratamientos tuvieron efectos sobre la DA hasta los 30 cm de profundidad (Tabla 7). En el espesor 0-10 cm la DA fue menor ( $p < 0,1$ ) en TC y TA respecto a TR y T, representando una disminución del 9 % en relación al Testigo. En el espesor de 10 a 20 cm, sólo TA se diferenció del resto, con valores de DA significativamente menores ( $p < 0,1$ ). No se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre los tratamientos restantes. En el espesor de 20- 30 cm se hallaron diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre los mismos tratamientos que en el espesor más superficial, representando una disminución de DA respecto al Testigo de 10 % para TC y de 7,2 % para TA.

### Testigo



### Timón Recto

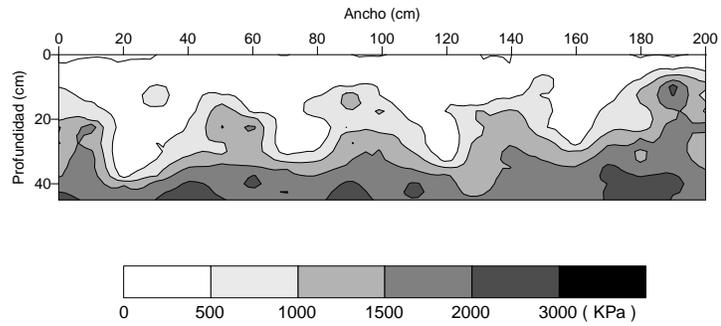
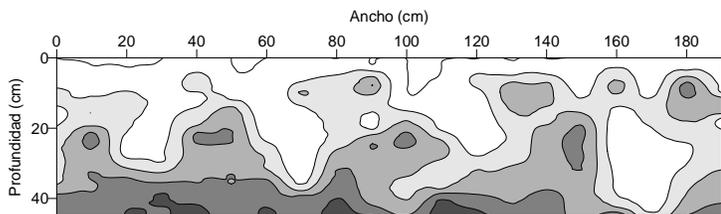


Figura 4. Mapas de isoresistencias (kPa) de los tratamientos Testigo y Timón Recto posterior a las labores.

### Timón Angulado



### Timón curvo

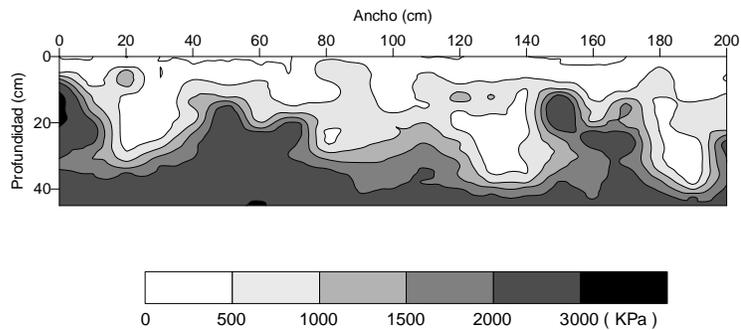


Figura 5. Mapas de isoresistencias (kPa) de los tratamientos Timón Angulado y Timón Curvo posterior a las labores.

Los tratamientos de labranza realizados modificaron los PC (Tabla 8). Se destaca la generación de huecos en la zona de acción de la púa, y de otras cavidades más pequeñas correspondientes a fisuras originadas por parte de los equipos escarificadores. El análisis cuantitativo de los estados estructurales, a través de la participación porcentual de cada estado en la superficie total de los perfiles analizados, evidencia que a pesar de no existir diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,1$ ), los tres equipos presentan una disminución relativa de estados SD + M en relación al Testigo, a expensas de estos nuevos espacios.

Tabla 7. Densidad aparente (DA) en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en los diferentes espesores posterior a las labores.

Espesor (cm)	DA (g cm <sup>-3</sup> )							
	T		TR		TA		TC	
0 - 10	1,34	b <sup>(1)</sup>	1,31	b	1,22	a	1,22	a
10 - 20	1,34	b	1,30	b	1,20	a	1,24	ab
20 - 30	1,39	b	1,37	b	1,29	a	1,25	a
30 - 40	1,44		1,42		1,41		1,41	

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

Dentro de las zonas de púas hay agregados y terrones sin ningún orden ni estado de adhesión, correspondiendo a una situación no estabilizada. En los mapas estructurales las cavidades entre púas son verticales, horizontales y oblicuas en TC y se observan en la base de horizonte A y en el horizonte B1. En los otros dos tratamientos sólo aparecen en el horizonte superficial, y son predominantemente verticales en TR y oblicuas en TA. Algunas fracturas oblicuas son paralelas a los timones, mientras que otras tienen sentido contrario (Figura 6). También queda evidenciado que el tratamiento TC mejora el estado estructural de la base del horizonte A al pasar de SD (se identifican elementos estructurales, pero son difícilmente disgregables) a SF (se identifican elementos estructurales que se disgregan fácilmente). El mapa estructural en TR también evidencia una mejora parcial de los estados estructurales en la base del horizonte A, pero como aspecto negativo se observan estados masivos alrededor del sitio por donde pasó la púa. El análisis cualitativo de las unidades estructurales en el perfil de suelo bajo tratamiento TA permite distinguir la disminución de

estados masivos en la base del horizonte A. También se observa en este tratamiento una elevación superior de la superficie de suelo respecto a la situación sin labranza.

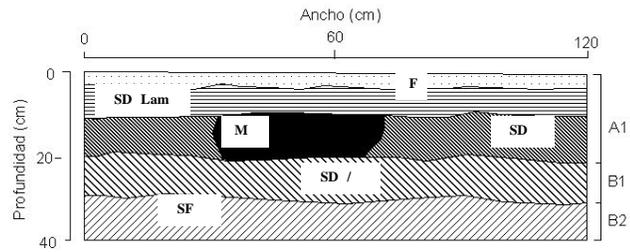
Tabla 8. Participación porcentual de las diferentes unidades morfológicas en los Perfiles Culturales de los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) posterior a las labores.

Unidad Morfológica	%							
	T		TR		TA		TC	
F	10,3	b <sup>(1)</sup>	7,3	a	6,7	a	8,1	ab
SF	24,6		21,8		28		24,9	
SD	59,6		46,7		47,2		41,2	
M	5,5		10,5		4,2		11,1	
Púa	0	a	12,5	c	10,7	bc	8,8	b
Cavidades (V)	0	a	1,2	a	3,2	ab	5,8	b

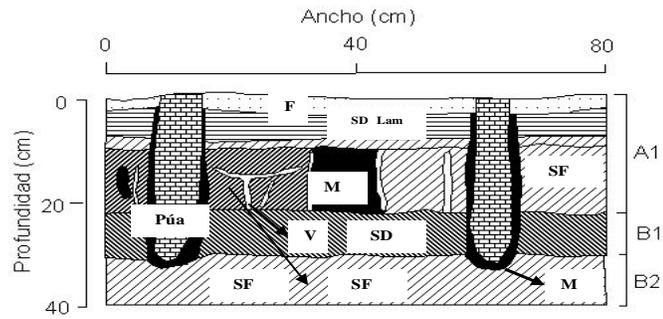
<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

La fragmentación de las muestras por tamizado en seco permitió evaluar el efecto de los diferentes timones y púas sobre la DTA y el DMP. Del análisis estadístico surge que no hay interacción significativa ( $p < 0,1$ ) entre factores profundidad de muestreo y tratamiento, por lo cual se pudieron analizar los factores por separado. En superficie hubo una mayor proporción de agregados menores (0,5 . 2 mm) y menor proporción de tamaños mayores (2 . 8 mm). Coincidiendo con el estado fragmentario descrito para los primeros centímetros de los PC. Por otro lado, los tratamientos no tuvieron un efecto destacado ( $p < 0,1$ ) sobre la DTA. Sólo se halló efecto significativo ( $p < 0,1$ ) en el tamaño 0,85 . 1 mm entre TC y T, y en el rango 2 . 3,35 mm entre TC y TA. Estos resultados podrían indicar que frente al estrés de tamizado los agregados de muestras de las parcelas TC sufrieron una fragmentación mayor que el resto de los tratamientos, aunque esto no se tradujo en el DMP, el que no presentó diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre espesores, y entre tratamientos (Tabla 9). Estas tendencias se presentaron similarmente durante el período reproductivo de maíz.

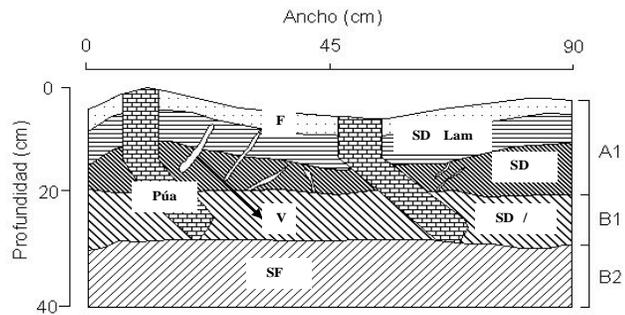
### Testigo



### Timón Recto



### Timón Angulado



### Timón Curvo

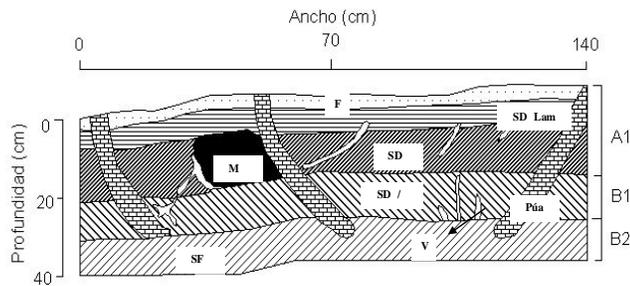


Figura 6. Mapas estructurales de las unidades morfológicas descritas en el Perfil Cultural de de los tratamientos Testigo, Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo posterior a las labores. A la derecha se identifican los horizontes genéticos.

Tabla 9. Distribución de tamaños de agregados (DTA) y Diámetro medio ponderado de agregados (DMP) por espesor de suelo y tratamiento de labranza posterior a las labranzas.

Espesor (cm)	Rangos de tamaños de agregados (mm)						DMP (mm)
	0,50 - 0,85	0,85 - 1	1 - 2	2 - 3,35	3,35 - 4,75	4,75 - 8	
0 - 10	0,173 c <sup>(1)</sup>	0,073 b	0,218 c	0,176 a	0,154 a	0,205 a	4,31
10 - 20	0,148 bc	0,071 b	0,200 b	0,180 ab	0,167 a	0,234 ab	4,40
20 - 30	0,137 b	0,059 ab	0,198 b	0,190 b	0,171 ab	0,245 b	4,40
30 - 40	0,094 a	0,048 a	0,178 a	0,187 ab	0,187 b	0,306 c	4,58
<b>Tratamiento</b>							
T	0,135	0,057 a	0,200	0,180 ab	0,172	0,256	4,46
TR	0,141	0,058 ab	0,198	0,185 ab	0,175	0,243	4,43
TA	0,127	0,061 ab	0,198	0,192 b	0,168	0,254	4,40
TC	0,149	0,075 b	0,198	0,176 a	0,165	0,237	4,40
CV (%)	12	15,6	5,3	4,1	5,8	8	3,1

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) dentro de una columna para espesor y tratamiento: TC, TA, TR y T.

Las modificaciones del estado superficial del suelo producidas por los distintos escarificadores se tradujeron en un aumento significativo de los valores de infiltración en las parcelas laboreadas respecto a las Testigos ( $p < 0,1$ ), aunque las diferencias entre labranzas no fueron significativas.

Los tratamientos de labranza profunda disminuyeron en forma significativa ( $p < 0,1$ ) la CS inicial (Tabla 10). El tratamiento TC disminuyó 6,4 % la CS respecto al Testigo, mientras que TR y TA, disminuyeron esta variable 1,6 % y 9,2 %, respectivamente. Cabe aclarar que los valores absolutos de cobertura en los tratamientos laboreados se consideran sumamente apropiados para evitar pérdidas de agua por escurrimiento superficial y para permitir la entrada de agua al perfil. El efecto de los escarificadores también se puso en evidencia al considerar la RR. Todas las labranzas produjeron un aumento significativo en la RR ( $p < 0,1$ ) respecto al Testigo. A su vez TA presentó mayores valores ( $p < 0,1$ ) de RR que TC y TR, no diferenciándose estadísticamente estos últimos ( $p < 0,1$ ). La mayor RR en TA coincide con la descripción de los mapas estructurales detallada anteriormente.

Tabla 10. Cobertura (CS), Rugosidad (RR) y Tasa de Infiltración del suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) posterior a las labores.

Tratamientos	CS		RR		Infiltración	
	%				mm h <sup>-1</sup>	
T	98,7	c	0,71	a	60,4	a
TR	87,1	b	1,72	b	684,8	b
TA	89,5	b	2,25	c	917,9	b
TC	82,2	a <sup>(1)</sup>	1,73	b	902,2	b
CV (%)	4,03		14,51		59,5	

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada columna

Luego de nueve meses de realizada la labor se siguieron observando diferencias en algunas de las variables analizadas (Tabla 11, Figuras 7 y 8). Los tratamientos con labranza profunda evidenciaron menores valores de RP ( $p < 0,1$ ) que el Testigo hasta los 22,5 cm de profundidad. El TC tuvo valores de RP inferiores al Testigo a los 25 cm y TA a los 30 cm ( $p < 0,1$ ). A los 27,5; 37,5 y 40 cm los tratamientos de labranza profunda tuvieron menores valores de RP ( $p < 0,1$ ) que el Testigo. A la profundidad de 32,5 y 45 cm, no hubo diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre los tratamientos. Por último, a los 35 y 42,5 cm, el TC y TA presentaron valores inferiores de RP ( $p < 0,1$ ) con respecto al Testigo.

Considerando que la humedad gravimétrica del suelo correspondiente al momento en que se realizó la toma de datos de RP no presentó diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos, se hacen comparables los resultados en el espesor 0-30 cm (Tabla 12). En el espesor 30-40 cm la humedad volumétrica fue superior en el Testigo. A pesar de que existe una relación inversa entre humedad y RP los valores del Testigo fueron superiores a los tratamientos de labranza.

Las diferencias del GDA entre tratamientos no se manifestaron después de nueve meses de la labor. Se observó que hasta la profundidad final de muestreo no hubo diferencias significativas entre tratamientos de labranza ( $p < 0,1$ ).

Tabla 11: Índice de Cono (IC) y Grado de Aflojamiento (GDA) de los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en el período reproductivo del maíz.

Prof. (cm)	IC(kPa)								GDA (%)		
	T		TR		TA		TC		TR	TA	TC
0	150		19		28		35		91	65	64
2,5	437	b <sup>(1)</sup>	140	a	128	a	141	a	68	67	61
5,0	1.023	b	437	a	542	a	533	a	55	47	48
7,5	1.495	b	622	a	716	a	663	a	58	52	56
10,0	1.927	b	808	a	741	a	725	a	58	61	62
12,5	1.924	b	937	a	766	a	709	a	51	59	63
15,0	1.764	b	878	a	744	a	665	a	50	57	62
17,5	1.834	b	940	a	730	a	739	a	48	60	59
20,0	1.763	b	1.036	a	700	a	761	a	38	60	54
22,5	1.579	b	937	a	728	a	754	a	36	52	49
25,0	1.462	b	865	ab	858	ab	766	a	37	40	43
27,5	1.415	b	843	a	826	a	894	a	38	42	35
30,0	1.472	b	994	ab	856	a	1.011	ab	32	42	31
32,5	1.600		1.179		961		1.053		29	39	34
35,0	1.817	b	1.321	ab	1.079	a	1.235	a	27	41	32
37,5	1.982	b	1.444	a	1.242	a	1.371	a	27	37	31
40,0	2.076	b	1.633	a	1.378	a	1.555	a	21	34	25
42,5	2.247	b	1.758	ab	1.631	a	1.688	a	23	27	24
45,0	2.313		1.877		1.826		1.832		21	20	20

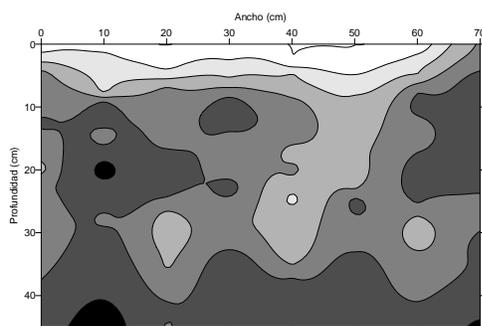
<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

Tabla 12: Humedad volumétrica (HV) de suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) al momento de toma de datos de Resistencia a la penetración en el período reproductivo del maíz.

Espesor (cm)	HV (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )			
	T	TR	TA	TC
0 - 15	0,31	0,30	0,28	0,28
15 - 30	0,32	0,30	0,29	0,28
30 - 40	0,34 b <sup>(1)</sup>	0,31 a	0,30 a	0,30 a

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

### Testigo



### Timón Recto

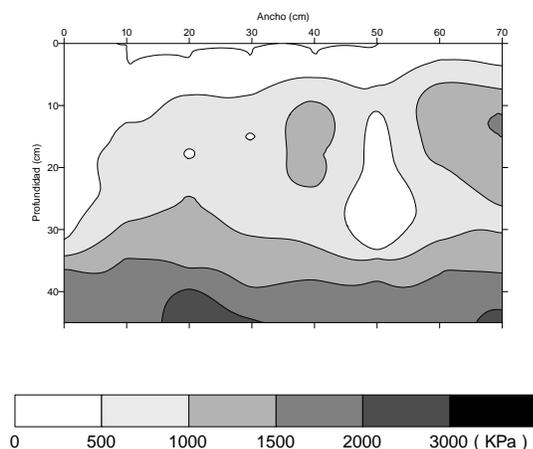
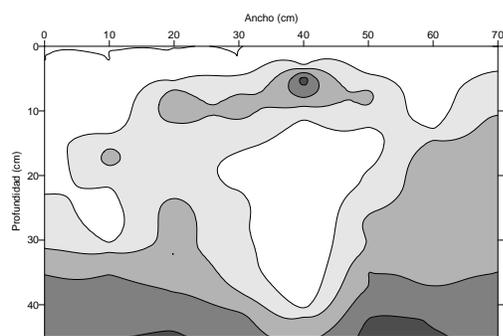


Figura 7. Mapas de isoresistencias (kPa) de los tratamientos Testigo y Timón Recto en el período reproductivo del maíz.

## Timón Angulado



## Timón Curvo

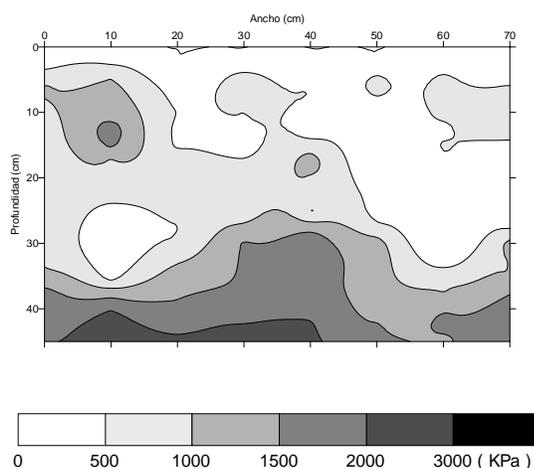


Figura 8. Mapas de isoresistencias (kPa) de los tratamientos Timón Angulado y Timón Curvo en el período reproductivo del maíz.

Luego de los nueve meses de la labor se halló un efecto significativo ( $p < 0,1$ ) de los diferentes tratamientos sobre la DA en los primeros 20 cm de profundidad (Tabla 13), aunque la interpretación de estos resultados no sigue un patrón definido, se puede decir que analizando los dos espesores superficiales en conjunto, el tratamiento TC presenta valores más adecuados de densidad, seguido por el TR.

Tabla 13. Densidad aparente (DA) en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) de los diferentes espesores dentro del período reproductivo del maíz.

Espesor (cm)	DA (g cm <sup>-3</sup> )							
	T		TR		TA		TC	
0 - 10	1,25	ab <sup>(1)</sup>	1,14	a	1,32	b	1,12	a
10 - 20	1,41	b	1,29	ab	1,24	a	1,28	a
20 - 30	1,33		1,31		1,30		1,29	
30 - 40	1,41		1,35		1,41		1,37	

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.1) entre tratamientos dentro de cada fila

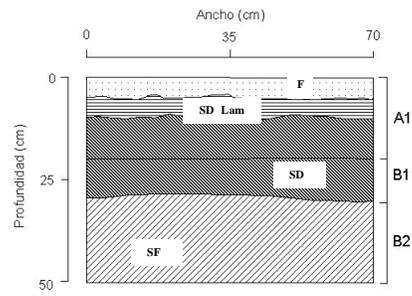
El efecto de los tratamientos de labranza profunda sobre la estructura del suelo se siguió observando luego de nueve meses (Tabla 14, Figura 9). El análisis de los PC demostró la permanencia de los sectores donde pasaron las púas. Además, continúa existiendo una disminución (p < 0,1) de unidades morfológicas no deseadas (SD) en comparación al Testigo, localizada particularmente en la base del horizonte A y en el horizonte B1, aumentando (p < 0,1) en porcentaje las unidades morfológicas SF, principalmente en TC y TR, tal como puede observarse en los mapas estructurales y en la participación porcentual de las diferentes unidades morfológicas analizadas en los PC.

Tabla 14. Participación porcentual de unidades morfológicas en los Perfiles Culturales de los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en el período reproductivo del cultivo de maíz.

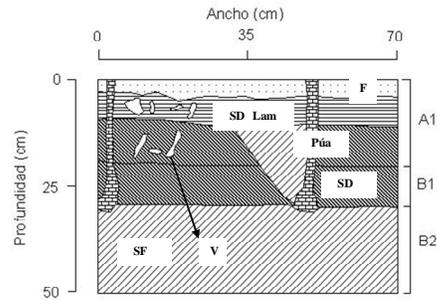
Unidad Morfológica	%							
	T		TR		TA		TC	
F	11,6		9,9		13,9		10,1	
SF	25,7	a <sup>(1)</sup>	35,2	b	31,9	ab	37	b
SD	62,7	b	46,6	a	46,7	a	46,5	a
M	0		0		0		0	
Púa	0	a	7,9	b	7,4	b	6	b
Cavidades (V)	0		0		0		0,4	

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,1) entre tratamientos dentro de cada fila

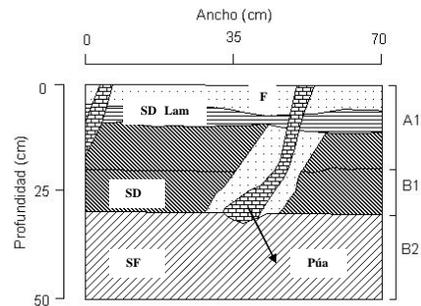
## Testigo



## Timón Recto



## Timón Angulado



## Timón Curvo

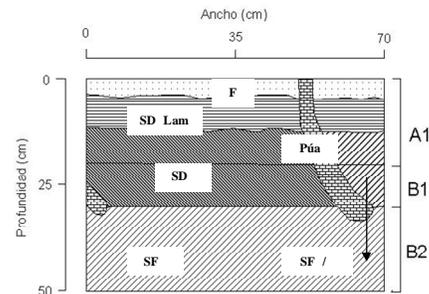


Figura 9. Mapas estructurales de las unidades morfológicas descritas en el Perfil Cultural de los tratamientos Testigo, Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo en el período reproductivo del cultivo de maíz.

La labranza profunda tuvo efecto significativo ( $p < 0,1$ ) sobre la abundancia de las raíces (AR), hallándose diferencias entre el Testigo y los tratamientos con diferentes equipos en el espesor de 10 a 25 cm (Tabla 15). Entre los 10 y 15 cm, TA y TC presentaron aumentos significativos ( $p < 0,1$ ), alcanzando magnitudes del 100 % y de 17,8 % en relación al Testigo y a TR respectivamente. En el espesor 15-20 cm todos los tratamientos de labranza se diferenciaron estadísticamente ( $p < 0,1$ ) del Testigo, no así entre ellos. En el espesor 20-25 cm TC fue el único tratamiento que se diferenció significativamente ( $p < 0,1$ ) del Testigo. Es importante aclarar que en general, en TC, se hallaron los valores más altos de AR hasta la profundidad de trabajo de los equipos.

Tabla 15: Abundancia relativa de raíces (AR) en el cultivo de maíz correspondiente a los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en el período reproductivo del cultivo de maíz.

Prof. (cm)	AR (%)							
	T	TR	TA	TC				
0 - 5	51,8	46,4	48,2	43,5				
5 -10	54,8	52,4	57,7	69,6				
10 -15	30,1	a <sup>(1)</sup>	49,4	b	60,1	c	60,1	c
15 - 20	17,9	a	35,7	b	45,8	b	50,6	b
20 - 25	21,4	a	29,2	ab	34,5	ab	41,7	b
25 - 30	25,6		27,4		25,0		32,1	
30 - 35	22,6		14,3		15,5		20,2	
35 - 40	18,5		10,1		17,9		16,1	
40 - 45	14,3		9,5		14,9		13,1	
45 - 50	14,3		7,7		13,7		7,7	

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

### 3.1.2. Producción del cultivo de maíz. Disponibilidad, captación, eficiencia de uso de recursos

Las precipitaciones ocurridas desde la siembra hasta la floración del maíz (10/01/2011) fueron escasas, mientras que durante el período reproductivo fueron muy excesivas (Tabla 16). El total de precipitaciones para el ciclo del cultivo de maíz fue de 629 mm.

Tabla 16: Precipitaciones decádicas durante la campaña agrícola 2010-2011.

Decenas	Meses										
	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
	mm										
1	0	0	0	0	27	0	2	14,5	74	106	19,5
2	0	0.2	24	0	13	51	0	18	129	11	17
3	75	8	0	0.3	47	10,5	25	16	31	76,5	28
Total mensual	75	8.2	24	0.3	86.8	61,5	27	48,5	234	193,5	64,5
Total mensual histórico (1910-2011)	58	37	36	39	55	104	100	106	109	105	125

La  $RFA_{it}$  y  $RFA_{iR1}$  fueron superiores en los tratamientos con labranza profunda ( $p < 0,1$ ) en comparación con el Testigo, aunque no se hallaron diferencias ( $p < 0,1$ ) en la ERFA. Tampoco se hallaron diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) en la  $RFA_{it}$  y  $RFA_{iR1}$  entre TC, TR y TA (Tabla 17).

El R y el NG fueron significativamente mayores ( $p < 0,1$ ) en los tratamientos con labranza profunda con respecto al Testigo no así el PG. No hubo diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre TR, TC y TA en el R y NG.

Tabla 17: Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo total del cultivo ( $RFA_{i t}$ ) y alrededor de floración ( $RFA_{i R1}$ ), Rendimiento (R), Número de granos (NG), Peso de granos (PG) y Eficiencia de uso de la radiación fotosintéticamente activa interceptada durante el ciclo (ERFA) del cultivo de maíz en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC).

Trat.	$RFA_{i t}$		$RFA_{i R1}$		R		NG		PG	ERFA
	Mj m <sup>2</sup>		Mj m <sup>2</sup>		g m <sup>2</sup>		ng m <sup>2</sup>		g	g m <sup>2</sup> MJ <sup>-1</sup>
T	847,1	a <sup>(1)</sup>	297	a	880,8	a	3272,9	a	0,2691	1,04
TR	948,8	b	321,9	b	929,8	b	3433,9	b	0,2707	0,98
TA	951,4	b	325,4	b	924,9	b	3421,7	b	0,2702	0,97
TC	957,4	b	328,5	b	937,7	b	3454,2	b	0,2714	0,98
CV %	4,55		3,77		2,8		2,25		0,61	4,52

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada columna

### 3.2. Segundo año: efectos residuales y durante el cultivo de soja posterior al maíz

#### 3.2.1. Modificaciones en el espacio sólido y poroso del suelo. Aspectos funcionales ligados al movimiento del agua y exploración radical

Previo a la siembra de soja continúan existiendo diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) en el IC entre las parcelas labradas y el Testigo en todos los espesores evaluados, excepto en la profundidad de 35 cm en TR y por debajo de esta profundidad en TC. No se hallaron diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre los tratamientos de labranza profunda en ninguno de los espesores evaluados (Tabla 18). El análisis de los mapas de isoresistencias (Figura 10) evidencian las diferencias entre el Testigo y las parcelas escarificadas a lo largo del perfil de las trincheras evaluadas. Se puede observar claramente la residualidad del efecto de los diferentes equipos sobre la RP como consecuencia de una mayor área ocupada por valores inferiores a 1500 KPa en comparación al Testigo.

Considerando que la humedad gravimétrica del suelo correspondiente al momento en que se realizó la toma de datos de RP no presentó diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos, se pueden comparar los resultados en el espesor 0-30 cm (Tabla 19).

Tabla 18: Índice de cono (IC) y Grado de aflojamiento (GDA) en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (R), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en Agosto de 2011.

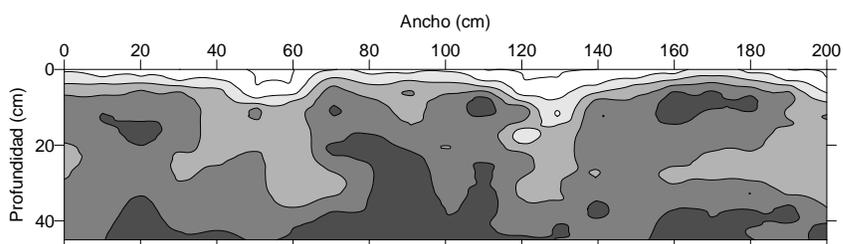
Espesor cm	IC (kPa)								GDA (%)		
	T		TR		TA		TC		TR	TA	TC
0	81	a <sup>(1)</sup>	100	a	75	a	39	a	-38	-2	52
2,5	374	b	169	a	167	a	167	a	52	54	58
5,0	972	b	522	a	498	a	492	a	45	48	49
7,5	1.344	b	751	a	718	a	689	a	43	46	48
10,0	1.637	b	911	a	849	a	913	a	44	48	44
12,5	1.642	b	946	a	823	a	983	a	42	49	39
15,0	1.598	b	907	a	812	a	939	a	43	49	41
17,5	1.664	b	910	a	844	a	875	a	44	48	47
20,0	1.638	b	931	a	855	a	908	a	42	47	43
22,5	1.449	b	926	a	855	a	1.013	a	35	40	29
25,0	1.344	b	920	a	866	a	1.002	a	30	35	24
27,5	1.315	b	953	a	878	a	1.021	a	26	32	21
30,0	1.358	b	1.023	a	942	a	1.076	a	24	29	19
32,5	1.464	b	1.17	a	1.06	a	1.177	a	20	25	17
35,0	1.613	b	1.313	ab	1.173	a	1.317	ab	18	25	15
37,5	1.731	b	1.437	a	1.309	a	1.475	ab	16	22	12
40,0	1.853	b	1.522	a	1.454	a	1.612	ab	17	20	11
42,5	1.964	b	1.63	a	1.612	a	1.749	ab	16	17	9
45,0	2.052	b	1.715	a	1.729	a	1.848	ab	16	15	9

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

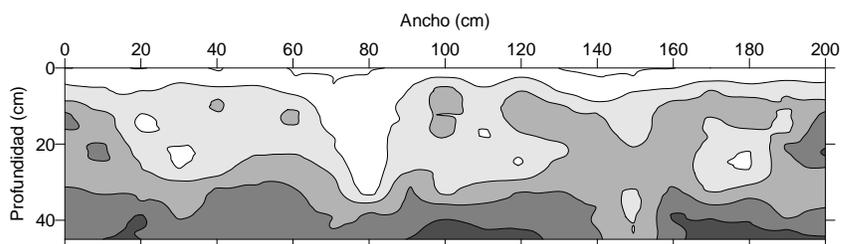
Tabla 19: Humedad volumétrica (HV) de suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) al momento de toma de datos de Resistencia a la penetración en Agosto de 2011.

Espesor (cm)	HV (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )			
	T	TR	TA	TC
0 - 10	0,25	0,27	0,24	0,26
10 - 20	0,24	0,25	0,24	0,25
20 - 30	0,25	0,26	0,26	0,27
30 - 40	0,27	0,27	0,27	0,26

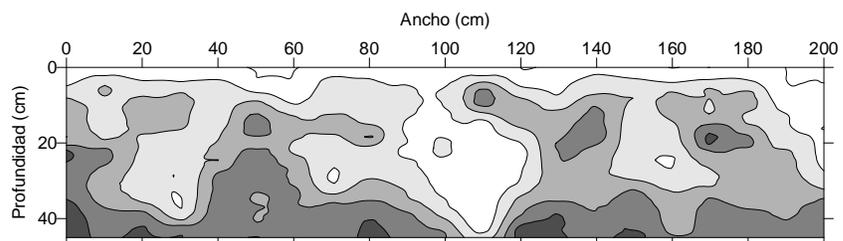
### Testigo



### Timón Recto



### Timón Angulado



### Timón Curvo

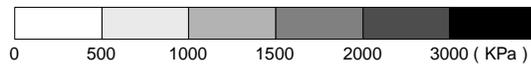
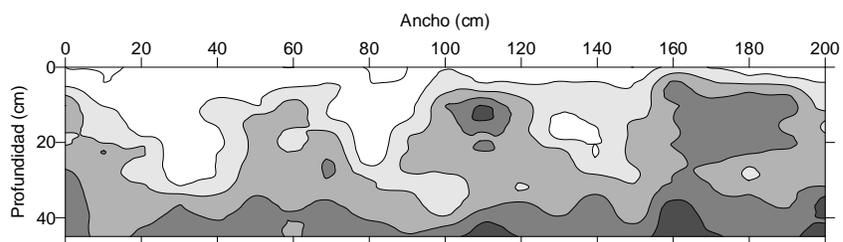


Figura 10. Mapas de isoresistencias (kPa) de los tratamientos Testigo, Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo en Agosto de 2011.

Los tratamientos de labranzas mantuvieron niveles de CS altos y cercanos al Testigo antes de la siembra de soja, hallándose mayor RR en las parcelas escarificadas con respecto al Testigo ( $p < 0,1$ ). La permanencia de modificaciones del estado superficial en los tratamientos de labranza impactó en los valores de infiltración, por lo que los tratamientos de labranza se diferenciaron significativamente ( $p < 0,1$ ) con respecto al Testigo (Tabla 20). Los valores de materia orgánica hallados para los diferentes tratamientos, y en los dos espesores analizados, corresponden a situaciones pobremente provistas. Esto puede relacionarse con la baja estabilidad de la estructura, la que presenta valores por debajo de 20 % en todos los casos (Tabla 21).

Tabla 20. Cobertura (CS), Rugosidad (RR) y Tasa de Infiltración del suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en Agosto de 2011.

Tratamientos	CS	RR		Infiltración	
	%			mm h <sup>-1</sup>	
T	76,07	0,56	a <sup>(1)</sup>	32	a
TR	76,34	1,27	b	626	b
TA	78,76	1,12	b	767	b
TC	81,18	1,3	b	448	b
CV (%)	9,18	15,99		38	

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada columna

Tabla 21: Carbono Orgánico Total (COT) y Estabilidad Estructural (EE) de diferentes espesores en el suelo de los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en Agosto de 2011.

Tratamientos	COT (tn ha <sup>-1</sup> )		EE (%)			
	0-20 cm	0-40 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
T	29,9	53,6	12,4	10,0	5,2	13,3
TR	30,9	53,1	12,2	8,1	6,6	11,0
TA	30,3	55,3	15,4	9,9	6,6	11,6
TC	31,3	54,6	16,5	10,3	6,5	11,8

### 3.2.2. Modificaciones de suelo durante el cultivo de soja

#### 3.2.2.1. Sistema sólido y poroso y desarrollo radical

Los valores hallados en RP en febrero de 2012 son superiores a los registrados en los tres muestreos previos, lo que puede atribuirse a que el muestreo se efectuó con contenidos de humedades menores a los anteriores (Tabla 22). Entre los 10 y los 12,5 cm de profundidad el IC, inclusive en los tratamientos descompactados, fue superior a los 2.000 KPa. Entre ellos las mayores diferencias ( $p < 0,1$ ) se dieron entre TC y el Testigo (Tabla 23). En este muestreo se observó una mayor variabilidad de los datos dentro de las parcelas correspondientes a un mismo tratamiento, se asume que ello no permitió que hubieran diferencias significativas en el análisis de la varianza, a pesar de que a partir de los 2,5 cm de profundidad, el IC de los tratamientos de labranza profunda fue siempre menor a los del Testigo. Los mapas de iso-resistencias evidencian sectores con valores de RP menores de 2.000 kPa que ocupan un área mayor en TC y TA, respecto a TR y T (Figura 11).

Continúa la falta de diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos de labranzas en el GDA a lo largo de todo el perfil analizado (Tabla 23). No obstante la labranza profunda con TC tuvo valores superiores hasta los 20 cm de profundidad.

Tabla 22: Humedad gravimétrica (HG) del suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) al momento de toma de datos de Resistencia a la penetración durante el estadio R5 del cultivo de soja.

Espesor (cm)	HG (g g <sup>-1</sup> )			
	T	TR	TA	TC
0 - 10	0,14	0,14	0,14	0,15
10 - 20	0,19 b <sup>(1)</sup>	0,18 ab	0,18 a	0,18 ab
20 - 30	0,20	0,22	0,21	0,21
30 - 40	0,23	0,24	0,24	0,22

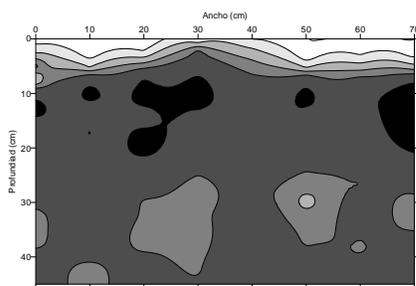
<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

Tabla 23: Índice de cono (IC) y Grado de aflojamiento (GDA) correspondiente a los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en el estadio R5 del cultivo de soja.

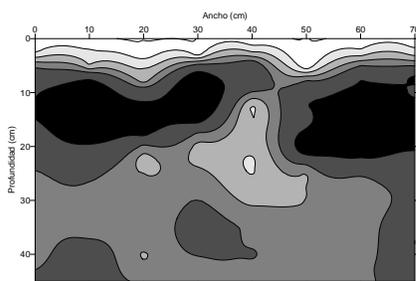
Espesor (cm)	IC (kPa)				GDA (%)		
	T	TR	TA	TC	TR	TA	TC
0	121	238	263	137	-391	-515	6
2,5	579	400	377	321	17	-5	36
5,0	1.567	1.415	1.492	1.187	7	-9	18
7,5	2.837	2.099	2.21	1.742	23	18	36
10,0	3.644	b <sup>(1)</sup> 2.353	ab 2.612	ab 2.237	a 33	27	37
12,5	3.699	b 2.31	ab 2.506	ab 2.057	a 34	31	44
15,0	3.292	2.337	2.285	1.969	25	31	39
17,5	2.883	2.133	2.093	1.897	24	27	34
20,0	2.596	2.101	1.848	1.911	18	27	27
22,5	2.292	1.894	1.772	1.853	16	21	17
25,0	1.991	1.568	1.69	1.669	20	11	11
27,5	1.972	1.494	1.46	1.69	23	22	10
30,0	1.922	1.508	1.535	1.653	19	15	9
32,5	1.95	1.642	1.639	1.606	13	10	12
35,0	1.995	1.852	1.747	1.693	5	8	10
37,5	2.033	1.954	1.798	1.789	2	10	7
40,0	2.143	2.087	1.881	1.956	1	11	5
42,5	2.163	2.169	1.989	2.06	-1	7	2
45,0	2.278	2.187	2.144	2.073	3	5	7

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

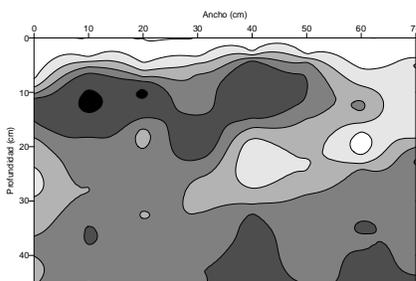
Testigo



Timón Recto



Timón Angulado



Timón Curvo

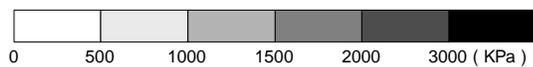
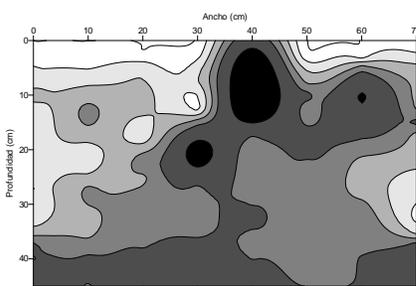


Figura 11. Mapas de isoresistencias (kPa) de los tratamientos Testigo, Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo en el estadio R5 del cultivo de soja.

Permanece el efecto significativo ( $p < 0,1$ ) de los tratamientos TC y TA sobre la DA con respecto al Testigo, no así entre los tratamientos de labranza profunda en los primeros 10 cm de profundidad (Tabla 24). En los restantes espesores no hubo diferencias significativas ( $p < 0,1$ ).

Tabla 24. Densidad aparente (DA) en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en los diferentes espesores en el estadio R5 del cultivo de soja.

Espesor (cm)	DA (g cm <sup>-3</sup> )			
	T	TR	TA	TC
0 -10	1,38 b <sup>(1)</sup>	1,33 ab	1,28 a	1,24 a
10 - 20	1,42	1,36	1,38	1,28
20 - 30	1,39	1,36	1,35	1,35
30 - 40	1,39	1,32	1,39	1,34

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

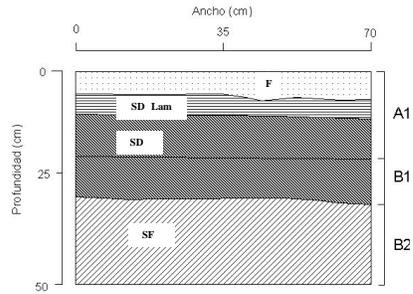
El análisis de los PC continúa mostrando efectos residuales de los tratamientos de la labranza profunda (Tabla 25). Se destaca, luego de veintiún meses la presencia de sectores con características de unidades estructurales fragmentarias, por donde pasaron las púas (Figura 12).

Tabla 25. Participación porcentual de las unidades morfológicas en los Perfiles Culturales de los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA), Timón Curvo (TC) en el estadio R5 del cultivo de soja.

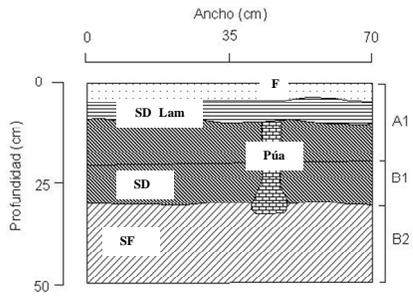
Unidad Morfológica	T	TR	TA	TC
	%			
F	13,5	11,5	12,7	13
SF	33,3	27,2	28,3	32,6
SD	53,1	55,9	45,7	46,7
M	0	0	1,9	0
Púa	0 a	5,4 b	11,5 c	7,8 bc
Cavidades (V)	0	0	0	0

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

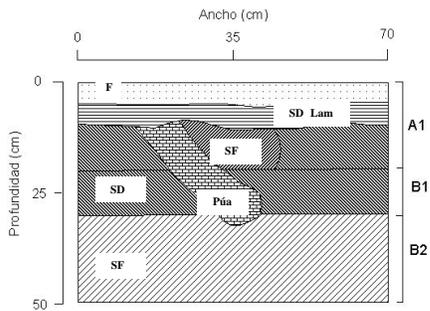
## Testigo



## Timón Recto



## Timón Angulado



## Timón Curvo

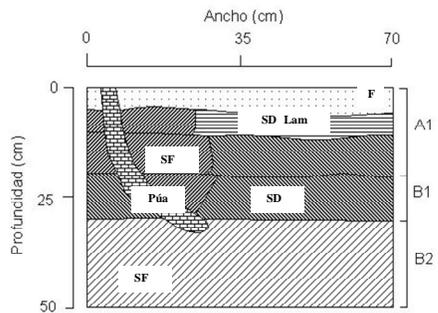


Figura 12. Mapas estructurales de las unidades morfológicas descritas en el Perfil Cultural en los tratamientos Testigo, Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo en el estadio R5 del cultivo de soja.

La Tabla 26 muestra la influencia de los diferentes tratamientos en la AR del cultivo de soja. La diferencia más destacable ( $p < 0,1$ ) se encontró en el espesor 20 - 30 cm entre el Testigo y el tratamiento TR.

Tabla 26: Abundancia relativa de raíces (AR) en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en el estadio R5 del cultivo de soja.

Prof. (cm)	AR (%)			
	T	TR	TA	TC
0 - 5	54,8	58,3	55,4	60,1
5 - 10	66,1	69,0	67,9	64,9
10 - 15	48,2	47,2	47,0	48,2
15 - 20	30,4	38,2	33,3	38,1
20 - 25	22,0 a <sup>(1)</sup>	32,1 b	27,3 ab	22,6 a
25 - 30	13,7 a	25,6 b	25,0 b	22,0 ab
30 - 35	19,6	17,9	20,2	16,1
35 - 40	13,1	15,5	19,1	11,9
40 - 45	8,9	14,3	16,1	11,9
45 - 50	4,8 a	6,0 ab	13,1 b	3,6 a

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

### 3.2.2.2. Producción del cultivo de soja. Disponibilidad, captación, eficiencia de uso de recursos.

Los datos presentados en la Tabla 27, indican que las precipitaciones ocurridas hasta la floración del cultivo de soja (tercera semana de diciembre de 2011) fueron escasas, mientras que durante el período reproductivo fueron muy excesivas. El total de precipitaciones para el ciclo de soja fue 552.4 mm.

Tabla 27: Precipitaciones decádicas durante la campaña agrícola 2011-2012.

Decenas	Meses											
	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	En.	Feb.	Mar.
	mm											
1	10	6.5	7.8	0	0	0	39	30	1	0	157	76.5
2	28.5	7.5	9.7	2	2	32	26.5	7	13	30	32.2	54.2
3	32	22.5	6.5	13	0	4	9.5	15,5	0	52	84	10.2
Total mensual	70.5	36.5	24	15	2	36	75	52,5	14	82	273.2	140.9
Total mensual histórico (1910-2011)	97	58	37	36	39	55	104	100	106	109	105	125

La  $RAF_i t$  y la  $RAF_i R3-R6$  fueron mayores ( $p < 0,1$ ) en los tratamientos con labranza profunda con respecto al Testigo. Se hallaron diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) en R, observándose un incremento del 13,4 % en TC respecto al Testigo, este hecho se puede explicar por el NG. No hubo diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos de labranzas profunda. Además, no existieron efectos de los tratamientos ( $p < 0,1$ ) en la ERFA (Tabla 28).

Tabla 28: Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa durante todo el ciclo ( $RFA_i t$ ) y entre R3-R6 ( $RFA_i R3-R6$ ), Rendimiento (R), Número de granos (NG), Peso de granos (PG) y Eficiencia de uso de la intercepción de la Radiación fotosintéticamente activa (ERFA) del cultivo de soja en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC).

Trat.	$RFA_i t$	$RFA_i R3-R6$		R		NG		PG	ERFA
	MJ m <sup>2</sup>	MJ m <sup>2</sup>		g m <sup>2</sup>		ng m <sup>2</sup>		g	g m <sup>2</sup> MJ <sup>-1</sup>
T	666,9 a	421,6	a	180	a	1352,7	a	0,1330	0,271
TR	726,1 b	454,6	b	188	ab	1400,1	ab	0,1342	0,260
TA	747,6 b	455,9	b	192,8	ab	1442,1	ab	0,1338	0,258
TC	752,1 b	463,9	b	204,2	b	1514,7	b	0,1348	0,272
CV %	4,63	3,57		5,16		5,07		2,1	7,76

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada columna

### 3.2.3. Posterior a la cosecha de soja

#### 3.2.3.1. Espacio sólido y poroso del suelo

El efecto de los diferentes escarificadores sobre el IC se siguió detectando luego de la cosecha del cultivo de soja (Tabla 29).

Tabla 29: Índice de cono (IC) y Grado de aflojamiento (GDA) correspondiente a los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en Junio de 2012.

Espesor (cm)	IC (kPa)								GDA (%)		
	T		TR		TA		TC		TR	TA	TC
0	261	ab <sup>(1)</sup>	417	b	369	ab	186	a	-67	-51	26
2,5	651		690		587		539		-5	9	13
5,0	1.301		1.147		1.050		1.125		11	17	8
7,5	1.991	b	1.438	a	1.259	a	1.441	a	27	34	24
10,0	2.383	b	1.579	a	1.390	a	1.588	a	33	40	31
12,5	2.334	b	1.475	a	1.352	a	1.615	a	37	41	29
15,0	2.233	b	1.413	a	1.299	a	1.540	a	36	40	29
17,5	2.179	b	1.319	a	1.251	a	1.519	a	38	41	29
20,0	2.013	b	1.144	a	1.126	a	1.538	a	39	b 41	b 20 a
22,5	1.669	b	1.085	a	1.048	a	1.412	b	33	b 36	b 14 a
25,0	1.507	b	1.153	a	1.044	a	1.296	ab	22	29	13
27,5	1.557	b	1.241	a	1.056	a	1.237	a	19	30	19
30,0	1.660	b	1.382	a	1.137	a	1.327	a	16	29	19
32,5	1.661	b	1.537	ab	1.289	a	1.459	ab	6	18	10
35,0	1.761	b	1.668	b	1.381	a	1.617	ab	4	19	7
37,5	1.855	b	1.766	ab	1.488	a	1.751	a	4	18	4
40,0	1.924	b	1.830	ab	1.566	a	1.807	ab	4	17	5
42,5	2.017	b	1.897	ab	1.712	a	1.909	ab	5	14	4
45,0	2.119		1.904		1.844		2.009		9	11	4

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada fila

Los valores de RP en las parcelas laboreadas fueron menores ( $p < 0,1$ ) que los correspondientes al Testigo desde los 7,5 cm de profundidad hasta los 42,5 cm en TA, hasta los 30 cm en TR y hasta los 20 cm en TC. En este último tratamiento, y por debajo de la mencionada profundidad, se hallaron sólo diferencias ( $p < 0,1$ ) en algunas profundidades. Se manifestaron diferencias ( $p < 0,1$ ) en el GDA en el espesor 20-22,5 cm entre labranzas, siendo menor en TC. Estas diferencias se dan en el límite del horizonte A y el B1.

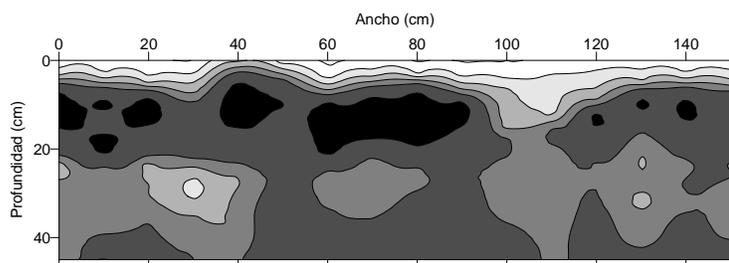
Observando los mapas de isoresistencias, se advierte que las parcelas con el tratamiento TA posee un área mayor con valores menores de RP (Figura 13).

Considerando que la humedad gravimétrica del suelo correspondiente al momento en que se realizó la toma de datos de resistencia a la penetración vertical (RP) no presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,1$ ), se hacen comparables los resultados en el espesor 0-30 cm (Tabla 30).

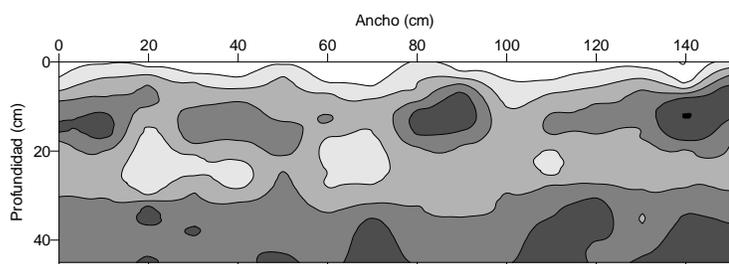
Tabla 30: Humedad volumétrica (HV) de suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) al momento de toma de datos de Resistencia a la penetración en Junio de 2012.

Espesor (cm)	HV (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )			
	T	TR	TA	TC
0 - 10	0,19	0,20	0,19	0,18
10 - 20	0,21	0,22	0,22	0,21
20 - 30	0,22	0,22	0,24	0,22
30 - 40	0,24	0,24	0,26	0,24

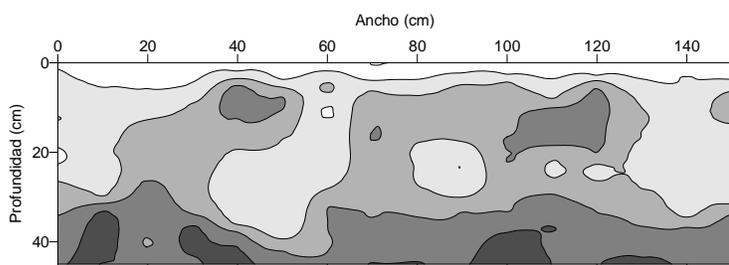
Testigo



Timón Recto



Timón Angulado



Timón Curvo

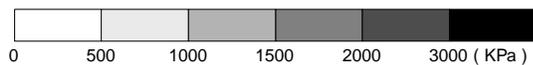
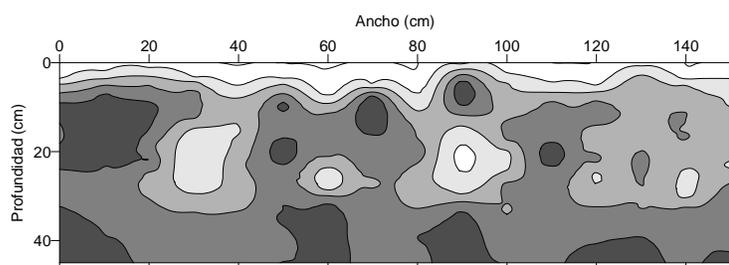


Figura 13. Mapas de isoresistencias (kPa) en los tratamientos Testigo, Timón Recto, Timón Angulado y Timón Curvo en Junio de 2012.

No se observaron efectos residuales ( $p < 0,1$ ) de los tratamientos sobre la CS y sobre la RR, mientras que la tasa de infiltración sigue siendo afectada significativamente ( $p < 0,1$ ) en las labranzas con equipos de timones no rectos (Tabla 31).

Tabla 31. Cobertura (CS), Rugosidad (RR) y Tasa de Infiltración del suelo en los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en Junio de 2012.

Tratamientos	CS	RR	Infiltración	
	%		mm.h <sup>-1</sup>	
T	90,8	0,53	37,6	a
TR	86,9	0,70	163	ab
TA	86,3	0,94	287,2	b
TC	89,0	1,00	265,9	b <sup>(1)</sup>
CV (%)	3,67	45,76	55	

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada columna

En COT el equipo TR se diferenció ( $p < 0,1$ ) del TC en el espesor de 0 a 20 cm, mostrando el valor más bajo, mientras que en el estrato de 0 a 40 cm lo hizo con respecto a los demás tratamientos. Por otra parte la estabilidad de la estructura no presentó diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre los tratamientos (Tabla 32).

Tabla 32: Carbono orgánico total (COT) y Estabilidad Estructural (EE) del suelo correspondientes a los tratamientos Testigo (T), Timón Recto (TR), Timón Angulado (TA) y Timón Curvo (TC) en los diferentes espesores de profundidad en Junio de 2012.

Tratamientos	COT (tn ha <sup>-1</sup> )				EE (%)			
	0 - 20 cm		0 - 40 cm		0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
T	28,4	ab <sup>(1)</sup>	49,4	b	11,2	9,9	7,0	10,9
TR	26,8	a	46,4	a	11,1	8,3	7,9	13,5
TA	28,7	ab	49,5	b	12,8	12,1	8,2	11,6
TC	30,1	b	50,5	b	12,6	10,1	7,1	11,9

<sup>(1)</sup> Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada columna

### 3.3. Tendencias a través del tiempo de las variables analizadas

#### 3.3.1. Grado de aflojamiento

Se observa que el GDA promedio en el espesor 5-30 cm tiende a disminuir a través del tiempo indistintamente del equipo escarificador considerado. Se parte de valores de GDA que oscilan entre 50 y 60 % y se llega luego de 25 meses a valores cercanos al 20 y 35 % (Figura 14). Cabe aclarar que las únicas diferencias significativas halladas entre equipos corresponden al principio y al final del experimento en favor de TA y al final de las evaluaciones también a favor de TR. Además, los valores inferiores de GDA promedio en el espesor 5-30 cm en S fueron debido a contenidos de humedad del suelo no cercanos a capacidad de campo.

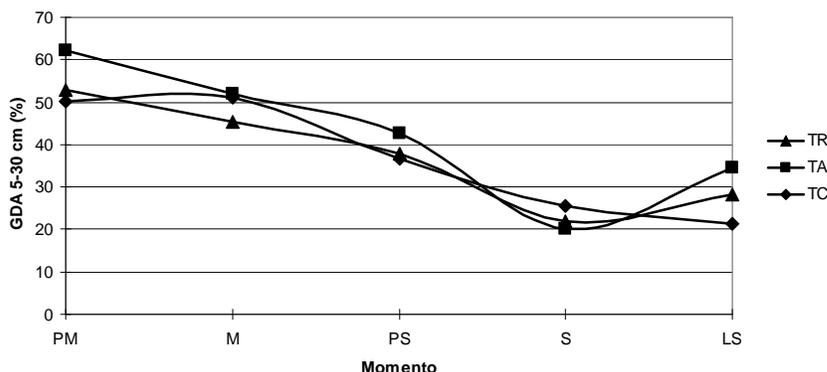


Figura 14: Evolución en el tiempo del Grado de aflojamiento (GDA) promedio en el espesor superficial de suelo de los diferentes tratamientos, previo a la siembra del cultivo de maíz (PM), estado reproductivo del cultivo de maíz (M), previo a la siembra del cultivo de soja (PS), estado reproductivo de soja (S) y luego del cultivo de soja (LS).

#### 3.3.2. Tasa de Infiltración

En la Figura 15 se presenta la Tasa de Infiltración a través del tiempo en los diferentes tratamientos. Existe un incremento significativo antes del cultivo de maíz en los tratamientos de labranza en comparación al Testigo, posteriormente los valores comienzan a descender. Los mayores valores de infiltración en los tratamientos escarificados se mantienen hasta en las evaluaciones posteriores al cultivo de soja, aproximadamente a los 25 meses de realizada las labores, manteniendo montos superiores a los críticos, siendo alrededor de 200

mm h<sup>-1</sup> promedio en los tratamientos de labranzas. Las diferencias más claras respecto al testigo al final del experimento se dan en TA y TC.

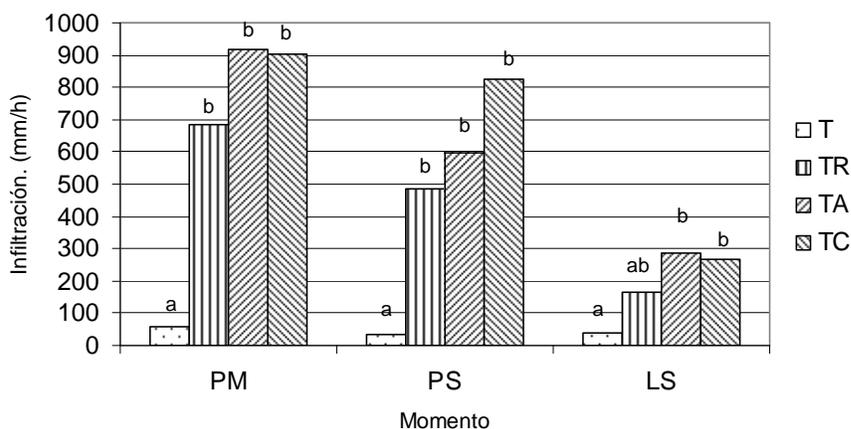


Figura 15: Evolución en el tiempo de la Tasa de infiltración en los diferentes tratamientos, previo a la siembra del cultivo de maíz (PM), previa a la siembra del cultivo de soja (PS) y luego del cultivo de soja (LS). Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada momento.

### 3.3.3. Rugosidad

Los valores de RR (Figura 16) fueron elevados luego de la labranza profunda en los tratamientos escarificados, con un desvío estándar entre 1,6 y 2,3 %. Posteriormente, se observa una disminución paulatina para alcanzar valores finales entre 0,6 y 1 %. Luego del cultivo de soja las diferencias entre tratamientos de labranza y entre ellos y el testigo no son significativas.

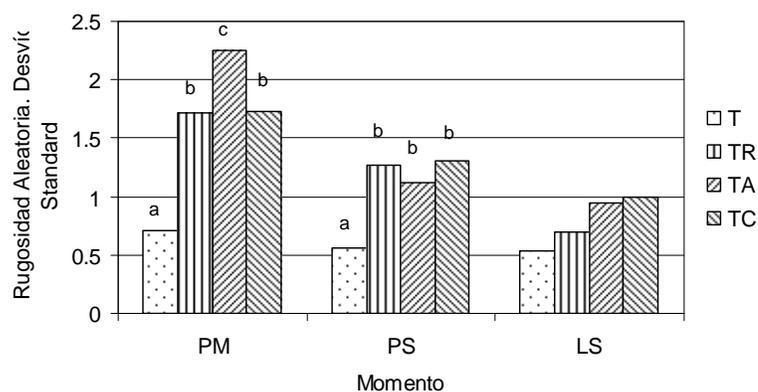


Figura 16: Evolución en el tiempo de la Rugosidad Aleatoria en los diferentes tratamientos, previo a la siembra del cultivo de maíz (PM), previa a la siembra del cultivo de soja (PS) y luego del cultivo de soja (LS). Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre tratamientos dentro de cada momento.

#### 3.3.4. Densidad aparente

En el primer muestreo, luego de las labores, se hallaron diferencias significativas hasta los 30 cm de profundidad, principalmente entre TA y TC respecto a TR y T (Tabla 7). Durante el período reproductivo de maíz sólo se hallaron diferencias para los mismos tratamientos hasta los 20 cm (Tabla 13), y en el período reproductivo de soja hasta los 10 cm de profundidad (Tabla 24).

## CAPÍTULO 4

### DISCUSIÓN

La compactación de los suelos originada por la falta de remoción y la utilización de maquinarias agrícolas pesadas en operaciones de siembra, pulverización y cosecha, fundamentalmente con suelo húmedo, puede ser corregida o atenuada por el uso de escarificadores. Así lo demuestran Alvarez et al. (2013), quienes recientemente reportaron reducciones en la resistencia a la penetración del suelo de 40 y 20 % en los espesores 0-20 cm y 20-40 cm respectivamente posterior a la labranza profunda y a la siembra de un cultivo de maíz, sosteniendo estos efectos hasta la cosecha.

En este trabajo partiendo de una situación con niveles críticos de resistencia a la penetración y valores superiores a 1.500 kPa en suelo húmedo, entre los 10 y 22,5 cm de profundidad, los tratamientos con labranza profunda lograron modificar la condición física del suelo. Específicamente, se hallaron menores valores de IC con respecto al Testigo y una participación mayor de unidades morfológicas deseadas representadas por estados fragmentarios, estados soldados fácilmente disgregables y espacios correspondientes a cavidades y al paso de las púas. Además se evidenció menor participación de unidades no deseadas correspondiente a estados soldados difícilmente disgregable y masivos.

Con respecto a los equipos escarificadores se hallaron alguna diferencia entre ellos. El tratamiento TR tuvo mayores valores de densidad aparente con respecto a TA y TC. Además generó estados masivos alrededor del timón y menores porcentajes de cavidades con respecto al TC. Estas tendencias podrían atribuirse a la disminución de los efectos laterales de sus órganos activos compuestos por rejas angostas y sin ala, que no se ajustan a la relación de 5/1 a 7/1 entre profundidad de labor y ancho de reja (Spoor y Godwin, 1978) condición necesaria para que el efecto de la labranza alcance la superficie y no genere compactación alrededor de la reja.

En el tratamiento TC la presencia de fisuras en el horizonte B1 con diferentes sentidos y los bajos valores de densidad aparente luego de la labor confirman un efecto diferente sobre el suelo que puede ser atribuido al diseño del timón y al efecto de la reja adosada al mismo, así como también a la interacción de los timones centrales. La disposición convergente al centro del chasis de los timones en este equipo escarificador genera baja interacción entre los montantes centrales y laterales haciendo que el efecto sobre la descompactación no sea tan notorio respecto a los otros tratamientos de labranza. Esto se evidencia en los valores de IC y los mapas de isoresistencia inmediatamente posterior a la labor.

El equipo TA tuvo los valores más bajos de IC hasta los 40 cm de profundidad. Además, los valores de DA hasta los 30 cm de profundidad también fueron inferiores a los demás tratamientos. La reja adosada al timón y la inclinación de éste en el equipo explican esta tendencia.

Estas características sobre los diseños de los equipos definen las diferencias entre ellos en los valores de GDA entre 17,5 y 22,5 cm de profundidad. Con respecto a los valores absolutos hallados, algunas referencias zonales en lotes escarificados, citan menores valores de GDA en tratamientos con equipos de timón recto en comparación a los obtenidos en el presente trabajo, mientras que en otras situaciones se hallaron valores mayores asociados a una menor separación entre timones (Bonel et al., 2004; 2005).

Por otro lado, las fuerzas laterales, verticales y frontales generadas por estos no impactaron en la distribución del tamaño y diámetro medio ponderado de los agregados entre 0,5 mm y 8 mm. Fanigliulo y Pochi (2008) compararon los efectos de tres equipos escarificadores con timones inclinados frontalmente, en un suelo arcillo limoso, hallando la mayor fracción (45 %) en la clase de terrones con tamaño menor a 0,01 m y la menor fracción (8%) en la clase de terrones mayor a 0,2 m, en el equipo con mayor ancho de reja (0,087 m), mayor separación de timones (0,9 m) y mayor profundidad de trabajo (0,4 m).

Los efectos de la labranza profunda sobre el aflojamiento del suelo persisten luego de los 25 meses que duró el experimento, confirmando importantes efectos residuales. Así lo revelan los menores valores de IC de los tratamientos de labranza profunda hasta 22,5 cm de profundidad, y puntualmente, hasta 27,5 cm de profundidad del equipo TC en el período reproductivo del maíz. También, entre la cosecha de maíz y la siembra del cultivo de soja, así como en el período reproductivo de soja y luego de su cosecha. Morras et al. (2012), evaluando efectos de la descompactación sobre propiedades físicas de un suelo franco limoso, 5 años después de la labor profunda, corroboraron menor resistencia a la penetración y mayor permeabilidad del agua en el suelo.

El análisis de los perfiles culturales permitió describir el estado inmediato del suelo posterior a las labores y la evolución de la macroestructura durante los cultivos de maíz y soja posteriores. El análisis morfológico cualitativo de los mapas estructurales evidencia una mejora vinculada a los tratamientos que se va diluyendo con el tiempo. El análisis cuantitativo también muestra la misma tendencia. La tendencia marca que inmediatamente después de las labores los estados fragmentarios y los espacios correspondientes a cavidades y al paso de las púas son mayores en las parcelas escarificadas, con alguna diferencia mayor en favor de TC. Durante el estado reproductivo de maíz los estados soldados fácilmente disgregables y los huecos correspondientes a púas son mayores en los

tratamientos laboreados así como los estados soldados difícilmente disgregables son menores en los mismos tratamientos respecto al testigo. En el estado reproductivo del cultivo de soja, los tratamientos escarificados mantienen un mayor espacio poroso representado principalmente por los sitios de pasaje de timones y púas. Es posible que estos sitios con el tiempo se consoliden, pero puede ocurrir que persista el efecto sobre la macroporosidad del suelo, tal como lo reportan Irurtia et al. (2008) sobre Argiudoles típicos escarificados. Estos autores hallaron luego de 6 años, un aumento de la infiltración de hasta 3 veces respecto a la situación de referencia en la zona por donde había pasado el montante y la púa del implemento. Estas zonas permitirían la circulación del agua hacia profundidad a pesar de que en el perfil persistan estructuras M + SD. En el presente trabajo, luego de la cosecha de la soja los valores de infiltración fueron seis veces superiores en promedio en las parcelas labradas con respecto al Testigo.

Los mapas de isoresistencias también evidencian el efecto inmediato de las labranzas y la evolución en el tiempo, pudiéndose observar durante el estado reproductivo del cultivo de soja mapas semejantes a los iniciales pero que conservan algunos sectores con valores de RP menores a 1.000 kPa, seguramente en correspondencia con el sitio de paso de las púas. Estas áreas son mayores en TA. La evolución del estado estructural y de la RP coincide con la disminución del GDA y de los valores de infiltración en todos los tratamientos. A pesar de la pérdida a través del tiempo de algunos de los efectos deseados con las labores, las características morfológicas y funcionales de los perfiles culturales escarificados siguen correspondiendo a una situación mejorada o recuperada respecto a la inicial.

Las diferencias halladas en los valores de densidad aparente entre tratamientos, principalmente entre TA y TC respecto a TR y T, en espesores de suelo más superficiales a través del tiempo también evidencian una reconsolidación de la estructura de suelo desde el sector subsuperficial hacia la superficie.

Los escarificadores deberían modificar en la menor medida posible la CS en lotes bajo siembra directa, para mejorar la eficiencia de uso del agua. Cabe destacar que los valores de CS en este trabajo son altos y la modificación de esta variable por los equipos escarificadores es mínima lo cual es importante dentro de los sistemas agrícolas basados en la siembra directa. Algunos aspectos de diseño y uso de los equipos escarificadores alteran la CS por remoción superficial que realizan (Hilbert et al., 2001).

Otro aspecto importante que modifica el estado superficial del suelo es la presencia de rolos en los equipos escarificadores, ya que actúa sobre la rugosidad del suelo, pudiendo afectar la implantación del cultivo inmediato y el escurrimiento de agua superficial. La ausencia de estos en TA produjo mayores valores de RR. Secco et al. (1997a), evaluando

escarificadores de timones curvos y rectos en Oxisoles de Rio Grande do Sul bajo siembra directa, hallaron valores que triplicaron la rugosidad respecto al Testigo, aunque no hubo diferencias significativas entre los equipos descompactadores.

Es evidente el impacto en el corto plazo de los tratamientos con labranza profunda sobre la captación de agua dada la influencia en la infiltración, rugosidad superficial y la cobertura superficial. Morrás et al. (2001) en un Argiudol vértico en el sur de Santa Fe evaluando el impacto del escarificado de suelo en la recuperación de suelos degradados en su condición física hallaron incrementos de un 60 % en la tasa de infiltración. Irurtia et al. (2010) en un suelo Argiudol típico corroboraron aumentos de 100 % en la rugosidad superficial en parcelas escarificadas en comparación a las parcelas Testigos.

El alto valor de DA en TA en el espesor de 0 a 10 cm durante el período reproductivo de la soja como los valores negativos de GDA luego de la cosecha de maíz, en el período reproductivo y luego de la cosecha de la soja, se explican por procesos de consolidación del suelo fundamentalmente generado por el tránsito de la maquinaria agrícola. Draghi (2006), en un Argiudol típico, evaluando el efecto del tránsito, halló a los 30 días luego del escarificado, valores de RP entre 70 % y 94 % más elevados en el espesor de 0 a 30 cm de profundidad en las huellas de la sembradora, con respecto al Testigo sin huellas. Además, en las huellas de la cosechadora, a los 210 días luego del escarificado, los valores de RP fueron un 81 % (0-10 cm), 111 % (10-20 cm) y 91 % (20-30 cm) más elevados que el Testigo sin huellas. Botta (2006) en un suelo Hapludol éntico y con el mismo objetivo, observó que el aflojamiento del suelo por la labranza profunda era eliminado en la zona transitada durante la siguiente estación de crecimiento.

Estos hechos son importantes por el efecto sobre el desarrollo radical de los cultivos. En el cultivo de maíz la mayor concentración superficial (0-10 cm) de las raíces en el Testigo respecto al espesor subsiguiente puede atribuirse a los mayores valores de IC y DA en el espesor de 10 a 20 cm. Cerliani et al. (2012) en un Hapludol típico evidenciaron la misma tendencia en el enraizamiento del cultivo de maíz en parcelas compactadas comparándolas con parcelas descompactadas. Asimismo, Giardinieri et al. (2004) en un Haplustol óxico, reportaron disminuciones del 29,7 % en el peso seco de raíces de maíz ante densidades aparentes de  $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$  en comparación a  $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ . Se vuelve a destacar que en este trabajo, los menores valores de IC y DA en el espesor de 10 a 20 cm, así como la disminución de unidades estructurales difícilmente disgregables y aumentos de unidades estructurales en estado fragmentario en los tratamientos de labranza pueden haber impactado sobre un mayor desarrollo radicular.

En el equipo TC, entre los 20 y 25 cm de profundidad, también hubo mayor desarrollo radical con respecto a T. Las fisuras detectadas luego de la labor que en algunos casos alcanzaron el B1, y que luego de 9 meses no se observaron visualmente, pueden haber permanecido como superficies de fragilidad. Esto permitió mayor exploración del perfil en profundidad durante los ciclos de humedecimiento y secado, condición que posibilitó la creación temporal de espacios para crecimiento radical.

La formación de agregados es importante, y más aún que ellos sean estables. Interesa principalmente la estabilidad al agua, pues el humedecimiento y el impacto de las gotas de agua son los mecanismos más activos en la degradación de la estructura del suelo. Una de las posibles prácticas para mejorar la estructura y su estabilidad es la incorporación de materia orgánica. Los diferentes tratamientos de labranza profunda no incrementaron los valores de materia orgánica a pesar de los bajos valores de materia orgánica en el inicio del experimento, dado que no hubo incrementos importantes en los aportes anuales de materia seca por parte de los cultivos, sumado al reducido tiempo de evaluación. Klein et al. (2012), en el corto plazo en suelos Oxisoles en el sur de Brasil tampoco hallaron modificaciones en el contenido total de carbono ante parcelas escarificadas y no escarificadas. Solamente el tratamiento TR disminuyó el contenido de materia orgánica con respecto al testigo en junio del 2012, situación que se podría explicar por la elevada tasa de mineralización dado el gran disturbio de suelo generado por las rejas de 40° de ángulo de ataque.

En el cultivo de maíz, los incrementos en la captación de RFA<sub>t</sub> y RFA<sub>R1</sub> elevó el número de granos en los tratamientos con labranza profunda, impactando positivamente en el rendimiento del cultivo. Cabe aclarar que la condición climática fue caracterizada por precipitaciones escasas hasta R1 y abundantes durante todo el período reproductivo. La mayor captación de radiación se podría atribuir al impacto de los tratamientos de labranzas sobre algunos parámetros del balance hídrico edáfico, tales como mayor almacenaje favorecido por mayor captación de agua a partir de las fisuras originadas, acompañado por la disminución de la resistencia a la penetración y del mayor desarrollo radical en parte del perfil de suelo, aumentando el espacio total de suelo explorado por las raíces. Estas mejoras en el sistema suelo-planta no impactaron en la eficiencia de uso de la RFA. Sadras et al. (2004) corroboraron el impacto de la compactación del suelo en la producción de los cultivos a través de captación de recursos y no sobre la eficiencia de uso de los mismos.

Las diferencias halladas entre equipos en la magnitud y forma de descompactar el suelo no se tradujo en forma significativa sobre el rendimiento de maíz. Esto coincide con lo hallado por Reeder et al. (1993), quienes evaluaron los efectos de diferentes diseños de

subsoladores sobre las propiedades del suelo y sobre el cultivo de maíz en un suelo franco-arcillo-limoso de Ohio en la secuencia soja-maíz.

En el cultivo de soja, las diferencias entre tratamientos en lo que respecta a la abundancia de raíces, se presentan en el estrato 20-30 cm cercano a la profundidad a la cual pasaron las púas (30-35 cm). Ello implica algún grado de residualidad de los efectos de la labranza profunda en el enraizamiento del cultivo de soja. Este efecto es más evidente entre TR y T por el elevado ángulo de ataque de las rejas del TR. Además, probablemente el hábito de crecimiento de la raíz de soja y las características del timón-púa en el TR, permitan un mejor aprovechamiento del espacio generado por el implemento en comparación con TC y TA. Según Dardanelli et al. (2003) la velocidad de avance y profundidad máxima del sistema radical pueden modificarse dentro de cada especie en función del ángulo que forman las raíces con respecto a la vertical. Un número de factores relacionados con el ambiente, la planta y el manejo de cultivo afectan este ángulo y tienen consecuencias importantes sobre la velocidad de profundización y la profundidad máxima de las raíces. Entonces, a igual tasa de crecimiento de la raíz, la profundidad será mayor cuando el ángulo de crecimiento de la misma se acerque a la vertical, situación que puede darse en el tratamiento TR.

A lo largo del experimento se corrobora que las diferencias entre tratamientos a través del tiempo en las características del sistema sólido y poroso tienden a ser cada vez menores. Evidencia de ello son las menores diferencias entre tratamientos en valores de GDA, densidad aparente, tasa de infiltración, lo cual, explicaría el bajo efecto en el desarrollo radicular del cultivo de soja de los diferentes tratamientos. El TC fue el único tratamiento que se diferenció del T en el rendimiento, explicado por un aumento en el número de granos y probablemente como respuesta al aumento de RFA<sub>i</sub> R3-R6, y no así por EUR. Los perfiles culturales en este tratamiento muestran todavía una proporción importante de unidades estructurales favorables en la base del horizonte A y B1. Además de que los valores de IC y GDA hasta los 20 y 22,5 son más favorables a pesar de no existir diferencias significativas. Similar condición sucede con la DA en el espesor 0-20 cm.

Además es importante rescatar esta respuesta en la producción de granos de soja dentro de una condición climática muy particular. La misma se caracterizó por escasas precipitaciones durante el período vegetativo y abundantes a partir de fines de floración.

Por último, cabe aclarar que en este trabajo teniendo un nivel de significancia de  $p < 0.1$  para los análisis de varianza la mayoría de las diferencias estadísticas en estos fueron con un valor de  $p < 0.05$ . Los análisis de la varianza que dieron diferencias significativas con valor de  $p$  entre 0.05 y 0.1 fueron: IC (40 cm) posterior a las labores, IC (27.5 cm, 30 cm, 35 cm y 42.5 cm) en el período reproductivo de maíz, AR de maíz (20-25 cm), SF (PC) en el

período reproductivo de maíz, AR de soja (20-25 cm), IC (0 cm) en junio 2012, tasa de infiltración en junio de 2012 y COT (0-20 cm) en junio de 2012 cm.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación para comparar los efectos en el suelo y cultivos de diferentes escarificadores era necesario por el incremento en la utilización de esta práctica agronómica en la región de la pampa ondulada. Diferentes actores, relacionados a la producción agropecuaria, percibieron el escarificado de suelo como una alternativa de atenuación al problema de deterioro físico de los suelos.

Los resultados del presente trabajo permitieron corroborar la hipótesis planteada. El tipo y disposición de montantes presentes en los diferentes modelos de escarificadores, modificaron las propiedades físicas de suelo, y el crecimiento de los cultivos que le suceden a la labor. El grado de aflojamiento y el efecto sobre la disminución de la densificación de suelo es más importante tras el uso de diseños con timones no rectos. Esta mejora se traduce asimismo, en un mayor desarrollo radical en el cultivo de maíz, fundamentalmente en la base del horizonte A. La mejora lograda sobre el suelo y la exploración radical tras el uso de escarificadores con timones no rectos no se traduce en mayores rendimientos de maíz. No obstante ello, se hallaron diferencias en rendimiento de maíz entre las parcelas descompactadas con cualquier tipo de montante y las testigo. También la labranza en general favoreció el proceso de infiltración y el aumento de la rugosidad superficial, sin grandes alteraciones de la cobertura, lo que mejoraría la captación de agua como consecuencia de ello.

Existen efectos residuales de los tratamientos con labranza en la condición física del suelo y en su funcionamiento durante el desarrollo del cultivo de soja posterior al maíz. La labranza con equipos con timones curvos mantienen una mejor condición física durante el cultivo de soja logrando, a su vez, mayor rinde que el testigo.

Las propiedades de suelo que resultaron más sensibles para comparar efectos entre tratamientos de labranzas fueron la resistencia a la penetración, la densidad aparente, la abundancia de raíces, la tasa de infiltración, la descripción del Perfil Cultural y la cuantificación de los estados estructurales. La captación de la RFA, el rendimiento y sus componentes también resultaron útiles para el logro de los objetivos planteados. De todas formas las variables de suelo DTA, DMP, EE y COT no presentaron cambios contundentes ante los diferentes tratamientos evaluados.

Considerando las situaciones más problemáticas de la zona y dentro de un plan de recuperación, los resultados del presente trabajo permiten ratificar al escarificado de suelo como una alternativa importante para atenuar el problema de compactación generando

condiciones propicias para que las raíces exploren sectores de los horizontes superficiales donde antes no lo podían hacer, al menos en un lapso de dos años.

Las diferencias halladas entre equipos podrían ser capitalizadas con diferentes objetivos técnicos. El equipo de timón recto sin reja alada podría ser utilizado para solucionar problemas superficiales de compactación (huellas visibles superficiales, estructura laminar y encostramiento superficial) y mejorar la tasa de infiltración del suelo fundamentalmente en zonas con pendiente. También este equipo, al dejar zonas con bajo grado de aflojamiento, serviría para asegurar un mínimo de capacidad portante del suelo en aquellas situaciones de cosecha de cultivos con elevada humedad de suelo o en aquellos sistemas agrícolas con alto riesgo de recompactación. Los equipos de timón no recto podrían ser utilizados, además de lograr efectos superficiales como los descritos anteriormente, para resquebrajar capas de compactación subsuperficial tales como pisos de arado, piso de discos y zonas afectadas por huellas profundas generadas con tránsito pesado en suelo húmedo, es decir, escenarios productivos de mayor complejidad.

La utilización de rolos luego del paso de los órganos activos es una opción efectiva para mejorar la implantación del cultivo que le sigue, por lo que esta alternativa debería ser tenida en cuenta en futuros ensayos.

Asimismo, el conocimiento generado puede guiar a los fabricantes de maquinaria agrícola a definir las características de equipos escarificadores en base a las diferentes problemáticas de compactación de suelo a solucionar.

Se sugiere incorporar en futuras experiencias, equipos escarificadores con timones rectos y rejas aladas y timones curvos con disposición convergente de a pares que posibiliten un mayor efecto lateral en el perfil del suelo. También deberían testearse el efecto de los diferentes equipos en la respuesta de los cultivos ante distintos grados de compactación y ante condiciones climáticas variables, fundamentalmente en cantidad y distribución de las precipitaciones. Además, sería importante evaluar los efectos combinados del escarificado de suelo, las raíces de diferentes cultivos y la aplicación de enmienda cálcica con el objetivo de regenerar y estabilizar la estructura de los suelos. Todo esto acompañado con un mayor seguimiento en el tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

Arvidsson J y Hakansson I. 1996. Do effects of soil compaction persist after ploughing? Results from 21 long-term field experiments in Sweden. *Soil and Tillage Research*. 39:175-197.

Álvarez CR; Taboada MA; Bustingorri C y Gutiérrez Boem FH. 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. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). 10:2-9.

Balbuena R y Claverie J. 2006. Descompactación Mecánica del Suelo. Curso de Mecanización Agrícola. Convenio Argentina-Venezuela. INTA Manfredi. 20 pp.

Bingham IJ. 2001. Soil-root-canopy interactions. *Annals of Applied Biology*. 138: 243-251.

Blake G y 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.

Bonel B; Denoia J; Costanzo M; Giubileo G y Zerpa G. 2004. Efecto de la labor de escarificado sobre un Argiudol vértico bajo siembra directa continua. *Ciencia e Investigación Agraria*. 31(3):187-196.

Bonel B; Montico S; Sponda G y Spurio N. 2005. Descompactación del suelo mediante el uso de escarificadores en Argiudoles típicos del sur de Santa Fe. En: *Reología de suelos bajo tráfico*. 1-11.

Bota GF; D Jorajuría D; Balbuena R; Ressia M; Ferrero C; Rosatto H y Tourn M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflowers (*Helianthus annuus L.*) yields. *Soil and Tillage Research*. 91: 164-172.

Bragachini M. 2011. Rol estratégico de la red agricultura de precisión en el desarrollo del sector agroalimentario argentino. 10<sup>mo</sup> Curso Internacional de Agricultura de Precisión, 5<sup>a</sup> Expo de Máquinas Precisas. EEA Inta Manfredi, Manfredi, Córdoba, Argentina. Pp 1.

Bray R y Kurtz L. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils .Soil Science. 59: 39 - 45.

Busscher WJ; Sojka RE y Doty CW. 1986. Residual effects of tillage on Coastal Plain soil strength. Soil Science. 141:144-148.

Cazorla C. 2005. Resistencia a la Penetración como Indicador de Compactación en Suelos bajo Siembra Directa en Ensayos de Larga Duración en Marcos Juárez. Seminario Internacional Indicadores de la Calidad de Suelo+ INTA Marcos Juárez. Pp 4.

Cholaky Perez 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. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. 212 p.

Cerliani C; Espóstio GP; Balboa GR; Castillo CA y Balboa RG. 2012. Sistema radical de maíz y soja y descompactación subsuperficial del suelo. Actas XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina.

Chidichimo H; Asbornio M; A Aragón. 1997. Enraizamiento de maíz: respuesta genotípica a tratamientos de compactación y humedad del suelo. Proceedings 6° Congreso Nacional de Maíz. Pergamino.Tomo III: 173-179.

Dardanelli J; Collino D; Otegui ME y Sadras VO. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. Producción de Granos. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (Ed.). Buenos Aires. Argentina. 389-392.

Douglas JT y Goss MJ. 1982. Stability and organic matter of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grassland. Soil and Tillage Research. 2:155-175.

Draghi L; Terminello A; Hilbert J; Claverie J; Palancar T; Botta G; Balbuena R y Jorajuria D. 2006. Tráfico y Descompactación en Siembra Directa. Instituto de Ingeniería Rural, Inta Castelar. En <http://anterior.inta.gov.ar/iir/info/indices/tematico/dirtractores.htm> (Consultado junio de 2013).

Fanigliulo R y Pochi D. 2008. In-depth primary soil tillage without inverting: comparison of the operative performances of three subsoilers. Proceedings International Conference on Agricultural Engineering, Hersonissos, Crete-Greece. *June 23-25* [ENG, eng]

Ferraris G. 2004. Descompactación de suelos bajo siembra directa continua. Revista de Tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino. Vol. IX-nro 25:46-48.

Fehr, WR y Caviness CE. 1977. Stages of soybean development. Special Report 80. Iowa State University, Ames, Iowa. 11p.

Gallo WP y Daughtry CS. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in crop canopies. *Agronomy Journal*. 78:752. 756.

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

Gee GW y Bauder JW .1986. Particle-size análisis. *In: A Klute (ed.). Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods. Part 1. 2nd ed. ASA-CSSA-SSSA, Madison, USA, Agronomy monograph N° 9. pp 383-411.*

Gerster G. 2008. Compactación por tránsito de maquinarias en un argiudol típico. Tesis Magíster. Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Agrarias. Zavalla, Santa Fe, Argentina. 95 pp

Giardinieri NCh; Gutierrez NC y Venialgo CA. 2004. Influencia de la compactación sobre el crecimiento radical en maíz y soja. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2004, Universidad Nacional de Nordeste. Corrientes. Argentina.

Harrison DF; Cameron KC y McLaren RG. 1994. Effects of subsoil loosening on soil physical properties, plant root growth, and pasture yield. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 37:559-567.

Hilbert JA y Tesouro MO. 2001. Descompactador de arcos curvos. Prestación y esfuerzo tractivo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA-INTA)*. 30 (1) 13-24.

Infostat. 2008. InfoStat, versión 2008. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas. Argentina.

Imvinkelried HO; Imhoff S y Butarelli M. 2010. Análisis del crecimiento y respuesta del cultivo de Soja a la compactación del suelo. *Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Rosario. Santa Fe. Argentina.

INTA. 1972. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3360-32 Pergamino. 106 pp.

Irizar A. 2010. Cambios en las reservas de materia orgánica del suelo y sus fracciones granulométricas: efecto de la secuencia de cultivo, del sistema de labranza y de la fertilización nitrogenada. Tesis Magíster. Universidad Nacional de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Agrarias. Capital Federal, Buenos Aires, Argentina. Pp.15-16.

Irurtia CB; Mon R; Gonzalez N; Elisei J; Cruzate G y Llovet A. 2010. Variación en el corto plazo del microrelieve y la cobertura superficial en un suelo subsolado bajo siembra directa. *Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Rosario. Santa Fe. Argentina.

Irurtia CB; Mon R; Gonzalez N y Elisei J. 2008. Efectos físicos residuales en un Argiudol típico después de seis años de subsolado en condiciones de tránsito agrícola controlado. XXI Congreso de la AACS. Actas en CD.

Ishaq M; Hassan A; Saeed M; Ibrahim M y Lal R. 2001 Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan. *Soil and Tillage Research*. 59:57-65.

Kemper WD y Rosenau RC. 1986. Aggregate stability and size distribution. Cap 17. Porosity. Cap 18. *In: HS Lin, KJ McInnes, LP Wilding & CT Hallmark 1997 (eds.) Low tension water flow in structured soils. Canadian Journal of Soil Science* 77:649-654.

Klein C; Câmara R y Vieira M. 2012. Chiseling of soils under no-tillage for the improvement of physical, hydraulic, and mechanical properties. 19<sup>th</sup> ISTRO Conference, IV SUCS Meeting. Montevideo. Uruguay.

Lafren J; Ameniya M y Hintz E. 1981. Measuring crop residue cover. *Soil and Water Conservation*. 36:341-343.

Leiva P y Hansen O. 1984. Las resistencias mecánicas del suelo y el desarrollo radicular con distintos sistemas continuos de labranzas. *Carpeta de Producción Vegetal*. Tomo VI, información n\_62. Inta Pergamino.

Lisle L; Lefroy R; Anderson G y Blair G. 1994. Methods for the measurement of sulphur in plants and soil. *Sulphur in Agriculture*, Vol 18:45-54.

Morrás H; Iruetia C; Ibarlucea C; Lantín M y Michelena R. 2001. Recuperación de suelos pampeanos degradados mediante siembra directa y subsolado. En: Panigatti JL *et al* (ed.). *Siembra directa II*. INTA. Buenos Aires, Argentina. 263-278 pp.

Morrás H; Kraemer F; Bressan, E y Morrás P. 2012. Efectos de la descompactación y aplicación de yeso en un argiudol cultivado en siembra directa. *Actas XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina.

Nelson DW y Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Part 2 Pp 539-577 *In*: RH Mille & DR Keeney (eds.). *Methods of soils analysis, Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.

Page AL; Miller DH y Keeney DR. 1982. *Methods of Soil Analysis, Part 2*, *In*. Page *et al* (ed). *Chemical and microbiological properties*. 2da ed. American Society of Agronomy, Agronomy Series 9, Madison, WI, USA.

Passioura JB. 2002. Soil conditions and plant growth. *Plant, Cell and Environment*. 25: 311-318.

Radford BJ; Bridge BJ; Davis RJ; McGarry D; Pillai UP; Rickman JF; Walsh PA y Yule DF. 2001. Changes in the properties of a Vertisol and responses of wheat after compaction with Harvester traffic. *Soil and Tillage Research*. 54:155-170.

Raper RL. 2005. Force requirements and soil disruption of straight and bentleg Subsoilers for conservation tillage systems. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 21(5):787-794.

Reeder RC; Wood RK y Finck CL. 1993. Five Subsoiler Designs and their effects on soil properties and crop yields. *American Society of Agricultural Engineers*. 36(6):1525-1531.

Reposo G y Bonvechi V. 2012. Efectos de la compactación sobre propiedades físicas de un suelo franco limoso. *Actas XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina.

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

Sadras VOLO Leary GJ y Roget DK. 2004. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. *Field Crops Research*. 91: 131-148.

Santos DJ; Wilson MG y Ostinelli M. 2012. Agua del suelo. Metodología de muestreo y ensayos a campo. INTA (ed.). Paraná. Argentina. 57-64.

Secco D y DJ Reinert. 1997. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-escuro sob plantio direto. *Revista Engenharia Agricola e Ambiental*. 16 (3) 52-61.

Senigagliesi, C. and M. Ferrari. 1992. Soil and crop response to alternative tillage practices. In: *First International Crop Science Congress*. Ames. IOWA, USA. Pp 27-35.

Senigagliesi C y Massoni S. 1999. Extensión para la transferencia de tecnología en siembra directa. Un análisis de lo realizado por el INTA. En: *Congreso ALAS*. Concepción. Chile. 12-15/10/99. 36 pp.

Senigagliesi C. 2004. Siembra directa y la productividad sustentable. En: *IDIA XXI*, 6: 72-75.

Ediciones INTA.

Soane B; Blackwell JW; Dickson JW y Painter DJ. 1982. Compaction by agricultural vehicles: a review. Scottish Institute of Agricultural Engineering. Tec. Report N\_5.

Sojka RE; Busscher WJ; Gooden DT y Morrison WH. 1990. Subsoiling for sunflower production en the Southeast Coastal Plains. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:1107-1112.

Spoor G y Godwin RJ. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of by rigid tines. Journal of Agricultural Engineering Research. 23:243-258.

Swardji P y Eberbach PL. 1998. Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf (Red Kandosol) after 16 years of direct drilling on conventional cultivation. Soil and Tillage Research. 49: 65-77.

Tola, E; Muller J y Koller K. 2000. Soil loosening in the seed zone as affected by different no-till furrow openers under soil conditions and crop residue cover rates. Abstracts of XI International Soil Conservation Conference. Buenos Aires. Argentina.

USDA. 1999. Soil Quality Test Kit Guide. USDA-Agriculture Research Service. SCS. USA. 82pp.

Vilche MS y Alzugaray C. 2008. Efecto de la labranza profunda sobre el rendimiento y el uso del agua del cultivo de maíz. CD XII Reunión Argentina de Agrometeorología. San Salvador de Jujuy.

Vilche MS; Montico S y Alzugaray C. 2009. Efecto de la perdurabilidad de la labranza profunda sobre el rendimiento y consumo de agua en el cultivo de soja (*Glicine max L. Merr*). CD X Congreso Argentino de Ingenieria Rural y II de Mecosur. Rosario, Santa Fe, Argentina.

Wesley RA; Smith LA y Spurlock SR. 1994. Fall deep tillage of clay agronomic and economic benefits to soybeans. Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station. Bulletin 1015. Mississippi ST. USA. 10 pp.