

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

“Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo”

**Efecto del sistema de labranza y de la dirección de siembra,
sobre el escurrimiento e infiltración del agua en un Haplustol
údicico y su impacto sobre el rendimiento del cultivo.**

**Alumno: *Rovera, Juan José*
DNI: 31.692.366**

**Director: *Cholaky, Carmen*
Co-Director: *Cisneros, José***

**Río Cuarto – Córdoba
Mayo de 2013**

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Efecto del sistema de labranza y de la dirección de siembra, sobre el escurrimiento e infiltración del agua en un Haplustol údico y su impacto sobre el rendimiento del cultivo.

Autor: *Rovera, Juan José*

DNI: *31.692.366*

Director: *Cholaky, Carmen*

Co – Director: *Cisneros, José Manuel*

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

Ing. Agr. Crespi Raúl Jesús _____

Ing. Agr. Colodro Juan Lucio _____

Ing. Agr. Cholaky Carmen _____

Fecha de presentación: ____ / ____ / ____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____ / ____ / ____.

Secretario Académico

ÍNDICE GENERAL:

Página

CERTIFICADO DE APROBACIÓN.....	I
RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VII

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1- Planteo del problema.....	1
1.2- Antecedentes.....	3
1.3- Hipótesis.....	5
1.4- Objetivos.....	6
1.4.1- Objetivo general.....	6
1.4.1- Objetivos específicos.....	6

CAPITULO 2

MATERIALES Y METODOS

2.1- Localización y descripción del área de estudio.....	7
2.2- Tratamientos y diseño experimental.....	9
2.3- Preparación del terreno y siembra del cultivo.....	10
2.4- Variables estudiadas.....	12
2.4. 1- En el suelo.....	12
2.4. 2- En el cultivo.....	15
2.5-Análisis estadístico de los resultados.....	15

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1- Lámina total infiltrada y velocidad de infiltración final.....	16
3.1.1 - Lámina total infiltrada.....	16
3.1.1. a- Profundidad del frente de humedecimiento.....	17
3.1. 2 -Velocidad de infiltración final.....	19
3.1. 2.1. Análisis de factores edáficos influyentes (Humedad antecedente).....	22
3.2 - Lámina escurrida y Coeficiente de escurrimiento.....	23
3.2. 1 – Lámina escurrida.....	23
3.2.1. a-Cobertura superficial.....	25
3.2.1. b-Tiempo de inicio del escurrimiento.....	26

3.2. 2 – Coeficiente de escurrimiento.....	27
3.3 - Pérdida de suelo.....	28
3.4 - Rendimiento del cultivo.....	31

CAPITULO 4

CONCLUSIONES.....	35
--------------------------	-----------

CAPITULO 5

RECOMENDACIONES.....	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXO I.....	49
ANEXO II.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la lámina total infiltrada.....	16
Tabla 2: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la Profundidad del frente de humedecimiento.....	17
Tabla 3: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la velocidad final de infiltración del suelo.....	19
Tabla 4: Tiempo de encharcamiento en minutos de cada uno de los tratamientos.....	22
Tabla 5: Efecto de la orientación de las líneas de siembra sobre la humedad antecedente del suelo (0-30 cm).....	22
Tabla 6: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la humedad antecedente del suelo (0-30 cm).....	23
Tabla 7: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la lámina escurrida sobre el suelo.....	23
Tabla 8: Efecto de la orientación de las líneas de siembra sobre la cobertura superficial del suelo.....	26
Tabla 9: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la cobertura superficial del suelo.....	26
Tabla 10: Efecto de la orientación de las líneas de siembra sobre el tiempo de inicio del escurrimiento.....	27
Tabla 11: Coeficiente de escurrimiento en % de cada uno de los tratamientos.....	27

Tabla 12: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la Carga de sedimentos del escurrimiento acumulado.....	28
Tabla 13: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre el rendimiento del cultivo.....	31
Tabla 14: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre el rendimiento relativo del cultivo.....	32
Tabla 15: Efecto de la orientación de las líneas de siembra sobre el rendimiento del cultivo.....	34
Tabla 16: Efecto de la orientación de las líneas de siembra sobre el rendimiento relativo del cultivo.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Precipitaciones ocurridas en la zona de La Brianza durante el ciclo 2010/11 y en particular durante el ciclo del cultivo de maíz.....	7
Figura 2: Perfil de resistencia mecánica y contenido de agua en profundidad, correspondiente a la etapa de diagnóstico de la condición física del suelo del sitio experimental.....	9
Figura 3: Ubicación de las parcelas en el sitio experimental.....	10
Figura 4: Esquema del microsimulador de lluvia utilizado.....	13
Figura 5: Esquema de la ubicación de la microparcela en relación a las líneas de siembra: a) líneas perpendiculares a la pendiente del terreno y b) líneas a favor de la pendiente del terreno.....	13
Figura 6: Lámina total infiltrada expresada en milímetros (mm), para cada uno de los tratamientos.....	16
Figura 7: Profundidad del frente de humedecimiento expresado en centímetros (cm), para cada uno de los tratamientos.....	18
Figura 8: Velocidad de infiltración final en mm/hora, para cada uno de los tratamientos.....	20
Figura 9: Velocidad de infiltración en mm/hora de los diferentes tratamientos.....	21
Figura 10: Lámina total escurrida expresada en milímetros (mm), para cada uno de los tratamientos.....	24

Figura 11: Carga de sedimentos en Kg/ha para los diferentes tratamientos.....	29
Figura 12: Relación entre Carga de sedimentos en (Kg/ha) y Lámina escurrida (mm).....	29
Figura 13: Rendimiento promedio en qq/ha de los diferentes tratamientos. Entre paréntesis valores relativos.....	32

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1: Vista del perfil cultural y de la capa densificada.....	8
Foto 2: Estructuras típicas de la zona compactada del perfil.....	8
Foto 3: Vista detallada del descompactador alado.....	11
Foto 4: Vista del conjunto descompactador y rolo trabajando.....	11
Foto 5: Vista de la sembradora de siembra directa utilizada en la experiencia.....	12
Foto 6: Detalle de la placa portagotos del microsimulador de lluvias.....	13
Foto 7: Post cosecha del cultivo de maíz.....	25
Foto 8: Cobertura de rastrojos dentro de la parcela del microsimulador.....	25
Foto 9: Vista frontal del embudo del microsimulador y del recipiente colector graduado en momentos donde está recibiendo escurrimiento (agua + sedimentos).....	30

EFECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA Y DE LA DIRECCIÓN DE SIEMBRA, SOBRE EL ESCURRIMIENTO E INFILTRACIÓN DEL AGUA EN UN HAPLUSTOL ÚDICO Y SU IMPACTO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO.

RESUMEN:

El objetivo fue evaluar el efecto de una labor de descompactación subsuperficial y de la orientación de las líneas de siembra respecto a la pendiente principal del lote, en un suelo manejado con siembra directa, sobre la infiltración, escurrimiento y pérdida de suelo y su impacto sobre el rendimiento de un cultivo de maíz. La experiencia se desarrolló al sur - este de Río Cuarto, Córdoba (33° 26' Latitud S, 64° 07' Longitud O). El diseño experimental fue en parcelas divididas en bloques al azar, con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: siembra directa a favor de la pendiente, con y sin labor de descompactación y siembra directa perpendicular a la pendiente, con y sin labor de descompactación. Mediante un microsimulador de lluvia se determinaron: escurrimiento superficial, tiempo de inicio del escurrimiento, profundidad del frente de humedecimiento, lámina total infiltrada, tasa de infiltración, carga de sedimentos y se estimó el coeficiente de escurrimiento. Además, se estimó el rendimiento en grano. Hubo diferencias estadísticamente significativas a favor de la descompactación, siendo la lámina infiltrada un 6% superior, el escurrimiento superficial 4 veces menor y la pérdida de suelo de 10,58 Kg/ha, respecto a las situaciones sin descompactar, en donde fue de 45,58 Kg/ha. La orientación de la siembra perpendicular a la pendiente principal también tuvo efecto positivo aunque no significativo sobre estas variables, salvo en el tiempo de inicio del escurrimiento que fue significativamente superior al de la siembra a favor de la pendiente. El rendimiento de maíz se incrementó un 14% y un 6% por efecto de la descompactación y de la siembra perpendicular a la pendiente, respectivamente. Ambas variables estudiadas impactaron positivamente sobre la conservación del agua y del suelo y sobre la producción de granos, pero sólo fue estadísticamente significativo el efecto de la labor de descompactación.

Palabras clave: sistema de labranza, dirección de siembra, infiltración, escurrimiento, rendimiento de maíz.

EFFECTS OF THE TILLAGE SYSTEM AND THE DIRECTION OF THE SOWING ON
THE RUNOFF AND THE WATER INFILTRATION IN A HAPLUSTOL ÚDICO AND ITS
IMPACT ON THE CROP YIELD.

SUMMARY:

The objective of the following work was to assess the effect of the subsurface decompaction and the orientation of the seed lines regarding the main slope of the lot, in a soil worked with direct-seeding, on infiltration, runoff and soil loss and its impact on a corn crop. The experience was carried out in the south-east of Río Cuarto, Córdoba (33° 26' latitude S, 64° 07' length O). The experimental plot used was parcels of land randomly divided into groups, with four repetitions. The treatments were: direct-seeding in favor of the slope, with and without decompaction till and direct-seeding perpendicular to the slope, with and without decompaction till. Through a microsimulation of rain it was determined: superficial runoff, the starting time of the runoff, depth of moisture, total infiltrated sheet, infiltration rate, the average sediment load, and the coefficient of the runoff was valued. Furthermore, the average grain yield was estimated. There were statistically significant differences in favor of the decompaction, resulting in the infiltrated sheet 6% superior, the superficial runoff 4 times inferior and the soil loss impact was 10,58 kg/ha, with regard to situations without decompacting, in which it was 45,58 kg/ha. The direction of the perpendicular sowing to the main slope has also had positive effects. However, they were not significant on the variables, except in the case of the runoff starting time that was significantly superior to the sowing in favor of the slope. The average corn yield was increased to a 14% and a 6% by the effect of the decompactation and the perpendicular sowing to the slope, respectively. Both studied variables had positive impacts on the water and soil conservation and on the grain productions, but it was only statistically significant the effect of the decompactation.

Key Words: tillage system, direction of the sowing, runoff, infiltration, corn yield.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 - Planteo del problema:

En la región central de Córdoba, el proceso de agriculturización ocurrido a partir de la década del 80, se caracterizó por un creciente predominio de soja en monocultivo en reemplazo de otros cultivos como sorgo, maíz, trigo, girasol y maní, que inicialmente ocurrió en sistemas convencionales de labranza, caracterizados por la remoción del suelo, la escasa o nula permanencia de rastrojos en superficie y la compactación por debajo de la labor (Campitelli *et al.*, 2008). El predominio de este manejo por más de tres décadas derivó en la degradación del recurso suelo, principalmente por la pérdida de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo, disminución de la estabilidad de agregados e incremento del escurrimiento superficial (Aoki *et al.*, 2008). De acuerdo a estos últimos autores, hacia fines de la década de los 80, los sistemas fueron evolucionando hacia los llamados conservacionistas, dentro de los cuales el sistema de siembra directa, caracterizado por el no laboreo, es actualmente el de mayor adopción en la región, mostrando un escenario productivo que presenta una gran expansión del cultivo de soja, con un alto porcentaje en siembra directa. La cobertura con rastrojo asociada a la siembra directa reduce las pérdidas de humedad por evaporación, aumenta la infiltración y disminuye la velocidad de los escurrimientos superficiales, permitiendo controlar la erosión (Dominguez *et al.*, 2001). Esta herramienta solucionó problemas de erosión de suelos, pero generó inconvenientes como la densificación de los horizontes donde se sustenta la producción. (Soza *et al.*, 2008).

El uso agrícola continuo en siembra directa genera un aumento de la densidad aparente y de la resistencia a la penetración (Álvarez *et al.*, 2004). La compactación constituye uno de los procesos de degradación física de suelos más importante que afecta la productividad de los cultivos, al limitar la entrada de agua al suelo y por lo tanto la disponibilidad de agua para el cultivo (Álvarez *et al.*, 2008). El maíz es uno de los cultivos más sensibles en este aspecto. Sus raíces responden negativamente a la compactación del suelo, pero esto no necesariamente determina una reducción del rendimiento. (Díaz Zorita, 2000 a; Erbach *et al.*, 1986; Logsdon *et al.*, 1999). Otro indicador de la situación de compactación es la infiltración de los suelos. Se han obtenido valores contrastantes de la velocidad de infiltración en diferentes situaciones de compactación (Richmond, 2007). Esto se atribuye a la menor macroporosidad del suelo compactado, que limita la entrada de agua al perfil. Cuando el deterioro por compactación es perceptible, éste debe atenuarse para lograr crecimientos satisfactorios y rendimientos sostenibles en los cultivos (Lal y Schukla, 2004).

Esta compactación y/o endurecimiento llevó a los técnicos y a los productores a realizar la disrupción mecánica de estas capas a través del uso de implementos de labranza

profunda (e. g. paratill) a diferentes profundidades (Álvarez *et al.*, 2010 a). No obstante, los resultados son diversos en lo que respecta al crecimiento radical y al rendimiento de los cultivos (Díaz-Zorita, 2000 b).

En los suelos bajo producción existen diversos procesos que se presentan como factores atenuantes de los efectos de la compactación. Entre los mismos se mencionan procesos naturales de autoestructuración y procesos relacionados al manejo del suelo, como lo es la descompactación mecánica (Balbuena *et al.*, 2009).

La mayoría de las aproximaciones y modelos mencionados en la literatura para evaluar la calidad del suelo le adjudican a las propiedades hidráulicas en general, y a la infiltración del suelo en particular, un elevado peso relativo como indicador físico de calidad (Doran y Parkin, 1994; Larson y Pierce, 1994; Cisneros *et al.*, 1998).

La infiltración se define como el proceso de entrada de agua desde la superficie al interior del suelo. La infiltración es una componente fundamental del proceso lluvia-escorrentía y juega un importante rol en el ciclo hidrológico de regiones áridas y semiáridas, puesto que determina la cantidad de almacenamiento de agua en el suelo para la vegetación natural. La fuerte presión antrópica a la que se encuentran sometidas las tierras agrícolas y las características intrínsecas de éstas, hacen que sea una zona con riesgo de erosión hídrica, por lo tanto resulta imprescindible conocer la relación precipitación-escurrimiento, para plantear las medidas que mitiguen dicho riesgo (Vich y Pedrani, 2004).

En el suelo, los poros son de diferente tamaño, forma y continuidad. Estas características influyen sobre la infiltración, almacenamiento y drenaje del agua, el movimiento y distribución de los gases, y la facilidad con la cual las raíces pueden explorar el suelo. Los macroporos son los más afectados por la compactación, originando un aumento de la escorrentía, ya que disminuye la capacidad de infiltración del agua de lluvia. Esto implica menor cantidad de agua almacenada a la vez que incrementa el riesgo de erosión producida por el agua y la pérdida de las capas superficiales de suelo y la consiguiente pérdida de nutrientes (Galantini *et al.*, 1996).

Debido a la capacidad de la escorrentía de poner en suspensión y transportar las partículas más livianas, habrá remoción selectiva de material fino si la energía de la escorrentía no es suficiente para suspender las partículas más pesadas (Alberts y Moldenhauer, 1981). Se sabe que el material erosionado es más rico en nutrientes que el suelo superficial que le dio origen, ya que ocurre una erosión selectiva de material fino con mayor contenido de nutrientes (Stoltenberg y White, 1953) fenómeno conocido como enriquecimiento del sedimento (Sharpley, 1995).

De acuerdo a estos mismos autores, si bien en numerosos trabajos se ha estudiado el efecto de labores de aflojamiento de capas densificadas sobre el comportamiento físico del suelo y sobre el rendimiento de los cultivos, sus resultados presentan una gran variabilidad,

siendo escasa la bibliografía referida al impacto de técnicas de manejo del relieve sobre la dinámica hídrica y el rendimiento de los cultivos.

1.2 - Antecedentes:

La erosión es el más importante proceso de degradación de los suelos en la Argentina y en la mayoría de los países del mundo. Se ha estimado que de 4,9 millones de hectáreas, en la Región Pampa ondulada, el 36% están afectadas por procesos de erosión de diferentes grados de intensidad (SAGyP 1995).

Varios modelos empíricos y teóricos han sido desarrollados para la estimación de la erosión y su predicción en relación con las prácticas de manejo a aplicar. El más ampliamente difundido y aplicado es la USLE –Universal Soil Loss Equation- Ecuación universal de la degradabilidad del suelo (Wishmeier and Smith 1978), el cual es un modelo empírico basado en el empleo de datos colectados en parcelas de erosión en suelos “típicos” de los estados al este de las Rock Mountains en los Estados Unidos.

Las mediciones de campo de la erosión de suelos usando técnicas clásicas son laboriosas e insumen mucho tiempo y dinero pero son indispensables para alimentar a los modelos de predicción. Recientemente la técnica del 137 Cs (cesio marcado) ha sido utilizada con éxito con el objeto de medir las tasas de erosión y deposición en tierras arables de la Región Pampeana (Bujan *et al.*, 2003).

El uso de ecuaciones para determinar pérdidas de suelo por erosión hídrica superficial permite evaluaciones preliminares como ser la determinación de la erosionabilidad del suelo (K).

En las cuencas estudiadas, el principal proceso de degradación de las tierras son la erosión hídrica y eólica y la pérdida de capacidad productiva por deterioro físico y biológico de los suelos (Cantero *et al.*, 1998). Donde a la vez, son muy escasos los trabajos de estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica (Becker *et al.*, 2002) como así también de las características generales de los materiales erosionados en esta región (Becker *et al.*, 2002), Weir y Arce (2001) midieron pérdidas de suelo y agua en parcelas experimentales en el INTA Marcos Juárez y (Marelli *et al.*, 1986) estimaciones de pérdida de suelos.

La intensidad de la labranza junto con el contenido de humedad del suelo al momento de llover, definen gran parte del grado de encostramiento, escurrimiento y erosión (Le Bissonnais *et al.*, 1995). En la Pampa Húmeda Argentina, (Chagas *et al.*, 1997) midieron el efecto de dos usos contrastantes de un Argiudol típico sobre la degradación y consecuente escurrimiento y erosión. En este último aspecto, la selección de los cultivos y el tipo de labranza inciden significativamente (West *et al.*, 1991).

La degradación de los suelos de la Región Pampeana afecta en gran medida la entrada de agua en el perfil. Es frecuente encontrar suelos de textura media que presentan impedimentos para captar agua pluvial, debido a la formación de sellos y costras (Michelena *et al.*, 2000). Los suelos francos y franco-limosos son fácilmente desagregados y transportados, por eso se los considera muy erodibles (Wischmeier y Mannering, 1969).

Las consecuencias económicas y ecológicas que causa la erosión hídrica, justifican la importancia de establecer una metodología de estimación o determinación de pérdida de suelo y los parámetros que inciden en el proceso.

El estudio de los procesos de erosión hídrica, de infiltración y escurrimiento superficial, puede ser realizado mas rápido y eficientemente con equipos simuladores de lluvia (Marelli *et al.*, 1986). Los trabajos de investigación con lluvia simulada se inician en la década del '30 en los EEUU y han sido utilizados en determinaciones de erosión y escurrimiento a campo y en laboratorio (Moldenhauer, 1979).

La energía de impacto de la gota de lluvia como agente causal de la erosión se ha investigado con lluvias naturales (Macgregor y Muchchler, 1977) y simuladores de lluvia (Dunnet, *et al.*, 1980); (Marelli *et al.*, 1983).

El almacenamiento en el microrelieve es usado en los estudios de conservación de suelos y aguas ya que eligiendo un tipo de laboreo con adición de residuos vegetales (por ejemplo, de maíz) que origine superficies rugosas y gran almacenamiento en superficie se incrementa la infiltración del suelo, se reduce la escorrentía superficial y se controla la erosión hídrica. El método más utilizado para evaluar el agua retenida en las microdepresiones del suelo es la caracterización indirecta a partir de parámetros como la rugosidad superficial del suelo (Onstad, 1984).

En situaciones de topografía accidentadas existen dos factores que inciden en el proceso erosivo, el gradiente y la longitud de la pendiente, siendo mayor la erosión a medida que estos factores aumentan. Se actúa sobre ellos cuando se construyen terrazas o bancales, siendo medidas muy efectivas para disminuir y/o controlar la erosión, pero suponen, al mismo tiempo, movimientos importantes de tierra lo que lleva consigo alteraciones en el perfil del suelo y costos elevados, que tan solo se amortizan bien en cultivos muy rentables (Porta *et al.*, 2003).

Se puede mantener el gradiente de la pendiente y disminuir su longitud, dividiéndola por tramos. Esto es lo que se pretende con la utilización de las cubiertas vegetales que se establecen alternando franjas con y sin vegetación. La disminución de la longitud de la pendiente permite controlar la velocidad del flujo de la escorrentía permitiendo solo pequeños transportes de sólidos en los tramos sin protección y disminuyendo significativamente los arrastres y la escorrentía en el conjunto de la parcela (López, 2003).

En la región Pampeana, una de las consecuencias principales que produjo el uso intensivo del suelo fue la compactación debida al tráfico de animales o de maquinarias, los repetidos tratamientos fitosanitarios, y las operaciones de cosecha, se suceden muchas veces en condiciones de alta humedad, lo cual, sumado al alto peso que pueden portar las maquinarias agrícolas y, muchas veces al uso de neumáticos de dimensiones reducidas, dan origen a condiciones con las cuales es fácil compactar significativamente los suelos (Behemer *et al.*, 2004). Bajo tales circunstancias se reacomodaron las partículas provocando un incremento de la densidad aparente que puede llegar a valores críticos para la exploración radical (Quiroga *et al.*, 1999). Por otro lado, la estructura subsuperficial se constituye en terrones extremadamente duros (pisos de labranza), con elevados valores de densidad aparente, comprometiendo la conducción del agua, el suministro de oxígeno y el desarrollo radical (Bricchi *et al.*, 1996); y además mostrando una tendencia a la irreversibilidad (Cisneros *et al.*, 1998).

En este sentido, (Bonadeo, 1997) indica que el incremento en la resistencia a la penetración y de la densidad aparente del suelo, puede disminuir los rendimientos de los cultivos debido a la generación de impedimentos para el crecimiento de las raíces, pudiendo persistir durante varios años (Voorhees *et al.*, 1986).

De acuerdo con Giayetto *et al.* (1992) este deterioro genera impedimentos para una adecuada infiltración de las lluvias, provoca confinamientos superficiales del sistema de raíces y la consecuente disminución del volumen de suelo explorado. Estos aspectos determinan la ocurrencia de déficit hídrico al incrementarse las pérdidas de agua por escorrentía superficial y limitar su captación desde horizontes profundos.

La calidad de los suelos es el producto de una combinación de procesos degradativos y de conservación y mejoramiento. Entre los degradativos y desde el punto de vista físico se encuentra la compactación, mientras que entre los procesos de mejoramiento, se encuentran las prácticas de labranzas conservacionistas, rotación de cultivos, esquemas de manejo de residuos, entre otros (Parr *et al.*, 1992).

Si bien existen trabajos referidos a estimaciones de pérdidas de agua y suelo por escurrimiento, no abundan en la bibliografía referencias sobre estudios que combinen técnicas de manejo del suelo y del relieve en relación al proceso de pérdida de agua y suelo por erosión. Por tal motivo se plantea la realización del presente trabajo.

1.3 - Hipótesis:

Las prácticas de siembra en líneas con orientación perpendicular a la dirección de la pendiente y labores de descompactación subsuperficial en un Haplustol údico manejado con siembra directa, disminuyen el escurrimiento en superficie e incrementan la lámina de agua

infiltrada, con respecto a situaciones sin labor de descompactación y siembras a favor de la pendiente.

Siembras en líneas con orientación perpendicular a la dirección de la pendiente y labores de descompactación subsuperficial en un Haplustol údico manejado con siembra directa, incrementan el rendimiento final de un cultivo de maíz (*Zea mays* L).

1.4 - Objetivos:

1.4.1- General:

Evaluar el efecto de una labor de descompactación subsuperficial y el de la orientación perpendicular de las líneas de siembra respecto a la pendiente principal, en un suelo manejado con siembra directa, sobre el escurrimiento e infiltración del agua de lluvia y su impacto sobre el rendimiento de biomasa cosechable del cultivo implantado.

1.4.2- Específicos:

- Cuantificar el escurrimiento superficial y la infiltración de agua en el perfil.
- Estimar el coeficiente de escurrimiento superficial.
- Estimar el rendimiento final en granos.
- Establecer relaciones entre los resultados obtenidos y los tratamientos realizados.

CAPITULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 - Localización y descripción del área de estudio:

Éste estudio se desarrolló en el establecimiento “Don Luis” (33° 26’ Latitud Sur, 64° 07’ Longitud Oeste) (Google Earth, versión 2010), perteneciente a la señora Giacomelli Stella, ubicado en cercanías de la colonia “La Brianza”, a unos 45 km al sur-este de la ciudad de Río Cuarto y a unos 20 km al nor-este de la localidad de San Basilio, Departamento Río Cuarto.

El clima es mesotermal subhúmedo con inviernos secos. Las precipitaciones anuales medias son de 700 – 800 mm. El régimen de precipitaciones es monzónico y concentra el 80% de la lluvia en el período de octubre a abril, con ocasional caída de granizo, especialmente en los meses estivales dentro del período mencionado. En la figura 1 se presentan las precipitaciones ocurridas durante el ciclo 2010-2011 y especialmente durante el ciclo del cultivo de maíz en la zona de la Brianza.

El período libre de heladas es de 240 días y se extiende desde el 11 de septiembre hasta el 11 de mayo, para heladas extremas este periodo va desde el 16 de abril al 29 de octubre. La temperatura media del mes más cálido (enero) es de 24,1 C° y la del mes más frío (julio) es de 8,9 C°. Los vientos predominantes son de dirección NE-SO de julio a noviembre y de N-S de diciembre a julio, y en cuanto a su intensidad los mayores registros se tienen de julio a noviembre, con ráfagas de más de 100 km/h (Cantero *et al.*, 1986).

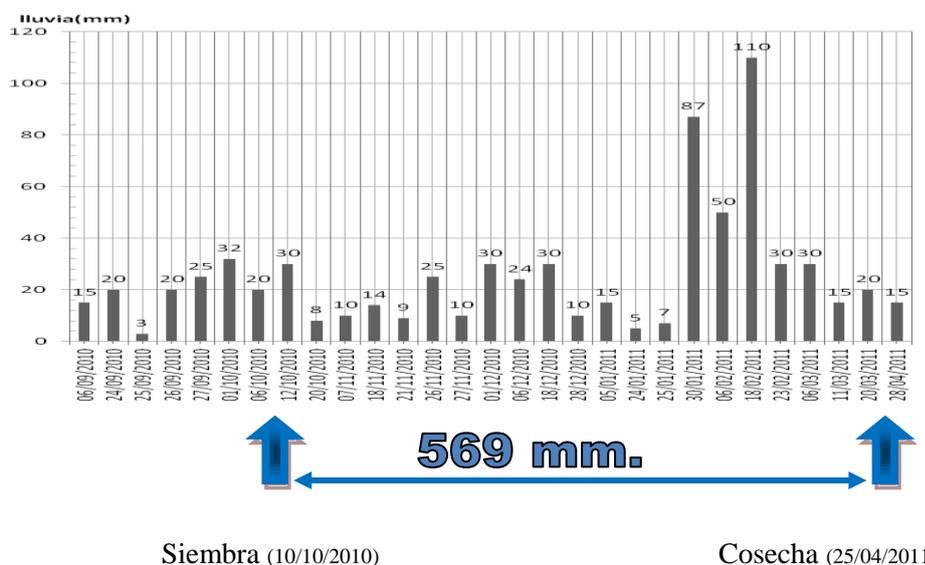


Figura 1: Precipitaciones ocurridas en la zona de La Brianza durante el ciclo 2010/11 y en particular durante el ciclo del cultivo de maíz. (Tomado de Gomez Giacomelli, 2012).

La zona se presenta formando una planicie alta tendida de relieve normal, suavemente ondulado con pendientes en general largas y uniformes, con orientación norte - sur y gradientes de hasta 1,5%. En la ladera oeste de aporte hacia el eje del curso y áreas de derrames del Arroyo Santa Catalina el gradiente de la pendiente llega hasta el 3% (Cantero *et al.*, 1986). En el sitio experimental el gradiente de la pendiente oscila entre 0,5 y 0,7 %.

El material originario de esta área está constituido principalmente por sedimentos de tipo loésicos franco-arenosos muy finos (Cantú, 1992), el suelo en donde se llevó a cabo la experiencia es un Haplustol údico de textura franco arenosa a franca en los horizontes superficiales y franco arenosa muy fina en los demás, con el material de origen a los 120 cm de profundidad (Unidad catastral n° 30 -Bloque Adelia Maria) (Cantero *et al.*, 1986). Las características del perfil representativo del sitio donde se llevó a cabo el presente estudio fueron descritas por INTA-SAGyP (2006) y se presentan en el anexo I.

El suelo presentaba una compactación entre los 10 y 25 cm de profundidad, según diagnóstico realizado a partir de la evaluación cualitativa de la estructura del perfil cultural (fotos 1 y 2) y de la medición de la resistencia mecánica mediante penetrómetro de impacto (figura 2).



Foto 1: Vista del perfil cultural y de la capa densificada. (Las líneas de puntos superior e inferior indican: comienzo y final de la capa densificada)



Foto 2: Estructuras típicas de la zona compactada del perfil.

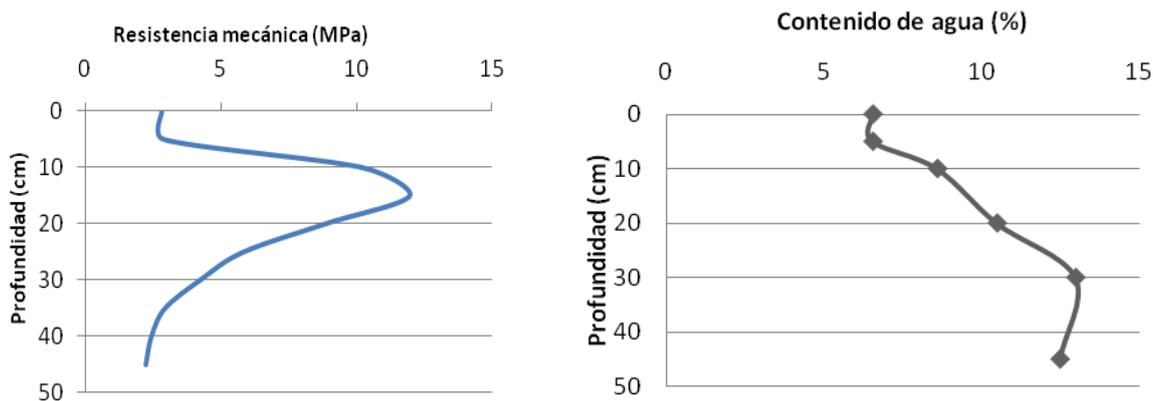


Figura 2: Perfil de resistencia mecánica (izq.) y contenido de agua en profundidad (der.), correspondiente a la etapa de diagnóstico de la condición física del suelo del sitio experimental.

En cuanto a la historia de uso y manejo de estas tierras, antiguamente se realizaba ganadería, para la cual se utilizaban sistemas de labranza convencional para la implantación de pasturas o cultivos. En los últimos 8 años se realiza agricultura (Soja-Maíz) utilizando el sistema de siembra directa, sin realizar labores de descompactación en el periodo mencionado.

2.2 - Tratamientos y diseño experimental:

La experiencia se llevó a cabo mediante la combinación de orientación de las líneas de siembra, con dos niveles: a favor de la pendiente principal (AFP) y perpendicular a la pendiente principal (PP) y sistema de labor, también con dos niveles: sin descompactador (S/P) y con descompactador (C/P). Los tratamientos fueron: siembra directa realizada a favor de la pendiente, sin labor de descompactación (AFP-S/P); siembra directa realizada a favor de la pendiente, con labor de descompactación (AFP-C/P); siembra directa realizada perpendicular a la pendiente, sin labor de descompactación (PP-S/P); y siembra directa perpendicular a la pendiente con labor de descompactación (PP-C/P).

El diseño experimental fue un Diseño en Parcelas Divididas (DPD) en bloques completos al azar con arreglo factorial, con cuatro repeticiones por tratamiento. La dimensión de cada parcela correspondiente a cada tratamiento y repetición fue de 2,5 ha (250m x 100m) y 0,625 ha (62,5m x 100m), respectivamente. (Figura 3).

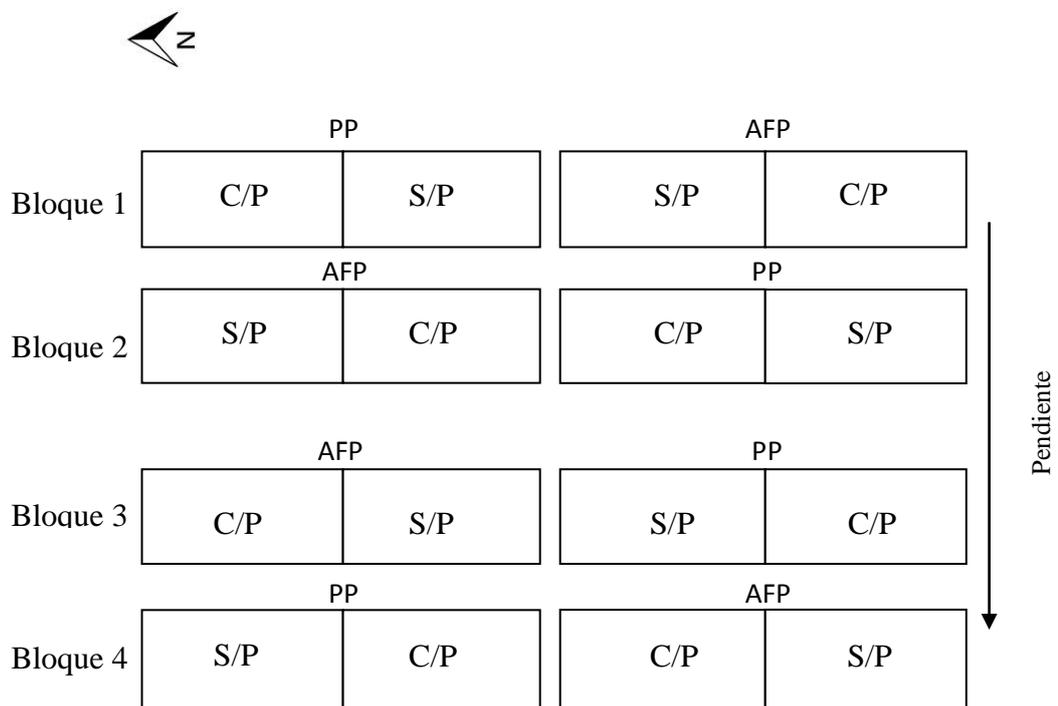


Figura 3: Ubicación de las parcelas en el sitio experimental. AFP: A favor de la pendiente. PP: Perpendicular a la pendiente. S/P: Sin labor de descompactación. C/P: Con labor de descompactación.

2.3 - Preparación del terreno y siembra del cultivo:

La labor mecánica de descompactación subsuperficial se realizó mediante un descompactador alado tipo “paratill”, de fabricación artesanal, utilizando un antiguo chasis de arado cincel, donde van montados los arcos rectos cuyos extremos inferiores poseen una reja alada. La distancia entre timones fue de 40 cm y la profundidad teórica de trabajo de 27 cm, definido a partir de la consideración de la profundidad y espesor de la capa compactada previamente identificada y valorada a través de la resistencia mecánica y que el espaciamiento entre órganos activos, de acuerdo a Godwin *et al.*, (1984) es del orden de 1,4 +/- 25% veces la profundidad de trabajo (Foto 3). Además se acopló un rolo desterrador dispuesto detrás de dicha herramienta con el objetivo de cerrar los surcos originados con las rejas del “paratill”, reacondicionar la superficie del suelo y el rastrojo (Foto 4).



Foto 3: Vista detallada del descompactador alado.



Foto 4: Vista del conjunto descompactador y rolo trabajando.

La condición de consistencia del suelo en la cual se realizó la labor fue en estado friable (14.9% de humedad gravimétrica promedio del perfil cultural), para obtener una adecuada roturación de la densificación subsuperficial, según lo planteado por Cholaky *et al.*, (2010 a) y la dirección fue perpendicular a la pendiente.

En cuanto a la dirección de las líneas de siembra se seleccionaron dos orientaciones en relación a la pendiente principal del área donde se desarrolló la experiencia: una a favor de la pendiente y otra en forma perpendicular a la misma, definidas ambas a partir de la observación del relieve en el terreno con instrumento óptico (nivel de anteojo).

En todos los tratamientos se sembró un cultivo de maíz (*Zea mays L.*) (Nidera AX 878 MG) con sembradora de siembra directa marca Fabimag modelo Multiplanter, neumática, de 16 surcos a 0.525 m entre líneas de siembra (foto 5). El kit de siembra estuvo conformado por dos tubos de bajadas, uno para semillas y otro para la fertilización en la línea, una cuchilla tipo turbo (corta rastrojo), un sistema de doble disco plantador de 16" (abre surco sembrador y fertilizador en la línea de siembra) y posteriormente las dobles ruedas dentadas tapadoras del surco. El control de profundidad de la semilla se realizó a través de una doble rueda niveladora semi-neumática. Se realizó una fertilización fosforada al momento de la siembra a razón de 51 kg/ha y luego en el estadio V6 se realizó una aplicación de fertilizante nitrogenado. El control de malezas durante el barbecho se realizó con 2,4 D y Sulfosato y en pre siembra se aplicó Atrazina y Acetoclor.



Foto 5: Vista de la sembradora de siembra directa utilizada en la experiencia.

2.4 - Variables estudiadas:

2.4.1- En el suelo:

Para caracterizar la morfología del perfil se realizó una descripción según las Normas de Reconocimiento Suelos (Etchevehere, 1978).

En los tratamientos se evaluó:

-Escurrimiento superficial o Lámina escurrida: Los ensayos se realizaron con un microsimulador de lluvias, diseñado por (Iruña y Luque, 2005). El equipo consta de una estructura metálica desmontable portátil, formada por una parcela de hierro (microparcela de medición) de 50 cm x 50 cm, 4 patas de 1,5 m de alto, un soporte acrílico (placa portagoteros, como sistema generador de la lluvia) con una pinza de mhór (para comenzar y detener el proceso) y una llave reguladora de tornillo (para determinar la intensidad de la lluvia simulada), 4 cortinas rompevientos de plástico transparentes para reparar a la lluvia simulada del viento, 2 botellones graduados en mm para cargar agua y alimentar al sistema, 2 recipientes para recibir el escurrimiento también graduados en mm, y un anotador con planillas (Figura 4 y Foto 6).

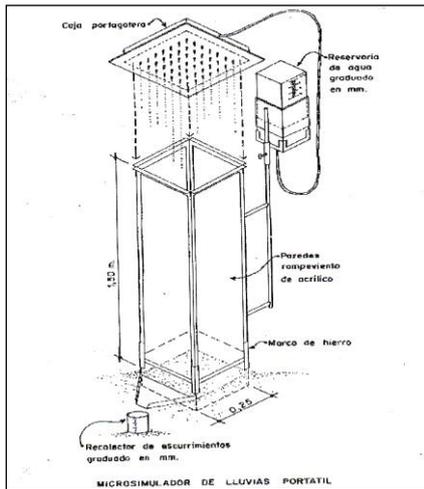


Figura 4: Esquema del microsimulador de lluvia utilizado (Irurtia y Mon, 1994).

Foto 6: Detalle de la placa portagoteros del microsimulador de lluvias.

La instalación del equipo se realizó clavando la microparcela de hierro en el suelo tratando de que copie la pendiente del terreno, es decir que en todos los casos, el embudo de la microparcela fue orientado siguiendo la pendiente y que el suelo no fuera alterado tanto en su estructura interna como en la superficie. La microparcela fue ubicada en sectores que no presentaron huellas visibles debidas al tránsito, abarcando al menos una línea de siembra a favor de la pendiente y perpendicular a la misma, según el tratamiento (Figura 5).

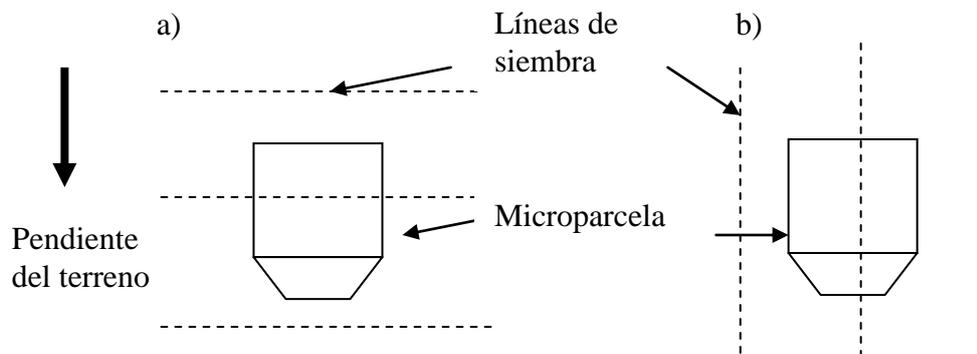


Figura 5: Esquema de la ubicación de la microparcela en relación a las líneas de siembra: a) líneas perpendiculares a la pendiente del terreno y b) líneas a favor de la pendiente del terreno.

Previo al inicio de la experiencia se estableció una intensidad de precipitación de 60 mm/hora, que fue aplicada en todos los tratamientos.

En cuanto a la medición del escurrimiento, las mismas se realizaron, a intervalos de 5 minutos, durante una hora, en forma simultánea con las lecturas de agua llovida. Al finalizar la lluvia se esperaron 5 minutos para tomar la última muestra.

Toda el agua escurrida junto con los sedimentos fue recogida en un recipiente colector colocado en un pozo, aguas abajo, donde desemboca el vertedero de la microparcela del simulador. De este recipiente se realizó la lectura de la lámina escurrida en mm.

-Tiempo de inicio de escurrimiento o Tiempo de encharcamiento: Se registró el momento en que se comenzó a captar agua de escurrimiento en los recipientes graduados. Se expresó en minutos.

-Profundidad del frente de humedecimiento: Una vez finalizado el ensayo con una pala se realizaron cortes en el suelo donde estuvo la parcela metálica para observar y medir hasta que profundidad penetró el agua. Se expresó en cm.

-Humedad inicial: Es una característica influyente en la infiltración del agua de lluvia, para ello se tomó una muestra de suelo de cada una de las parcelas mediante un barreno y se determinó en estufa y por el método gravimétrico el porcentaje de humedad. Se expresó en %.

-Velocidad final de infiltración: La tasa de infiltración se obtuvo por diferencia entre la lámina aplicada y el escurrimiento cada cinco minutos. Se expresó en mm/h.

-Lámina total infiltrada: Ésta se calculó a partir de la diferencia entre lo llovido y lo escurrido. $Infiltración = Lluvia - Escurrimiento$. Se expresó en mm.

-Pérdida de suelo o Carga de sedimentos: El total de agua y sedimentos recolectado en cada evento de lluvia simulada fue llevado al laboratorio, donde se lo dejó decantar, se quitó el sobrenadante y se secó a estufa a 105°C hasta peso constante para posteriormente pesar el sedimento depositado. Los resultados se expresaron en Kg/ha.

-Estimación del coeficiente de escurrimiento (C): mediante la siguiente relación extraída de (Cisneros *et al.*, 2010):

$$C = \left(\frac{lámescurrida}{lámllovida} \right) \times 100$$

Donde:

C= coeficiente de escurrimiento (adimensional)

lámescurrida= lámina escurrida (mm)

lámllovida= lámina llovida (mm)

-Cobertura superficial: mediante el método de la línea transecta (Molloy y Moran, 1991), con dos mediciones por tratamiento y repetición. Se expresó en %.

La experiencia con la simulación de lluvias se llevó a cabo en un momento posterior a la cosecha del cultivo de maíz. Se realizaron dos mediciones al azar, por cada tratamiento 0,625 ha (62,5m x 100m) y repetición 2,5 ha (250m x 100m).

2.4.2- En el cultivo:

-Rendimiento final en granos: se midió la producción total de granos mediante la extracción de tres muestras por cada tratamiento y repetición, en una longitud de 1,92 m considerando que el distanciamiento entre hileras del cultivo fue de 0,52 m (Principi *et al.*, 2005). Los resultados se expresaron en kg/ha. La estimación se realizó mediante la relación propuesta por (Satorre *et al.*, 2003):

$$Rto = (N^{\circ} \text{ granos} / \text{espiga} \times N^{\circ} \text{ espigas} / \text{planta} \times N^{\circ} \text{ plantas} / m^2 \times PG) \times 10$$

Donde:

Rto = rendimiento (kg/ha)

PG = peso unitario medio de grano (g)

2.5 - Análisis estadístico de los resultados:

A los datos obtenidos se les realizó el análisis de la varianza (ANAVA) mediante el programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2009). La comparación de medias se realizó mediante el Test LSD de Fisher, para un nivel de significancia del 5%. Las corridas se presentan en el Anexo II.

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1- Lámina total infiltrada y velocidad de infiltración final:

3.1.1- Lámina total infiltrada:

Según el análisis de la varianza, no se encontró interacción entre la orientación de las líneas de siembra del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial del suelo para la variable lámina total infiltrada (figura 6).

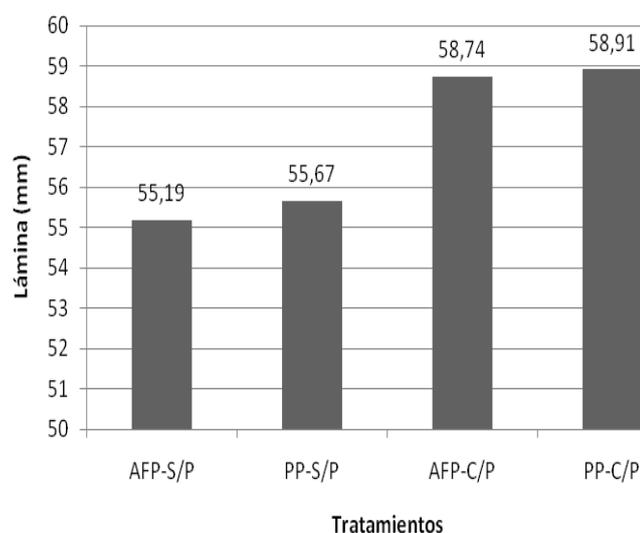


Figura 6: Lámina total infiltrada expresada en milímetros (mm), para cada uno de los tratamientos. AFP-S/P: A favor de la pendiente, sin descompactador. AFP-C/P: A favor de la pendiente, con descompactador. PP-S/P: Perpendicular a la pendiente, sin descompactador. PP-C/P: Perpendicular a la pendiente, con descompactador.

En el análisis de esta variable tampoco hubo efecto individual del factor orientación de las líneas de siembra, pero si lo hubo del sistema de labranza, habiendo diferencias significativas a favor de los tratamientos con descompactación subsuperficial respecto a los que no fueron descompactados (tabla 1).

Tabla 1: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la lámina total infiltrada.

Labor de descompactación	Lámina total infiltrada (mm)
Con descompactador (C/P)	58,83 A
Sin descompactador (S/P)	55,43 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Este comportamiento fue independiente de la humedad gravimétrica inicial que presentaba el suelo al momento de la evaluación, ya que esta variable fue similar para todos los tratamientos (ver apartado 3.1.2.1), coincidiendo con la experiencia realizada por (Guecaimburu, *et al.*, 2008), en un Argiudol típico franco arcillo limoso de la localidad de Azcuénaga, provincia de Buenos Aires, en el que evaluó el efecto de una labor vertical con paratill a 30 cm de profundidad sobre la infiltración, donde la misma fue significativamente mayor en siembra directa con la aplicación de un paratill respecto de la siembra directa continua y cuyo comportamiento se manifestó independientemente de la humedad gravimétrica inicial.

Cabassi *et al.* (2011) trabajando en un Haplustol típico de textura franco arcillosa en la localidad de la Tordilla, provincia de Córdoba, en un lote con 11 años de siembra directa el cual se subdividió en dos parcelas, una a la que se le pasó un descompactador (paratill) a una profundidad de 25 cm y la otra en las condiciones originales del lote. Encontraron que en relación al agua del suelo, si bien no obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos, hubo 10 mm más de acumulación en el tratamiento con paratill (51 mm vs 41 mm).

La orientación de las líneas de siembra no surgieron efecto en el ensayo realizado ya que no se evidenciaron diferencias estadísticas para los niveles (AFP) y (PP). Posiblemente el tamaño de la microparcela cuyas dimensiones son de 50 cm x 50 cm, implicó que en la precipitación simulada sólo se abarcara el efecto de un surco orientado perpendicular a la dirección de la pendiente (figura 5), lo que pudo minimizar el efecto de este factor sobre los procesos hidrológicos de detención y retención producido por los surcos asociados a las líneas de siembra del cultivo y escurrimiento-infiltración.

3.1.1. a- Profundidad del frente de humedecimiento:

No hubo interacción entre la orientación de las líneas de siembra del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la profundidad del frente de humedecimiento, pero si hubo efecto estadísticamente significativo del factor sistema de labranza para sus niveles (C/P) y (S/P) (Tabla 2).

Tabla 2: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la Profundidad del frente de humedecimiento.

Labor de descompactación	Profundidad del frente de humedecimiento (cm)
Con descompactador (C/P)	34,50 A
Sin descompactador (S/P)	23,13 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En los tratamientos sin descompactación el agua infiltrada llegó hasta una profundidad que osciló entre los 20 a 25 cm de profundidad (figura 7), correspondiéndose este valor con la parte superior de la capa compactada. A partir de ésta, aquellos tratamientos en donde se realizó la labor de descompactación, independientemente de la orientación (AFP-C/P) y (PP-C/P), el agua infiltró unos 10 cm más aproximadamente, alcanzando hasta los 35,5 cm y 33,5 cm respectivamente.

La mayor profundidad a la que llegó el agua de lluvia en el suelo descompactado (figura 7), se debió a la ruptura de la capa densificada que se encontraba entre los 20 y 25 cm de profundidad, la que habría generado un incremento de macroporosidad y con ello los poros conductores de agua, ya que según Gil (2001), la conductividad hidráulica saturada (K_s) de un suelo está relacionada a la presencia de macroporos.

El movimiento del agua en suelos estructurados naturalmente es diferente de aquellos suelos homogeneizados artificialmente. La fracción de la porosidad total que contribuye al flujo de agua influye en la profundidad a la que el agua penetra después de la infiltración (Lin *et al.*, 1996).

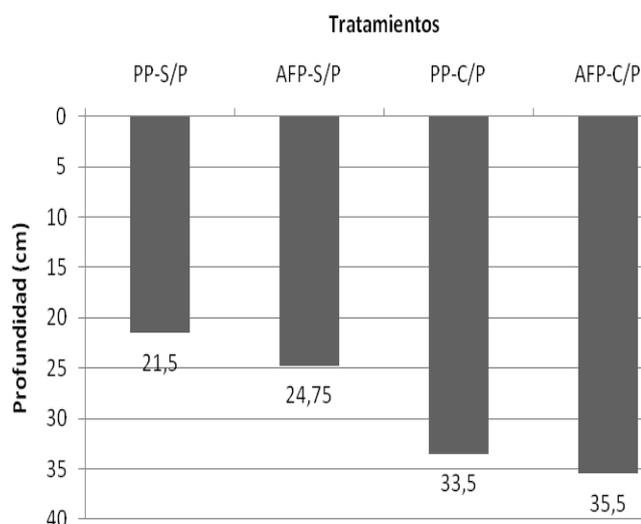


Figura 7: Profundidad del frente de humedecimiento expresado en centímetros (cm), para cada uno de los tratamientos. AFP-S/P: A favor de la pendiente, sin descompactador. AFP-C/P: A favor de la pendiente, con descompactador. PP-S/P: Perpendicular a la pendiente, sin descompactador. PP-C/P: Perpendicular a la pendiente, con descompactador.

La labranza profunda produjo un incremento considerable de la captación del agua de lluvia (Mon *et al.*, 2008 a), mejoró la redistribución en el espesor del perfil al aumentar la profundidad a la que alcanzó la lámina llovida y contribuyó al incremento de la lámina almacenada, como se vio en el apartado anterior.

Vilche *et al.* (2005 a), concluye que el aflojamiento provocado por el escarificador (paratill) favorece al movimiento descendente del agua como flujos preferenciales, disminuyendo la circulación a través de la matriz del suelo, facilitando el desarrollo de los

sistemas radicales, e induciendo a una exploración más temprana de los horizontes subsuperficiales.

Además la compactación incrementa los riesgos de erosión hídrica y de contaminación por los sedimentos arrastrados (Parra *et al.*, 2008). Por lo que, las ventajas que ofrece la realización de este tipo de labores están asociadas no sólo al desarrollo de raíces, movimiento y almacenaje de agua, sino que también a una disminución de los riesgos de erosión, sedimentación, daños en la infraestructura vial, asociados al escurrimiento superficial.

3.1. 2 -Velocidad de infiltración final:

No existió interacción entre orientación de las líneas de siembra y labor de descompactación para la variable velocidad de infiltración final, pero el ANAVA sí indicó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos debidas al sistema de labranza utilizado ($p \leq 0,05$) (tabla 3). No hubo efecto significativo del factor orientación de las líneas de siembra debido a que la orientación ejerce influencia sobre la condición de superficie del suelo y por lo tanto puede afectar los procesos hidrológicos de retención y detención, pero no modifica las condiciones internas del perfil que definen o influyen sobre la tasa de infiltración.

Tabla 3: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la velocidad final de infiltración del suelo.

Labor de descompactación	Velocidad de infiltración final (mm/h)
Con descompactador (C/P)	55,63 A
Sin descompactador (S/P)	37,80 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Las parcelas en las que se realizó la labor con paratill (AFP-C/P y PP-C/P) mostraron una mayor velocidad de infiltración final 55,03 mm/h y 56,55 mm/h, respectivamente, contra 35,92 mm/h y 39,67 mm/h en los tratamientos que no recibieron esta labor (AFP-S/P y PP-S/P), (figura 8).

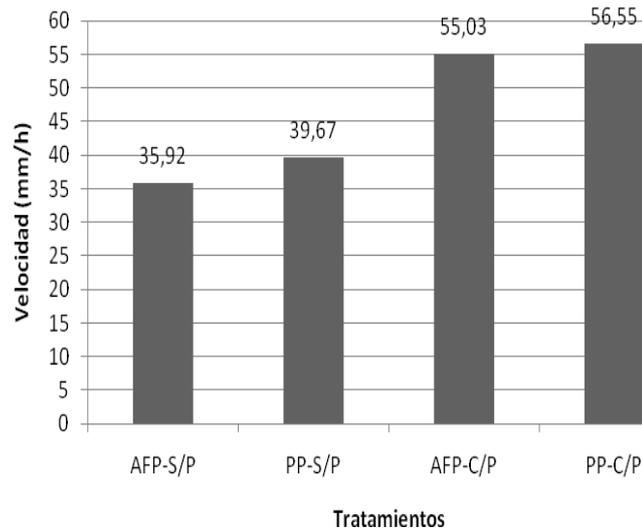


Figura 8: Velocidad de infiltración final en mm/hora, para cada uno de los tratamientos. AFP-S/P: A favor de la pendiente, sin descompactador. AFP-C/P: A favor de la pendiente, con descompactador. PP-S/P: Perpendicular a la pendiente, sin descompactador. PP-C/P: Perpendicular a la pendiente, con descompactador.

La mayor velocidad de infiltración puede explicarse por la macroporosidad producida por efecto de la herramienta. Esto concuerda con lo expuesto por Azevedo (1998) y Ankey (1990), donde sostienen que el laboreo afecta la macroporosidad del suelo y, consecuentemente, la tasa de infiltración, y que ésta depende principalmente del sistema de poros, de su estabilidad y del grado de cobertura del suelo. Similares resultados fueron obtenidos por Mon *et al.* (2008 b), en ensayos de descompactación con subsolador a 35-40 cm de profundidad, en suelos de textura franco limosa de las Series Arroyo Dulce de Salto, Buenos Aires, y Los Cardos de Las Rosas, Santa Fe.

Por su parte, Richmond *et al.* (2009) trabajando en un Hapludol éntico de textura franco arenosa, de la serie Norumbega, provincia de Buenos Aires, evaluaron el efecto de un subsolado hasta 40 cm de profundidad, y encontraron que las mayores tasas de infiltración medias correspondían a estas situaciones, en comparación al testigo sin subsolar. Álvarez *et al.* (2006) evaluaron el efecto de la descompactación en Hapludoles y Argiudoles típicos de la provincia de Bs. As. sobre la velocidad de infiltración y observaron que a la siembra del cultivo de maíz habían diferencias significativas a favor del tratamiento descompactado, respecto al testigo sin descompactar. Sin embargo, este efecto disminuyó marcadamente hacia la cosecha del cultivo, atribuyéndolo a la escasa estabilidad estructural que presentaba la estructura generada por la labor.

Vilche *et al.* (2005 b), en un Argiudol vértico en Zavalla, con 14 años de siembra directa, ensayando 2 tratamientos (siembra directa sin escarificar y siembra directa con escarificado con paratill a una profundidad efectiva de 27 – 30 cm), observaron que la tasa

de infiltración fue significativamente superior en siembra directa con escarificado que en siembra directa sin escarificar. Resultados diferentes fueron obtenidos por Bonel *et al.*, (2002), en un ensayo con y sin labor de escarificador también en un Argiudol vértico en el sur de Santa Fe con diez años de siembra directa, donde la labor de escarificado no produjo diferencias en la tasa de infiltración, atribuyendo este hecho a la escasa modificación de la distribución del espacio sólido y poroso en los primeros centímetros de suelo.

En los tratamientos con labor de descompactación (AFP-C/P) y (PP-C/P), durante la lluvia, la tasa de infiltración se mantuvo constante en aproximadamente 60 mm/h (similar que la intensidad de la lluvia simulada) y recién a partir de los 50 minutos de iniciada la precipitación la curva comenzó a descender (figura 9) para estabilizarse en el valor de velocidad de infiltración final presentado en la figura 8. En los tratamientos sin labor de descompactación (AFP-S/P) y (PP-S/P), la caída en la curva comienza aproximadamente a partir de los 35 minutos de iniciada la precipitación, coincidiendo con el tiempo promedio de encharcamiento (tabla 4), a partir del cual la intensidad de lluvia superó a la velocidad de infiltración.

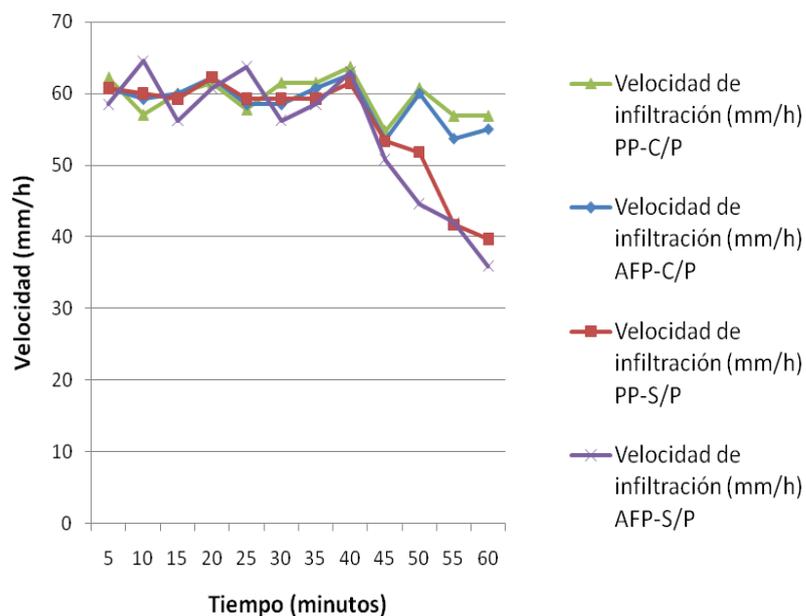


Figura 9: Velocidad de infiltración en mm/hora de los diferentes tratamientos. AFP-S/P: A favor de la pendiente, sin descompactador. AFP-C/P: A favor de la pendiente, con descompactador. PP-S/P: Perpendicular a la pendiente, sin descompactador. PP-C/P: Perpendicular a la pendiente, con descompactador.

Tabla 4: Tiempo de encharcamiento en minutos de cada uno de los tratamientos.

Tratamientos	Tiempo de encharcamiento promedio (min)
PP-C/P	55,37
PP-S/P	44,5
AFP-S/P	43,37
AFP-C/P	41,31

De manera simultánea a la del presente trabajo y en el mismo sitio experimental, Mogadouro (2012) evaluó la Densidad Aparente (DAP) y Gomez Giacomelli (2012) la Resistencia Mecánica (RM). Si bien la DAP medida en el momento de postcosecha no mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, la resistencia mecánica fue significativamente inferior en los tratamientos descompactados respecto a los sin descompactar, durante todo el ciclo del cultivo de maíz, indicando una condición física diferente entre estos tratamientos, lo que pudo influir en el comportamiento de la velocidad de infiltración y de la lámina total infiltrada evaluadas en este trabajo.

Desde el punto de vista de la interpretación de los resultados, el comportamiento de esta variable resulta de interés ya que la operación de subsolado genera aumento en la porosidad y con ello una disminución de la densidad aparente y de la resistencia a la penetración en Argiudoles típicos (Irurtia *et al.*, 2010) y en Hapludoles típicos (Cholaky *et al.*, 2010 b). En igual sentido Aparicio y Costa (2000), obtuvieron un estrecho ajuste ($R^2=0,9427$) en la relación entre densidad aparente y conductividad hidráulica saturada en Argiudoles típicos de Balcarce, Tandil y Miramar.

3.1. 2.1. Análisis de factores edáficos influyentes

Humedad antecedente:

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas debido a la interacción entre orientación de las líneas de siembra y labor de descompactación subsuperficial para esta variable. Tampoco hubo diferencias significativas atribuidas a cada uno de los factores por separados.

El contenido de humedad promedio de los primeros 30 cm de espesor del suelo, se detalla en las tablas 5 y 6.

Tabla 5: Efecto de la orientación de las líneas de siembra sobre la humedad antecedente del suelo (0-30 cm).

Orientación de las líneas de siembra	Humedad antecedente (%)
A favor de la pendiente (AFP)	9,46 A
Perpendicular a la pendiente (PP)	8,51 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Tabla 6: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la humedad antecedente del suelo (0-30 cm).

Labor de descompactación	Humedad antecedente (%)
Sin descompactador (S/P)	9,24 A
Con descompactador (C/P)	8,74 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

La experiencia se realizó con igual contenido hídrico, por lo tanto el factor humedad antecedente, en las condiciones del ensayo, no incidió sobre las variables analizadas. Esto es importante de destacar ya que Echeverría *et al.*, (2002), trabajando en un Ustortent de textura variable entre arenosa franca y franca arenosa, en el Departamento de Caleu-Caleu (SE de la Pcia. de La Pampa), encontró que la condición de humedad antecedente del suelo tuvo un efecto pronunciado, ya que obtuvieron un incremento tanto en el escurrimiento como en la erosión cuando el suelo se encontraba a capacidad de campo, respecto a una condición de suelo con menor contenido hídrico.

3.2 - Lámina escurrida y Coeficiente de escurrimiento:

3.2.1 – Lámina escurrida:

No hubo interacción entre orientación de las líneas de siembra y labor de descompactación subsuperficial para la variable lámina escurrida. Si se encontró efecto significativo del factor labor de descompactación, entre los niveles (C/P) y (S/P), sobre la lámina escurrida. La tabla 7 muestra los valores medios.

Tabla 7: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la lámina escurrida sobre el suelo.

Labor de descompactación	Lámina escurrida (mm)
Sin descompactador (S/P)	4,85 A
Con descompactador (C/P)	0,84 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En la figura 10, se puede apreciar como en todos los tratamientos la lluvia aplicada produjo escurrimiento, independientemente de la orientación de las líneas de siembra del cultivo y la labor de descompactación. Al respecto, Esmoriz y Sereno (2003) trabajando en una micro-cuenca al sur de la ciudad de Córdoba, en un Haplustol típico de textura franco-limosa, bajo monocultivo de soja en labranza convencional y sembrada perpendicular a la pendiente, encontraron que precipitaciones menores a 12 mm no generaron escorrentía, entre 12 y 50 mm la generación de escurrimiento no depende de la precipitación total siendo la humedad antecedente del suelo y las precipitaciones 5 días antes parámetros de importancia

pero en la condición de suelo desnudo, mientras que precipitaciones superiores a 50 mm siempre originaron escurrimientos siendo estas caracterizadas por ser de alta intensidad (62,2 mm/h) y baja frecuencia (tiempo de recurrencia iguales o mayores a 5 años) e independiente del estado del suelo (cubierto - desnudo) encontrando una estrecha relación entre escorrentía y lámina total precipitada ($r^2= 0,84$).

En el ensayo los mayores valores de lámina escurrida corresponden a las situaciones sin descompactación (AFP-S/P) y (PP-S/P), esto indica que la existencia de la capa densificada regula el movimiento del agua en profundidad, haciendo que se sature la parte superior del perfil por encima de la densificación y que con mayor anticipación se alcance el tiempo de encharcamiento y se inicie el escurrimiento, siendo esto más marcado en el tratamiento cuyas líneas de siembra fueron orientadas a favor de la pendiente del terreno.

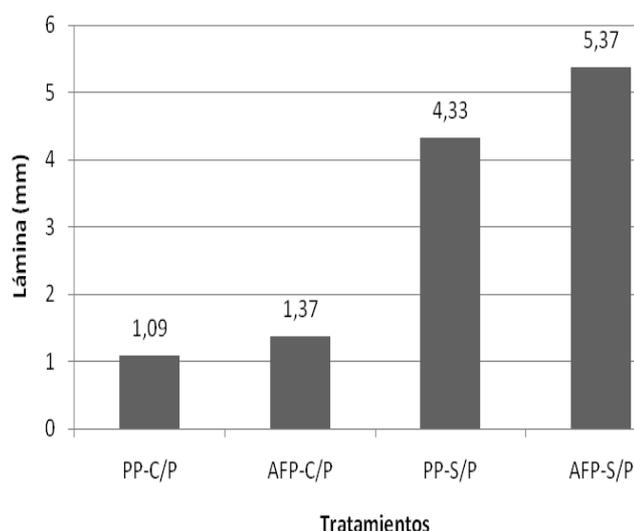


Figura 10: Lámina total escurrida expresada en milímetros (mm), para cada uno de los tratamientos. AFP-S/P: A favor de la pendiente, sin descompactador. AFP-C/P: A favor de la pendiente, con descompactador. PP-S/P: Perpendicular a la pendiente, sin descompactador. PP-C/P: Perpendicular a la pendiente, con descompactador.

A pesar de la escasa magnitud de los valores de lámina escurrida, en aquellos ensayos en que se realizó la labranza vertical del suelo (C/P), la lámina escurrida fue 4 veces menor que en las situaciones sin descompactar (S/P) (Tabla 7). Esto puede atribuirse a una mayor penetración del agua de lluvia en el perfil ya que la labor provocó la fisura de la densificación, permitiendo que la velocidad de infiltración no se vea reducida.

Al analizar la magnitud de los valores de lámina escurrida, es necesario considerar que los mismos corresponden a un solo evento de precipitación, que la intensidad de la lluvia simulada fue moderada (60 mm/h), que el terreno presentaba un gradiente de pendiente del 0,5-0,7%, que la parcela de medición es de 0,5 x 0,5 m, la humedad antecedente (8 - 9% al

momento de la medición, siendo el Punto de Marchitez Permanente promedio de 10,25%), entre otros aspectos.

3.2.1. a-Cobertura superficial:

Todo el ensayo se realizó en similares condiciones de cobertura superficial de rastrojos. El análisis estadístico de los datos recabados no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tablas 8 y 9). Esto es así porque las mediciones de cobertura se realizaron conjuntamente con la simulación de la lluvia y como ésta se realizó posterior a la cosecha del cultivo, el suelo estaba cubierto en forma homogénea por el rastrojo (fotos 7 y 8).



Foto 7: Post cosecha del cultivo de maíz.



Foto 8: Cobertura de rastrojos dentro de la parcela del microsimulador.

En el ensayo no existió formación de un sello o costra superficial debido al impacto de las gotas de lluvia simulada, que impidiera la infiltración del agua y por ende que aumentara el escurrimiento superficial y la carga de sedimentos de ese escurrimiento. Este comportamiento pudo deberse al efecto protector de los rastrojos en superficie (Paredes y Dalurzo, 2008). Si bien en la experiencia no se utilizó un testigo sin cobertura de rastrojos para la comparación de las variables antes mencionadas, existen trabajos como el de Denoia y Montico (2002), en un Argiudol típico de la serie Casilda, en el que los valores de escurrimiento generados siempre fueron mayores en las parcelas sin cobertura de rastrojos, por un rápido desarrollo de sellos ante la ausencia del efecto protector de la cobertura frente la energía cinética de la lluvia. Ambos autores también atribuyen a la cobertura superficial el atraso del momento de inicio del escurrimiento superficial. Como en este ensayo la cobertura superficial se consideró una constante, el tiempo en que comenzó el escurrimiento en superficie se atribuyó a otras variables como se discutirá en párrafos posteriores.

Los resultados obtenidos fueron coincidente con lo planteado por Becker *et al.*, (2008) en cuanto a que la cobertura vegetal actuó como un agente protector del suelo, disminuyendo el impacto de la gota de lluvia y favoreciendo una mayor infiltración y con ello un menor escurrimiento y pérdida de suelo. En igual sentido, de acuerdo a Díaz *et al.*, (2010), la magnitud de la cobertura que presentaba el terreno, pudo minimizar el efecto de la energía cinética de las gotas de lluvias y por lo tanto disminuir la erosión hídrica laminar si se considera que esta está directamente relacionada con el impacto de las gotas de lluvia cuyo efecto en la erosión es mayor que el producido por la energía cinética del escurrimiento superficial.

Tabla 8: Efecto de la orientación de las líneas de siembra sobre la cobertura superficial del suelo.

Orientación de las líneas de siembra	Cobertura superficial (%)
A favor de la pendiente (AFP)	76,88 A
Perpendicular a la pendiente (PP)	76,44 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Tabla 9: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la cobertura superficial del suelo.

Labor de descompactación	Cobertura superficial (%)
Sin descompactador (S/P)	78,13 A
Con descompactador (C/P)	75,19 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

3.2.1. b-Tiempo de inicio del escurrimiento:

No existió interacción entre la combinación de los factores orientación de las líneas de siembra y labor de descompactación subsuperficial, para la variable tiempo de inicio del escurrimiento. A diferencia de las demás variables del ensayo, aquí la orientación de las líneas de siembra del cultivo si mostraron diferencias estadísticamente significativas para los niveles: (AFP) en relación a (PP). Los valores medios se muestran en la tabla 10.

El tiempo que tardó en comenzar a escurrir el agua fue mayor en el nivel (PP) del factor orientación de las líneas de siembra, pudiéndolo asociar a la rugosidad generada por los tallos del cultivo cosechado que se orientaban perpendicular a la pendiente, condición que aumentó el agua retenida y detenida, la lámina infiltrada y atrasó el tiempo de inicio del escurrimiento.

De acuerdo a los resultados obtenidos se podría sostener que el inicio del escurrimiento superficial estaría relacionado con las características de la superficie más que con las condiciones de permeabilidad internas del suelo ya que no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos de labranza para esta variable.

Tabla 10: Efecto de la orientación de las líneas de siembra sobre el tiempo de inicio del escurrimiento.

Orientación de las líneas de siembra	Tiempo de inicio del escurrimiento (min)
A favor de la pendiente (AFP)	42,34 B
Perpendicular a la pendiente (PP)	49,94 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

3.2. 2 – Coeficiente de escurrimiento:

El coeficiente de escurrimiento fue diferente entre los tratamientos. El factor que afectó mayormente a este coeficiente fue la labor de descompactación, con un valor promedio de 1,35%, es decir que de lo que llovió, el 1, 35% escurrió, mientras que en los tratamientos sin descompactación el coeficiente promedio fue de 8,04%. También dentro del factor orientación de las líneas de siembra, se observó una variación del coeficiente C, siendo menor en las situaciones con siembra perpendicular a la pendiente que en aquellas a favor de la misma (tabla 11).

El testigo (AFP-S/P) fue el que tuvo el mayor valor de (C) como era de esperarse, por no haber alterado en el ensayo ninguna de sus principales características. En orden decreciente fue seguido por (PP-S/P) con 7,13%, en donde la disminución de (C) pudo deberse al efecto de rugosidad superficial generada por los surcos orientados perpendiculares a la pendiente principal, limitando el escurrimiento del agua en superficie. En tercer lugar, con 2,27% se ubicó el ensayo (AFP-C/P), pudiendo atribuir esta reducción tan marcada de (C) en comparación de los valores anteriores, al efecto de la labor de descompactación, ya que al promover la infiltración, hubo menor cantidad de agua disponible en superficie para generar altos valores de escurrimiento. En cuarto lugar se ubicó (PP-C/P) con (C) 0,44%, pudiéndolo atribuir a la influencia en forma conjunta de la orientación perpendicular de las líneas del cultivo, y el efecto de descompactación con el subsolador alado.

Tabla 11: Coeficiente de escurrimiento en % de cada uno de los tratamientos.

Tratamientos	Coeficiente de escurrimiento (%)
AFP-S/P	8,94 %
PP-S/P	7,13 %
AFP-C/P	2,27 %
PP-C/P	0,44 %

3.3 - Pérdida de suelo:

El análisis estadístico mostró que para la variable carga de sedimentos tampoco existió interacción entre orientación y labor de descompactación, aunque las diferencias fueron significativas cuando se analizó por separado la labor de descompactación en sus dos niveles (Tabla 12).

Tabla 12: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre la Carga de sedimentos del escurrimiento acumulado.

Labor de descompactación	Carga de sedimentos (Kg/ha)
Sin descompactador (S/P)	45,58 A
Con descompactador (C/P)	10,58 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

La figura 11 muestra que la mayor carga de sedimentos (55,5 Kg/ha) se corresponde con el testigo (AFP-S/P), seguido por el tratamiento (PP-S/P) con (35,55 Kg/ha), lo que estaría indicando que existiría una relación entre la lámina total escurrida y la carga de sedimentos de esa lámina, ya que en ambos tratamientos las láminas escurridas fueron las mayores de la experiencia: 5,37 y 4,33 mm, respectivamente como lo indica la figura 10. Sin embargo, el coeficiente de correlación de la ecuación de ajuste entre ambas variables fue del 55%, indicando que no sólo el volumen escurrido explica la pérdida de suelo (figura 12), sino que otras variables como intensidad de la precipitación, contenido de humedad del suelo al momento de llover, gradiente y longitud de la pendiente, estabilidad de la estructura, contenido de materia orgánica, cobertura superficial, entre otras, también definen la magnitud de la pérdida de suelo por erosión. Los menores valores de pérdida de suelo (14,05 Kg/ha) y (7,1 Kg/ha), se presentaron en aquellos tratamientos en donde se realizó la labor de descompactación.

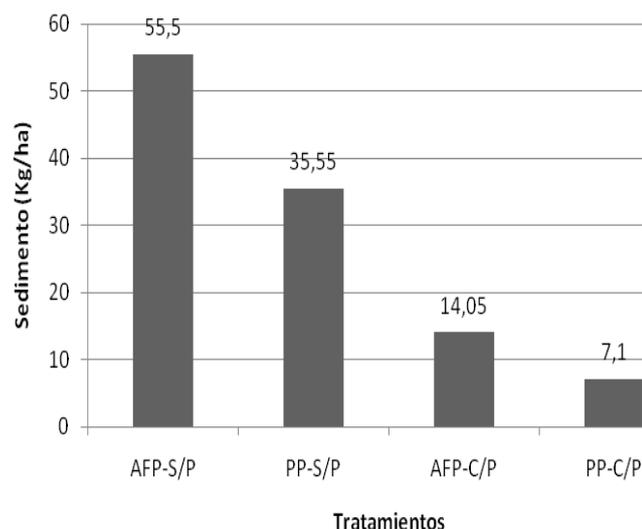


Figura 11: Carga de sedimentos en Kg/ha para los diferentes tratamientos. AFP-S/P: A favor de la pendiente, sin descompactador. AFP-C/P: A favor de la pendiente, con descompactador. PP-S/P: Perpendicular a la pendiente, sin descompactador. PP-C/P: Perpendicular a la pendiente, con descompactador.

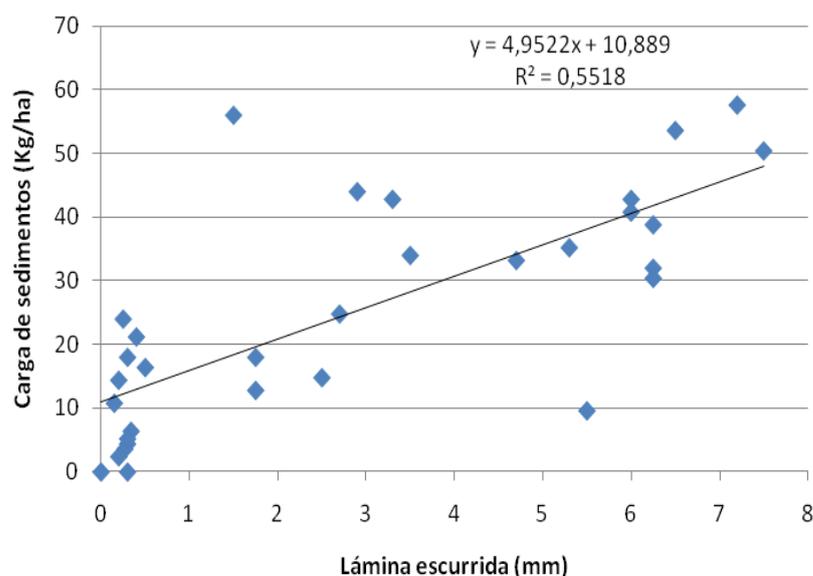


Figura 12: Relación entre Carga de sedimentos en (Kg/ha) y Lámina escurrida (mm).

Al analizar el factor orientación de las líneas de siembra del cultivo, (aunque no presentan diferencias significativas), tanto para la situación con descompactación como para la que no recibió esta labor, se evidenció un menor escurrimiento y carga de sedimentos en los tratamientos con orientación perpendicular a la pendiente, esto debido a la retención y detención generada al paso de agua en escorrentía por los tallos en pie del cultivo, propiciando más tiempo para que ese agua infiltre y los sedimentos en suspensión decanten.

Echeverría *et al.* (2004) simulando lluvias en la Alta Cuenca del Río Grande, provincia de Bs. As., sobre campos naturales pastoreados, con una cobertura del 60 % y esos

mismos campos en barbechos laboreados con arado de disco (barbecho desnudo con 9% de cobertura), reportaron para el primer caso pérdidas de suelo entre 424 y 505 Kg/ha para dos lluvias consecutivas, respectivamente, mientras que para los campos en barbecho los valores fueron de 1055 y 2757 Kg/ha, respectivamente.

Esta degradación del suelo producida por la erosión incide sobre la materia orgánica y los nutrientes, conllevando a un empobrecimiento de la fertilidad de la cuenca y potencial carencia e indisponibilidad de los mismos. Al respecto Becker *et al.* (2010) trabajando al suroeste de la ciudad de Rio Cuarto en un Hapludol típico registraron en todos los eventos de precipitación evaluados sedimentos erodados y fósforo disponible en los mismos.

En la foto 9 se puede apreciar la recolección de la lámina escurrida más la carga de sedimentos.



Foto 9: Vista frontal del embudo del microsimulador y del recipiente colector graduado en momentos donde está recibiendo escurrimiento (agua + sedimentos).

Si bien los valores obtenidos de lámina escurrida y carga de sedimentos expuestos en este trabajo parecieran ser pequeños y/o insignificantes, los mismos se corresponden sólo a un evento en particular con las características simuladas. Estos valores seguramente se modificarán al considerar la totalidad de eventos ocurridos durante el período que comprende el ciclo del cultivo. Por ejemplo, al realizar una estimación sencilla, en el presente trabajo durante el período comprendido en el ciclo del cultivo sembrado, ocurrieron alrededor de 30 eventos de precipitación (figura 1); asumiendo que cada uno presentó características similares a la lluvia simulada (lámina total llovida 60 mm, intensidad de 60 mm.h⁻¹), y tomando como condición inicial de suelo aquella sin intervención (AFP-S/P) en donde la pérdida promedio de sedimentos fue de 55, 5 kg ha⁻¹, se obtiene como resultado que

se perderían 1,665 t de suelo. ha⁻¹ .ciclo del cultivo⁻¹. De acuerdo a este cálculo, es posible estimar que para las condiciones de densidad aparente del suelo bajo estudio (1,56 t m⁻³ de 0-21 cm de profundidad), esta pérdida de suelo correspondería a un espesor de 0,1 mm de suelo superficial por ciclo de cultivo, según el siguiente cálculo:

$$Peso = Ee \times 10000m^2 \times DAP \quad (1)$$

Despejando de (1)

$$Ee = \frac{peso}{10000m^2 \times DAP}$$

Donde:

peso = Peso del suelo (t ha⁻¹) (1,665 t ha⁻¹)

Ee = espesor de suelo erosionado durante el ciclo del cultivo (mm)

DAP = densidad aparente (t.m⁻³) (1,56 t.m⁻³)

Este valor se encuentra por debajo de los límites de tolerancia de pérdida de suelo que propone Gaspari (2007), quien plantea pérdidas de suelos tolerables para las zonas de cultivos en suelos fértiles y profundos, de 0,5 mm (medio milímetro) del perfil edáfico superior por año. Esto puede atribuirse a que en la estimación realizada en este trabajo, se consideró una DAP elevada y uniforme en todo el espesor del horizonte superficial y por otro lado sólo se consideraron los eventos ocurridos durante el ciclo de un cultivo.

3.4 - Rendimiento del cultivo:

El análisis no mostró interacción entre orientación de las líneas de siembra y labor de descompactación subsuperficial, para la variable rendimiento del cultivo. Cuando se analizaron ambos factores por separados, la labor de descompactación presentó diferencias estadísticamente significativas (tabla 13).

Tabla 13: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre el rendimiento del cultivo.

Labor de descompactación	Rendimiento del cultivo (qq/ha)
Con descompactador (C/P)	73,25 A
Sin descompactador (S/P)	63,21 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Tomando como referencia el rendimiento obtenido en la situación descompactada, la diferencia con respecto a la situación sin descompactar fue de aproximadamente el 14% (tabla 14).

Tabla 14: Efecto de la labor de descompactación subsuperficial sobre el rendimiento relativo del cultivo.

Labor de descompactación	Rendimiento relativo (%)
Con descompactador (C/P)	100%
Sin descompactador (S/P)	86,3%
Diferencia	13,7%

Tras realizar la estimación del rendimiento en cada uno de los tratamientos, se observó que los mayores valores medios se presentaron en las situaciones con labor de descompactación subsuperficial en relación a las parcelas no descompactadas (figura 13).

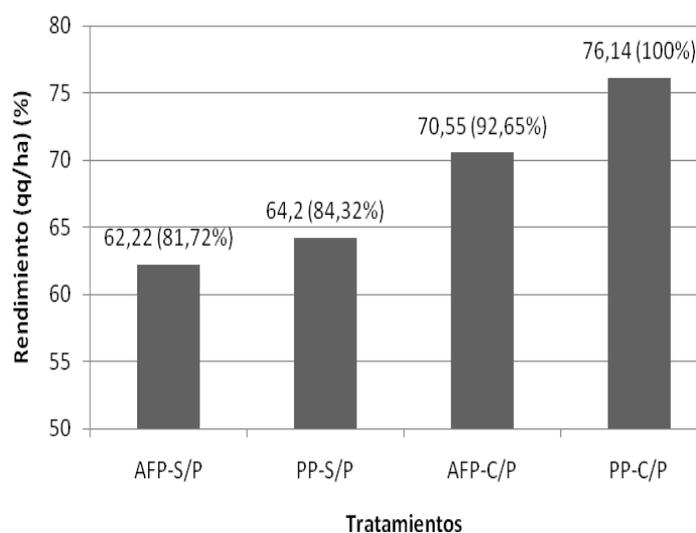


Figura 13: Rendimiento promedio en qq/ha de los diferentes tratamientos. Entre paréntesis valores relativos. AFP-S/P: A favor de la pendiente, sin descompactador. AFP-C/P: A favor de la pendiente, con descompactador. PP-S/P: Perpendicular a la pendiente, sin descompactador. PP-C/P: Perpendicular a la pendiente, con descompactador.

La mayor diferencia se presenta entre los tratamientos con labor de descompactación y orientación de las líneas de siembra perpendicular a la pendiente, en relación a los no descompactados y con el cultivo sembrado siguiendo la pendiente general del lote (PP-C/P vs AFP-S/P), esta diferencia, que es en favor de los primeros, fue de unos 14 qq/ha, es decir un 20% más de rendimiento aproximadamente.

Similares resultados fueron obtenidos por Álvarez *et al.*, (2010 b), en distintas localidades de la Pampa Ondulada durante tres campañas consecutivas trabajando con dos tratamientos: testigo (T) y descompactado (D), donde la descompactación aumentó los rendimientos de maíz pero con solo moderada respuesta del cultivo (754 Kg/ha o 6% expresado en términos relativos).

De acuerdo a Álvarez *et al.*, (2010 c), este incremento en el rendimiento de maíz pudo deberse a una mayor disponibilidad hídrica, consecuencia de una mayor infiltración y mayor accesibilidad a los recursos (e. g. agua, nutrientes) en los suelos descompactados con menor resistencia a la penetración. En este sentido Senigaliesi y Ferrari, (1993) sugieren que el empleo de herramientas que promuevan el laboreo vertical profundo, como el cincel, pueden mejorar la distribución de raíces y la extracción de nutrientes y agua a diferentes profundidades.

Por su parte, Taboada *et al.* (2006), también trabajando en varios sitios sometidos a descompactación en la Pampa Ondulada, en un año húmedo, encontró mayor infiltración y en algunos casos mayor crecimiento radicular en el cultivo de maíz, aunque sin hallar efectos en los rendimientos.

Gabioud *et al.* (2011) trabajando sobre un Argiudol ácuico de la EEA Paraná del INTA, encontraron que el rendimiento de soja se correlacionó de manera lineal y negativa con la DAP ($R^2=-0,501$) y la RM ($R^2=-0,475$), con valores máximos que rondaron los 1,52 g/cm³ y 2,58 MPa para DAP y RM, respectivamente. Lo que estarían indicando dichos valores es que el crecimiento radicular podría verse comprometido a partir de una RM igual o superior a 2 MPa (Brusscher *et al.*, 2000).

En relación a la pérdida de suelo, podría sostenerse que el menor rendimiento obtenido en las parcelas sin descompactación y sembradas a favor de la pendiente, podría tener alguna relación con la pérdida de suelo observada en la capa superficial ya que según Gvozdenovich y Paparotti (2011), trabajando en los departamentos de Diamante y Victoria en la provincia de Entre Ríos en Argiudoles ácuicos y ácuicos vérticos concluyeron que hay pérdidas de producción en soja de segunda debido a la degradación de suelos por erosión hídrica, y que esta pérdida es de 66 Kg/ha de soja por cada centímetro de suelo perdido. Por su parte Weir (1995), trabajando en parcelas de escurrimiento, también en suelos Argiudoles, encontró disminuciones en los rendimientos de trigo entre 121 y 62,8 Kg/ha por cm de suelo perdido y de 30 a 47,5 Kg/ha en soja por cm de suelo perdido.

La orientación (PP) en las líneas de siembra, presentó aproximadamente 6% más de rendimiento en grano que (AFP). Sin embargo, estas diferencias no alcanzaron para ser estadísticamente significativas (Tabla 15). Las diferencias en el rendimiento relativo se detallan en la tabla 16.

Tabla 15: Efecto de la orientación de las líneas de siembra sobre el rendimiento del cultivo.

Orientación de las líneas de siembra	Rendimiento del cultivo (qq/ha)
A favor de la pendiente (AFP)	66,39 A
Perpendicular a la pendiente (PP)	70,17 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Tabla 16: Efecto de la orientación de las líneas de siembra sobre el rendimiento relativo del cultivo.

Orientación de las líneas de siembra	Rendimiento del cultivo (%)
Perpendicular a la pendiente (PP)	100%
A favor de la pendiente (AFP)	94,61%
Diferencia	5,39%

Este incremento que se presenta en (PP) ya sea (S/P) o (C/P), puede explicarse por la mayor acumulación de agua en el perfil debido a la retención y detención ocasionadas por la rugosidad superficial generada por los tallos de las plantas del propio cultivo y posterior infiltración del agua para el aprovechamiento de las raíces. De éste modo aquellos ensayos sembrados con orientación perpendicular a la pendiente, dispusieron de mayor contenido hídrico durante todo el ciclo del cultivo lo que pudo verse reflejado en el mayor rendimiento comparado con los ensayos sembrados a favor de la pendiente en donde el agua de lluvia que no tuvo la posibilidad de infiltrar escurrió por la superficie del terreno hacia otro sector del lote e incluso fuera de este, quedando esta agua excluida de producir grano. En este sentido Colombo, (2011) obtuvo una diferencia del 30 % en el rendimiento de maíz a favor del cultivo sembrado en curvas a nivel, respecto al sembrado a favor de la pendiente.

Cabe aclarar que si bien la cantidad de precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo fue elevada (569 mm), los rendimientos en los tratamientos fueron inferiores a los rindes normales de la zona en años con abundantes precipitaciones, ello se debió a que gran parte de esos 569 mm, precipitaron luego del periodo crítico para la definición del rendimiento por parte del cultivo (V13 – R3).

CAPITULO 4

CONCLUSIONES

La incorporación de una labor de descompactación en un planteo de siembra directa continua en un Haplustol údico, incrementa la lámina total infiltrada y disminuye el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo, respecto de la situación sin descompactar.

La orientación perpendicular de las líneas de siembra aumenta el tiempo de inicio del escurrimiento, respecto a la orientación de siembra a favor de la pendiente.

La inclusión de una labor de descompactación en un Haplustol údico, incrementa el rendimiento de un cultivo de maíz en un 13,7 % respecto al planteo de siembra directa continua.

La siembra cortando la dirección de la pendiente produce un incremento extra del rendimiento de maíz del 6%, aunque su efecto no es significativo desde el punto de vista estadístico.

Aunque desde el punto de vista estadístico no hubo interacción entre labranza y dirección de las líneas de siembra, cuando se combina la técnica de descompactación con la orientación de la siembra de manera perpendicular a la dirección de la pendiente el rendimiento de maíz se incrementa en un 6 %, respecto a la siembra a favor de la pendiente.

CAPITULO 5

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en esta experiencia se plantean las siguientes líneas futuras de investigación y extensión:

Estudiar las posibilidades de adopción combinada de técnicas de manejo del suelo y del relieve por parte de los productores de la región y otras regiones que presenten problemas de erosión hídrica.

Es fundamental evaluar costos de labor, frecuencia de realización a partir del monitoreo de la persistencia de sus efectos.

Difundir la importancia de la combinación de estas técnicas, por su impacto en la economía del agua, en el proceso de pérdida de suelo y en el rendimiento de los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

ALBERTS, E. E., W. C. MOLDENHAUER. 1981 Nitrogen and phosphorus transported by eroded soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (45): 391-396.

ÁLVAREZ C. R., M. TORRES DUGGAN, E. CHAMORRO, D. D'AMBROSIO y M. A. TABOADA. 2008 Efecto de la descompactación sobre algunas propiedades edáficas y el rendimiento de maíz en planteos de siembra directa. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. San Luis, Argentina.

ÁLVAREZ C. F., M. GUTIERREZ BOEM, P. TABOADA, P. PRYSTUPA, J. OCAMPO. 2004 Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. Pp. 238. **Actas XIX. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

ÁLVAREZ C. R., M. A., TABOADA, C. BUSTINGORRI, M. GUTIERREZ BOEM, F. HERNAN. 2006 **Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz**.

ÁLVAREZ C. R., M. A., TABOADA, M. TORRES DUGGAN, C. BUSTINGORRI, E. CHAMORRO. 2010 Uso de descompactadores en planteos de siembra directa en la pampa ondulada: efecto sobre el suelo y el cultivo de maíz. **Actas XXII. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario, Santa Fe, Argentina.

ANKEY, M. 1990. **Characterization of Tillage and Traffic Effects on Unconfined Infiltration Measurements**. *Soil sci soc am j* 54:837 – 840.

AOKI, A. M., P. CAMPITELLI, O. GUDELJ, C. I. VETORELLO, G. ESMORIZ Y R. SERENO 2008 Efectos de diferentes sistemas de cultivos y labranzas sobre propiedades indicadoras de calidad de suelo. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. San Luis, Argentina.

APARICIO, V. C. y J. L., COSTA. 2000 Efecto de labranzas en las propiedades hidráulicas de suelos del sudeste bonaerense usando infiltrómetros de tensión. **Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata; Argentina.

AZEVEDO, A. 1998 **Effect of cultivation on hydraulic properties of an Iowa soil using tension infiltrometers**. Soil Science, Vol 163 nro. 1

BALBUENA, R. H., BOTTA G. F. y E.R.D. RIVERO 2009 Herramientas de labranza para la descompactación del suelo agrícola. Orientación Gráfica Editora S.R.L. Buenos Aires, Argentina: 205.

BECKER A., N. BOSCHETTI, P. PARRA, C. QUINTERO, J. BEDANO, M. CANTÚ. 2010 Cuantificación del fósforo en sedimentos producidos por erosión hídrica en diferentes manejos en siembra directa. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario; Argentina.

BECKER, A. R., N. G. BOSCHETTI, M. P. CANTÚ; B. J. PARRA, C. E. QUINTERO. 2008 **Pérdida de carbono orgánico y fósforo por erosión hídrica bajo diferentes sistemas de manejo de suelos**. CD XXI CASC 6 pp.

BECKER, A. R., J. I. OSSANA, M. P. CANTÚ, T. B. MUSSO 2002 La erosión laminar en relación a la degradación de los suelos en el suroeste de la provincia de Córdoba. **XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo CD 6 pp.**

BECKER, A. R., M. P. CANTÚ, J. I. OSSANA, M. GRUMELLI 2002 **El escurrimiento y las pérdidas de suelos por erosión hídrica laminar bajo diferentes sistemas de labranza, en la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba**. XIX Congreso Nacional del Agua CD 10 páginas.

BEHEMER, S. N. A. P., DI PRINZIO, J. A. IRISARRI, G. L., STRIEBECK. 2004 Compactación inducida por tráfico en huertos frutales. Efecto del estado de humedad del suelo. **XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná; Argentina.

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

BONEL B., J. DENOIA, M. COSTANZO, G. GIUBILEO. 2002 Evaluación de la labor de escarificado en siembra directa. **XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Puerto Madryn; Argentina.

BRICCHI, E., E. BONADEO, J. CISNEROS, J. MARCOS, V. REBOYRAS, W. HULSKEN. 1996 Efecto de las labranzas sobre el perfil cultural y la distribución de las raíces de maní, en un Haplustol Típico de Córdoba. Actas del **XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Santa Rosa- La Pampa-Argentina. Págs. 197-198.

BRUSSCHER W. I., I.R. FREDERICK y P. I. BANER. 2000 **Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield**. Soil Sci. Soc. Am. J. 64 (3): 999-1003.

BUJAN, A., O. J. SANTANATOGLIA, C. I. CHAGAS, M. MASSOBRIO, M. CASTIGLIONI, M. YAÑES, H. CIALLELLA, J. FERNANDEZ. 2003 La técnica del 137 Cs aplicada al estudio de la erosión de suelos. Estudio de una transecta en una subcuenca en la Pampa Ondulada. CD, Actas, **28° Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. (AATN)**, 3 al 8 de noviembre de 1999. Bariloche, Argentina.

CABASSI, F., M. TOMLLENOVICH., B. ROSAS., G. ESMORIZ., C.I. VETTORELLO. 2011 Variación de parámetros físicos edáficos ante la aplicación de un implemento. **XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII Congreso argentino de la ciencia del suelo**. Mar del Plata, Argentina.

CAMPITELLI P., A. AOKI, O. GUDELJ, A. RUBENACKER, M. PASQUERO y R. SERENO 2008 Evaluación del efecto de uso y practicas agrícolas sobre indicadores de calidad de suelo mediante el análisis de componentes principales. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. San Luís; Argentina.

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

CANTERO, A.; CANTÚ M.; CISNEROS J. M.; CANTERO J.; BLARASIN M.; DEGIOANNI A.; GONZALEZ J.; BECERRA V.; GIL H.; De PRADA J.; DEGIOVANNI S.; CHOLAKY C.; VILLEGAS M.; CABRERA , A. y E. CARLOS 1998 **Las Tierras y Aguas del Sur de Córdoba**. Propuestas para un manejo sustentable. UNRC, Argentina.

CANTÚ, M. P. 1992 Holoceno de la Provincia de Córdoba. **Manual: Holoceno de la Republica Argentina**. Tomo I. Ed. Doctor Martín Iriondo. Simposio Internacional sobre el holoceno en América del sur. Paraná, Argentina.

CHAGAS, C. I., H. J. MARELLI, M. C. GROTTOLA, E. A. RIENZI 1997 Influencia del uso de la tierra sobre la erosión entre surcos en un Argiudol típico de la Argentina. Rev. de la Facultad de Agronomía, UBA, 17: 333-340.

CHOLAKY, C., J. CISNEROS, R. BALBUENA. 2002 Descompactación del suelo del área núcleo manisera de Córdoba con subsolador alado, en función de la humedad y compactación antecedente. **XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Puerto Madryn; Argentina.

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

CISNEROS, J., CANTERO, A., REYNERO, M., CHOLAKY, C. Y J. GONZALEZ. 2010 Manejo de áreas sujetas a erosión hídrica. Impreso en CEIA—FAV—UNRC, Río cuarto, Argentina. 116 p.

CISNEROS, J.M., A. CANTERO, J. MARCOS, A. DEGIOANNI, E. BRICCHI, O. GIAYETTO, C. CHOLAKY, E. BONADEO, G. CERIONI, M. UBERTO. 1998 Comportamiento de un subsolador alado, adaptable a implementos de uso común. En: Balbuena R.H., Benez, S.H. y Jorajuria, D. (Eds) Ingeniería Rural y Mecanización Agrícola en el ámbito latinoamericano. Editorial de la UNLP, 128-136.

COLOMBO G. 2011 **Rendimiento de maíz sembrado en curvas de nivel en función del contenido hídrico edáfico**. Trabajo Final de graduación. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. 77p.

DENOIA, J. y S. MONTICO. 2002 Estudio del escurrimiento superficial y la producción de sedimentos en suelos con diferentes grados de erosión hídrica. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario; Argentina.

DÍAZ, C. G., R. OSINAGA, J. ARZENO. 2010 Cobertura, planchado y erosión activa como indicadores físicos de calidad de suelos en parcelas de largo plazo. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario, Argentina.

DÍAZ ZORITA, M. 2000 Efecto de la descompactación del suelo en diferentes posiciones del relieve en condiciones de sequía. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario, Argentina.

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

DOMINGUEZ. G. F., G. A. STUDDERT, H. E. ECHEVERRIA, F. H. ANDRADE 2001 **Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada de maíz**. Ciencia del suelo. 19: 47-56.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B, 1994 Defining and assessing soil quality. En: Defining soil quality for a sustainable environment. Doran J. W., Coleman D. C., Bezdick D. F. y Stewart B. A. (eds.). Soil Sci. Soc Am., Madison, WI, pp. 3-21.

DUNNET, T., W.E. DIETRICH, M. J. BRUNENGO. 1980 Simple, Portable Equipment for Erosion Experiments Under Artificial Rainfall. Journal of Agricultural Engineering Research. Vol. 25: 161-168.

En: www.editorial.unca.edu.ar/...CIZAS/.../3.pág.41-52.RIBERA.pdf. Consultado: 07-12-2010.

ECHEVERRÍA. N. E., J. C. SILENZI, A. G. VALLEJOS, J. C. LOBARTINI, M. P. DE LUCÍA 2004 Esgurrimiento y erosión de un suelo de la alta cuenca del Río sauce Grande con diferentes manejos. **XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná; Argentina.

ECHEVERRÍA. N. E., J. C. SILENZI, A. G. VALLEJOS, J. C. LOBARTINI. 2002 Esgurrimiento y erosión en sitios con diferente disturbio en el sur del caldenal. **XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Puerto Madryn; Argentina.

ERBACH, D. C., R. M. CRUCE, T. M. CROSBIE, D. R. TIMMONS, T. C. KASPAR, K. N. POTTER. 1986 Maize responsible to tillage-induce soil conditions. Trans. ASAE 29:690-695.

ESMORIZ, G. F., y R. SERENO. 2003 Caracterización de la escorrentía superficial en una microcuenca rural de la región central de Córdoba. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario; Argentina.

ETCHEVEHERE P. H. 1978 **Normas de reconocimiento de suelos**. Segunda edición actualizada, Castelar, Buenos Aires.

GABIOUD, E. A.; M. G. WILSON.; S. ALBARENQUE.; A. KEMERER.; R. MELCHIORI.; M. C. SASAL.; C. PIOTO. 2011 Variabilidad espacial de la RMP y la DAP de un Molisol en siembra directa y su relación con el rendimiento de soja. **XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII Congreso argentino de la ciencia del suelo**. Mar del Plata, Argentina.

GALANTINI, J.A., A. M. MIGLIERINA, R.A. ROSELL, J.O. IGLESIAS, M.R. LANDRISCINI. 1996 Distribución de CO y Nt en fracciones granulométricas de un Hapludol bajo dos sistemas de labranza. **XV Congreso Argentino de la Ciencia del suelo**. Santa Rosa 19 al 24 de mayo, pág. 57-58.

GASPARI, F.J. 2007 **Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas utilizando sistema de información geográfica (S.I.G.)**. Maestría en Conservación y Gestión del Medio Natural. Universidad Internacional de Andalucía sede Iberoamericana Santa María de la Rábida.

En: http://www.unia.es/component/com_booklibrary/.../0031_gaspari.pdf consultado: 18/12/2012.

GIAYETTO, O.; J. M. CISNEROS.; C. CHOLAKY.; E. BRICCHI.; J.J.CANTERO., 1992 Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Haplustol típico del centro de Córdoba. *Revista de la UNRC* (17) 1.

GIL, R. 2001 **Gacetilla informativa de AAPRESID**. Año 12, N 60.

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

GOMEZ GIACOMELLI, G. 2012 **Descompactación subsuperficial y dirección de las líneas de siembra: efecto sobre la resistencia mecánica edáfica y el rendimiento de maíz**. Tesis de grado. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

GOOGLE EARTH 2010, versión pública <http://www.programas-gratis.net/b/google-earth-5.1> consultado: 09/12/2010.

GUECAIMBURU, J. M.; R. M. INTROCASO.; J. L. TORELLA.; L. GOMEZ. 2008 Comportamiento de la infiltración ante dos estrategias de manejo en siembra directa. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario, Argentina.

GVOZDENOVICH, J.J., O. F. PAPAROTTI. 2011 Variación del rendimiento del cultivo de soja debido a la erosión hídrica en Entre Ríos. Campañas 2009/10 – 2010/11. **XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII Congreso argentino de la ciencia del suelo**. Mar del Plata, Argentina.

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

IRURTIA C. B. y J. L. LUQUE 2005 Instrucciones para el uso del microsimulador de lluvias. INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina: 14 p.

IRURTIA C. B. y R. MON. 1994 Microsimulador de lluvia para determinar infiltración a campo. Publicación N° 176: 1-18. Instituto de suelos INTA-Castelar. Buenos Aires, Argentina.

IRURTIA C. B., R. MON., N. GONZÁLES., J. ELISEI., G. CRUZATE., A. LLOVET. 2010 Variación en el corto plazo del microrelieve y la cobertura superficial en un suelo subsolado bajo siembra directa. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario, Argentina.

LAL, R. y M., K. SHUKLA 2004 Principles of soil Physics. M. Dekker. New York USA. 716 pp.

LARSON, W. P., F.J. PIERCE. 1994 The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. En: Defining soil quality for a sustainable environment. Doran, J.W. et al. (ed).

LE BISSONNAIS, Y., B. RENAUX, H. DELOUCHE., 1995 Interactions between soil properties and moisture content in crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils. *Catena* 25: 33-46.

LIN H.S., K.J., McINNES, L.P., WILDING, C.T., HALLMARK. 1996 "Effective Porosity and flow Rate with Infiltration at Low Tensions into a Well-structures Subsoil", Transactions of the ASAE, 39 (1), 131.

LOGSDON. S. D., T. C. KASPAR., C. A. CAMBARDELLA. 1999 Depthincremental properties under no-tillor chisel management. Soil. Sci. Soc. Am. J. 63 (1) 197-200.

LOPÉZ BERMÚDEZ, F. 2003 Erosionando la erosión. Herramientas para evaluar la pérdida de suelo. En: Bienes, R. y Martínez Raya, A. 2003. Evaluación y control de la erosión hídrica en suelos agrícolas en pendiente, en clima mediterráneo. En Bienes, R. y Marqués, M. J. (Eds.). Perspectivas de la Degradación del Suelo. I Simposio Nacional CEDS. Madrid. 109-122 pp.

En: www.infoagro.com/herbaceos/cereales/cobertura_residuo_maiz.htm. Consultado: 15-12-2010.

MAGGREGOR, K.G. y C.K. MUCHCHLER 1977 "Status of the R-factor in northern Mississippi. Proceeding of the 1976 National Conference on Soil Erosion, W. Lafayette, IN, SCSA Spec Publ. N° 21:135-142.

En: www.editorial.unca.edu.ar/.../CIZAS/.../3.pág.41-52.RIBERA.pdf. Consultado: 07-12-2010.

MARELLI, H. J. 1983 "Evaluación del escurrimiento y de la infiltración del agua en el suelo con lluvia simulada". Revista de Investigaciones Agropecuarias INTA, Buenos Aires, Republica Argentina. Vol. XVIII, n° 2: 267-278.

En: www.editorial.unca.edu.ar/.../CIZAS/.../3.pág.41-52.RIBERA.pdf. Consultado: 07-12-2010.

MARELLI, H.J., J. M. ARCE., B. MASIERO. 1986 Simulador de lluvias para investigación básica en conservación de suelos. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juarez, Argentina. Publicación Técnica N°8. Serie: Suelos y Agroclimatología. : 1-15.

En: www.editorial.unca.edu.ar/.../CIZAS/.../3.pág.41-52.RIBERA.pdf. Consultado: 07-12-2010.

MICHELENA, R., C. IRURTIA, M. RORIG. 2000 Caracterización físico hídrica de los suelos de la región Pampeana a través de un índice de erosión. En: 11th ISCO 2000. Buenos Aires. Argentina.

MOGADOURO, J. J. 2012 **Efecto de una labor con paratill y de la orientación de las líneas de siembra sobre el contenido de agua del suelo y el rendimiento de maíz.** Tesis de grado. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

MOLDENHAUER, W. C. 1979 Rainfall simulation as a research tool. Proceeding of the Rainfall Simulator Workshop. Tucson. Arizona EEUU.

MOLLOY, J. y C. MORAN 1991 Compiling a field manual for estimating crop residue cover. Soil Use Management. 7 (4). 177-183.

MON, R.; C. B. IRURTIA; A. PAZ GONZÁLEZ; M. LADO LIÑARES; N. TRENTINO. 2008 Aumento de infiltración de un suelo con siembra directa por subsolado con enmienda de yeso. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.** Rosario, Argentina.

ONSTAD, C. A. 1984 Depressional storage on tilled soil surfaces. Transactions of the A. S.A.E., 27: 729-732pp.

En: www.infoagro.com/herbaceos/cereales/cobertura_residuo_maiz.htm Consultado: 15-12-2010.

PARR, J.F., R. I. PAPENDICK, S.B. HORNICK, R.E. MEYER 1992 Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. Am. J. Altern. Agric. 7:2-3.

PARRA, B. J., A. R. BECKER, M. P. CANTÚ. 2008 Evaluación de la compactación de Haplustoles del área de General Deheza. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes.** San Luis; Argentina.

PAREDES, F. A. y H. C. DALURZO. 2008 Infiltración en un Argiudol sometido a diferentes sistemas de labranza y secuencias de cultivos. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.** Rosario; Argentina.

PORTA CASANELLAS, J., M. LOPÉZ-ACEVEDO REGERÍN y C. ROQUERO de LABURU, 2003 Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3º Edición. Ed. Mundi-prensa. Madrid. 929 pp.

PRINCIPI M. A; R. A. MATTANA; J. L. COLODRO; O. P. CARDINALLI. 2005 **Maquinarias Agrícolas**. Ed. Fundación UNRC, Rio Cuarto, Argentina. P: 167.

QUIROGA, A. R., D.E. BUSCHIAZZO, N. PEINEMANN. 1999 Soil compaction is related tu management practiques in the semi-arid Argentine pampas. Soil and Tillage Research 52: 21-28.

RICHMOND, P. y C. IRURTIA. 2007 **Evaluación de la compactación producida durante la cosecha de soja**. INTA 9 de Julio 2007-2008. 186-202.

RICHMOND, P., C. B. IRURTIA., R. MON., N. GONZÁLEZ., J. ELISEI., G., TELLERIA. 2009 Efecto de la descompactación del suelo en diferentes posiciones del relieve en condiciones de sequía. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario; Argentina.

SATORRE H. E; R. L. BENECH ARNOLD; G. A. SLAFER; E. B. DE LA FUENTE; D. J. MILLARES; M. E. OTEGUI; R. SAVIN. 2003 **Producción de granos: Bases funcionales para su manejo**. 1ª ed. Ed. Facultad de Agronomía, UBA, Argentina. 86-94p.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. 1995 **El deterioro de las tierras en la República Argentina**. 288p.

SENIGAGLIESI, C., y M., FERRARI. 1993 Soil and crop responses to alternative tillage practices. In: International Crop Science I. Chapter 5, pp. 27-35. Crop Science Society of America Ed. Madison, WI, USA.

SHARPLEY, A.N. 1995 Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. J. Environ. Qual. (24): 920-926.

SOZA, E. L., D. W. AGNES, M. C. TOURN Y G. F. BOTTA. 2008 **Descompactación del suelo y su efecto en la implantación y rendimiento de un cultivo de soja.** XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis, Argentina.

STOLTENBERG, N. L., J. L. WHITE. 1953 Selective loss of plant nutrients by erosion. Soil Science Society of America Proceedings (17): 406-410.

TABOADA, M., C. ÁLBAREZ, C. BUSTINGORRI, F. GUTIERREZ BOEM. 2006 **Descompactación en suelos con siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. Cienc. Suelo. V.24 n.1. Buenos Aires.** XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina.

VICH A.I.J. y A. PEDRANI. 2004 Evaluación de la infiltración en tres formaciones geológicas en el piedemonte de Mendoza. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.** Paraná, Argentina.

VILCHE M. S., C. ALZUGARAY, S. MONTICO, N. DI LEO, M. C. PETENELLO 2005 **La incidencia de la labor de escarificado en el ambiente edáfico.** XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina.

VOOREHEES, W. B., W. W. NELSON, G. W. RANDALL 1986 Extent and persistence of subsoil compaction caused by heavy axle loads. Soil Science Soc. Am. Journal, 50: 428-433.

WEIR, E. T. 1995 Parcelas de escurrimiento y parcelas de productividad. Informe de avance INTA-FAO, Cartas acuerdo. EEA INTA Marcos Juárez, www.mjuarez.inta.gob.ar

WEIR, E. T., ARCE. 2001 Parcelas de escurrimiento para medir la pérdida de agua y suelo, EEA INTA Marcos Juárez, www.mjuarez.inta.gob.ar

WEST, L.T., W.P. MILLER, G.W. LANGDALE, R.R. BRUCE, J.M. LAFLEN, A.W. THOMAS. 1991 Cropping system effect on interill soil loss in the Georgia Piedmont. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:460-466.

WISCHMEIER, W. H., J. V. MANNERING. 1969 Relation of Soil Properties to its erodibility. Soil Sci. Soc. Proc., vol 33, pág: 131-136.

WISCHMEIER, W. H., D.D. SMITH. 1978 Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. Agr. Handbook N° 537. U.S. Dept Agr., Washington, D.C 58 pp.

ANEXO I:

Características morfológicas del perfil típico descritas por INTA-SAGyP (2006).

Haplustol údico, franca gruesa, mixta, térmica.

Ap (0-21 cm); color pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en húmedo; franca; estructura en bloques subangulares medios moderados y granular; friable en húmedo; no adhesivo; no plástico; límite claro y suave.

Bw (21-40 cm); color pardo oscuro (7,5YR3/2) en húmedo; franco arenosa a franca; estructura en bloques subangulares medios moderados; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; barnices húmicos arcillosos escasos y finos; límite gradual y suave.

BC (40-66 cm); color pardo oscuro (7,5YR3,5/2) en húmedo; franco arenosa a franca; estructura en bloques subangulares medios débiles; friable en húmedo; no plástico, no adhesivo; barnices arcillosos muy escasos y finos; límite inferior gradual y suave.

C (66cm a +); color pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; franco arenosa; estructura masiva; muy friable en húmedo; no plástico; no adhesivo.

Propiedades químicas, físico-químicas y físicas del perfil típico descritas por INTA-SAGyP (2006).

<i>Horizonte</i>	Ap	Bw	BC	C
Profundidad (cm)	0-21	21-40	40-66	66 a +
MO (%)	1,68	0,57	0,36	0,17
Arcilla < 2 μ (%)	14,8	15,6	12,4	9,6
Limo, 2-50 μ (%)	34,0	29,8	29,9	28,3
Arena muy fina, 50-100 μ (%)	49,8	54,0	56,4	57,8
Arena fina, 100-250 μ (%)	0,5	0,5	2,3	2,1
Arena media, 250-500 μ (%)	0,2			
pH en agua (1 : 2,5)	5,6	6,8	7,1	7,8
<i>Cationes de intercambio (meq/100g)</i>	Ca ⁺⁺	12,2	7,2	7,0
	Mg ⁺⁺	1,6	2,6	2,7
	Na ⁺	0,3	0,3	
	K ⁺	1,7	1,9	

Fuente: INTA-SAGyP 2006. **Los suelos.** Recursos naturales de la provincia de Córdoba.

ANEXO II:

Análisis estadísticos

Análisis de la varianza para: Lámina total infiltrada (mm).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Lámina total inf. (mm)	16	0,81	0,53	2,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	67,03	9	7,45	2,86	0,1071	
Repetición	8,71	3	2,90	0,75	0,5925	
(Repetición*Pendiente)						
Pendiente	0,42	1	0,42	0,11	0,7652	
(Repetición*Pendiente)						
Repetición*Pendiente	11,68	3	3,89	1,49	0,3087	
Labor de descompactación	46,14	1	46,14	17,70	0,0056	
Pendiente*Labor de descomp.	0,09	1	0,09	0,04	0,8564	
Error	15,64	6	2,61			
Total	82,68	15				

Para la variable lámina total infiltrada, se cumplen todos los supuestos del análisis de la varianza. Normalidad y Homogeneidad de varianzas.

Ho (hipótesis nula): No existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable lámina total infiltrada.

Ha (hipótesis alternativa): Existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable lámina total infiltrada.

Conclusión: Con (p-valor 0,8564) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que no existe interacción entre la orientación de las líneas de siembra del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable lámina total infiltrada.

Ho: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la lámina total infiltrada en el suelo.

Ha: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, modifica la lámina total infiltrada en el suelo.

Conclusión: Con (p-valor 0,7652) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que la orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la lámina total infiltrada en el suelo.

Ho: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica la lámina total infiltrada en el suelo.

Ha: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la lámina total infiltrada en el suelo.

Conclusión: Con (p-valor 0,0056) se descarta la hipótesis nula. Es decir que la labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la lámina total infiltrada en el suelo.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,97544

Error: 2,6070 gl: 6

Labor de descompactación	Medias	n	E.E.	
C/P	58,83	8	0,57	A
S/P	55,43	8	0,57	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Análisis de la varianza para: Velocidad final de infiltración.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Vel. Final de inf (mm/h)	16	0,90	0,74	12,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	1726,79	9	191,87	5,70	0,0231	
Repetición	64,38	3	21,46	0,18	0,9043	
(Repetición*Pendiente)						
Pendiente	24,40	1	24,40	0,20	0,6825	
(Repetición*Pendiente)						
Repetición*Pendiente	359,81	3	119,94	3,57	0,0867	
Labor de descompactación	1271,64	1	1271,64	37,81	0,0008	
Pendiente*Labor de descomp.	6,55	1	6,55	0,19	0,6744	
Error	201,81	6	33,64			
Total	1928,60	15				

Para la variable velocidad de infiltración final se cumplen todos los supuestos del análisis de la varianza. Normalidad y Homogeneidad de varianzas.

Ho: No existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable velocidad final de infiltración.

Ha: Existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable velocidad final de infiltración.

Conclusión: Con (p-valor 0,6744) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que no existe interacción entre la orientación de las líneas de siembra del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable velocidad final de infiltración.

Ho: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la velocidad de infiltración final del suelo.

Ha: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, modifica la velocidad de infiltración final del suelo.

Conclusión: Con (p-valor 0,6825) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que la orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la velocidad de infiltración del suelo.

Ho: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica la velocidad de infiltración final del suelo.

Ha: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la velocidad de infiltración final del suelo.

Conclusión: Con (p-valor 0,008) se descarta la hipótesis nula. Es decir que la labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la velocidad de infiltración final del suelo.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,09560

Error: 33,6358 gl: 6

Labor de descompactación	Medias	n	E.E.	
C/P	55,63	8	2,05	A
S/P	37,80	8	2,05	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Análisis de la varianza para: Lámina escurrida (mm).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Lámina escurrida (mm)	16	0,91	0,78	42,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	92,02	9	10,22	7,04	0,0137	
Repetición	4,00	3	1,33	0,21	0,8862	
(Repetición*Pendiente)						
Pendiente	4,39	1	4,39	0,68	0,4700	
(Repetición*Pendiente)						
Repetición*Pendiente	19,36	3	6,45	4,44	0,0573	
Labor de descompactación	64,28	1	64,28	44,26	0,0006	
Pendiente*Labor de descomp.	4,0E-04	1	4,0E-04	2,8E-04	0,9873	
Error	8,71	6	1,45			
Total	100,74	15				

Para la variable Lámina escurrida, se cumplen todos los supuestos del análisis de la varianza. Normalidad y Homogeneidad de varianzas.

Ho: No existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable lámina escurrida.

Ha: Existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable lámina escurrida.

Conclusión: Con (p-valor 0,9873) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que no existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable lámina escurrida.

Ho: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la lámina escurrida en el suelo.

Ha: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, modifica la lámina escurrida en el suelo.

Conclusión: Con (p-valor 0,4700) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que la orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la lámina escurrida en el suelo.

Ho: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica la lámina escurrida en el suelo.

Ha: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la lámina escurrida en el suelo.

Conclusión: Con (p-valor 0,0006) se descarta la hipótesis nula. Es decir que la labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la lámina escurrida en el suelo.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,47441

Error: 1,4523 gl: 6

Labor de descompactación	Medias	n	E.E.	
S/P	4,85	8	0,43	A
C/P	0,84	8	0,43	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Análisis de la varianza para: Carga de sedimentos (Kg/ha).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Carga de sedimentos (Kg/ha).	16	0,86	0,65	46,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	6290,07	9	698,90	4,14	0,0488	
Repetición	193,31	3	64,44	0,62	0,6482	
(Repetición*Pendiente)						
Pendiente	166,41	1	166,41	1,60	0,2953	
(Repetición*Pendiente)						
Repetición*Pendiente	312,11	3	104,04	0,62	0,6289	
Labor de descompactación	4900,00	1	4900,00	29,06	0,0017	
Pendiente*Labor de descomp.	718,24	1	718,24	4,26	0,0846	
Error	1011,76	6	168,63			
Total	7301,83	15				

Para la variable Carga de sedimentos, se cumplen todos los supuestos del análisis de la varianza. Normalidad y Homogeneidad de varianzas.

Ho: No existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable carga de sedimentos.

Ha: Existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable carga de sedimentos.

Conclusión: Con (p-valor 0,0846) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que no existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable carga de sedimentos.

Ho: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la carga de sedimentos del escurrimiento.

Ha: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, modifica la carga de sedimentos del escurrimiento.

Conclusión: Con (p-valor 0,2953) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que la orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la carga de sedimentos del escurrimiento.

Ho: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica la carga de sedimentos del escurrimiento.

Ha: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la carga de sedimentos del escurrimiento.

Conclusión: Con (p-valor 0,0017) se descarta la hipótesis nula. Es decir que la labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la carga de sedimentos del escurrimiento.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=15,88735

Error: 168,6267 gl: 6

Labor de descompactación	Medias	n	E.E.	
S/P	45,58	8	4,59	A
C/P	10,58	8	4,59	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Análisis de la varianza para: Profundidad del frente de humedecimiento (cm).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Prof. Frente de hum. (cm)	16	0,93	0,82	9,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	583,06	9	64,78	8,47	0,0086	
Repetición (Repetición*Pendiente)	24,19	3	8,06	1,98	0,2939	
Pendiente (Repetición*Pendiente)	27,56	1	27,56	6,78	0,0800	
Repetición*Pendiente	12,19	3	4,06	0,53	0,6773	
Labor de descompactación	517,56	1	517,56	67,69	0,0002	
Pendiente*Labor de descomp.	1,56	1	1,56	0,20	0,6671	
Error	45,88	6	7,65			
Total	628,94	15				

Para la variable Profundidad del frente de humedecimiento, se cumplen todos los supuestos del análisis de la varianza. Normalidad y Homogeneidad de varianzas.

Ho: No existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable profundidad del frente de humedecimiento.

Ha: Existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para el factor profundidad del frente de humedecimiento.

Conclusión: Con (p-valor 0,6671) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que no existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable profundidad del frente de humedecimiento.

Ho: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la profundidad del frente de humedecimiento.

Ha: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, modifica la profundidad del frente de humedecimiento.

Conclusión: Con (p-valor 0,0800) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que la orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la profundidad del frente de humedecimiento.

Ho: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica la profundidad del frente de humedecimiento.

Ha: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la profundidad del frente de humedecimiento.

Conclusión: Con (p-valor 0,0002) se descarta la hipótesis nula. Es decir que la labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la profundidad del frente de humedecimiento.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,38299

Error: 7,6458 gl: 6

Labor de descompactación	Medias	n	E.E.	
C/P	34,50	8	0,98	A
S/P	23,13	8	0,98	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Análisis de la varianza para: Tiempo de inicio del escurrimiento (min).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Tiempo inicio de esc. (min)	16	0,68	0,21	14,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	606,25	9	67,36	1,45	0,3365	
Repetición	78,76	3	26,25	1,52	0,3694	
(Repetición*Pendiente)						
Pendiente	230,66	1	230,66	13,36	0,0354	
(Repetición*Pendiente)						
Repetición*Pendiente	51,79	3	17,26	0,37	0,7772	
Labor de descompactación	77,66	1	77,66	1,67	0,2440	
Pendiente*Labor de descomp.	167,38	1	167,38	3,60	0,1067	
Error	279,24	6	46,54			
Total	885,50	15				

Para la variable Tiempo de inicio del escurrimiento, se cumplen todos los supuestos del análisis de la varianza. Normalidad y Homogeneidad de varianzas.

Ho: No existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable tiempo de inicio del escurrimiento.

Ha: Existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable tiempo de inicio del escurrimiento.

Conclusión: Con (p-valor 0,1067) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que no existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable tiempo de inicio del escurrimiento.

Ho: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica el tiempo de inicio de escurrimiento.

Ha: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, modifica el tiempo de inicio de escurrimiento.

Conclusión: Con (p-valor 0,0354) se descarta la hipótesis nula. Es decir que la orientación de las líneas de siembra del cultivo, modifica el tiempo de inicio del escurrimiento.

Ho: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica el tiempo de inicio del escurrimiento.

Ha: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica el tiempo de inicio del escurrimiento.

Conclusión: Con (p-valor 0,2440) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que la labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica el tiempo de inicio del escurrimiento.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,61159

Error: 17,2643 gl: 3

Pendiente	Medias	n	E.E.	
PP	49,94	8	1,47	A
AFP	42,34	8	1,47	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Análisis de la varianza para: Humedad antecedente (%).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad antecedente (%)	16	0,86	0,64	6,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	13,63	9	1,51	3,98	0,0533	
Repetición	4,33	3	1,44	0,97	0,5110	
(Repetición*Pendiente)						
Pendiente	3,64	1	3,64	2,44	0,2165	
(Repetición*Pendiente)						
Repetición*Pendiente	4,48	3	1,49	3,93	0,0725	
Labor de descompactación	1,02	1	1,02	2,67	0,1533	
Pendiente*Labor de descomp.	0,16	1	0,16	0,43	0,5380	
Error	2,28	6	0,38			
Total	15,91	15				

Para la variable Humedad antecedente, se cumplen todos los supuestos del análisis de la varianza. Normalidad y Homogeneidad de varianzas.

Ho: No existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable humedad antecedente.

Ha: Existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable humedad antecedente.

Conclusión: Con (p-valor 0,5380) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que no existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable humedad antecedente.

Ho: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la humedad antecedente.

Ha: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, modifica la humedad antecedente.

Conclusión: Con (p-valor 0,2165) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que la orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la humedad antecedente.

Ho: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica la humedad antecedente.

Ha: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la humedad antecedente.

Conclusión: Con (p-valor 0,1533) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que la labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica la humedad antecedente.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,94471

Error: 1,4936 gl: 3

Pendiente	Medias	n	E.E.	
AFP	9,46	8	0,43	A
PP	8,51	8	0,43	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,75424

Error: 0,3800 gl: 6

Labor de descompactación	Medias	n	E.E.	
C/P	9,24	8	0,22	A
S/P	8,74	8	0,22	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Análisis de la varianza para: Cobertura de rastrojos (%).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cobertura de rastrojos (%).	16	0,75	0,37	3,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	162,02	9	18,00	1,97	0,2111	
Repetición	2,80	3	0,93	0,04	0,9889	
(Repetición*Pendiente)						
Pendiente	0,77	1	0,77	0,03	0,8736	
(Repetición*Pendiente)						
Repetición*Pendiente	76,67	3	25,56	2,80	0,1313	
Labor de descompactación	34,52	1	34,52	3,78	0,1000	
Pendiente*Labor de descomp.	47,27	1	47,27	5,17	0,0633	
Error	54,84	6	9,14			
Total	216,86	15				

Para la variable Cobertura de rastrojos, se cumplen todos los supuestos del análisis de la varianza. Normalidad y Homogeneidad de varianzas.

Ho: No existe interacción entre la orientación de las líneas de siembra del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable cobertura de rastrojos.

Ha: Existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable cobertura de rastrojos.

Conclusión: Con (p-valor 0,0633) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que no existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable cobertura de rastrojos.

Ho: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la cobertura de rastrojos.

Ha: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, modifica la cobertura de rastrojos.

Conclusión: Con (p-valor 0,8736) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que la orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la cobertura de rastrojos.

Ho: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica la cobertura de rastrojos.

Ha: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica la cobertura de rastrojos.

Conclusión: Con (p-valor 0,1000) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que la labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica la cobertura de rastrojos.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=8,04430

Error: 25,5573 gl: 3

Pendiente	Medias	n	E.E.
AFP	76,88	8	1,79 A
PP	76,44	8	1,79 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,76313

Error: 23,7344 gl: 4

Labor de descompactación	Medias	n	E.E.
S/P	78,13	8	1,72 A
C/P	75,19	8	1,72 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Análisis de la varianza para: Rendimiento del cultivo (qq/ha).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (qq/ha)	16	0,90	0,76	6,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	1129,82	9	125,54	6,26	0,0184	
Repetición (Repetición*Pendiente)	574,05	3	191,35	7,67	0,0641	
Pendiente (Repetición*Pendiente)	57,23	1	57,23	2,30	0,2270	
Repetición*Pendiente	74,80	3	24,93	1,24	0,3740	
Labor de descompactación	410,67	1	410,67	20,47	0,0040	
Pendiente*Labor de descomp.	13,07	1	13,07	0,65	0,4504	
Error	120,35	6	20,06			
Total	1250,17	15				

Para la variable Rendimiento del cultivo, se cumplen todos los supuestos del análisis de la varianza. Normalidad y Homogeneidad de varianzas.

Ho: No existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable rendimiento del cultivo.

Ha: Existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable rendimiento del cultivo.

Conclusión: Con (p-valor 0,4504) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que no existe interacción entre la orientación de las líneas de siembre del cultivo y la labor de descompactación subsuperficial para la variable rendimiento del cultivo.

Ho: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica el rendimiento del cultivo.

Ha: La orientación de las líneas de siembra del cultivo, modifica el rendimiento del cultivo.

Conclusión: Con (p-valor 0,2270) no se descarta la hipótesis nula. Es decir que la orientación de las líneas de siembra del cultivo, no modifica la cobertura de rastrojos.

Ho: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, no modifica el rendimiento del cultivo.

Ha: La labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica el rendimiento del cultivo.

Conclusión: Con (p-valor 0,0040) se descarta la hipótesis nula. Es decir que la labor de descompactación subsuperficial del suelo, modifica el rendimiento del cultivo.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,47942

Error: 20,0582 gl: 6

Labor de descompactación	Medias	n	E.E.	
C/P	73,35	8	1,58	A
S/P	63,21	8	1,58	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,94538

Error: 24,9326 gl: 3

Pendiente	Medias	n	E.E.	
PP	70,17	8	1,77	A
AFP	66,39	8	1,77	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)