

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

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

**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**

Alumno: Mogadouro Jonatan

DNI: 32.107.732

Director: Cholaky, Carmen

Co-Director: Cisneros, José Manuel

Río Cuarto - Córdoba

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del trabajo final: 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.

Autor: Mogadouro, Jonatan Javier.

DNI: 32.107.732

Director: Cholaky, Carmen

Co-Director: Cisneros, José Manuel

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

Cerioni Guillermo _____

Rivetti Ana _____

Fecha de presentación:

Aprobado por Secretaría Académica: __/__/__

Secretario académico

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en el presente trabajo a mis “viejos” por haberme ayudado económicamente y por incentivarme a alcanzar las metas que me propuse para poder concluir con mi carrera, también a toda mi familia (hermana, abuelos y demás), que siempre me apoyaron en todo, tanto en las buenas como en las malas.

Como olvidar al grupo de amigos de estudio, sin ellos tampoco hubiera sido posible recorrer este camino. Tener presente a los amigos de siempre y los que conocí en el Barrio Universidad, por todos los inolvidables momentos vividos. Y un último agradecimiento a los profesores Carmen y Pepe que me apoyaron en la realización de dicha tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Página
CERTIFICADO DE APROBACIÓN.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	X
SUMMARY.....	XI
CAPITULO 1	
INTRODUCCIÓN	
1.1- Planteo del problema.....	1
1.2- Antecedentes.....	3
1.3- Hipótesis.....	5
1.4- Objetivos.....	5
1.4.1- Objetivo general.....	5
1.4.2- Objetivos específicos.....	5
CAPITULO 2	
MATERIALES Y METODOS	
2.1- Área de estudio.....	6
2.2- Tratamientos y diseño experimental.....	9
2.3- Variables estudiadas.....	11
2.3.1- En el suelo.....	11
2.3.2- En el cultivo.....	13
2.4- análisis estadístico de los resultados.....	13
CAPITULO 3	
RESULTADOS Y DISCUSION	
3.1- Contenido hídrico	
3.1.1- Variación del contenido hídrico a distintas profundidades del perfil del suelo.....	14
3.1.2- Evolución de la lámina total de agua almacenada en función del tiempo.....	25
3.2- Densidad aparente.....	31
3.3- Rendimiento del cultivo de maíz, según los tratamientos.....	33

CAPITULO 4

CONCLUSIONES	35
BIBLIOGRAFIA	36
ANEXO I	44
ANEXO II	46
ANEXO III	47

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
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, con un total de 569 mm desde siembra a cosecha.....	7
Figura 2: Resistencia mecánica (izquierda) y contenido de agua gravimétrico del perfil (derecha), para el diagnóstico de la condición física del suelo del sitio experimental.....	8
Figura 3: Disposición de los tratamientos estudiados en el trabajo, siembra directa realizada a favor de la pendiente, sin labor de descompactación (SD a favor de la pendiente s/D); siembra directa realizada a favor de la pendiente, con labor de descompactación (SD a favor de la pendiente c/D); siembra directa realizada cortando la pendiente, con labor de descompactación (SD cortando la pendiente c/D); y siembra directa cortando la pendiente sin labor de descompactación (SD cortando la pendiente s/D).....	46
Figura 4: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad en el estado fenológico V5-V6 del cultivo en los distintos tratamientos.....	17
Figura 5: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad en el estado fenológico R3-R4 del cultivo en los distintos tratamientos.....	20

Figura 6: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad en los diferentes tratamientos en el momento de postcosecha del cultivo.....	24
Figura 7: Evolución de la lámina total de agua (mm) almacenada en el perfil del suelo (0-100 cm) durante el ciclo del cultivo.....	26
Figura 8: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad en el momento de la siembra del cultivo en los distintos tratamientos.....	27
Figura 9: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad alrededor de la floración del cultivo según el sistema de labranza.....	28
Figura 10: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad para los tratamientos con y sin paratill en el estado fenológico R3-R4 del cultivo.....	29
Figura 11: Rendimiento promedio en qq/ha de los diferentes tratamientos.....	33
Figura 12: Rendimiento del cultivo de maíz (qq/ha) en función de la labor.....	33
Figura 13: Rendimiento del cultivo de maíz (qq ha ⁻¹) en función de la dirección de las líneas de siembra del cultivo.....	34

ÍNDICE DE FOTOS:

Página

Foto 1: Estructura de la zona compactada del perfil, con detalle del desarrollo radicular del cultivo antecesor (soja), concentrado, con crecimiento horizontal, en los planos de debilidad de los terrones.	8
Foto 2: Pared expuesta de la calicata para el diagnóstico de la zona compactada en el perfil del suelo.....	8
Foto 3: Vista posterior del paratill de fabricación artesanal, utilizando un antiguo chasis de arado cincel.....	9
Foto 4: Vista detallada de la reja del paratill indicando el distanciamiento entre timones, siendo de aproximadamente de 40 cm	9
Foto 5: Perfil cultural abarcando la profundidad de trabajo de paratill (aproximadamente hasta 27 cm).....	10
Foto 6: Vista posterior del rolo dispuesto detrás del paratill con el objetivo de cerrar los surcos originados por las rejas de dicha herramienta, reacondicionar la superficie del suelo y el rastrojo	10
Foto 7: Vista lateral del conjunto tractor “John Deere” y sembradora de siembra directa marca Fabimag modelo Multiplanter, neumática, de 16 surcos a 0.52 m entre líneas de siembra	11
Foto 8 “a”: Toma de muestras con el barreno para la determinación del contenido de agua según método volumétrico	12
Foto 8 “b”: Detalle del barreno para la toma de muestras de suelo hasta el metro de profundidad.....	12
Foto 9: Estado fenológico V5-V6 del cultivo, con vista detallada del ápice reproductivo.....	15

Foto 10: Estado fenológico V11 del cultivo. Izquierda tratamiento con paratill y derecha tratamiento sin esta labor.....	18
Foto 11: Estado fenológico R3 del cultivo (grano lechoso).....	20
Foto 12: Primeros centímetros del sistema radical de una planta de maíz perteneciente al tratamiento sin labor de descompactación (a la izquierda de la imagen) y con labor de descompactación (a la derecha de la imagen).....	21
Foto 13: Estado fenológico R5 del cultivo (grano duro o céreo).....	22

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1: Lámina de agua media (mm) en los primeros 30 cm de profundidad en los diferentes tratamientos en el momento de la siembra del cultivo.....	14
Tabla 2: Lámina de agua media (mm) en los primeros 30 cm de profundidad en los diferentes tratamientos en el estado fenológico V5-V6 del cultivo.....	16
Tabla 3: Lámina de agua media (mm) en el espesor de 30-50 cm de profundidad en los diferentes tratamientos en el en el estado fenológico V5-V6 del cultivo.....	16
Tabla 4: Efecto de la dirección de las líneas de siembra sobre el contenido hídrico del suelo (30-50 cm) en el estadio fenológico V11 del cultivo.....	18
Tabla 5: Efecto del sistema de labranza sobre el contenido hídrico del suelo (50-80 cm) en el estadio fenológico V11 del cultivo.....	19
Tabla 6: Efecto del sistema de labranza sobre el contenido hídrico del suelo (30-50 cm) en el estadio fenológico R3-R4 del cultivo.....	19
Tabla 7: Efecto de la dirección de las líneas de siembra sobre el contenido hídrico del suelo (0-30 cm) en el estadio fenológico R5 del cultivo.....	22
Tabla 8: Efecto del sistema de labranza sobre el contenido hídrico del suelo (0-30 cm) en el estadio fenológico R5 del cultivo.....	23
Tabla 9: Comparación de láminas totales de agua almacenada en el perfil del suelo (mm) en los tratamientos de siembra directa con y sin paratill en cada momento de análisis durante el ciclo del cultivo.....	25
Tabla 10: Comparación de láminas de agua totales almacenadas en el perfil del suelo (mm) según el efecto de la dirección de las líneas de siembra.....	30
Tabla 11: Valores medios de densidad aparente en los tratamientos de siembra directa con y sin labor de paratill, en función de la profundidad.....	31

Tabla 12: Densidad aparente crítica (según Pilatti y Orellana, 2000)
y densidad aparente actual en los tratamientos de labranza en cada
horizonte del suelo.....32

RESUMEN

La disponibilidad de agua del suelo en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana es una limitante de la productividad de los cultivos. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la descompactación subsuperficial y de la orientación de las líneas de siembra respecto de la pendiente, en un Haplustol údico manejado con siembra directa, sobre el contenido de agua edáfica (CA) en 6 momentos de muestreo, densidad aparente (DAP) en postcosecha y rendimiento del cultivo de maíz. Se instalaron 4 tratamientos: siembra directa a favor de la pendiente, con y sin paratill y siembra directa cortando la pendiente, con y sin paratill, con cuatro repeticiones. Desde siembra hasta los estadios R3-R4 del cultivo, los tratamientos con paratill presentaron menor contenido de agua que los sin paratill, situación que se revirtió en el estadio R5, presentando diferencia significativa a favor del paratill. La DAP solo fue menor a los valores críticos estimados para este tipo de suelo en los primeros 10 cm de profundidad de los tratamientos con paratill. La orientación de las líneas de siembra solo tuvo efecto significativo en el almacenamiento de agua del suelo en los estadios R5 y postcosecha del cultivo cuando las líneas estuvieron a favor de la pendiente. Para estas condiciones se concluye que: con la implementación de la labor de descompactación se logra una mejor condición física del perfil de modo que las raíces tendrían un mayor volumen de suelo para explorar y por lo tanto realizar una mayor extracción de agua traduciéndose en un mayor rendimiento que en los tratamientos sin descompactación, la orientación de las líneas de siembra no afecta el almacenamiento de agua en el suelo para las condiciones de gradiente de pendiente de la situación en estudio. La descompactación incrementó un 13,6% el rendimiento del maíz.

Palabras claves: Descompactación, contenido de agua del suelo, rendimiento, maíz, siembra directa.

SUMMARY

The soil water availability in the semi-arid and sub-humid region of “La Pampa” is a limiting factor for crop productivity. The objective of this work was to evaluate the effect of a sub-superficial decompaction and of the crop rows’ orientation according to the field slope, in a “Haplustol Údico” with no-tillage, on the soil water content (SWC) in six sampling periods, post-harvest bulk density (PBD), and the corn crop yield. Four treatments were installed: no-tillage system for and against the slope, with and without paratill, and no-tillage system across the slope, with four repetitions. From the time of seeding until the R3-R4 crop stages, paratill treatments presented less quantity of water than those that did not receive this kind of tillage. This situation changed at the R5 stage, where there was a more significant difference in favor of paratill. The bulk density (BD) was just lower than the estimated critical values for this kind of soil in the first ten centimeters deep of the paratill treatment. As for the orientation of crop rows, it had only a significant effect in the soil water storage at the R5 and post-harvest stages of the crop when the lines were in favour of the slope. For these conditions, we conclude that: with the implementation of soil loosening work, we achieved a better physical condition profile; the roots had a greater volume of soil to be explored and therefore a more efficient extraction of water was possible. This resulted in a higher yield. The crop rows’ orientation does not affect the water storage in the soil. The subsoiling tillage increased 13,6% the maize yield.

Key words: Subsoiling, soil water content, yield, corn, no-tillage system.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1-Planteo del problema:

El agua es un elemento vital para el correcto crecimiento y desarrollo de los cultivos. Es importante conocer el contenido y la dinámica del agua en el suelo. Esta dinámica se ve afectada por una gran cantidad de factores, siendo de particular relevancia para este estudio el sistema de labranza utilizado y las cargas a que es sometido el suelo debido al tránsito de máquinas. En los últimos años se ha visto incrementado el peso de la maquinaria agrícola y su efecto se traduce en la compactación de los suelos, sobre todo ocasionada por el tránsito en condiciones de humedad no adecuadas para ello (Alakukku *et al.*, 2003). En la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana se han realizado numerosos trabajos que muestran como el contenido de agua del suelo condiciona la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos (Alvarez *et al.*, 2006; Bono y Alvarez 2006; Fernández *et al.*, 2006; Funaro *et al.*, 2006; Bono y Alvarez, 2008; Funaro *et al.*, 2008). Los mismos se caracterizan por presentar una mayor susceptibilidad a sufrir procesos de degradación física, debido fundamentalmente a su prolongada historia agrícola y su textura limosa (limos finos y muy finos), que le confieren una baja capacidad de regeneración de la estructura y porosidad luego de sufrir la densificación o compactación (Alvarez *et al.*, 2008).

Los procesos de compactación afectan el flujo de agua en los suelos. Esta alteración se produce por una reconfiguración del espacio poroso (Horton *et al.*, 1994; Strudley *et al.*, 2008). Por su parte el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos que muestran mayor sensibilidad a sufrir daños en sus raíces y descensos de rendimientos a causa de la compactación (Erbach *et al.*, 1986; Tardieu, 1988; Amato y Ritchie, 2000; Díaz Zorita, 2000; Alvarez *et al.*, 2006; Taboada y Alvarez, 2007).

Ello se debe a que es muy sensible al déficit hídrico debido a su acotado período crítico en momentos de alta demanda atmosférica (Sadras y Calviño, 2001). Precisamente, la disponibilidad hídrica es la principal limitante del rendimiento de maíz en la Pampa Ondulada argentina (Maddonni *et al.*, 1999; Alvarez y Grigera, 2005). En esta región, las raíces de maíz responden negativamente a la presencia de capas compactas en el subsuelo, lo cual impacta sobre los rendimientos (Díaz Zorita, 2000; Erbach *et al.*, 1986; Logsdon *et al.*, 1999). Esta restricción mecánica puede ser solucionada con una labor profunda capaz de aflojar mecánicamente el suelo (Montico *et al.*, 2002).

El uso de descompactadores planos tipo paratill descompacta y resquebraja el perfil del suelo sin ocasionar considerable disturbación sobre la superficie del mismo. La descompactación puede realizarse desde 25 a 40 cm de profundidad. Dicha descompactación es uniforme y profunda, facilita un mejor enraizamiento, otorgando un mejor aprovechamiento de agua y nutrientes (Sadras *et al.*, 2005). Sin embargo estos resultados deben ser corroborados en un amplio rango condiciones hídricas y frente a distintos grados de compactación y también se debe avanzar con la evaluación de la perdurabilidad de la práctica de descompactación en los sitios estudiados (Cholaky *et al.*, 2009 y Balbuena *et al.*, 2009).

Por otro lado se debe considerar el efecto de la erosión hídrica y eólica. En estudios realizados por Aimar (2002), Casas (2004), Durán (1998), Pimentel *et al.* (1995), entre otros, han constatado que este fenómeno ha devastado grandes extensiones de suelos, ocasionando pérdidas de suelo y considerables daños al medio ambiente. Las consecuencias que ocasiona la erosión hídrica se manifiestan por la acción del impacto de la gota de lluvia que provoca el desprendimiento de las partículas del suelo. Al desprenderse las partículas de la estructura original del suelo, luego son transportadas por la escorrentía superficial del agua de lluvia a lo largo de la pendiente, hasta sedimentarse en lugares bajos o acumularse en canales, alcantarillas, represas, lotes en producción (Abasto, 2004).

Para el control de la erosión hídrica y eólica se han propuesto seleccionar alternativas productivas ecológicamente eficientes, sostenibles y tecnológicamente viables para el manejo de los suelos dedicados a los cultivos económicos, de manera tal, que se permita lograr una mayor producción con el menor impacto ambiental, siguiendo los fundamentos básicos de la llamada Agricultura Ecológica (Labrador, 1999), en la cual se potencia el manejo integral de los suelos como parte esencial del medio natural en el que se desarrollan las plantas, a la que se debe prestar mayor atención si se pretende obtener buenos rendimientos. Una alternativa sería la implantación de cultivos cortando la dirección de la pendiente que frenen la velocidad del agua permitiendo que esta se infiltre en el suelo (Segui, 2010). Según Cisneros *et al.* (2004) se puede sostener que las técnicas de manejo del relieve como la de orientación de las líneas de siembra en forma perpendicular a la dirección de la pendiente, aumentan los procesos de retención y detención superficial con lo que se incrementa el agua infiltrada en el perfil del suelo. Debemos considerar que no existe demasiada bibliografía local respecto al impacto combinado de técnicas de manejo del suelo, como las mencionadas precedentemente y de manejo del relieve como la orientación de las líneas de siembra respecto a la pendiente, sobre el comportamiento físico del suelo y sobre el rendimiento de los cultivos.

1.2-Antecedentes:

El sistema de siembra directa, que contribuyó a solucionar parte de los problemas de productividad en la región pampeana vinculados al uso agrícola continuo bajo labranza convencional, suele originar compactación del suelo por consolidación natural de las partículas y/o tráfico de maquinarias (Domínguez *et al.*, 2000). Esta restricción mecánica puede ser solucionada con una labor profunda capaz de aflojar mecánicamente el suelo (Montico *et al.*, 2002). La percepción sobre la existencia de compactación y/o endurecimiento del suelo por el medio productivo ha llevado a proponer la disrupción mecánica de capas compactadas con implementos de labranza profunda como el paratill (Díaz-Zorita, 2000; Hamilton-Manns *et al.*, 2002). En particular, Alvarez *et al.* (2006) evaluaron el efecto de la descompactación en siembra directa sobre algunas propiedades físicas del suelo (Argiudol típico) a la siembra y a la cosecha del cultivo de maíz; en dos sitios de la provincia de Buenos Aires y uno de Santa Fe. La densidad aparente no mostró variaciones significativas a la siembra y a la cosecha. Respecto a la variable infiltración, la conclusión fue que el trabajo de descompactación usando un implemento de labranza profunda antes de la siembra, influye notablemente sobre el ingreso del agua al suelo, pero que esto no se mantuvo en el tiempo. Clark *et al.* (1993) evaluó la influencia de la frecuencia de pasadas de paratill sobre las propiedades físicas de un suelo pesado erosionado. Las tasas de infiltración estabilizadas fueron 86, 42 y 14 mm hora⁻¹ para el paratill pasado uno, dos y tres años antes. Según Fernandez y Quiroga (2008) la humedad en los primeros centímetros del suelo, resulta clave para el éxito de la germinación y emergencia de los cultivos. Es por ello que disminuir la evaporación del agua del suelo mediante sistemas de labranzas conservacionistas con el uso de residuos en superficie resulta de gran importancia en ambientes donde se registran elevadas temperaturas de suelo y escasas precipitaciones.

Soracco *et al.* (2008) estudiaron el efecto del tránsito sobre el movimiento del agua en un suelo bajo siembra directa y observaron que la realización prolongada e ininterrumpida de siembra directa produce una estabilización de las propiedades físicas de los suelos, entre ellas la tasa de infiltración básica. Pero este valor de estabilización es particularmente bajo, con el consiguiente peligro de aumento del escurrimiento y disminución del agua almacenada en el perfil del suelo.

Clark *et al.* (1993) encontraron que el contenido de humedad del suelo era menor cuando se había pasado un descompactador tipo paratill un año antes que cuando el mismo implemento se había realizado dos y tres años antes. Este efecto fue atribuido a un mayor consumo de agua por el cultivo. En relación al efecto de la descompactación sobre el

rendimiento de los cultivos, Botta *et al.* (2006) hallaron 24,5% de incremento del rendimiento del cultivo de girasol en un Haplustol éntico de la provincia de La Pampa. En el sur de Australia, con precipitaciones anuales de 273 mm, Sadras *et al.* (2005) hallaron incrementos entre 0 y 43% en el rendimiento del trigo debido a la descompactación. Por su parte Alvarez *et al.* (2006) trabajaron en Argiudoles típicos y obtuvieron mejoras de rendimiento de maíz en el 50% de los seis sitios de la Pampa Ondulada donde realizaron la labor de descompactación. Martinez (2010) y Sanchez (2012) evaluaron el efecto de la descompactación de Hapludoles típicos del sur de Córdoba sobre el almacenamiento de agua y el rendimiento del cultivo de soja y maíz, respectivamente, sin encontrar diferencias significativas en ninguna de las dos variables, respecto a siembra directa. Alvarez *et al.* (2010) trabajaron en un Argiudol típico en la Pampa Ondulada y observaron que el efecto de la descompactación produjo un incremento del 6% en el rendimiento del cultivo de maíz, aun con buenas condiciones hídricas durante el ciclo del cultivo, debido a la menor resistencia a la penetración que tuvieron las raíces de dicho cultivo. Resultados similares fueron obtenidos por Bergesio *et al.* (2010) también en maíz y por Botta *et al.* (2004) en soja.

Por el contrario, otros autores no encontraron directamente beneficios, como en el caso de Ferraris y Couretot (2004) quienes en una evaluación en el sur de Santa Fe, atribuyeron la falta de respuesta del maíz a la descompactación a la buena condición hídrica de la campaña.

En relación al efecto de la orientación de las líneas de siembra respecto a la pendiente, Colombo (2011) trabajando en un Hapludol típico ubicado en una pendiente del 3%, comparó el contenido de agua del suelo y el rendimiento de maíz en una situación sembrada en curvas a nivel respecto a un testigo sembrado a favor de la pendiente. Encontró que el agua almacenada en el primer metro de profundidad fue alrededor de un 30% superior en la situación sistematizada que en el testigo, y el rendimiento del cultivo presentó similar diferencia que en el contenido de agua, entre los tratamientos estudiados.

Por su parte Stevens *et al.* (2009) observaron que el incremento de la rugosidad superficial producido por las líneas en contorno redujo el escurrimiento superficial respecto a la situación testigo sembrada a favor de la pendiente, tanto en sistemas de labranza convencional como en sistemas de mínima labranza, pero estas diferencias no fueron significativas.

El presente trabajo pretende continuar profundizando el estudio de la combinación de prácticas de manejo del suelo y del relieve sobre la acumulación de agua y el rendimiento del cultivo de maíz en un suelo representativo del sur cordobés.

1.3-Hipótesis:

El laboreo de descompactación subsuperficial con “paratill” y la siembra de cultivos en líneas perpendiculares a la pendiente del terreno, aumentan la disponibilidad de agua edáfica y la condición física en un suelo Haplustol údico manejado con siembra directa durante 8 años.

La mayor disponibilidad de agua en el suelo se traduciría en mayor producción de granos en el cultivo de maíz.

1.4-Objetivos:

1.4.1-General:

Evaluar el efecto de la descompactación subsuperficial del suelo con una labor de “paratill” y de la dirección de la línea de labor y siembra, sobre la disponibilidad de agua edáfica, la condición física del suelo y el rendimiento de un cultivo de maíz.

1.4.2-Específicos:

- ✓ Evaluar la influencia de la labor de descompactación subsuperficial y de la dirección de labor y siembra a favor y perpendicular a la dirección de la pendiente sobre el contenido de agua del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz.
- ✓ Analizar la variación temporal de la lámina de agua útil total disponible en diferentes momentos del ciclo del cultivo, respecto a la lámina de agua útil total potencial característica del perfil de suelo.
- ✓ Evaluar la Densidad Aparente de cada horizonte del perfil de suelo en el momento de postcosecha del cultivo.
- ✓ Medir el rendimiento final en granos para el cultivo de maíz implantado en cada uno de los tratamientos realizados.

CAPITULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1-Área de estudio:

La experiencia se realizó 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, provincia de Córdoba y a unos 20 km al nor-este de la localidad de San Basilio, Departamento Río Cuarto, provincia de Córdoba.

El clima es mesotermal subhúmedo con inviernos secos. Las precipitaciones anuales medias son de 700 – 800 mm. El régimen de precipitaciones es tipo Monzónico y concentra el 80% de las lluvias en el periodo de Octubre hasta Abril, con ocasional caída de granizo, especialmente en los meses estivales dentro del periodo mencionado. En la figura 1 se representan las precipitaciones ocurrida en la zona de La Brianza durante el ciclo 2010/11 y en particular durante el ciclo del cultivo de maíz, con un total de 569 mm desde siembra a cosecha.

El periodo 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 obtienen de Julio a Noviembre, con ráfagas de más de 100 km/h (Cantero *et al.*, 1986).

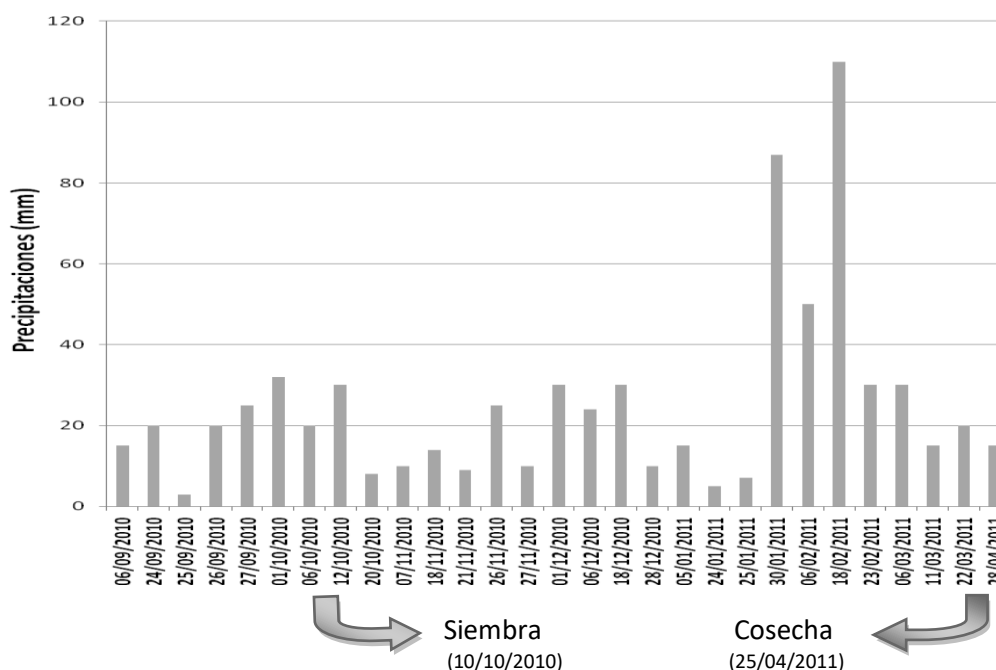


Figura 1: Precipitaciones ocurridas en la zona de La Brianza durante el ciclo 2010/11 y en particular durante el ciclo del cultivo de maíz, con un total de 569 mm desde siembra a cosecha.

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 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, correspondiendo a la Unidad catastral n° 30-Bloque Adelia Maria, provincia de Córdoba (Cantero *et al.*, 1986). Las características del perfil representativo del sitio donde se llevó a cabo el presente estudio fueron descriptas por INTA-SAGyP (2006) y se presentan en el anexo I.

El suelo presenta 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 (foto 1 y 2) y de la medición de la resistencia mecánica mediante Penetrómetro de Impacto (figura 2).



Foto 1: Estructura de la zona compactada del perfil, con detalle del desarrollo radicular del cultivo antecesor (soja), concentrado, con crecimiento horizontal en los planos de debilidad de los terrones.



Foto 2: Pared expuesta de la calicata para el diagnóstico de la zona compactada en el perfil del suelo.

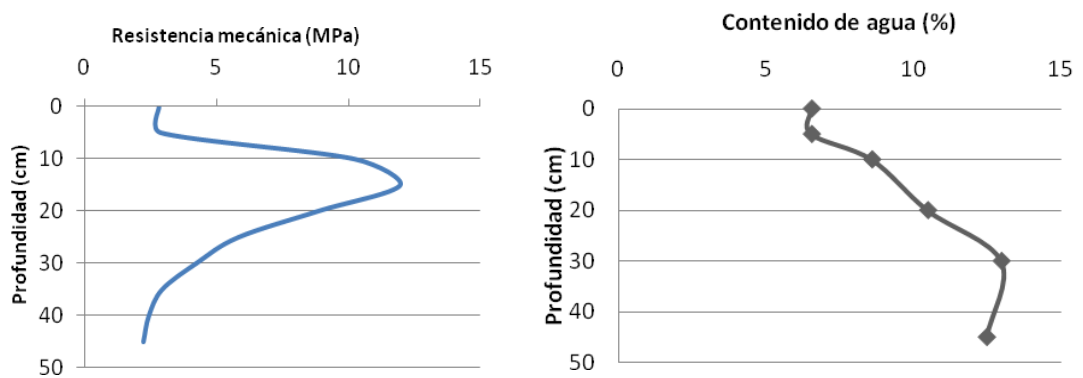


Figura 2: Resistencia mecánica (izquierda) y contenido de agua gravimétrico del perfil (derecha), para el diagnóstico de la condición física del suelo del sitio experimental.

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. 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 cuatro tratamientos: siembra directa realizada a favor de la pendiente, sin labor de descompactación (SD a favor de la pendiente s/D); siembra directa realizada a favor de la pendiente, con labor de descompactación (SD a favor de la pendiente c/D); siembra directa realizada cortando la pendiente, con labor de descompactación (SD cortando la pendiente c/D); y siembra directa cortando la pendiente sin labor de descompactación (SD cortando la pendiente s/D).

El diseño experimental fue en parcelas divididas con cuatro bloques, con cuatro repeticiones por tratamiento, la dimensión de cada parcela correspondiente a cada tratamiento y repetición fue de 2,5 Ha y 0,625 Ha, respectivamente (figura 3 del anexo II).

La labor mecánica de descompactación se realizó mediante un “paratill” de fabricación artesanal, utilizando un antiguo chasis de arado cincel, donde van montados los arcos rectos cuyos extremos inferiores poseen una reja alada (foto 3).



Foto 3: Vista posterior del paratill de fabricación artesanal, utilizando un antiguo chasis de arado cincel.



Foto 4: Vista detallada de la reja del paratill indicando el distanciamiento entre timones, siendo de aproximadamente de 40 cm.

La distancia entre timones es de aproximadamente 40 cm (foto 4) y la profundidad teórica de trabajo de 27 cm, considerando el espesor de la capa compactada previamente identificada y valorada a través de la resistencia mecánica y teniendo en cuenta 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 5). Además se acopló un rolo 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 6). La condición de consistencia del suelo en la cual se realizó la labor fue en estado friable, con lo cual se obtuvo una adecuada roturación de la densificación subsuperficial.



Foto 5: Perfil cultural abarcando la profundidad de trabajo del paratill (aproximadamente hasta 27 cm).



Foto 6: Vista posterior del rolo dispuesto detrás del paratill con el objetivo de cerrar los surcos originados por las rejas de dicha herramienta, reacondicionar la superficie del suelo y el rastrojo.

En cuanto a la dirección de la labor y 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 del terreno utilizando un nivel óptico.

En todos los tratamientos el cultivo sembrado fue maíz (Nidera AX 878 MG) utilizando sembradora de siembra directa marca Fabimag modelo Multiplanter, neumática, de 16 surcos a 0.52 m entre líneas de siembra (foto 7).



Foto 7: Vista lateral del conjunto tractor “John Deere” y sembradora de siembra directa marca Fabimag modelo Multiplanter, neumática, de 16 surcos a 0.52 m entre líneas de siembra.

El “kit de siembra” está 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 realiza a través de una doble rueda niveladora semi-neumática. Se realizó una fertilización fosforada con Fosfato Diamónico al momento de la siembra a razón de 51 Kg Ha⁻¹ y luego en el estadio V6 se aplicó Urea a razón de 100 Kg Ha⁻¹. El control de malezas durante el barbecho se realizó con la aplicación de 2,4 D y Sulfosato y en pre-siembra se aplicó Atrazina y Acetoclor controlando aquellas malezas que estaban emergiendo y aquellas que se escaparon al control de barbecho.

2.3-VARIABLES ESTUDIADAS:

2.3.1-En el suelo:

-Contenido de agua en el suelo: se obtuvieron muestras de suelo con “barreno” (foto 8 “a” y “b”) en los intervalos de profundidad de 0-10 cm , 10-20 cm y 20-30 cm (horizonte “A”), 30-50 cm (horizonte “BW1”), 50-80 cm (horizonte “BW2”) y 80-100 cm (horizonte “C”).



Foto 8 “a”: Toma de muestras con el barreno para la determinación del contenido de agua según método volumétrico.



Foto 8 “b”: Detalle del barreno para la toma de muestras de suelo hasta el metro de profundidad.

La determinación se realizó mediante el secado en estufa a 105 °C hasta obtener peso constante de las muestras de suelo. Los intervalos de muestreo fueron cada un mes, coincidentes con las diferentes etapas del ciclo del cultivo. Se tomaron 2 submuestras por tratamiento y repetición. Los resultados se expresaron de la siguiente manera:

Humedad gravimétrica (% g g⁻¹) de cada intervalo de muestreo (%H).

Humedad Volumétrica (Lamina): a partir de la humedad gravimétrica y de la densidad aparente (DAP) de cada horizonte, según la siguiente relación:

$$\text{Lamina de agua en cada horizonte (mm)} = (\%H \text{ (gr gr}^{-1}) \times \text{DAP (gr cm}^{-3}) \times 10 \times \text{espesor del horizonte (cm)}$$

A partir de la sumatoria de la lámina de agua almacenada en cada horizonte se obtuvo la lámina total de agua almacenada en el perfil hasta el metro de profundidad.

Se caracterizó el contenido de agua del suelo al momento de realización de la labor de descompactación y al momento de la cosecha del cultivo.

-Curva característica de retención de humedad: se tomó una muestra compuesta de cada horizonte del perfil (previo a la labor de descompactación) y se determinó el contenido

de agua a capacidad de campo y punto de marchites permanente mediante la técnica de la “olla de presión” (Klute, 1986), con el objetivo de tener una referencia del agua útil potencial en el análisis del contenido de agua disponible en el suelo hasta el metro de profundidad. Los valores se detallan en el anexo I.

-Densidad Aparente (DAP): se determinó mediante el método del cilindro (Blake y Hartge 1986), para cada horizonte del perfil hasta el metro de profundidad, con cuatro repeticiones por tratamiento. Este procedimiento se realizó en una sola oportunidad, en la postcosecha del cultivo (ver punto 3.2). Además se realizó el cálculo de la DAP crítica para ser tomada como referencia, según el modelo propuesto para suelos pampeanos por Pilatti y Orellana (2000) expresado a continuación:

$$DAP \text{ crítica (Mg m}^{-3}\text{)} = 1,52 - 0,0065 * \text{arcilla (\%)}$$

2.3.2-En el cultivo:

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

$$Rendimiento (Kg ha^{-1}) = N^{\circ} \text{ granos/espiga} \times N^{\circ} \text{ espigas/planta} \times N^{\circ} \text{ plantas/m}^2 \text{ lineal} \times \text{peso medio del grano} \times 10000$$

2.4-Análisis estadístico de los resultados:

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2009, anexo). Para el análisis estadístico sobre el efecto de los tratamientos, para la variable contenido de agua en las diferentes profundidades del suelo, se promediaron los intervalos de muestreo correspondientes al espesor de cada horizonte genético: horizonte “A” de 0-30 cm; horizonte “BW1” de 30-50 cm; horizonte “BW2” de 50-80 cm y horizonte “C” de 80-100 cm. Además se realizó un análisis estadístico en postcosecha del cultivo para la densidad aparente y el rendimiento de los diferentes tratamientos estudiados. Los datos fueron sometidos a un ANOVA y la comparación de medias se realizó mediante el Test LSD Fisher, para un nivel de significancia del 5 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN**3.1-Contenido hídrico:****3.1.1-Variación del contenido hídrico a distintas profundidades del perfil del suelo.****Momento 1: Siembra del cultivo:**

A la siembra del cultivo, solo se encontró interacción estadísticamente significativa entre el sistema de labranza y las líneas de siembra del cultivo sobre el contenido hídrico del suelo (mm) para la profundidad de 0-30 cm (coincidiendo con el horizonte "A") como lo indica la tabla 1, sin haber interacción significativa para las demás profundidades analizadas.

Tabla 1: Lámina de agua media (mm) en los primeros 30 cm de profundidad en los diferentes tratamientos en el momento de la siembra del cultivo.

Tratamientos		Lamina de agua (mm)
(Sistema de labranza)	(dirección de las líneas de siembra)	
sin Paratill	cortando la pendiente	25.11 A
sin Paratill	a favor de la pendiente	23.64 B
con Paratill	a favor de la pendiente	23.05 B
con Paratill	cortando la pendiente	21.30 C

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

En dicha tabla, se observa que los valores medios de la variable analizada no mostraron una tendencia clara que permita explicar la interacción, sino que en los tratamientos donde no se realizó la labor de descompactación, almacenó más agua en los primeros cm de suelo que en los tratamientos con labor, donde el aflojamiento mecánico del suelo puede haber contribuido a un mayor desecamiento edáfico en la profundidad teórica de trabajo (27 cm), como lo indica Vilche y Alzugaray (2008), más aun teniendo en cuenta las pérdidas extras de humedad que pueden ocasionarse por una alteración en la cobertura superficial. Por otro lado estas diferencias en la capa superficial también pueden estar asociadas a variaciones en la densidad aparente la que resulto significativamente inferior en los primeros 10 cm en los tratamientos descompactados respecto a los que no tuvieron esta labor. Sin embargo la diferencia entre los valores absolutos de lámina media osciló entre 2-3 mm.

Para las profundidades de 30-50 cm, 50-80 cm y 80-100 cm, no hubo interacción estadísticamente significativa entre el sistema de labranza y las líneas de siembra del cultivo sobre el contenido de agua del suelo, ni tampoco de cada uno de los factores por separado.

Momento 2: estado fenológico del cultivo V5-V6:

Al igual que en la siembra, en el estadio fenológico V5-V6 (foto 9), hubo interacción estadísticamente significativa entre el sistema de labranza y las líneas de siembra del cultivo sobre el contenido hídrico del suelo (mm) para la profundidad de 0-30 cm, a favor de los tratamientos sin paratill (tabla 2). Considerando las lluvias ocurridas (173 mm aproximadamente) desde el momento de la siembra y el efecto del aflojamiento provocado por el paratill, se puede sostener que los menores valores de lámina de agua en los tratamientos con paratill podrían estar asociados a un incremento en el movimiento descendente del flujo de agua en el suelo y a una mejor condición para el desarrollo del sistema radical, induciendo una exploración más temprana de los horizontes subsuperficiales (Vilche *et al.*, 2010), pudiendo lograr de esta forma que las raíces absorban más agua en comparación con los tratamientos donde no se aplicó la labor, lo que determinó que en los tratamientos sin descompactación mantuvieran una mayor lamina de agua almacenada al momento de medición.



Foto 9: Estado fenológico V5-V6 del cultivo, con vista detallada del ápice reproductivo.

Tabla 2: Lámina de agua media (mm) en los primeros 30 cm de profundidad en los diferentes tratamientos en el estado fenológico V5-V6 del cultivo.

Tratamientos		
(Sistema de labranza)	(dirección de las líneas de siembra)	Lamina de agua (mm)
sin Paratill	cortando la pendiente	20.56 A
sin Paratill	a favor de la pendiente	19.95 B
con Paratill	a favor de la pendiente	18.76 B
con Paratill	cortando la pendiente	17.44 C

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

En relación a lo anteriormente dicho, se debe tener en cuenta según datos de resistencia mecánica analizados por Gomez (2012) en el mismo ensayo experimental y de manera simultánea al del presente trabajo, que hasta los 20 cm de profundidad la resistencia mecánica fue significativamente inferior en la situación con paratill que en aquella en donde no se realizó la labor, donde superó los 2 MPa, valor que de acuerdo a Brusscher *et al.* (2000) comienza a ser restrictivo para el crecimiento radicular.

En la profundidad de 30-50 cm también hubo interacción estadísticamente significativa entre el sistema de labranza y las líneas de siembra del cultivo sobre el contenido hídrico del suelo para dicho espesor (tabla 3), estos resultados no fueron coincidentes con los hallados por Alvarez *et al.* (2008) y Sanzano *et al.* (2008), quienes trabajaron en Argiudoles y Haplustoles, respectivamente, no encontrando diferencias significativas en la acumulación de agua en el suelo, por efecto de la labor de descompactación, situación que si coincidiría con los resultados aquí encontrados si se considera que las diferencias entre valores absolutos fueron muy pequeñas.

Tabla 3: Lámina de agua media (mm) en el espesor de 30-50 cm de profundidad en los diferentes tratamientos en el en el estado fenológico V5-V6 del cultivo.

Tratamientos		
(Sistema de labranza)	(dirección de las líneas de siembra)	Lamina de agua (mm)
sin Paratill	cortando la pendiente	45.21 A
con Paratill	a favor de la pendiente	43.58 B
sin Paratill	a favor de la pendiente	42.23 B
con Paratill	cortando la pendiente	41.24 C

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

Para las profundidades de 50-80 cm y 80-100 cm, no hubo interacción estadísticamente significativa entre el sistema de labranza y las líneas de siembra del cultivo sobre el contenido de agua del suelo, ni tampoco de cada uno de los factores por separado.

El perfil de distribución del contenido hídrico en el suelo en todo el espesor estudiado, indicó que en los primeros 30 cm de espesor la lámina en todos los tratamientos estuvo próxima a la lámina de agua a Punto de marchites permanente (PMP), mientras que por debajo de ese espesor y hasta el metro de profundidad la lámina estuvo alrededor de capacidad de campo (CC) en todos los tratamientos (Figura 4).

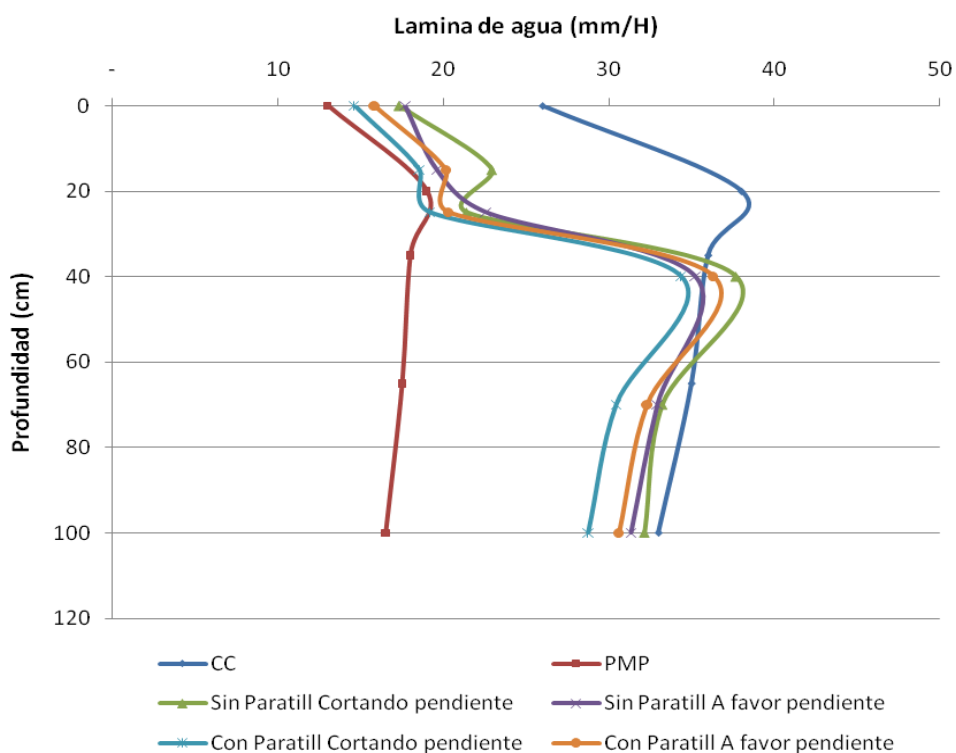


Figura 4: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad en el estado fenológico V5-V6 del cultivo en los distintos tratamientos. CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchites permanente; mm/H= milímetros de agua por horizonte.

Momento 3: estado fenológico del cultivo V11:

En el estado fenológico V11 del cultivo (11 hojas totalmente expandidas) (foto 10), no se halló interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del sistema de labranza y la dirección de la línea de siembra sobre el contenido hídrico del suelo hasta el metro de profundidad, pero sí hubo efecto de la dirección de la línea de siembra sobre el contenido de agua del suelo para el espesor de 30-50 cm (tabla 4).

Tabla 4: Efecto de la dirección de las líneas de siembra sobre el contenido hídrico del suelo (30-50 cm) en el estadio fenológico V11 del cultivo.

Dirección de las líneas de siembra	Lamina de agua (mm)
a favor de la pendiente	38.49 A
cortando la pendiente	35.59 B

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

Este resultado, si bien en valores absolutos indica un mínimo efecto, concuerda con lo esperado, posiblemente asociado al espesor del que se trata (subs superficial) en cuanto a que las técnicas de manejo del relieve como la de orientación de las líneas de siembra en forma perpendicular a la dirección de la pendiente, aumentan los procesos de retención y detención superficial con lo que se incrementa el agua infiltrada en el perfil del suelo, quedando disponible para las raíces (Cisneros *et al.*, 2004).



Foto 10: Estado fenológico V11 del cultivo. Izquierda tratamiento con paratill y derecha tratamiento sin esta labor.

Para la profundidad de 50-80 cm, se encontró efecto estadísticamente significativo del sistema de labranza sobre el contenido hídrico del suelo en dicho espesor como lo indica la tabla 5, donde el efecto del aflojamiento provocado por el paratill, pudo haber favorecido el movimiento descendente del flujo de agua como ya se ha indicado, lo que habría facilitado un anticipado desarrollo del sistema radical en profundidad, logrando que las mismas absorban más agua en comparación con los tratamientos donde no se aplicó la labor que mantuvo una mayor lámina de agua no disponible para las raíces. Según Chaudhary *et al.* (1985); Erbach *et al.* (1992); Martino (1998) y Vilche *et al.* (2004), el aflojamiento mecánico del suelo promueve una penetración radical más profunda, un mejor aprovechamiento del

agua del perfil por parte de las mismas y un incremento de la producción de materia seca en diferentes cultivos.

Tabla 5: Efecto del sistema de labranza sobre el contenido hídrico del suelo (50-80 cm) en el estadio fenológico V11 del cultivo.

Sistema de labranza	Lamina de agua (mm)
sin Paratill	49.52 A
con Paratill	45.85 B

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

Para la profundidad de 0-30 cm y 80-100 cm, no hubo interacción estadísticamente significativa entre el sistema de labranza y las líneas de siembra del cultivo sobre el contenido hídrico del suelo, ni tampoco de ambos factores por separado.

Momento 4: estado fenológico del cultivo R3-R4:

En la etapa reproductiva, en el estado fenológico R3-R4 (grano lechoso-pastoso) (foto 11), no hubo interacción estadísticamente significativa entre el sistema de labranza y las líneas de siembra del cultivo sobre el contenido hídrico del suelo para ninguna de las profundidades estudiadas. Solo se encontró efecto del sistema de labranza sobre el contenido de agua del suelo en el espesor de 30-50 cm como lo indica la tabla 6.

Tabla 6: Efecto del sistema de labranza sobre el contenido hídrico del suelo (30-50 cm) en el estadio fenológico R3-R4 del cultivo.

Sistema de labranza	Lamina de agua (mm)
sin Paratill	32.29 A
con Paratill	26.62 B

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

Los dos sistemas de labranza tuvieron en los primeros 30 cm un contenido de agua extremadamente bajo, inferior al de PMP, mientras que por debajo de esta profundidad se incrementó el contenido hídrico a un 30-40 % de agua útil en los tratamientos con paratill y 50-60 % en donde no se realizó esta labor (figura 5), debido posiblemente al efecto de fisuramiento producido por el paratill lo que habría producido que las raíces se desarrollaran anticipadamente y pudieran explorar mejor el perfil del suelo para absorber más agua en comparación con los tratamientos donde no se aplicó la labor.



Foto 11: Estado fenológico R3 del cultivo (grano lechoso).

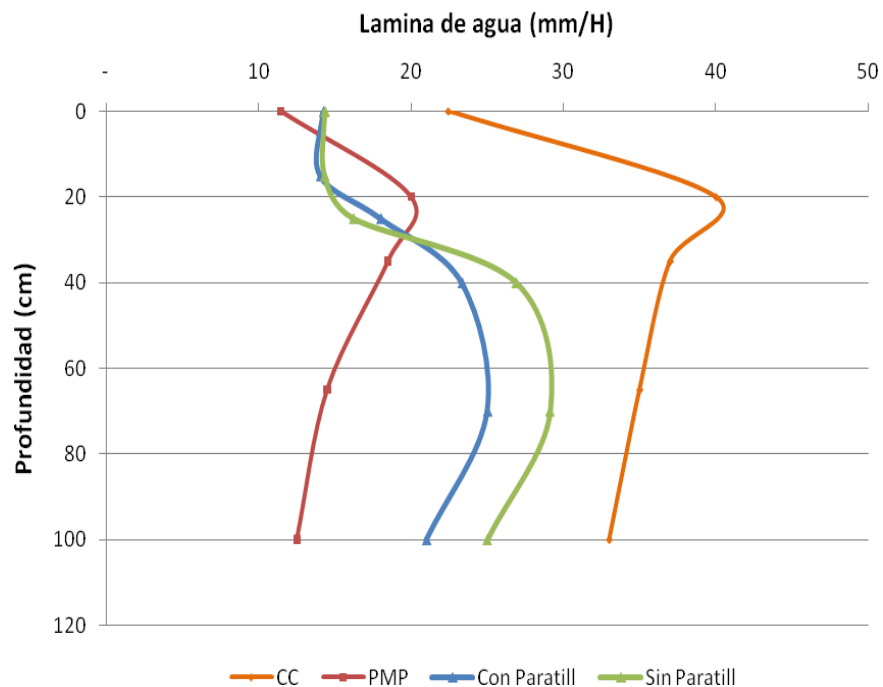


Figura 5: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad en el estado fenológico R3-R4 del cultivo en los distintos tratamientos. CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchites permanente; mm/H= milímetros de agua por horizonte.

En este estado fenológico del cultivo, según Gomez (2012), la magnitud que alcanzaron los valores de RM fue elevada, aún en los tratamientos con descompactación, atribuibles a la marcada disminución del contenido hídrico edáfico en el intervalo de tiempo transcurrido desde el momento de medición anterior hasta este. Si bien a partir de los 20 cm de profundidad en todos los tratamientos la RM mostró valores superiores a 2 MPa

considerados restrictivos para el crecimiento radicular (Brusscher *et al.*, 2000), en el suelo descompactado el valor de RM fue la mitad que en la situación sin descompactar.

Cabe destacar que los valores de RM que presentaron los tratamientos, son muy perjudiciales para el crecimiento de los cultivos, Gupta y Allmaras (1987) indican que el desarrollo de raíces se ve limitado (foto 12) cuando los valores de la resistencia a la penetración igualan o superan valores de 2 a 3 MPa, y en este caso los valores llegaron a los 13 MPa y 9.5 MPa en los tratamientos sin y con labor de descompactación, respectivamente, según Gomez (2012). En este sentido es importante conocer a partir de qué momento durante el ciclo del cultivo comenzaron a manifestarse éstas condiciones restrictivas para el desarrollo radicular, la toma de agua y nutrientes (Sadras *et al.*, 2005) más aún si se considera que en el maíz el período de crecimiento de raíces se extiende hasta R1, afectando no solo al desarrollo radical sino también al rendimiento del cultivo, considerando que el período crítico en la definición del rendimiento, según Andrade *et al.* (1996), se extiende de V13 a R3, tomando a R1 como el centro del mismo.



Foto 12: Primeros centímetros del sistema radical de una planta de maíz perteneciente al tratamiento sin labor de descompactación (a la izquierda de la imagen) y con labor de descompactación (a la derecha de la imagen).

Momento 5: estado fenológico del cultivo R5:

En el estado fenológico R5 del cultivo (grano duro o céreo) (foto 13), no hubo interacción estadísticamente significativa entre el sistema de labranza y las líneas de siembra del cultivo sobre el contenido hídrico del suelo para ninguna de las profundidades

estudiadas, solo se encontró efecto individual de ambos factores sobre el contenido de agua del suelo en el espesor de 0-30 cm (tablas 7 y 8).



Foto 13: Estado fenológico R5 del cultivo (grano duro o céreo).

Al igual que en el estadio fenológico V11 del cultivo hubo efecto de la dirección de las líneas de siembra sobre la acumulación hídrica del suelo, donde el cultivo sembrado cortando la pendiente, presentó menor lámina de agua que aquel sembrado a favor de la pendiente. Como se manifestó en aquella oportunidad, este resultado fue esperable, ya que al sembrar cortando la dirección de la pendiente, cada línea de siembra actúa reteniendo y deteniendo el agua que queda expuesta al escurrimiento superficial, con lo cual se incrementaría la lámina total de agua edáfica disponible para la toma por parte del cultivo. En este caso, la diferencia entre tratamientos en la lámina de agua acumulada en los primeros 30 cm de suelo, fue de alrededor de 4 mm. Esta mínima diferencia puede estar asociada a la escasa magnitud de la pendiente del terreno (0,5-0,7 %) que indicaría que la tecnología de orientación de las líneas de siembra tendría bajo impacto en la acumulación de agua en el perfil.

Tabla 7: Efecto de la dirección de las líneas de siembra sobre el contenido hídrico del suelo (0-30 cm) en el estadio fenológico R5 del cultivo.

Dirección de las líneas de siembra	Lamina de agua (mm)
a favor de la pendiente	26.32 A
cortando la pendiente	21.51 B

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

En este estadio avanzado del cultivo, se revirtieron los resultados que se venían manifestando en los momentos de muestreo anteriores, en donde el almacenamiento del agua

en el perfil del suelo fue mayor en los tratamientos sin descompactación que en aquellos con labor de descompactación, posiblemente asociado a que en esta etapa fenológica del cultivo cercana a madurez fisiológica, el cultivo demanda menos agua que en los estadios anteriores, disminuyendo la extracción de este recurso por parte de las raíces.

Si se considera la precipitación acumulada en este último período (250 mm), se podría sostener que el efecto de fisuramiento producido por la labor de descompactación, habría favorecido la infiltración de agua (Alvarez *et al.*, 2006), la aireación y la mejor disposición de agua para las raíces en mayor medida, que en los tratamientos donde no se realizó descompactación (Martino, 2003) y habría permitido además una mejor recarga hídrica del suelo por debajo de los 30 cm de profundidad.

Cabe destacar que según Gomez (2012) la RM en esta etapa fenológica no superó los 2 MPa en ninguno de los tratamientos y la diferencia entre los valores medios fue menor a 1 MPa entre los tratamientos con y sin labor y dicha diferencia se mantuvo en las diferentes profundidades analizadas, posiblemente debido al elevado contenido de agua que presentaba el perfil del suelo y a la relación inversa entre contenido de agua y RM, según lo planteado por Bernardo *et al.* (2009).

Tabla 8: Efecto del sistema de labranza sobre el contenido hídrico del suelo (0-30 cm) en el estadio fenológico R5 del cultivo.

Sistema de labranza	Lamina de agua (mm)
con Paratill	26.50 A
sin Paratill	21.33 B

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

Para las profundidades de 30-50 cm, 50-80 cm y 80-100 cm, no hubo interacción estadísticamente significativa entre el sistema de labranza y las líneas de siembra del cultivo sobre el contenido hídrico del suelo, ni tampoco efecto significativo de ambos factores por separado.

Momento 6: postcosecha del cultivo:

En el último muestreo que se realizó en postcosecha del cultivo, no se encontró interacción estadísticamente significativa entre el sistema de labranza y las líneas de siembra del cultivo sobre el contenido hídrico del suelo para ninguna de las profundidades estudiadas del perfil del suelo, ni tampoco efecto de ambos factores analizados por separado.

En postcosecha del cultivo, en los primeros 25 cm de profundidad el agua acumulada fue muy baja (alrededor de punto de marchites permanente) para todos los tratamientos

(figura 6). Se debe considerar que en dicho período hubo bajas precipitaciones (80 mm en 40 días) y que el proceso de aflojamiento mecánico pudo contribuir al mayor desecamiento edáfico observado en la profundidad de labor, lo que coincidió con lo publicado por Vilche *et al.* (2004) y Vilche y Alzugaray (2008) para situaciones similares.

La mayor acumulación de agua en el perfil del suelo ocurrió entre los 40 y 60 cm de profundidad para todos los tratamientos, alrededor de la capacidad de campo, posiblemente asociado a las recarga hídrica por precipitaciones producida en el período anterior (R5) y a que las raíces del cultivo ya no extraían agua del suelo.

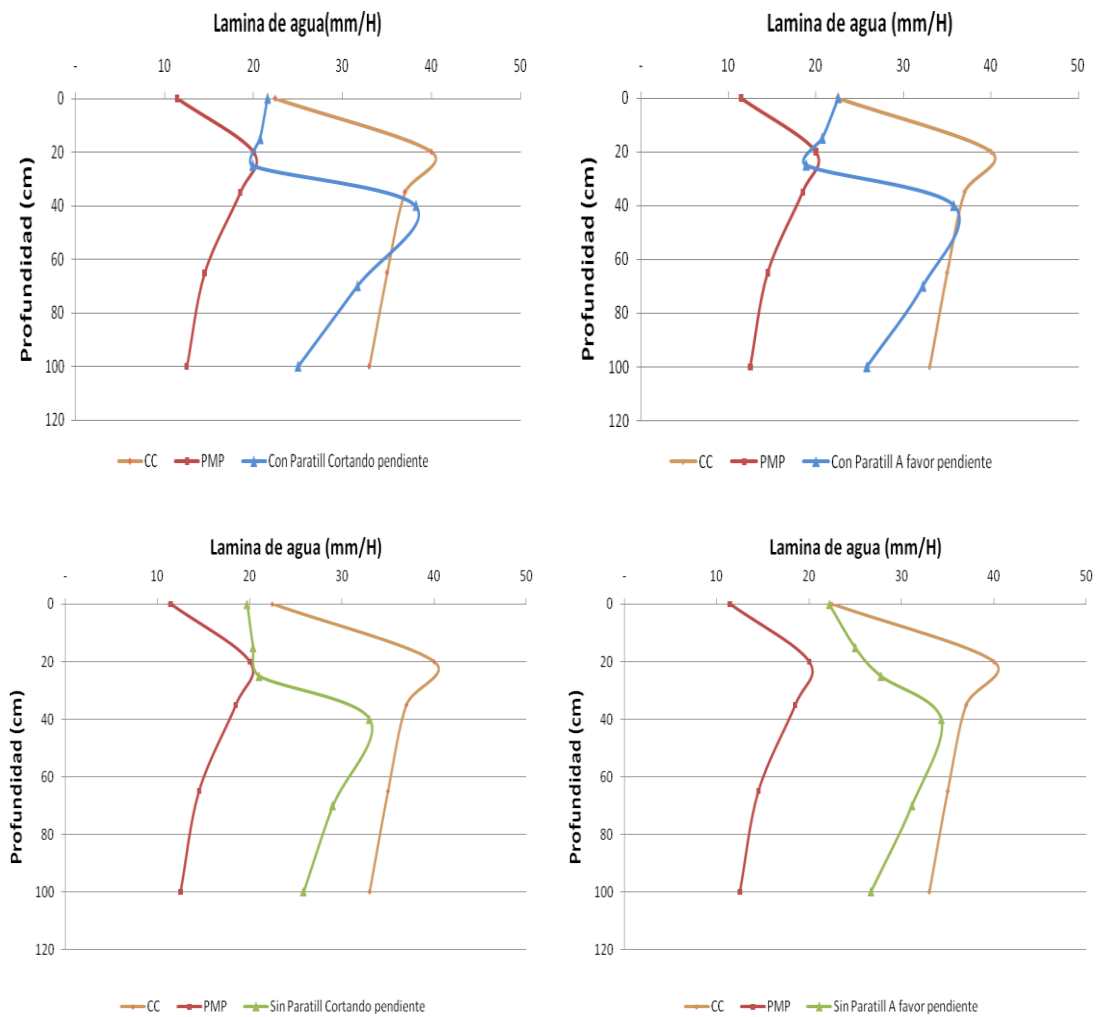


Figura 6: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad en los diferentes tratamientos en el momento de postcosecha del cultivo. CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchites permanente; mm/H= milímetros de agua por horizonte.

3.1.2-Evolución de la lámina total de agua almacenada en función del tiempo:

Al analizar el comportamiento de la lámina de agua acumulada en todo el perfil del suelo estudiado, en los diferentes momentos evaluados para los distintos tratamientos, se aprecia que hubo diferencias estadísticamente significativas entre los mismos (tabla 9). Es necesario destacar que estas diferencias no pudieron ser relacionadas a variaciones en la densidad aparente (DAP) en los diferentes tratamientos de labranza, ya que esta variable solo se midió en postcosecha del cultivo obteniendo una diferencia estadísticamente significativa solo en los primeros 10 cm de profundidad del suelo.

Tabla 9: Láminas totales de agua almacenada en el perfil del suelo (mm) en los tratamientos de siembra directa con y sin paratill en cada momento de análisis durante el ciclo del cultivo.

Momento	sistema de labranza	
	con paratill	sin paratill
Siembra	187 (A)	203 (B)
V5-V6	189 (A)	202 (B)
V11	170.7 (A)	186.5 (B)
R3-R4	128.6 (A)	150 (A)
R5	258.7 (A)	216.7 (B)
Postcosecha	199.8 (A)	200.6 (A)

Para cada momento letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$)

La ausencia de efecto de la orientación de las líneas de siembra en el almacenamiento de agua en el perfil podría estar asociada al escaso gradiente y homogeneidad de la pendiente, características que determinaron un bajo impacto de esta técnica de manejo del relieve.

Al analizar la evolución de la lámina de agua total almacenada en el metro de profundidad (figura 7) se aprecia que desde siembra hasta los estadios R3-R4 del cultivo, los tratamientos que recibieron paratill presentaron menor contenido de agua que los que no recibieron esta labor, situación que en el estadio R5 se revirtió de manera marcada, este comportamiento podría estar asociado a que con la implementación de la labor mecánica de descompactación se logró una mejor condición física del perfil de modo que las raíces pudieron haber explorado un mayor volumen de suelo y por lo tanto lograr una mayor captación de agua durante gran parte del período vegetativo, lo que determinó que en los diferentes momentos de muestreo los tratamientos con paratill tuvieran menor contenido hídrico que los que no recibieron esta labor. A partir de R5 la extracción por parte del cultivo

decaería debido al avance de la fenología, evidenciándose el mayor incremento en el contenido de agua en el suelo en los tratamientos descompactados, asociado a la recarga por precipitaciones, de la cual una mayor proporción de agua infiltró en el suelo a diferencia de las situaciones sin descompactar en donde una pequeña proporción de la lámina llovida se perdió por escurrimiento superficial, según datos analizados por Rovera (2012) (*) en el mismo ensayo experimental y de manera simultánea al presente trabajo.

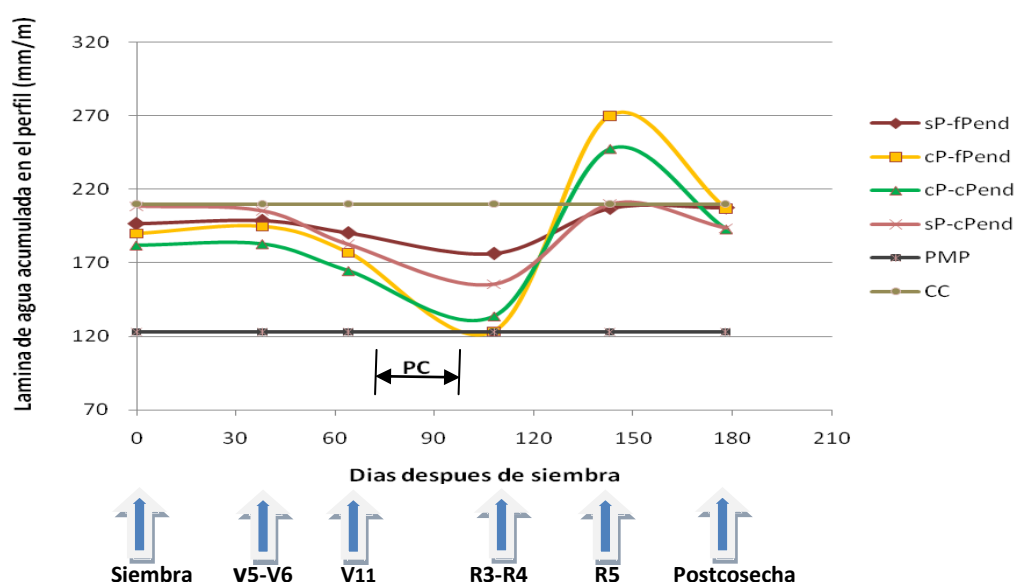


Figura 7: Evolución de la lámina total de agua (mm) almacenada en el perfil del suelo (0-100 cm) durante el ciclo del cultivo. sP-fPend= siembra directa a favor de la pendiente sin labor paratill; cP-fPend= siembra directa a favor de la pendiente con labor paratill; cP-cPend= siembra directa cortando la pendiente con labor paratill; sP-cPend= siembra directa cortando la pendiente sin labor paratill; PC= periodo crítico del maíz alrededor de floración; CC= Capacidad de campo y PMP=.punto de marchites permanente.

De la consideración de lo señalado precedentemente, se puede sostener que la introducción de la labor de descompactación ocasionaría una mayor provisión y mejor redistribución del agua en el perfil del suelo que los tratamientos sin descompactar y propiciaría un mejor desarrollo radical el cual según Vilche *et al.* (2000), Tubeileh *et al.* (2003) y Osuna-Cejas *et al.* (2005), obedecería a un patrón de resistencia mecánica diferente al de la situación sin descompactar. En este sentido según evaluaciones de la RM realizadas por Gomez (2012) en los mismos tratamientos y de manera simultánea al presente trabajo, los tratamientos sin paratill presentaban una restricción física que ocasionó una menor profundidad efectiva de exploración por las raíces del cultivo de maíz respecto a la situación con paratill, lo que habría producido una menor utilización de agua por parte del cultivo,

(*) Datos no publicados correspondientes a trabajo final de grado de J. Rovera (en etapa de redacción).

concordando con Tardieu (1994), quien afirma que las raíces de las plantas crecen por los sectores abiertos con menor resistencia mecánica que a través de los suelos compactados.

De acuerdo al trabajo realizado por Gomez (2012), la RM determinada en el momento de la siembra del cultivo hasta los 45 cm de profundidad fue menor en el tratamiento donde se implementó la labor de paratill, lo cual pudo haber influido en forma positiva en el crecimiento radical del cultivo en las primeras etapas de desarrollo. Según Whiteley *et al.* (1981), valores de RM del suelo superiores a 1,3 MPa en la etapa de emergencia, pueden afectar el normal desarrollo de la radícula de numerosas especies vegetales. Sumado a esto, en la etapa de implantación del cultivo se registraron valores de agua útil en el suelo inferiores al 40 % en todos los tratamientos hasta los 30 cm de profundidad (figura 8), valor por debajo del cual puede verse afectado el crecimiento de las raíces (Muchow y Sinclair, 1991; Dardanelli *et al.*, 1991).

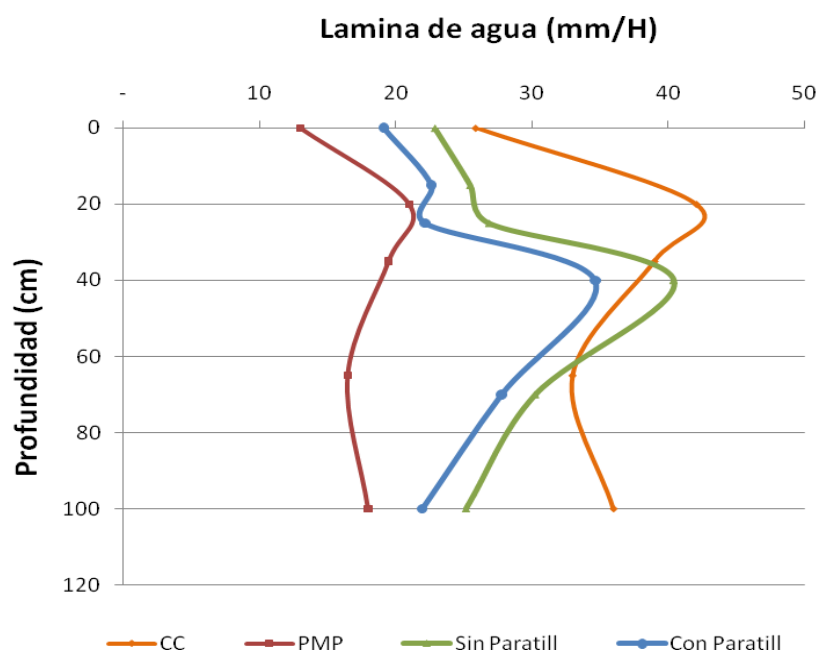


Figura 8: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad en el momento de la siembra del cultivo en los distintos tratamientos. CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchites permanente; mm/H= milímetros de agua por horizonte.

Aproximadamente 15 días antes y 15 días después de floración (período crítico para el maíz) el cultivo debe estar exento de limitaciones de recursos ya que se define el rendimiento potencial del mismo. Según Andrade *et al.* (1996), el contenido de agua en el suelo requerido durante dicho período de determinación del rendimiento, es superior al demandado en el resto del ciclo fenológico. Como indica la figura 7, el periodo crítico alrededor del día 80 después de siembra del cultivo, se encontró con un contenido de agua útil del 50% en

promedio en los tratamientos sin paratill y del 30% aproximadamente para los tratamientos con paratill. Sin embargo, según Gomez (2012) en ese período el perfil de distribución de la resistencia mecánica en profundidad indicó que en los tratamientos con paratill los valores de la variable fueron inferiores que en aquellos donde no se realizó la labor en donde alcanzó valores de hasta 3,5 MPa, especialmente a partir de los 20 cm de profundidad, valor altamente restrictivo para el crecimiento y desarrollo de raíces (Alvarez *et al.*, 2010). Se podría reafirmar que el aflojamiento producido por la labor favoreció el movimiento descendente del flujo de agua en el perfil y habría facilitado el desarrollo del sistema radical, induciendo una exploración más temprana del perfil del suelo y una mayor absorción de agua (figura 9), lo cual podría explicar el incremento en el rendimiento del cultivo en los tratamientos descompactados respecto a los sin descompactar.

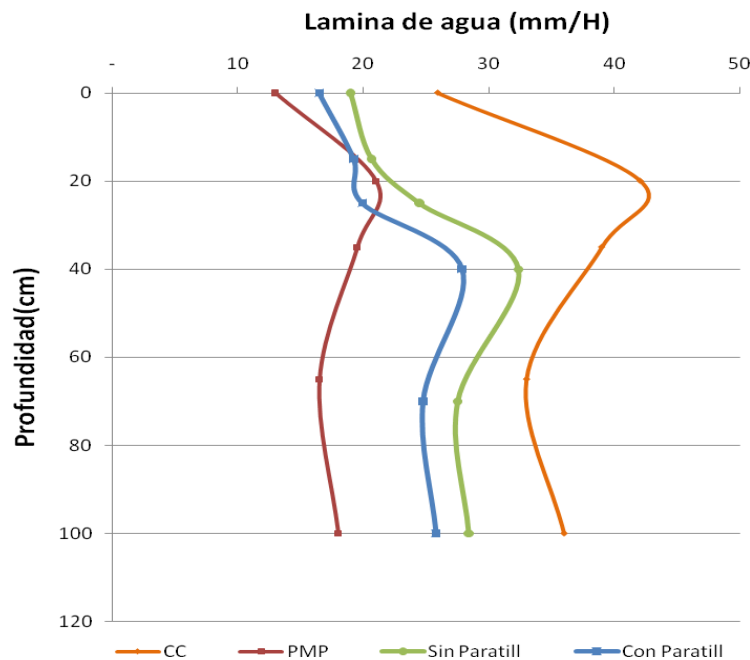


Figura 9: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad alrededor de la floración del cultivo según el sistema de labranza. CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchites permanente; mm/H= milímetros de agua por horizonte.

A fines de Enero y principios de Febrero el cultivo estaba en el estado fenológico de grano lechoso-pastoso (R3-R4), en el que los tratamientos sin paratill presentaban un contenido hídrico en el suelo levemente superior que aquellos tratamientos con paratill, estando estos últimos prácticamente a un contenido de agua próximo a PMP (figura 10), posiblemente debido a la extracción por parte del cultivo y a la escasez de precipitaciones desde la siembra hasta dicho periodo (figura 1).

De acuerdo a Martín (2004) bajo estas situaciones de escasez de agua, el cultivo de maíz regula la pérdida de agua mediante el cierre de los estomas de sus hojas, manteniéndolos abiertos durante la mañana y cerrándolos al mediodía cuando la demanda atmosférica es más alta o puede adelantar el cierre estomático cuando el estrés hídrico se incrementa, además de aumentar la velocidad de exploración del suelo en profundidad y así postergar su deshidratación. Por lo cual, si la humedad del suelo no se repone rápidamente, la extracción de agua profunda será a través de un proceso menos eficiente y con un crecimiento retardado del cultivo. En relación a ello, y de acuerdo a los resultados discutidos hasta aquí, la condición física de los tratamientos con paratill habría resultado más propicia para soportar semejante estrés hídrico que la de los tratamientos sin dicha labor.

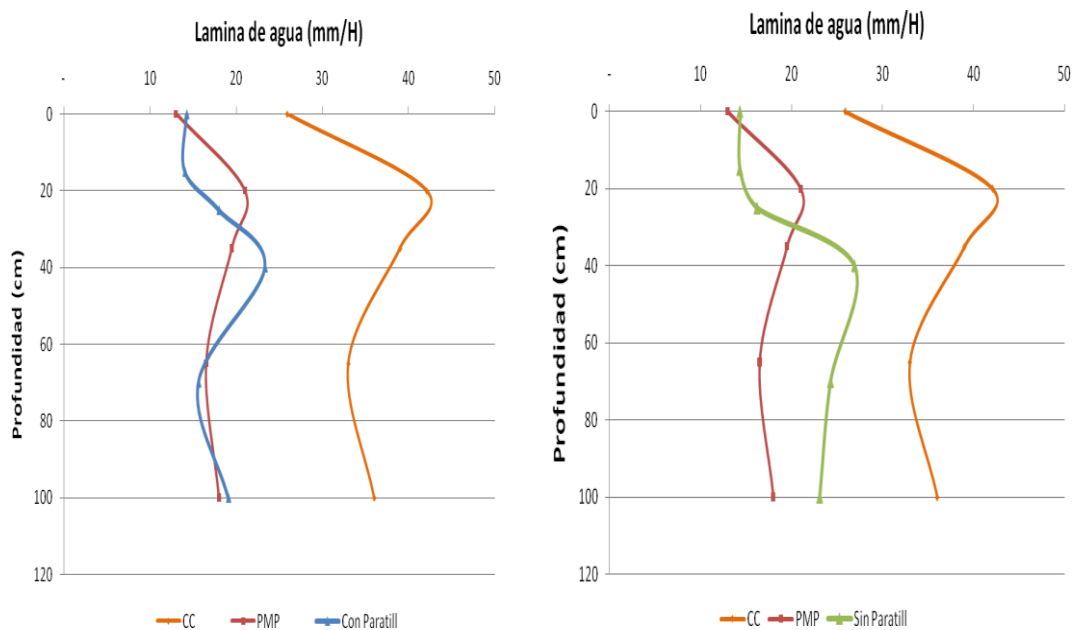


Figura 10: Variación del contenido de agua (mm) en profundidad para los tratamientos con y sin paratill en el estado fenológico R3-R4 del cultivo. CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchites permanente; mm/H= milímetros de agua por horizonte.

Durante el mes de Febrero y principios de Marzo hubo una recuperación del contenido hídrico del suelo (250 mm precipitados aproximadamente como lo indica la figura 1), recargando el perfil en forma considerable en los tratamientos donde se implementó la labor, favoreciendo el periodo de llenado de granos del cultivo, pudiendo conservar un perfil húmedo para el cultivo invernal a implantar (Pikul *et al.*, 1990), teniendo en cuenta que las necesidades hídricas van siendo progresivamente decrecientes por parte del cultivo a medida que se acerca a madurez fisiológica, donde el grano comienza un activo proceso de desecación. Lo antes dicho concuerda con Introcaso *et al.* (2008), quien dice que en el estado

fenológico avanzado que se encuentra el cultivo, las diferencias en el contenido hídrico pueden deberse en mayor medida, al efecto de la descompactación de la capa densificada, lo que genera una mejor recarga del perfil por parte de las precipitaciones ocurridas.

Se debe considerar que los estados fenológicos R5 y postcosecha del cultivo fueron los únicos dos momentos en donde hubo influencia significativa de la orientación de las líneas de siembra (tabla 10). El valor medio de lámina total acumulada al metro de profundidad en siembra perpendicular a la pendiente, fue inferior al de la siembra en dirección de la pendiente. Este resultado puede asociarse a lo que plantea Cisneros *et al.* (2012) en cuanto a que la siembra perpendicular a la dirección de la pendiente ofrece rugosidad y por lo tanto genera detención y retención del agua que se mueve superficialmente, lo que posiblemente habría incrementado el agua almacenada en el suelo sembrado de manera perpendicular a la pendiente, por lo que el cultivo hasta el estadio R5 pudo haber extraído más agua en los tratamientos sembrados cortando la pendiente que en aquellos sembrados a favor de la misma y las recargas hídricas producidas por las precipitaciones posteriores a R5 no alcanzaron a emparejar el contenido de agua del suelo de ambas orientaciones de líneas de siembra.

Tabla 10: Comparación de láminas de agua totales almacenadas en el perfil del suelo (mm) según el efecto de la dirección de las líneas de siembra.

Momento	Dirección de las líneas de siembra	
	cortando la pendiente	a favor de la pendiente
R3-R4	144.5 (A)	133.1 (A)
R5	228.7 (A)	246.8 (B)
Postcosecha	193.2 (A)	207.2 (B)

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Aclaración: la lectura de la tabla es en sentido horizontal.

Este comportamiento podría estar asociado también a que los valores medios están constituidos por los valores de las láminas almacenadas en los dos sistemas de labranza sembrados a favor y en contra de la pendiente, pudiendo tener influencia en los resultados la mayor lámina de agua almacenada en los tratamientos sin descompactar que es los que se vio en gran parte de los momentos analizados. Sin embargo, cabe aclarar que las diferencias en valores absolutos entre las dos orientaciones de siembra fueron muy pequeñas, siendo de 18 mm y de 14 mm en R5 y postcosecha respectivamente.

3.2-Densidad Aparente:

La evaluación de la DAP se realizó posterior a la cosecha del cultivo y se evidenció diferencia estadísticamente significativa con respecto a la labor de descompactación en los primeros 10 cm de profundidad del suelo como lo indica la tabla 11. Se aprecia que en las demás profundidades, las diferencias entre los valores de DAP se deben a la profundidad y no al efecto de la labranza.

Tabla 11: Valores medios de densidad aparente en los tratamientos de siembra directa con y sin labor de paratill, en función de la profundidad.

Profundidad (cm)	Sistema de labranza	
	con paratill	sin paratill
0 – 10	1,39 (B)	1,57 (A)
10 – 20	1,46 (B)	1,56 (B)
20 – 30	1,54 (B)	1,56 (B)
30 – 50	1,56 (B)	1,56 (B)
50 – 80	1,52 (B)	1,55 (B)
80 - 100	1,51 (B)	1,53 (B)

Para cada profundidad letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p <= 0,05$)

Como se observa en dicha tabla, hubo una tendencia a favor de los tratamientos con labor de descompactación, en donde se observa una disminución en los valores de DAP en los primeros 10 cm de profundidad, con valores de hasta 1.4 Mg m^{-3} aproximadamente y de 1.53 Mg m^{-3} aproximadamente desde los 25 cm en adelante. Este comportamiento podría estar asociado a que la profundidad de trabajo de la herramienta descompactadora fue de 27 cm aproximadamente. En los tratamientos sin paratill, en cambio, la DAP fluctuó entre 1.53 Mg m^{-3} y 1.57 Mg m^{-3} en todo el perfil.

Esta tendencia fue coincidente con los resultados obtenidos por Elissondo *et al.* (2001), quienes utilizando una labranza vertical (tipo cincel) en suelos (Argiudoles típicos) con dos años de siembra directa, encontraron diferencias en los valores de DAP, en los primeros centímetros del suelo, perdurando solo durante el ciclo del cultivo y con los hallados por Cholaky *et al.* (2005), quienes evaluaron la DAP en el momento inmediatamente posterior a una labor de descompactación con subsolador alado en un Haplustol típico, y observaron una reducción estadísticamente significativa en la DAP de las capas del perfil cultural afectadas por la labor. De manera contraria a dichos resultados,

Pillatti y de Orellana (2000), Hamilton-Manns *et al.*, 2002, Botta *et al.* (2004) y Alvarez *et al.* (2006) en Argiudoles típicos y Gomez (2011) y Principi (2011) en Hapludoles típicos, no observaron diferencias significativas en la densidad aparente obtenida sobre los tratamientos donde realizaron descompactación con paratill, demostrando una baja sensibilidad de este indicador a los distintos manejos.

Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate. De acuerdo a Silenzi *et al.* (2000), en suelos de la región semiárida Pampeana Argentina, el crecimiento radicular fue fuertemente restringido a partir de 1,45-1,55 Mg m⁻³, por lo que de acuerdo a lo observado en la tabla 12, al comparar los valores de DAP críticos (según modelo propuesto por Pilatti y Orellana, 2000), con los valores promedio de DAP obtenidos en la evaluación a campo en ambos tratamientos de labranza, se puede sostener que salvo los primeros 20 cm (horizonte Ap) del tratamiento con paratill, que están cerca de los valores críticos de DAP, los demás horizontes superan considerablemente los demás, como así también en todo el perfil del suelo en los tratamientos sin paratill, por lo que se condicionaría el crecimiento radicular, indicando en ambas situaciones un deterioro de la condición física del suelo debido al proceso de compactación.

Tabla 12: Densidad aparente crítica (según Pilatti y Orellana, 2000) y densidad aparente actual en los tratamientos de labranza en cada horizonte del suelo.

Horizontes	Profundidad (cm)	Arcilla (%)	DAP crítica (Mg m ⁻³)	DAP (Mg m ⁻³) con paratill	DAP (Mg m ⁻³) sin paratill
Ap	0-21	14,8	1,43	1,42	1,56
BW	21-40	15,6	1,42	1,55	1,56
BC	40-66	12,4	1,44	1,52	1,55
C	66	9,6	1,46	1,51	1,53

3.3-Rendimiento del cultivo de maíz, según los tratamientos:

Al realizar la estimación del rendimiento del cultivo en los diferentes tratamientos se obtuvo en aquellos que recibieron la labor de descompactación, un rendimiento promedio mayor (13,6 %) que los tratamientos sin labor, siendo el tratamiento con mayor rendimiento aquel que recibió la labor de paratill y se sembró el cultivo cortando la pendiente general del lote (figura 11).

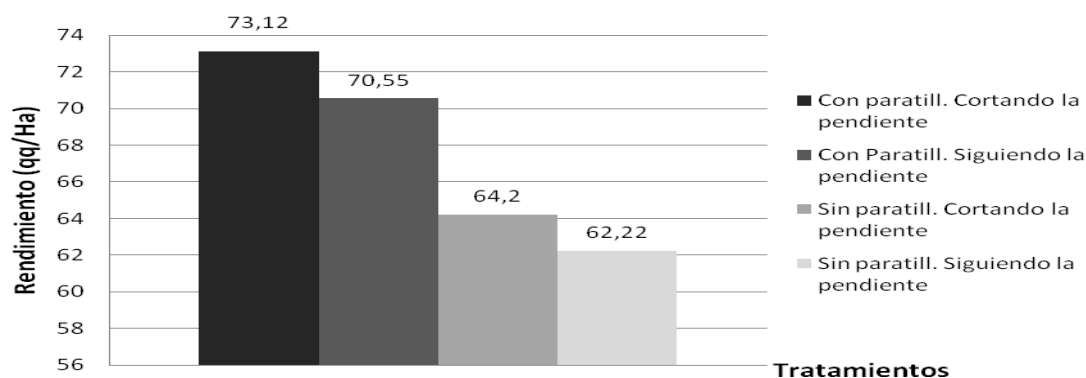


Figura 11: Rendimiento promedio en qq/ha de los diferentes tratamientos.

Estadísticamente no hubo efecto de la interacción entre el factor dirección de las líneas de siembra y el factor labor sobre el rendimiento del cultivo de maíz. De igual manera el efecto de la dirección de las líneas de siembra no fue estadísticamente significativo (Figura 13), pero provocó un incremento de 2,40 qq ha⁻¹ en el rendimiento del cultivo. Sin embargo el efecto del factor labor sobre el rendimiento del cultivo de maíz fue estadísticamente significativo con un $p < 0,05$ (Figura 12).

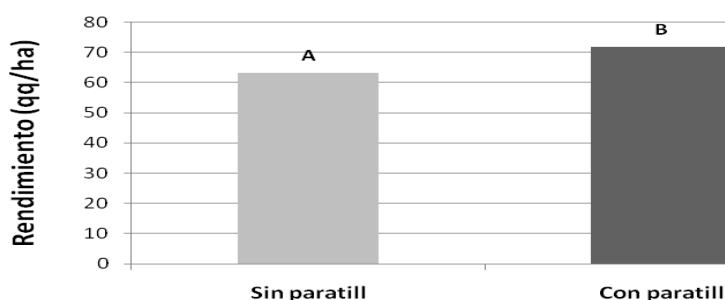


Figura 12: Rendimiento del cultivo de maíz (qq/ha) en función de la labor

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

En general los tratamientos con labor de descompactación tuvieron como resultado una disminución en los valores de resistencia mecánica en el perfil, hasta aproximadamente

los 45 cm de profundidad, condición que se mantuvo a lo largo del ciclo del cultivo, lo que pudo haber definido una mejor condición para la exploración radicular, la infiltración de agua y la mayor disponibilidad de la misma para las raíces, aspectos que pudieron haber influido en los diferentes rendimientos obtenidos en los tratamientos realizados. En éste sentido Sadras *et al.* (2005), sostienen que los aumentos en los rendimientos de un cultivo por efecto de una labor de descompactación, deberían ser atribuidos al efecto que esta labor produce sobre la resistencia a la penetración de las raíces y por consiguiente en la mayor captación de agua y nutrientes en el volumen de suelo explorado y no por el efecto que realiza sobre el almacenamiento de agua en el perfil.

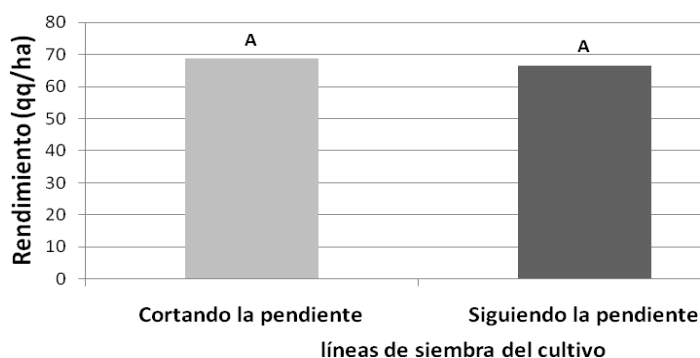


Figura 13: Rendimiento del cultivo de maíz (qq ha⁻¹) en función de la dirección de las líneas de siembra del cultivo.

**Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p ≤ 0,05).*

Cabe destacar que si bien la cantidad de precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo fue elevada, los rendimientos en los tratamientos fueron inferiores a los rindes normales de la zona en años con abundantes precipitaciones, siendo estimado un rinde potencial de aprox. 10.000 kg ha⁻¹ de maíz para los 569 mm de lluvia considerando una eficiencia en el uso del agua de 18 kg mm⁻¹ de agua de evapotranspiración potencial (evtp) (Andrade *et al.*, 1996) y solo obteniendo en nuestro caso 6.750 kg ha⁻¹ en promedio. Ello pudo deberse, entre otros factores, a que gran parte de las lluvias ocurrieron luego del periodo crítico para la definición del rendimiento por parte del cultivo (V10 – R3). A pesar de ello, el rendimiento extra por efecto de la labor de descompactación, justifica económicamente el pago de la misma, ya que el costo de la misma fue de 250 \$ ha⁻¹. Tomando un rendimiento extra promedio de 8.6 qq ha⁻¹ por efecto de la labor y afectándolo por el precio del maíz al momento de la cosecha del cultivo, que fue de 700 \$ Tn⁻¹ (Agrositio, 2011), se obtuvieron alrededor de 600\$ ha⁻¹. Es decir, que con algo menos de la mitad del rendimiento extra obtenido por la labor de descompactación, se cubrió el costo de la misma.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES

Para las condiciones de suelo, relieve, precipitación y de tecnologías de manejo del suelo presentes en el trabajo realizado, se concluye lo siguiente:

- En las etapas de mayor requerimiento de agua por el cultivo el suelo descompactado presenta menor contenido hídrico que la situación sin descompactar, asociado a mejores condiciones físicas del suelo para la exploración radicular.
- La orientación de las líneas de siembra tiene bajo impacto en la acumulación de agua en el perfil de suelo, esto podría deberse al escaso gradiente y homogeneidad de la pendiente (0,5-0,7 %).
- En postcosecha la densidad aparente solo se mantiene por debajo de niveles críticos en los primeros 10 cm de profundidad en los tratamientos con paratill, mientras que en aquellos sin esta labor la densidad supera los valores críticos desde superficie.
- La inclusión de una labor de descompactación en un planteo de siembra directa continua, incrementa el rendimiento del cultivo de maíz en comparación con la siembra directa sin descompactación. Este incremento del rendimiento, justifica económicamente la realización de esta labor.

BIBLIOGRAFÍA

ABASTO, 2004. **Una investigación sobre los efectos negativos de la erosión hídrica en Aldea Santa María, provincia de Entre Ríos.**

En: <http://www.erosionhidrica.blogspot.com.ar>. Consultado: 16-08-2012.

AGROSITIO, 2011. Informe quincenal - mercado de granos. En: <http://www.agrositio.com>. Consultado: 28-06-2012.

AIMAR, S. B. 2002. **Estimaciones cualitativas y cuantitativas de pérdidas por erosión eólica en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central.** Tesis de Magíster en Agronomía. Universidad Nacional del Sur. 143 pp.

ALAKUKKU, L.; P. WEISSKOPF; W. CHAMEN; F. TIJUNK; J. VAN DER LINDEN; S. PIRES; C. SOMMER y G. SPOOR 2003. **Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review.** Part 1. Machine soil interactions. *Soil Till Res* 73: 145-160.

ALVAREZ, R. y S. GRIGERA 2005. **Analysis of soil fertility and fertilizer effects on wheat and corn yield in the Rolling Pampa of Argentina.** *J. Agron. Crop. Sci.* 191: 321-329.

ALVAREZ C.; M. TABOADA; C. BUSTINGORRI y F. H. GUTIERREZ BOEM 2006. **Soil alleviation in direct drilling systems: effect on soil physical properties and maize crop.** *Ci. Suelo (Argentina)* 24 (1): 1- 10.

ALVAREZ, 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.

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

AMATO, M. y J. RITCHIE 2002. **Spatial distribution of roots and water uptake of maize (*Zea mays* L.) as affected by soil structure.** *Crop Sci.* 42: 773-780.

ANDRADE, F. H.; A. G. CIRILO; S. A. UHART y M. E. OTEGUI. 1996. *Ecofisiología del cultivo de Maíz*, 1ª Ed. **Editorial La Barrosa.** Dekalb Press y CERBAS-EEA INTA Balcarce (Ed). Balcarce, Argentina. 292 pp.

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

BERGESIO L.; C. CHOLAKY; E. BRICCHI y J. CISNEROS 2010. Persistencia del efecto de una labor profunda en un haplustol típico con siembra directa y pastoreo de rastrojo. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario, Argentina.

BERNARDO I., I. MORENO, E. BONADEO, R. MARZARI y M. BONGIOVANNI 2009. Material de apoyo didáctico de la asignatura **sistema suelo-planta**. pág: 59. FAV. UNRC. Impreso en CEIA.

BLAKE G. R. y K. H. HARTGE. 1986. En: A. Klute (ed.) **Methods of soil analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph** no. 9 2nd Edition. ASA and SSSA, Madison, WI. pág. 363-375.

BONO A. y R. ALVAREZ. 2006. Rendimiento de trigo y respuesta a la fertilización en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. **XX Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo**. Presentación en CD. 10 pág.

BONO, A. y R. ALVAREZ. 2008 Aplicaciones de redes neuronales artificiales para estimar el contenido de agua de los suelos en profundidad usando el nivel de humedad superficial. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. San Luis, Argentina.

BOTTA, G. F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R. & H. ROSSATO 2004. **Mechanical and cropping behavior of direct drilled soil under different traffic intensities: effect of soybean (*Glycine max L.*) yields**. Soil Till. Res. 78: 53-58.

BOTTA, G. F.; D. JORAJURIA; R. BALBUENA; M. RESSIA; C. FERREO; H. ROSATTO; M. TOURN. 2006. **Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annus L.*) yields**. Soil and Tillage Research, v. 91, p. 164-172.

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.

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.

CANTU, 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.

CASAS, R. R. 2004 "El suelo, un recurso estratégico", Clarín Rural, Buenos Aires, 17 de enero de 2004.

CHAUDHARY, M. P.; G. P. AJRI; S. S. PRIHAR y R. KHERA. 1985. **Effect of deep tillage on soil physical properties and maize yield on coarse texture soils.** *Soil and Tillage*. Research 6: 31-44.

CHOLAKY, C.; J. CISNEROS y R. H. BALBUENA. 2005. El perfil cultural: una herramienta para discriminar modificaciones en la estructura edáfica producidas por una labor profunda. **Revista de la Universidad Nacional de Río Cuarto 25 (1): 53-83.**

CHOLAKY, C.; M. CACIAVILLANI; E. BRICCHI. 2009. **Persistencia del efecto de descompactadores en suelos con historia de siembra directa.** Experiencia en haplustoles/udoles del sur de Córdoba. Taller física de los suelos. Alternativas de manejo para la descompactación superficial y subsuperficial en sistemas de siembra directa. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. En CD.

CISNEROS, J.; A. CANTERO; C. CHOLAKY; M. REYNERO y J. GONZÁLEZ 2004. **Manejo de la condición física de los suelos: manejo del agua.** Documento de apoyo didáctico para el curso de uso y manejo de suelos. p: 22-27. Centro de estudiantes de Ingeniería Agronómica de la UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

CISNEROS, J; C. CHOLAKY; A. CANTERO; A. GUTIERREZ; J. GONZALEZ; M. REYNERO; A. DIEZ y L. BERGESIO 2012. **Erosión Hídrica. Principios y técnicas de manejo.** Formato digital. Río Cuarto, Argentina: 286 pág.

CLARK, R. L.; D. E. RADCLIFFE; G. W. LANGDALE; y R. R. BRUCE 1993 Soil strength and water infiltration as affected by paratillage frequency. *Trans. ASAE* 36:1301-1305.

En: www.procisur.org.uy/data/documentos/22468.pdf. Consulta: 23-09-2010.

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. Pág 77.

DARDANELLI, J; E. SUERO; F. ANDRADE; J. ANDRIANI 1991. **Water deficits during reproductive growth of soybeans. II . Water use.** *Agronomie* 11:747-756.

DÍAZ-ZORITA, M. 2000. **Effect of deep-tillage and nitrogen fertilization interactions on dryland corn (*Zea mays* L.) productivity.** *Soil Till. Res.* 54 (1):11-19.

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.

DOMÍNGUEZ, J; J. RESSIA; D. JORAJURIA; R. BALBUENA; G. MENDIVIL. 2000. **Reología del suelo bajo diferentes tratamientos mecánicos**. II C. Am. Ing. Agr. 110-115.

DURÁN, D. 1998. **Los procesos de degradación y la conservación de suelos en la República Argentina**. La Argentina ambiental -naturaleza y sociedad-. Editorial, Buenos Aires, Argentina.

ELISSONDO J. L., J. L. COSTA; E. SUERO; K. P. FABRIZZI; F. GARCIA. 2001. **Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo luego de la introducción de labranzas verticales en suelos bajo siembra directa**. Revista Ciencia del suelo. 19: 11-19.

ERBACH, D. C; R. M. CRUSE; T. M. CROSBIE; D. R. TIMMONS; T. C. KASPAR y K. N. POTTER 1986. **Maize response to tillage-induced soil conditions**. Trans. ASAE 29: 690-695.

ERBACH, D. C; R. M. CRUSE; M. A. ELAMIN; S. MUKHTAR y C. H. CHOI 1992. **Soil and crop response to tillage with paraplow**. Trans. ASAE 35: 1347-1354.

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

EVANS, S. D; M. J. LINDSTROM; W. B. VOORHEES; J. F. MONCRIEF & G. A. NELSON. 1996. **Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil moisture, and corn yield**. Soil Till. Res. 38: 35-46.

FERNÁNDEZ, R; N. PEINEMANN; E. NOELLERMEYER y A. QUIROGA. 2006. **Efecto de la cobertura sobre la eficiencia del barbecho en la Región Semiárida Pampeana**. Publicación Técnica N° 66. EEA Anguil INTA. 37-44 pág.

FERNANDEZ, R. y A. QUIROGA 2008 Efecto del sistema de labranza en la eficiencia de almacenamiento del agua en la región semiárida pampeana. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. San Luí, Argentina.

FERRARIS, G. y L. COURETOT 2004 Cuadernillo de maíz. Descompactación de suelos.

En: www.sofoval.com/biblioteca/cultivos-verano/compactacion-en-maiz-04.pdf. Consultado: 17-09-2010.

FUNARO, D; N. PEINEMANN; E. NOELLERMEYER; M. SAKS y A. QUIROGA. 2006. **Efecto de la disponibilidad de agua y nitrógeno para girasol en la Región Semiárida Pampeana**. Publicación Técnica N° 67. EEA Anguil INTA. 26-34 pág.

FUNARO, D; J. GARAY; R. RIVAROLA y A. QUIROGA. 2008. **Algunos factores determinantes del rendimiento de girasol en la región semiárida pampeana central**. Publicación Técnica N° 72. EEA Anguil INTA. 27-32 pág.

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

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

GOMEZ, M. A. 2011 **Efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre el almacenamiento de agua en un Hapludol típico del sur Córdoba manejado en siembra directa.** Tesis de grado. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

GUPTA, S. C. y R. R. ALLMARAS. 1987. **Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction.** *Adv. Soil Sci.* 6:65-100.

HAMILTON-MANNS, M; C. W. ROSS; D. J. HORNE & C. J. BAKER. 2002. **Subsoil loosening does little to enhance the transition to no-tillage on a structurally degraded soil.** *Soil Till. Res.* 68 (2):109- 119.

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

INTROCASO, R. M.; J. M. GUECAIMBURU; J. L. TORELLA; E. C. FAITA; E. WASINGER y C. B. IRURTIA. 2008. Acción de la descompactación en siembra directa sobre indicadores físicos de suelo. **XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo.** San Luís, Argentina.

KLUTE, A. 1986. **Water retention: Laboratory methods.** En: A. Klute (Edit.) *Methods of soil analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph no. 9* 2nd Edition. ASA and SSSA, Madison, WI. Pág. 635-686.

LABRADOR J. 1999. **Guía de la Agricultura Ecológica en la Comunidad Valenciana. Recursos para agricultores, consumidores y técnicos.** Seminar on Ecological Farming. Autonomous Government of Valencia. Pág. 186.

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

MADDONNI, G. A; S. URRICARIET; C. M. GHERSA y R. S. LAVADO 1999. **Assessing soil quality in the Rolling Pampa (Argentina), using soil properties and maize characteristics.** *Agron. J.* 91: 280- 287.

MARTÍN O. G. 2004 El maíz y el agua. Cátedra de Forrajes y Cereales FAZ – UNT. En: http://www.produccion.com.ar/2004/04dic_08.htm. Consultado: 13-06-2012.

MARTINEZ A. 2010. **Comportamiento del cultivo de soja bajo dos sistemas de labranzas en Haplustoles típicos de Córdoba**. Tesis de grado. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

MARTINO, D. L. 1998 **Alleviation of soil physical constraint in direct -seeding in Uruguay. Tesis PhD University of Manitoba, Canadá**. En: Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. INIA La Estanzuela, Colonia 70000, Uruguay. Martino Daniel www.fagro.edu.uy/~eemac/siembra_directa.

MARTINO L. D. 2003. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. Grupo de Riego, Agroclima, Ambiente y Agricultura Satelital (GRAS) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay. En: http://www.produccionanimal.com.ar/suelos_ganaderos/11manejo_suelo_sistemas_siembra_directa.htm. Consultado: 13-06-2012.

MONTICO, S; N. DI LEO; G. ZERPA 2002. **Compactación en un suelo escarificado a través de lógica difusa**. Rev. Fac. Cs. Agr. UN Cuyo. Tomo XXXIV (2):57-64.

MUCHOW, R. C; T. R. SINCLAIR, 1991. **Water deficit effects on maize yields modelled under current and “greenhouse” climates**. Agron. J. 83. 1052–1059.

OSUNA CEJAS, E. S.; B. FIGUEROA SANDOVAL; K. OLESCHKO; M. FLORES DELGADILLO; M. MARTINEZ MENES & F. GONZALEZ COSSIO 2005. **Efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranzas**. Agrociencia 40:27-38.

PIKUL J. L; ZUZEL J. F. y RAMIG R. E. 1990. **Effect of tillage-induced soil macroporosity on water infiltration**. Soil Till. Res. 17:153-165. En: http://www.inia.org.uy/novedades/daniel_martino.pdf. Consultado: 13-06-2012.

PILATTI, M. & J. de ORELLANA 2000. **The ideal soil: II. Critical values of an «ideal soil,» for Mollisols in the North of the Pampean Region (in Argentina)**. J. Sustainable Agric. 17: 89-111.

PIMENTEL, D; C. HARVEY; P. RESOSUDARMO; K. SINCLAIR; D. KURZ; M. MCNAIR; S. CRIST; L. SHPRITZ; L. FITTON; R. SAFFOURI; R. BLAIR. 1995. **Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits**. Science, 267: 1117-1123.

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

PRINCIPI M. A. 2011. **Evaluación de la compactación y descompactación en un Hapludol típico sometido a una historia de siembra directa**. Trabajo Final

de graduación, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC, Argentina: 46 pág.

ROVERA, J. J. 2012. **Efecto del sistema de labranza y de la dirección de siembra, sobre el escurrimiento e infiltración del agua en un Haplustol udico y su impacto sobre el rendimiento del cultivo.** Tesis de grado. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

SADRAS, V. O. y P. A. CALVIÑO 2001. **Quantification of grain yield response to oil depth in soybean, maize, sunflower and wheat.** *Agron. J.* 93(3): 577-583.

SADRAS, V. O.; G. J. O'LEARY y D. K. ROGET 2005. **Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation.** *Field Crops Research* 91: 131-148.

SANCHEZ G. 2012. **Efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre el contenido hídrico del suelo y el rendimiento del maíz en un planteo de siembra directa continua.** Tesis de grado. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

SANZANO, G. A.; F. SOSA; A. J. HASÁN; C. F. HERNÁNDEZ; M. MORANDINI; H. ROJAS QUINTEROS y W. RODRÍGUEZ 2008. **Efecto del paratill en las propiedades físicas de los suelos en siembra directa con monocultivo de soja y rotación soja-maíz.** XXI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo. San Luí; 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.** 86-94 pág.

SEGUI Y. F. 2010 **El suelo como medio fundamental de producción del sector agropecuario. La erosión.**

En: www.monografias.com/trabajos81/suelo-medio-produccion-sector-agropecuario/suelo-medio-produccion-sector-agropecuario2.shtml. Consultado: 03-12-2010.

SILENZI, J. C., C. A. PURICELLI y N. E. ECHEVERRÍA. 2000. **El estado de compactación de dos suelos representativos de la Región Semiárida Pampeana Argentina resultante de distintos usos y manejos y su implicancia en el desarrollo radicular de las gramíneas.** XVII Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo. Mar del Plata, Argentina.

SORACCO, C.; R. FILGUEIRA; G. SARLI; L. FOURNIER y P. GELATI 2008 **Efecto del tránsito sobre el movimiento del agua en un suelo bajo siembra directa.** XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luí; Argentina.

TABOADA, M. A. y C. R. ALVAREZ 2007. **Soil physical properties and soybean (Glycine max, Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina.** *R. Bras. Ci. Solo* 32: 769-779.

STEVENS C. J.; J. N. QUINTON; A. P. BAILEY; C. DEASY; M. SILGRAM y D. R. JACKSON. 2009. **The effects of minimal tillage, contour cultivation and in-field vegetative barriers on soil erosion and phosphorus loss** *Soil & Tillage*. Research 106:145–151.

STRUDLEY, M. W; T. R. GREEN y J. C. ASCOUGH II 2008. **Tillage effect on soil hydraulic properties in space and time: state of the science**. *Soil Till. Res.* 99: 4-48.

TARDIEU, F. 1988. **Analysis of spatial variability of maize root density. I. Effect of wheel compaction on the spatial arrangement of roots**. *Plant Soil* 107: 259-266.

TARDIEU, F. 1994. **Growth and functioning of root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signalling**. *Soil and Tillage Research* 30: 217-243.

TUBEILEH, A; V. GROLEAU-RENAUD & S. PLANTUREUX 2003. **Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system**. *Soil Till. Res.* 71:151-161.

VILCHE, M. S.; C. ALZUGARAY & S. MONTICO. 2000. **Relación entre la heterogeneidad de un suelo y la distribución de las raíces**. *Rev. Fac. Agron.* 20 (1): 75-81.

VILCHE, M. S.; S. MONTICO & N. DILEO. 2004. **Escarificado en siembra directa. Distribución espacial de los flujos preferenciales**. *Rev. FCA UNCuyo.* 35(2):73-80.

VILCHE, M. S. & C. ALZUGARAY 2008 Efecto de la labranza profunda sobre el rendimiento y uso del agua del cultivo de maíz. *Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias*.

En: www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion/revista/rev14/1.htm. Consultado: 01-10-2010.

VILCHE, M. S.; C. ALZUGARAY; S. MONTICO; N. DILEO & R. FALCONE 2010 **La incidencia de la labor de escarificado en el ambiente edáfico: cultivo de maíz (zea mays L)**. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 9 (1-2).

WHITELEY, G. 1981. A comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots. *Plant and Soil* 61:351-364. En: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210060.pdf>. Consultado: 08-06-2012.

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 +
CO (%)	1,68	0,57	0,36	0,17
<i>Arcilla < 2 μ (%)</i>	14,8	15,6	12,4	9,6
<i>Limo, 2-50 μ (%)</i>	34,0	29,8	29,9	28,3
<i>Arena muy fina, 50-100 μ (%)</i>	49,8	54,0	56,4	57,8
<i>Arena fina, 100-250 μ (%)</i>	0,5	0,5	2,3	2,1
<i>Arena media, 250-500 μ (%)</i>	0,2			
<i>pH en agua (1 : 2,5)</i>	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.

<i>Horizonte</i>	Ap	Bw	BC	C
<i>Capacidad de Campo (% de humedad a 0,3 bar.)</i>	18.6	18.4	16.8	16.2
<i>Punto de Marchites Permanente (% de humedad a 15 bar.)</i>	10.5	11.3	10.3	8.9

*Datos obtenidos mediante la técnica de la “olla de presión” (Klute, 1986).

ANEXO II

Figuras

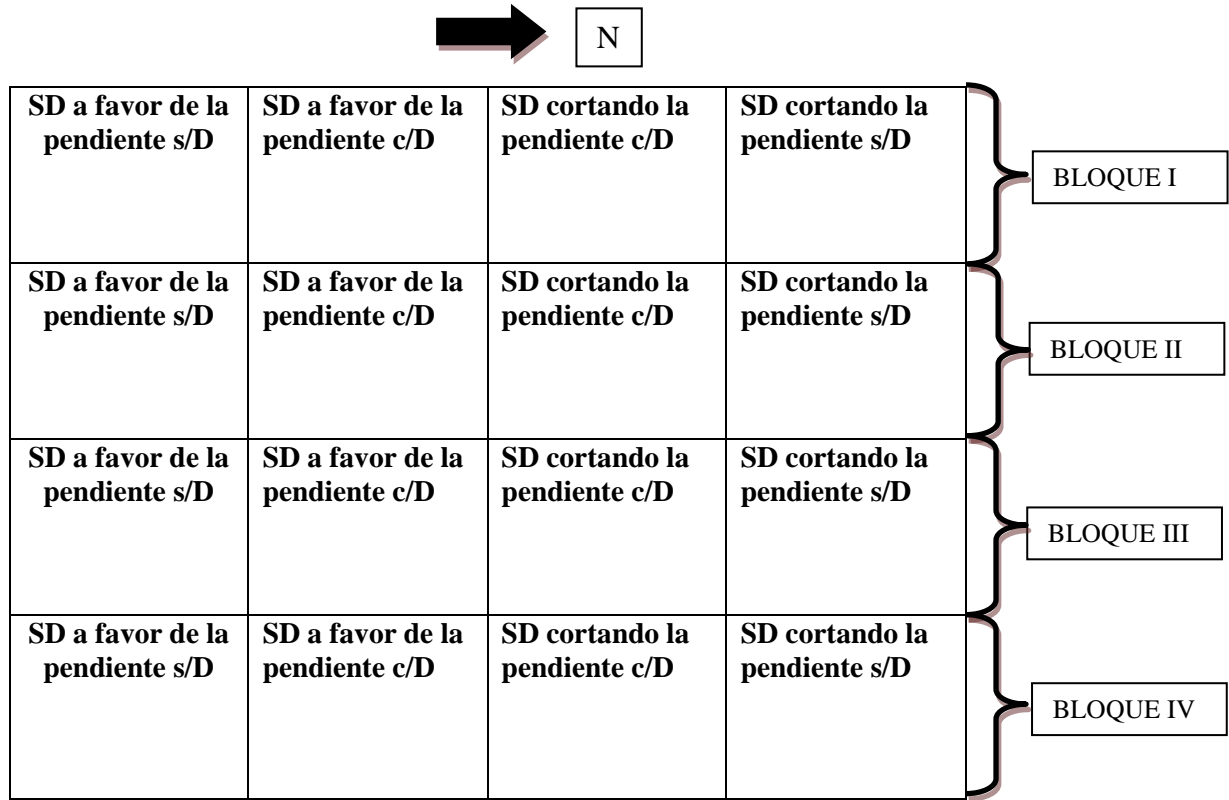


Figura 3: Disposición de los tratamientos estudiados en el trabajo; siembra directa realizada a favor de la pendiente, sin labor de descompactación (SD a favor de la pendiente s/D); siembra directa realizada a favor de la pendiente, con labor de descompactación (SD a favor de la pendiente c/D); siembra directa realizada cortando la pendiente, con labor de descompactación (SD cortando la pendiente c/D); y siembra directa cortando la pendiente sin labor de descompactación (SD cortando la pendiente s/D).

ANEXO III

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Variación del contenido hídrico (mm) a distintas profundidades del perfil del suelo.

Momento 1: Siembra del cultivo:

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 0-30 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,94	0,86	2,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	41,91	9	4,66	10,94	0,0044	
BLOQUE	2,05	3	0,68	1,60	0,2849	
PEND	0,08	1	0,08	0,02	0,8898	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	10,19	3	3,40	7,98	0,0162	
LABOR	19,25	1	19,25	45,22	0,0005	
LABOR*PEND	10,35	1	10,35	24,32	0,0026	
Error	2,55	6	0,43			
Total	44,46	15				

Conclusión: hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo para la profundidad de 0-30 cm, con un $p < 0.05$.

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,12890

Error: 0,4257 gl: 6

LABOR	PEND	Medias	n	E.E.	
sP	cPen	25,11	4	0,33	A
sP	fPen	23,64	4	0,33	B
cP	fPen	23,05	4	0,33	B
cP	cPen	21,31	4	0,33	C

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

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 30-50 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,38	0,00	15,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	167,11	9	18,57	0,40	0,8953	
BLOQUE	19,15	3	6,38	0,14	0,9340	
PEND	7,66	1	7,66	0,81	0,4355	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	28,51	3	9,50	0,20	0,8895	
LABOR	16,10	1	16,10	0,35	0,5774	
LABOR*PEND	95,70	1	95,70	2,06	0,2011	
Error	278,50	6	46,42			
Total	445,61	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 50-80 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,60	0,00	18,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	809,88	9	89,99	0,99	0,5258	
BLOQUE	153,97	3	51,32	0,56	0,6584	
PEND	10,84	1	10,84	0,06	0,8199	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	527,24	3	175,75	1,93	0,2258	
LABOR	114,54	1	114,54	1,26	0,3047	
LABOR*PEND	3,29	1	3,29	0,04	0,8556	
Error	545,91	6	90,98			
Total	1355,78	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 80-100 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,89	0,71	8,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	280,04	9	31,12	5,18	0,0292	
BLOQUE	102,39	3	34,13	5,68	0,0346	
PEND	2,07	1	2,07	0,04	0,8457	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	137,92	3	45,97	7,65	0,0179	
LABOR	33,96	1	33,96	5,65	0,0550	
LABOR*PEND	3,70	1	3,70	0,62	0,4627	
Error	36,05	6	6,01			
Total	316,08	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Momento 2: estado fenológico del cultivo V5-V6:

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 0-30 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,95	0,88	3,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	58,12	9	6,46	12,85	0,0028	
BLOQUE	25,41	3	8,47	16,85	0,0025	
PEND	0,49	1	0,49	0,15	0,7246	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	9,86	3	3,29	6,54	0,0255	
LABOR	18,62	1	18,62	37,05	0,0009	
LABOR*PEND	3,74	1	3,74	7,45	0,0342	
Error	3,02	6	0,50			
Total	61,14	15				

Conclusión: hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo para la profundidad de 0-30 cm, con un $p < 0.05$.

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,22653

Error: 0,5025 gl: 6

LABOR	PEND	Medias n	E.E.
sP	cPen	20,56 4	0,35 A
sP	fPen	19,95 4	0,35 A B
cP	fPen	18,76 4	0,35 B
cP	cPen	17,44 4	0,35 C

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

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 30-50 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,96	0,91	1,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	95,94	9	10,66	17,53	0,0012	
BLOQUE	47,43	3	15,81	26,00	0,0008	
PEND	0,39	1	0,39	0,09	0,7844	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	13,11	3	4,37	7,18	0,0207	
LABOR	6,97	1	6,97	11,46	0,0148	
LABOR*PEND	28,04	1	28,04	46,09	0,0005	
Error	3,65	6	0,61			
Total	99,59	15				

Conclusión: hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo para la profundidad de 30-50 cm, con un $p < 0.05$.

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,34941

Error: 0,6082 gl: 6

LABOR	PEND	Medias n	E.E.
sP	cPen	45,21 4	0,39 A
cP	fPen	43,58 4	0,39 B
sP	fPen	42,25 4	0,39 B C
cP	cPen	41,24 4	0,39 C

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

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 50-80 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,48	0,00	7,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	116,15	9	12,91	0,62	0,7492	
BLOQUE	29,43	3	9,81	0,47	0,7121	
PEND	7,88	1	7,88	0,92	0,4078	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	25,65	3	8,55	0,41	0,7503	
LABOR	38,04	1	38,04	1,83	0,2243	
LABOR*PEND	15,15	1	15,15	0,73	0,4254	
Error	124,38	6	20,73			
Total	240,53	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 80-100 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,64	0,10	10,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	147,61	9	16,40	1,18	0,4350	
BLOQUE	83,73	3	27,91	2,01	0,2142	
PEND	1,55	1	1,55	0,17	0,7073	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	27,26	3	9,09	0,65	0,6091	
LABOR	24,70	1	24,70	1,78	0,2308	
LABOR*PEND	10,37	1	10,37	0,75	0,4208	
Error	83,34	6	13,89			
Total	230,95	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Momento 3: estado fenológico del cultivo V11:

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 0-30 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,83	0,57	8,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	92,48	9	10,28	3,20	0,0850	
BLOQUE	16,41	3	5,47	1,71	0,2644	
PEND	21,40	1	21,40	1,84	0,2678	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	34,85	3	11,62	3,62	0,0842	
LABOR	17,05	1	17,05	5,32	0,0606	
LABOR*PEND	2,78	1	2,78	0,87	0,3881	
Error	19,24	6	3,21			
Total	111,72	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 30-50 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,59	0,00	10,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	125,80	9	13,98	0,95	0,5469	
BLOQUE	32,93	3	10,98	0,75	0,5631	
PEND	33,58	1	33,58	16,80	0,0263	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	6,00	3	2,00	0,14	0,9351	
LABOR	50,91	1	50,91	3,46	0,1123	
LABOR*PEND	2,39	1	2,39	0,16	0,7011	
Error	88,33	6	14,72			
Total	214,14	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual del factor labor con “Paratill”, con un $p > 0.05$.

Si tenemos en cuenta solo el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico, se observo que hay efecto estadísticamente significativa con un $p < 0.05$.

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,24988

Error: 1,9992 gl: 3

PEND	Medias	n	E.E.	
fPen	38,49	8	1,36	A
cPen	35,59	8	1,36	B

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

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 50-80 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,75	0,38	5,91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	146,01	9	16,22	2,04	0,1990	
BLOQUE	9,03	3	3,01	0,38	0,7721	
PEND	2,54	1	2,54	0,11	0,7587	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	67,22	3	22,41	2,82	0,1296	
LABOR	53,69	1	53,69	6,75	0,0407	
LABOR*PEND	13,52	1	13,52	1,70	0,2399	
Error	47,70	6	7,95			
Total	193,71	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de este último, con un $p > 0.05$.

Si tenemos en cuenta solo el factor labor con “Paratill”, se observa que hay efecto estadísticamente significativo sobre el contenido hídrico con un $p < 0.05$.

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,44973

Error: 7,9505 gl: 6

LABOR	Medias	n	E.E.	
sP	49,52	8	1,00	A
cP	45,85	8	1,00	B

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

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 80-100 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,60	0,00	10,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	115,21	9	12,80	0,99	0,5244	
BLOQUE	21,78	3	7,26	0,56	0,6593	
PEND	0,58	1	0,58	0,03	0,8707	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	55,61	3	18,54	1,44	0,3223	
LABOR	21,74	1	21,74	1,68	0,2420	
LABOR*PEND	15,50	1	15,50	1,20	0,3151	
Error	77,44	6	12,91			
Total	192,65	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Momento 4: estado fenológico del cultivo R3-R4:

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 0-30 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,59	0,00	17,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	55,17	9	6,13	0,97	0,5338	
BLOQUE	19,78	3	6,59	1,05	0,4373	
PEND	6,12	1	6,12	0,87	0,4197	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	21,09	3	7,03	1,12	0,4135	
LABOR	4,23	1	4,23	0,67	0,4437	
LABOR*PEND	3,95	1	3,95	0,63	0,4582	
Error	37,76	6	6,29			
Total	92,93	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 30-50 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,93	0,82	7,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	342,12	9	38,01	8,54	0,0084	
BLOQUE	81,21	3	27,07	6,08	0,0299	
PEND	27,85	1	27,85	1,07	0,3767	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	77,97	3	25,99	5,84	0,0326	
LABOR	128,43	1	128,43	28,85	0,0017	
LABOR*PEND	26,65	1	26,65	5,99	0,0500	
Error	26,70	6	4,45			
Total	368,82	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de este último, con un $p > 0.05$.

Si tenemos en cuenta solo el factor labor con “Paratill”, se observa que hay efecto estadísticamente significativo sobre la humedad con un $p < 0.05$.

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,58109

Error: 4,4507 gl: 6

LABOR	Medias	n	E.E.	
sP	32,29	8	0,75	A
cP	26,62	8	0,75	B

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

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 50-80 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,48	0,00	34,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	1089,79	9	121,09	0,61	0,7575	
BLOQUE	577,82	3	192,61	0,97	0,4658	
PEND	70,31	1	70,31	0,79	0,4408	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	268,54	3	89,51	0,45	0,7258	
LABOR	167,44	1	167,44	0,84	0,3937	
LABOR*PEND	5,69	1	5,69	0,03	0,8711	
Error	1190,22	6	198,37			
Total	2280,02	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 80-100 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,62	0,06	26,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	465,01	9	51,67	1,10	0,4721	
BLOQUE	125,90	3	41,97	0,89	0,4976	
PEND	3,08	1	3,08	0,04	0,8518	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	223,31	3	74,44	1,58	0,2892	
LABOR	112,04	1	112,04	2,38	0,1738	
LABOR*PEND	0,68	1	0,68	0,01	0,9082	
Error	282,42	6	47,07			
Total	747,43	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Momento 5: estado fenológico del cultivo R5:

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 0-30 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,88	0,69	9,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	235,24	9	26,14	4,72	0,0363	
BLOQUE	21,86	3	7,29	1,31	0,3537	
PEND	92,30	1	92,30	23,86	0,0164	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	11,60	3	3,87	0,70	0,5866	
LABOR	106,59	1	106,59	19,23	0,0046	
LABOR*PEND	2,89	1	2,89	0,52	0,4976	
Error	33,26	6	5,54			
Total	268,50	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, con un $p > 0.05$.

Si tenemos en cuenta solo el factor labor con “Paratill”, se observa que hay efecto estadísticamente significativo sobre el contenido hídrico con un $p < 0.05$. Como así también si analizamos solo el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico, se observó que hay efecto estadísticamente significativo con un $p < 0.05$.

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,12942

Error: 3,8678 gl: 3

PEND	Medias	n	E.E.	
fPen	26,32	8	0,83	A
cPen	21,51	8	0,83	B

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,88037

Error: 5,5427 gl: 6

LABOR	Medias	n	E.E.	
cP	26,50	8	0,83	A
sP	21,33	8	0,83	B

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

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 30-50 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,52	0,00	18,68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	488,57	9	54,29	0,73	0,6796	
BLOQUE	217,30	3	72,43	0,97	0,4658	
PEND	84,69	1	84,69	2,18	0,2364	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	116,59	3	38,86	0,52	0,6835	
LABOR	6,44	1	6,44	0,09	0,7788	
LABOR*PEND	63,56	1	63,56	0,85	0,3916	
Error	447,66	6	74,61			
Total	936,23	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 50-80 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,56	0,00	24,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	2050,11	9	227,79	0,83	0,6133	
BLOQUE	91,57	3	30,52	0,11	0,9501	
PEND	110,72	1	110,72	0,51	0,5277	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	654,91	3	218,30	0,80	0,5380	
LABOR	1149,38	1	1149,38	4,21	0,0861	
LABOR*PEND	43,53	1	43,53	0,16	0,7036	
Error	1639,51	6	273,25			
Total	3689,62	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 80-100 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,63	0,07	17,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	822,07	9	91,34	1,12	0,4601	
BLOQUE	327,54	3	109,18	1,34	0,3459	
PEND	22,73	1	22,73	0,52	0,5233	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	131,34	3	43,78	0,54	0,6730	
LABOR	326,98	1	326,98	4,02	0,0917	
LABOR*PEND	13,49	1	13,49	0,17	0,6979	
Error	487,67	6	81,28			
Total	1309,73	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Momento 6: postcosecha del cultivo:

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 0-30 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,59	0,00	19,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	159,36	9	17,71	0,96	0,5399	
BLOQUE	53,85	3	17,95	0,98	0,4640	
PEND	20,84	1	20,84	1,29	0,3384	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	48,42	3	16,14	0,88	0,5036	
LABOR	14,89	1	14,89	0,81	0,4030	
LABOR*PEND	21,38	1	21,38	1,16	0,3225	
Error	110,38	6	18,40			
Total	269,75	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 30-50 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,26	0,00	13,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	71,32	9	7,92	0,23	0,9749	
BLOQUE	40,00	3	13,33	0,39	0,7646	
PEND	1,58	1	1,58	0,23	0,6641	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	20,51	3	6,84	0,20	0,8926	
LABOR	0,28	1	0,28	0,01	0,9307	
LABOR*PEND	8,94	1	8,94	0,26	0,6273	
Error	205,01	6	34,17			
Total	276,33	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 50-80 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,67	0,18	15,23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	923,16	9	102,57	1,36	0,3645	
BLOQUE	220,62	3	73,54	0,98	0,4634	
PEND	228,16	1	228,16	2,37	0,2213	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	288,74	3	96,25	1,28	0,3636	
LABOR	129,16	1	129,16	1,72	0,2381	
LABOR*PEND	56,48	1	56,48	0,75	0,4196	
Error	451,55	6	75,26			
Total	1374,71	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Distribución del contenido de agua (mm) en el suelo para la profundidad de 80-100 cm:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAgua	16	0,56	0,00	9,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	92,34	9	10,26	0,86	0,5969	
BLOQUE	2,99	3	1,00	0,08	0,9664	
PEND	0,32	1	0,32	0,01	0,9173	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	74,56	3	24,85	2,09	0,2035	
LABOR	3,70	1	3,70	0,31	0,5977	
LABOR*PEND	10,77	1	10,77	0,90	0,3784	
Error	71,49	6	11,92			
Total	163,84	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Variación del contenido hídrico (mm) del perfil del suelo en el metro de profundidad.

Momento 1: Siembra del cultivo:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAguaT	16	0,79	0,48	5,35

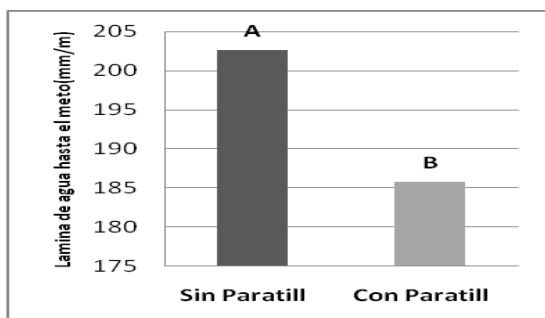
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	2469,62	9	274,40	2,54	0,1346	
BLOQUE	459,43	3	153,14	1,42	0,3271	
PEND	14,38	1	14,38	0,09	0,7832	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	476,98	3	158,99	1,47	0,3140	
LABOR	1136,53	1	1136,53	10,51	0,0176	
LABOR*PEND	382,30	1	382,30	3,54	0,1091	
Error	648,65	6	108,11			
Total	3118,28	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de este último, con un $p > 0.05$.

Si tenemos en cuenta solo el efecto del factor labor “Paratill” sobre el contenido hídrico, se observó que hay diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0.05$.

Comparación de medias:



Diferencias en la acumulación de agua hasta el metro de profundidad, siendo mayor en el tratamiento donde no se aplico dicha labor "Paratill" con 203 mm, con respecto al tratamiento donde se implemento dicha labor, con una acumulación promedio de 187 mm.

Momento 2: estado fenológico del cultivo V5-V6:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAguaT	16	0,80	0,50	4,61

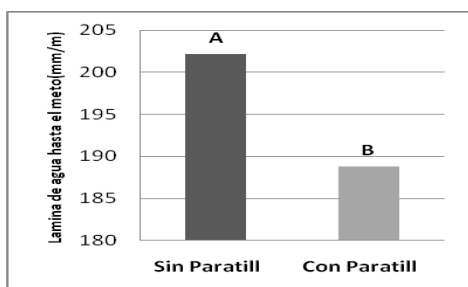
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor (Error)
Modelo	1958,74	9	217,64	2,68	0,1215
BLOQUE	816,58	3	272,19	3,35	0,0968
PEND	30,39	1	30,39	1,39	0,3238 (BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	65,71	3	21,90	0,27	0,8453
LABOR	714,36	1	714,36	8,79	0,0251
LABOR*PEND	331,70	1	331,70	4,08	0,0898
Error	487,42	6	81,24		
Total	2446,15	15			

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor "Paratill" y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de este último, con un $p > 0.05$.

Si tenemos en cuenta solo el efecto del factor labor "Paratill" sobre el contenido hídrico, se observo que hay diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0.05$.

Comparación de medias:



Diferencias en la acumulación de agua hasta el metro de profundidad, siendo mayor en el tratamiento donde no se aplico dicha labor "Paratill" con 202 mm, con respecto al tratamiento donde se implemento dicha labor, con una acumulación promedio de 189 mm.

Momento 3: estado fenológico del cultivo V11:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAguaT	16	0,86	0,64	4,64

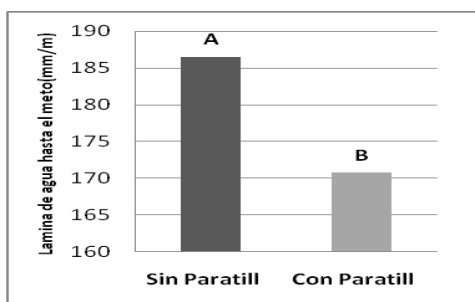
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	2461,02	9	273,45	3,97	0,0535	
BLOQUE	148,96	3	49,65	0,72	0,5747	
PEND	420,66	1	420,66	1,43	0,3172	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	880,27	3	293,42	4,27	0,0620	
LABOR	993,83	1	993,83	14,45	0,0090	
LABOR*PEND	17,31	1	17,31	0,25	0,6339	
Error	412,78	6	68,80			
Total	2873,80	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de este último, con un $p > 0.05$.

Si tenemos en cuenta solo el efecto del factor labor “Paratill” sobre el contenido hídrico, se observó que hay diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0.05$.

Comparación de medias:



Diferencias en la acumulación de agua hasta el metro de profundidad, siendo mayor en el tratamiento donde no se aplicó dicha labor “Paratill” con 186.5 mm, con respecto al tratamiento donde se implementó dicha labor, con una acumulación promedio de 170.7 mm.

Momento 4: estado fenológico del cultivo R3-R4:

Análisis de la varianza

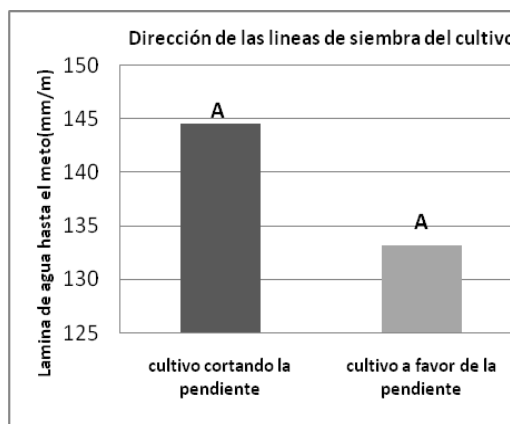
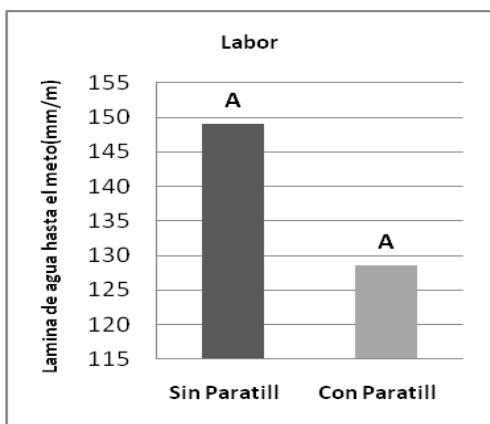
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAguaT	16	0,55	0,00	18,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	4934,15	9	548,24	0,81	0,6285	
BLOQUE	1760,19	3	586,73	0,87	0,5087	
PEND	521,21	1	521,21	1,62	0,2924	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	963,49	3	321,16	0,47	0,7119	
LABOR	1683,46	1	1683,46	2,48	0,1662	
LABOR*PEND	5,81	1	5,81	0,01	0,9293	
Error	4068,42	6	678,07			
Total	9002,58	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Comparación de medias:



Momento 5: estado fenológico del cultivo R5:

Análisis de la varianza

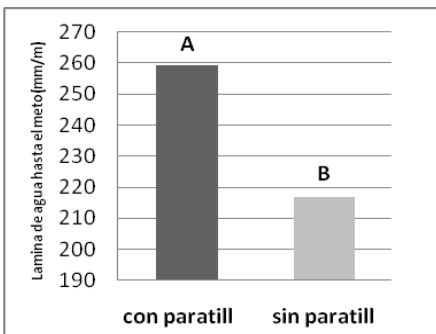
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAguaT	16	0,90	0,74	5,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

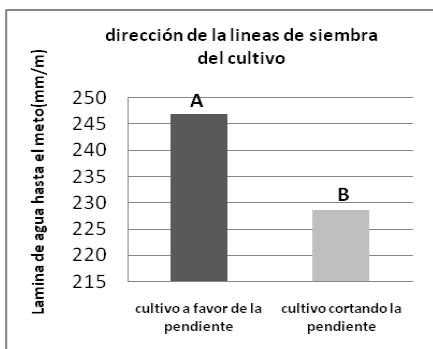
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	10017,71	9	1113,08	5,83	0,0219	
BLOQUE	1228,06	3	409,35	2,15	0,1958	
PEND	1319,51	1	1319,51	12,12	0,0400	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	326,52	3	108,84	0,57	0,6548	
LABOR	7067,76	1	7067,76	37,04	0,0009	
LABOR*PEND	75,86	1	75,86	0,40	0,5516	
Error	1145,03	6	190,84			
Total	11162,74	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, si lo hay si consideramos solo el efecto individual de dichos factores sobre la misma, con un $p > 0.05$.

Comparación de medias:



Diferencias en la acumulación de agua hasta el metro de profundidad, siendo mayor en el tratamiento donde se aplicó dicha labor “Paratill” con 258.77 mm, con respecto al tratamiento donde no se implementó dicha labor, con una acumulación promedio de 216.74 mm.



Diferencias en la acumulación de agua hasta el metro de profundidad, siendo mayor en el tratamiento donde el cultivo se sembró a favor de la pendiente con una acumulación promedio de 246.84 mm, en comparación al tratamiento donde el cultivo se sembró cortando la pendiente con 228.68 mm al metro de profundidad.

Momento 6: postcosecha del cultivo:

Análisis de la varianza

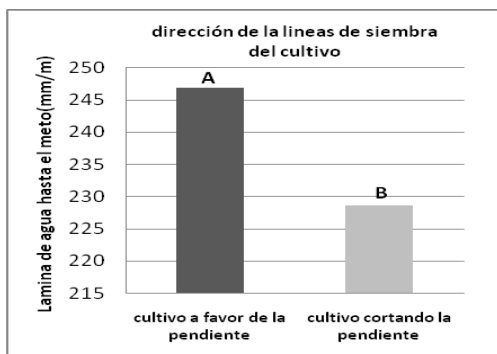
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LamAguaT	16	0,38	0,00	10,58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	1622,13	9	180,24	0,40	0,8944	
BLOQUE	720,93	3	240,31	0,54	0,6750	
PEND	790,31	1	790,31	21,89	0,0184	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	108,31	3	36,10	0,08	0,9683	
LABOR	2,57	1	2,57	0,01	0,9422	
LABOR*PEND	0,01	1	0,01	1,3E-05	0,9972	
Error	2693,45	6	448,91			
Total	4315,57	15				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico del suelo, tampoco lo hay si consideramos solo el efecto individual del factor labor “Paratill”, con un $p > 0.05$. Si tenemos en cuenta solo el efecto del factor cultivo cortando la pendiente sobre el contenido hídrico, se observó que hay interacción estadísticamente significativa con un $p < 0.05$.

Comparación de medias:



Diferencias en la acumulación de agua hasta el metro de profundidad, siendo mayor en el tratamiento donde el cultivo se sembró a favor de la pendiente con una acumulación promedio de 247 mm, en comparación al tratamiento donde el cultivo se sembró cortando la pendiente con 228 mm al metro de profundidad.

Análisis del rendimiento del maíz

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
REND	64	1,00	1,00	0,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	4983,47	27	184,57	14583,54	<0,0001	
BLOQUE	2261,87	3	753,96	59571,90	<0,0001	
PEND	230,66	1	230,66	2,38	0,2206	(BLOQUE*PEND)
BLOQUE*PEND	290,85	3	96,95	7660,13	<0,0001	
LABOR	1679,98	1	1679,98	21,55	0,0035	(BLOQUE*LABOR+BLOQUE*LABOR..
LABOR*PEND	52,02	1	52,02	0,67	0,4452	(BLOQUE*LABOR+BLOQUE*LABOR..
BLOQUE*LABOR	23,64	3	7,88	622,63	<0,0001	
BLOQUE*LABOR*PEND	444,08	3	148,03	11695,81	<0,0001	
Error	0,46	36	0,01			
Total	4983,92	63				

Conclusión: no hay interacción estadísticamente significativa entre el efecto conjunto del factor labor con “Paratill” y el factor cultivo cortando la pendiente sobre el rendimiento del maíz.

Tampoco lo hay si consideramos el efecto individual del factor cultivo cortando la pendiente con un $p > 0,05$.

Si tenemos en cuenta solo el efecto del factor labor “Paratill” sobre el rendimiento del maíz, se observo que hay diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0,05$.

Comparación de medias:

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,27335

Error: 13,9900 gl: 58

LABOR	Medias	n	E.E.	
sPa	63,20	32	0,66	A
cPa	71,85	32	0,66	B

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