

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al  
Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

DISPONIBILIDAD DE AGUA EDÁFICA Y RENDIMIENTO  
DE UN CULTIVO DE SOJA BAJO DISTINTAS LABRANZAS  
EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN MIXTO EN UN  
HAPLUSTOL TÍPICO DEL SUR CORDOBES

Alumno: Moreno, Julián Alberto  
DNI: 32.307.683

Directora: Cholaky, Carmen  
Co-Directora: Bricchi, Estela

Río Cuarto – Córdoba

Diciembre/2012



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Disponibilidad de agua edáfica y rendimiento de un cultivo de soja bajo distintas labranzas en un sistema de producción mixto en un Haplustol típico del sur cordobés.

Autor: Moreno, Julián Alberto

DNI: 32.307.683

Directora: Cholaky, Carmen

Co-Directora: Bricchi, Estela

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

Ing. Agr. Cholaky, Carmen

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. Mattana, Ricardo

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. Bergesio, Leonardo

\_\_\_\_\_

Fecha de Presentación: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Aprobado por Secretaría Académica: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Secretario Académico

### **AGRADECIMIENTOS:**

- A mi familia, por el apoyo permanente e incondicional, por brindarme la posibilidad de asistir a la universidad y darme la confianza suficiente para alcanzar el objetivo de graduarme.
- A la Universidad Nacional de Río Cuarto, que me abrió las puertas permitiéndome alcanzar el título de grado, facilitándome todas las herramientas necesarias para hacerlo.
- A la Ing. Agr. Carmen Cholaky por guiarme a lo largo de la realización del presente trabajo, por la confianza que depositó en mi persona y la presencia continua en el seguimiento de la investigación.
- A mi amigo y compañero Leonardo Bergesio que junto a José, Ana y Lorena me abrieron las puertas de su casa y de sus corazones haciéndome sentir un integrante más de su familia.
- A mis amigos por darme y compartir conmigo lindos momentos.

## ÍNDICE DE CAPÍTULOS:

|  |    |
|--|----|
| <b>Capítulo 1: Introducción</b> .....  | 11 |
| 1.1 Planteo del problema.....  | 11 |
| 1.2 Antecedentes.....  | 14 |
| 1.3 Hipótesis.....   | 17 |
| 1.4 Objetivos.....   | 17 |
| <b>Capítulo 2: Materiales y Métodos</b> .....  | 18 |
| 2.1 Área de trabajo.....   | 18 |
| 2.2 Tratamientos y diseño experimental.....  | 19 |
| 2.3 Evaluaciones.....  | 25 |
| <b>Capítulo 3: Resultados y Discusiones</b> .....  | 28 |
| 3.1 Efecto de los sistemas de labranza sobre el contenido hídrico del suelo.....                         | 28 |
| 3.1.1 Evolución del contenido de agua total hasta el metro de profundidad.....                           | 28 |
| 3.1.2 Proporción del contenido de agua respecto al agua útil en los diferentes sistemas de labranza..... | 33 |
| 3.2 Efecto de los sistemas de labranza sobre la densidad aparente del suelo.....                         | 40 |
| 3.3 Efecto de los sistemas de labranza sobre el rendimiento.....   | 42 |
| <b>Capítulo 4: Conclusiones</b> .....  | 47 |
| <b>Capítulo 5: Posibles líneas futuras de investigación</b> .....  | 48 |
| <b>Capítulo 6: Bibliografía</b> .....  | 49 |
| <b>Anexos</b> .....  | 56 |
| 1. Curva de retención hídrica del suelo estudiado.....   | 56 |
| 2. Características morfológicas y analíticas del perfil representativo.....                              | 56 |
| 3. Precipitaciones de la campaña agrícola 2010-2011.....   | 58 |
| 4. Balance Hídrico Mensual.....  | 60 |
| 5. Consumo de agua y subperíodos críticos del cultivo de soja.....                                       | 61 |
| 6. Patrón de crecimiento de raíces y parte aérea de un cultivo de soja.....                              | 62 |



## ÍNDICE DE TABLAS:

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1:</b> Lámina total hasta el metro de profundidad en los distintos momentos de muestreo...  | 28 |
| <b>Tabla 2:</b> Lámina total hasta el metro para distintos estadios fenológicos en función del sistema de labranza.....                        | 29 |
| <b>Tabla 3:</b> Contenido hídrico del suelo, expresado como proporción del agua útil, en función del sistema de labranza y la profundidad..... | 34 |
| <b>Tabla 4:</b> Densidad aparente del suelo en función del sistema de labranza y la profundidad.....   | 40 |
| <b>Tabla 5:</b> Rendimiento del cultivo de soja en función del sistema de labranza.....  | 43 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS:

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfico 1:</b> Evolución del contenido hídrico del suelo hasta el metro de profundidad.....   | 30 |
| <b>Gráfico 2:</b> Evolución del contenido hídrico del suelo hasta el metro de profundidad expresado como proporción del agua útil..... | 32 |
| <b>Gráfico 3:</b> Humedad gravimétrica del suelo en V1.....  | 37 |
| <b>Gráfico 4:</b> Proporción del agua útil del suelo en V1.....  | 37 |
| <b>Gráfico 5:</b> Humedad gravimétrica del suelo en R1.....  | 38 |
| <b>Gráfico 6:</b> Proporción del agua útil del suelo en R1.....  | 38 |
| <b>Gráfico 7:</b> Humedad gravimétrica del suelo en R3.....  | 38 |
| <b>Gráfico 8:</b> Proporción del agua útil del suelo en R3.....  | 38 |
| <b>Gráfico 9:</b> Humedad gravimétrica del suelo en R6.....  | 39 |
| <b>Gráfico 10:</b> Proporción del agua útil del suelo en R6.....   | 39 |
| <b>Gráfico 11:</b> Humedad gravimétrica del suelo en R8.....   | 39 |
| <b>Gráfico 12:</b> Proporción del agua útil del suelo en R8.....   | 39 |
| <b>Gráfico 13:</b> Perfil de distribución de la densidad aparente en el suelo en función del sistema de labranza.....                  | 41 |
| <b>Gráfico 14:</b> Déficit hídrico durante el ciclo del cultivo de soja.....   | 44 |
| <b>Gráfico 15:</b> Proporción del rendimiento de soja de la campaña 2010 – 2011 respecto al rendimiento alcanzable.....                | 45 |

## ÍNDICE DE FIGURAS:

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Ubicación del sitio experimental.....                                     | 18 |
| <b>Figura 2:</b> Profundidad de la capa compactada.....                                    | 20 |
| <b>Figura 3:</b> Vista lateral del escarificador alado.....                                | 21 |
| <b>Figura 4:</b> Escarificador alado trabajando.....                                       | 21 |
| <b>Figura 5:</b> Profundidad efectiva de trabajo del escarificador alado.....              | 21 |
| <b>Figura 6:</b> Vista lateral del cincel.....   | 22 |
| <b>Figura 7:</b> Cincel trabajando.....  | 22 |
| <b>Figura 8:</b> Profundidad efectiva de trabajo del cincel.....                           | 23 |
| <b>Figura 9:</b> Vista lateral de la rastra doble acción.....                              | 23 |
| <b>Figura 10:</b> Conjunto rastra doble acción – rolo, trabajando.....                     | 23 |
| <b>Figura 11:</b> Profundidad efectiva de trabajo de la rastra doble acción.....           | 24 |
| <b>Figura 12:</b> Bosquejo del diseño experimental.....                                    | 25 |
| <b>Figura 13:</b> Muestreador de densidad aparente Eijkelkamp.....                         | 26 |
| <b>Figura 14:</b> Resultado post-labor de rastra doble acción.....                         | 35 |
| <b>Figura 15:</b> Raíces del tratamiento DA afectadas por compactación subsuperficial..... | 35 |
| <b>Figura 16:</b> Condición superficial post-labor del cincel.....                         | 36 |
| <b>Figura 17:</b> Condición superficial post-labor del escarificador alado.....            | 36 |
| <b>Figura 18:</b> Cambios morfológicos durante el ciclo del cultivo de soja.....           | 45 |

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS:

- AC:** Alta compactación.  
**AU:** Agua Útil.  
**BC:** Baja compactación.  
**C:** Cincel (Tratamiento).  
**CC:** Capacidad de campo.  
**DA:** Doble Acción (tratamiento).  
**DAP:** Densidad aparente.  
**DAPc:** Densidad aparente crítica.  
**DDS:** Días desde la siembra.  
**E:** emergencia, estadio del cultivo de soja.  
**EA:** Escarificador Alado (tratamiento).  
**EUA:** Eficiencia en el uso del agua.  
**M.O.:** Materia Orgánica.  
**PMP:** Punto de marchitez permanente.  
**PT:** Porosidad total.  
**R1:** primer estadio reproductivo del cultivo de soja.  
**R3:** tercer estadio reproductivo del cultivo de soja.  
**R5:** quinto estadio reproductivo del cultivo de soja.  
**R6:** sexto estadio reproductivo del cultivo de soja.  
**R7:** séptimo estadio reproductivo del cultivo de soja.  
**R8:** octavo estadio reproductivo del cultivo de soja.  
**RM:** Resistencia mecánica.  
**RPA:** Región Pampeana Argentina.  
**SD:** Siembra directa.  
**SH:** Suelo friable.  
**V1:** primer estadio fenológico vegetativo del cultivo de soja.



## DISPONIBILIDAD DE AGUA EDÁFICA Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE SOJA BAJO DISTINTAS LABRANZAS EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN MIXTO EN UN HAPLUSTOL TÍPICO DEL SUR CORDOBES

### RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de diferentes sistemas de labranza para roturar una pastura de alfalfa, sobre la disponibilidad de agua en el suelo y sobre el rendimiento del cultivo posterior en un Haplustol típico en un sistema de producción mixto. El ensayo se realizó próximo a la localidad de Bulnes, Córdoba, Argentina. Los tratamientos abarcaron tres sistemas de labranza: escarificador alado + rolo + siembra directa (**EA**), cincel + rolo + siembra directa (**C**) y rastra doble acción + rolo + siembra directa (**DA**). Se sembró soja en segunda fecha de siembra. El diseño experimental utilizado fue de parcelas completamente aleatorizadas. Se evaluó: el contenido de agua del suelo expresándolo en forma de lámina y como proporción de agua útil, la densidad aparente y el rendimiento en granos del cultivo de soja. Con los datos de precipitaciones y de evapotranspiración potencial, se realizó un balance hídrico mensual. Los sistemas de labranza no afectaron la disponibilidad de agua útil para el cultivo que se implantó posteriormente. La operación de descompactación con escarificador alado no incrementó la cantidad de agua almacenada. La DAP del suelo no fue sensible a los efectos causados por los distintos sistemas de labranza. El sistema de labranza utilizado para roturar una pastura de alfalfa no afectó el rendimiento del cultivo de soja que se implantó posteriormente.

Palabras clave: escarificador alado, cincel, rastra doble acción, contenido hídrico, densidad aparente y rendimiento.

## AVAILABILITY SOIL WATER AND YIELD A SOYBEAN CROP UNDER DIFFERENT TILLAGE IN A MIXED PRODUCTION SYSTEM IN A TYPICAL HAPLUSTOL OF SOUTH CORDOBES

### SUMMARY

The objective was to evaluate the effect of different tillage systems to break a pasture of alfalfa, over water availability in the soil and subsequent crop yield in a typical Haplustol in a mixed production system. The trial was conducted near the locality of Bulnes, Cordoba, Argentina. The treatments comprised three tillage systems: scarifier winged + roller + direct sowing (**EA**), chisel + roller + direct sowing (**C**) and double-action harrow + roller + direct sowing (**DA**). Soybean was seeded second planting date. The experimental design was completely randomized plots. Was evaluated: the soil water content expressing in lamina form and as a proportion of useful water, the apparent density and grain yield of soybean. With the data of rainfall and potential evapotranspiration, was made a monthly water balance. Tillage systems did not affect the availability of useful water available for cultivation to be implanted later. Decompaction operation with scarifier winged did not increase the amount of water stored for the subsequent crop. The apparent density soil was not sensitive to the effects caused by different tillage systems. The tillage system used to break a pasture of alfalfa did not affect soybean yield is subsequently implanted.

Keywords: scarifier winged, chisel, double-action harrow, water content, apparent density and yield.

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteo del problema:

El suelo es un sistema abierto porque como cuerpo está en permanente interacción con su entorno mediante el intercambio de materia y energía entre sus componentes y dicho entorno, (Bricchi y Degioanni, 2006)

La intensificación de los sistemas de producción es una realidad y una necesidad indiscutible, pero deberá implementarse un uso eficiente de los recursos naturales en un marco de sustentabilidad y de preservación del medio ambiente, especialmente del suelo. Productividad y sustentabilidad no son conceptos contrapuestos, por el contrario sólo planteos intensivos de producción que sean capaces de asegurar el mantenimiento de los recursos naturales y la no contaminación ambiental lograrán la sustentabilidad biológica y la viabilidad económica para hacerlos perdurables en el tiempo, (Gonella, 2000).

Los sistemas productivos se han intensificado en las últimas décadas en el mundo y en especial en nuestro país. Esto produjo una importante reducción de las pasturas semipermanentes y la implementación de rotaciones cada vez más cortas. Los sistemas basados en el desarrollo de mayor número de cultivos por unidad de tiempo se ven seriamente obligados a la utilización de sistemas de labranzas conservacionistas para disminuir el impacto que pudieran ocasionar en el suelo. La siembra directa alcanzó los 16 millones de hectáreas en la campaña 04/05 (Roberts y Johnston, 2005). La mayor eficiencia de uso del agua de lluvias y la conservación del recurso suelo se encuentran entre las ventajas más importantes de este sistema. Sin embargo, en la región semiárida pampeana, donde predominan los sistemas productivos mixtos (agrícolas-ganaderos), donde la fragilidad de los sistemas y el riesgo de erosión son mayores, estos sistemas conservacionistas no se encuentran tan difundidos.

Entre los factores responsables que limitan la adopción de la SD podría incidir el interrogante del efecto del pisoteo animal sobre las propiedades físicas del suelo (compactación). Sólo debido al tránsito de vehículos y herramientas, se estima que en el mundo existen 68 millones de hectáreas de suelos compactados (Flowers y Lal, 1998). La compactación del suelo produce un aumento de la densidad aparente, destruye y debilita su estructura, reduciendo la porosidad total. El sistema poroso del suelo impacta directamente sobre las entradas y salidas de agua, en la entrada y difusión de los gases y calor, y en el desarrollo y crecimiento de las raíces. De todas las propiedades del suelo, la porosidad es tal vez la más fácil y frecuentemente alterada por la labranza, tránsito o pastoreo. Es una degradación difícil de localizar porque no evidencia marcas sobre la superficie del suelo. La porosidad determina la capacidad de almacenaje y el movimiento del agua en los suelos. En este sentido es importante la cantidad total de poros así como la forma, tamaño, continuidad y distribución.

Agronómicamente, la distribución de los diferentes tamaños incide sobre la velocidad con que se infiltra el agua, sobre la cantidad que puede retener y mantener disponible para los cultivos y sobre el agua no disponible. La relación entre la porosidad y el agua en el suelo regula el estado hídrico del suelo, afectando la mineralización del carbono orgánico y nitrógeno del suelo, el desarrollo y rendimiento de los cultivos y la respuesta a la fertilización, es decir, la sustentabilidad de los sistemas productivos de la región semiárida Pampeana (Kiessling *et al.*, 1998).

A pesar de los avances de la frontera agrícola, los sistemas de producción en la región semiárida pampeana son principalmente mixtos, basados en cultivos anuales (forrajeros y de cosecha), y en pasturas perennes. En este tipo de sistemas la interacción entre agricultura y ganadería ocurre a nivel del mismo lote. Es en especial en estos últimos lotes donde la aplicación de la siembra directa genera dudas sobre su viabilidad. Tales dudas se refieren al efecto del pastoreo directo sobre la evaluación de la cobertura de residuos y la compactación del suelo (Krüger *et al.*, 2004).

La ganadería argentina está basada fundamentalmente en el pastoreo directo de pastizales, pasturas, verdeos y rastrojos de cultivos. Esto la diferencia de la ganadería existente en otros países, donde los animales tienen una alimentación más bien basada en granos y otros suplementos. Una de las principales novedades acontecidas en la última década fue la irrupción de los sistemas ganaderos manejados en siembra directa, no ya sólo por el aprovechamiento de rastrojos, sino también de pasturas implantadas con este sistema (Taboada, 2007).

Para Unger (1996), la siembra directa, si bien tiende a mejorar la conservación del suelo, tiene resultados contradictorios en cuanto a la compactación, evolución y persistencia en el tiempo. Es por ello que debe realizarse un seguimiento de la densidad aparente (DAP) y la resistencia a la penetración, puesto que ambos factores pueden modificar la infiltración, crecimiento radicular y el rendimiento de los cultivos.

Dentro de la Región Pampeana Argentina (RPA) y en muchas otras regiones del mundo, el agua es el factor más limitante en la producción de cultivos extensivos en secano. Por lo tanto, debemos saber producir haciendo un uso eficiente del recurso más escaso, el agua. La RPA es la principal área de producción de cultivos extensivos en Argentina. Originalmente era un pastizal de clima templado subhúmedo, que comprende aproximadamente 34 millones de hectáreas de tierras agrícolas, de la cual más de un tercio se dedica a cultivos extensivos (Hall *et al.*, 1992). El área abarca parte de las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos. La temperatura media anual es de 17-18°C en el norte y de 14°C en el sur. La precipitación anual varía desde 500-600 mm en el sudoeste a más de 1000 mm en el noreste. En esta zona los cultivos se realizan en condiciones de secano, lo que implica que durante su ciclo vital dependen exclusivamente de las condiciones ambientales (Micucci, 2002).

La degradación estructural del suelo es uno de los principales problemas de las áreas cultivadas del mundo (Hakansson y Reeder, 1994). En argentina, la degradación y deterioro de las propiedades físicas y químicas de los suelos, está presente prácticamente en la totalidad de las tierras agrícolas bajo cultivo (SAGyP-CFA, 1995). El incremento de la resistencia a la penetración y de la densidad aparente del suelo, puede disminuir los rendimientos de los cultivos, debido a la generación de impedimentos para el crecimiento de raíces, (Bonadeo, 1997), pudiendo persistir durante varios años (Voorhees et al, 1986).

Se define a la compactación como el aumento de la densidad del suelo como resultado de las cargas o presiones aplicadas al mismo. Su magnitud se expresa como un aumento de la densidad aparente y de la resistencia del suelo a la penetración. Las principales causas de la compactación del suelo son las presiones generadas por el paso de rodados e implementos agrícolas, el pisoteo animal y el reacomodamiento de las partículas de suelo en planteos de trabajo sin laboreo, (Richmond y Rillo, 2006). Según Taboada (2007), todo daño por compactación implica necesariamente la ocurrencia simultánea de: aumentos de densidad aparente, descensos de macroporosidad, aumentos de resistencia superficial y descensos de infiltración y conductividad hidráulica saturada.

La labranza del suelo y la rotación de cultivos afectan su estructura, modificando la densidad aparente, la distribución de poros, la dinámica del agua edáfica y la producción de los cultivos. Un manejo inadecuado de las prácticas de labranza con el objetivo de aumentar la productividad en la región semiárida argentina, en la mayoría de los casos, lleva a la degradación de la estructura del suelo. Una de las consecuencias de la degradación de la estructura edáfica es la alteración de la distribución del espacio poroso, el cual regula la dinámica y disponibilidad de agua. En este sentido, resulta de fundamental importancia la distribución y el tamaño de poros capaces de almacenar el agua de las lluvias, transportarla a la zona activa de las raíces y retenerla en forma disponible para los cultivos (Elliot y Cambardella, 1991; Van Veen y Kuikman, 1990; Hassink *et al.*, 1993).

De acuerdo a Damiano y Taboada (2000), las condiciones físicas del suelo de la capa arable son responsable de hasta un 50 % de la capacidad de agua disponible en suelos del oeste pampeano, y de sólo un 20 % en suelos de la Pampa Ondulada.

En el presente trabajo, realizado en un Haplustol típico representativo de la región centro-sur de la provincia de Córdoba, compactado subsuperficialmente debido a su historia de uso y manejo, se pretende evaluar la disponibilidad de agua para el cultivo de soja bajo distintos tratamientos de labranza.

## **1.2 Antecedentes**

La relación entre la susceptibilidad a la compactación del suelo y el contenido de materia orgánica es útil para distinguir entre los diferentes usos y manejos de suelo. Altos valores de compactación y baja conductividad hidráulica corresponden a la disminución de contenido de materia orgánica, (Quiroga *et al.* 1999).

Puede decirse que la compactación del suelo es una limitante para el desarrollo radicular de las plantas y asociada al contenido de humedad puede convertirse en determinante del éxito en una campaña agrícola, (Taylor, 1971).

Taboada (2007) estudiando la respuesta del suelo al tránsito de animales observa una dependencia de dicha respuesta con el contenido hídrico que posee el mismo al momento del pastoreo. Esta influencia del pisoteo es principalmente de tipo físico-mecánico, pues afecta el estado de compactación de los primeros centímetros del perfil. Cuando el suelo está más seco, el tránsito y pisoteo causan compactación, asociada con una pérdida de macroporosidad. La compactación deja escasa evidencia visual de su daño. En cambio, el pastoreo en altas condiciones de humedad edáfica, da lugar a la ocurrencia de daño por "poaching". Este daño es causado por el flujo de suelo alrededor de la pezuña del animal, dejando una huella bien definida, o en condiciones de extrema humedad, un suelo totalmente amasado.

Limitaciones propias de algunos suelos y compactaciones adjudicadas al uso de labranzas conservacionistas hacen que técnicas ligadas a la preparación del mismo, como es el caso de los aflojamientos o descompactaciones, adquieran relevancia (Di Prinzio *et al.*, 2000).

En un suelo Haplustol típico, del centro-sur de la provincia de Córdoba, la labor con escarificador alado generó una elevada fragmentación del perfil independientemente del nivel de compactación original. La labor en SH (suelo friable), generó el mayor grado de aflojamiento del perfil tanto en AC (alta compactación) como en BC (baja compactación). En AC, la labor en SH equilibró la posibilidad de obtener un perfil altamente fragmentado, con un menor consumo de energía por cada unidad de superficie removida. En BC, la influencia de la humedad antecedente fue menos marcada que en AC. En BC la persistencia aunque sea parcial de los efectos de antiguas labores con reja cero, generó condiciones de menor requerimiento de potencia en futuras labores de descompactación, (Cholaky, 2003).

Según Colareda *et al.* (2002), los efectos del tratamiento mecánico de descompactación sobre un Argiudol típico con textura franco limosa, y con una historia de 5 años bajo siembra directa, persisten hasta los 200 mm de profundidad durante el ciclo de un cultivo de soja conducido bajo el mismo sistema de labranza.

En cuanto al efecto del pisoteo animal, de manera opuesta a lo que ocurre con la densidad aparente, la porosidad total (PT) de un Haplustol éntico fue significativamente menor

entre los 5-15 cm que en el resto de las capas del perfil, luego de 3 ciclos de pastoreo, aunque nunca alcanzó valores que comprometieran el crecimiento radicular (Kiessling *et al.*, 2008).

En relación a ello, Cabrera (2007) trabajando en un Hapludol típico del centro sur de Córdoba, sobre el que evaluó el efecto de diferentes cargas animales y de la humedad edáfica al momento del pisoteo sobre variables hidrofísicas del perfil, observó que a pesar de no haber diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, hubo tendencias en los resultados que mostraron que el pisoteo animal generó un aumento en la densidad aparente en los primeros 10 cm de profundidad, siendo esto más acentuado en los primeros 5 cm del perfil, y una disminución en la velocidad de infiltración inicial y final. En ambas variables, a mayor contenido de humedad edáfica al momento del pastoreo mayor fue el incremento producido.

Cacciavillani (2009), estudiando el comportamiento de un Haplustol típico bajo dos sistemas de laboreo, observó que el efecto de aflojamiento producido por una labor profunda de descompactación perduró durante todo el ciclo del cultivo, solo en aquellas zonas sin tránsito posterior, coincidiendo con Cholaky (2003), pero observándose una recompactación en aquellas zonas transitadas por la maquinaria agrícola. Dicha recompactación alcanza tal magnitud que elimina por completo el efecto de la labor profunda.

Castañeda *et al.* (2010), establecen que el suelo es el principal suministro de agua para las plantas, por su capacidad para almacenarla e ir cediéndola a medida que se requiere. Resulta fundamental conocer cuál es su disponibilidad, ya que varía con la matriz del suelo y por lo tanto su retención estará sometida a principios, a leyes físicas y características físico-mecánicas de los suelos. Esta condición física del suelo influye en el contenido de humedad, en la densidad, en la resistencia a la penetración y en la disponibilidad de oxígeno y éstos varían con los distintos sistemas de labranza. La labranza en exceso provoca la desagregación favoreciendo la formación de costras y el escurrimiento, y disminuyendo la tasa de infiltración. Los sistemas de cultivos y labranza influyen la tasa de infiltración final del agua en el suelo, tanto por la modificación de la rugosidad y cobertura de la superficie, como por alteración de la estructura, de la densidad y de la porosidad. La labranza del suelo puede, inicialmente, mejorar la infiltración, pero, con el tiempo, favorece la degradación de la estructura y la reducción de la tasa de infiltración.

En experiencias realizadas sobre suelos con distintos sistemas de labranza, numerosos autores hallaron mayor retención de agua para la capa superficial en los sistemas conservacionistas (Hill *et al.* 1985; Dao 1993). Otros autores, si bien no encontraron significancia estadística, observaron una tendencia a acumular más agua en suelos con siembra directa o mínima labranza cuando se compararon con suelos labreados convencionalmente (Chang y Lindwall, 1989).

En relación al agua del suelo, Cabassi *et al.* (2012), analizando la variación de parámetros físicos edáficos ante la aplicación de un implemento descompactador (paratill), no

hallaron diferencias significativas entre los tratamientos descompactados respecto a los que no se descompactaron. Coincidiendo con lo antes mencionado, Sanzano *et al.* (2008), quienes trabajaron también con paratill para evaluar su efecto sobre propiedades físicas del suelo en un cultivo de soja, tampoco encontraron diferencias significativas para esta variable. Por otro lado, al analizar la humedad del suelo como indicadora de calidad bajo distintos sistemas de labranza, Rangeon *et al.* (2008) hallaron diferencias altamente significativas a favor del paratill comparándolo con rastra de disco y cincel.

Cabassi *et al.* (2012) y Sanzano *et al.* (2008) trabajando en Haplustoles típicos, además de la variable citada en el párrafo anterior, también evaluaron la densidad aparente (DAP), donde no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos descompactados con Paratill versus los que no fueron descompactados. Tourn *et al.* (2012) trabajando con un descompactador tipo Paraplow, establecen que la DAP fue insensible a las prácticas utilizadas, coincidiendo de esta manera con los dos autores antes mencionados y con Álvarez *et al.* (2009).

Soza *et al.* (2008) mencionan que el escenario productivo presenta una expansión del cultivo de soja, con un alto porcentaje en siembra directa. Ésta herramienta ha solucionado problemas de erosión de suelos, pero generó inconvenientes como la densificación de los horizontes donde se sustenta la producción. El tránsito de máquinas pesadas en siembra directa genera la compactación superficial del suelo (Silva *et al.* 2000), por lo que las raíces no utilizan adecuadamente el agua y los nutrientes (Queiroz-Voltan *et al.* 2000), llevando a una disminución de los rendimientos (Beutler y Centurion, 2003).

Autores como Faita *et al.* (2012) y Álvarez *et al.* (2009), quienes trabajaron con labranza vertical (Escarificador) para descompactar suelos, remarcan que el rendimiento de soja de primera no mostró diferencias significativas entre tratamientos. Otros autores quienes trabajaron con labranza vertical (Paratill) descompactando un lote sobre el cual se implantó posteriormente soja, son Soza *et al.* (2008), Carvalho Filho (2006), Soza *et al.* (2007), Longsdon *et al.* (1999) y Secco *et al.* (2004) quienes hallaron que el rendimiento de dicha oleaginosa es independiente de los sistemas de labranza empleados.



### **1.3 Hipótesis:**

- El sistema de labranza utilizado para roturar una pastura de alfalfa influye en el rendimiento del cultivo posterior a implantar.
- La operación de descompactación subsuperficial con escarificador alado para roturar una pastura de alfalfa incrementa la disponibilidad de agua almacenada en el suelo para el cultivo posterior, respecto a otros sistemas de roturación del suelo.

### **1.4 Objetivos:**

Objetivo General:

- Evaluar el efecto de diferentes sistemas de labranza para roturar una pastura de alfalfa, sobre la disponibilidad de agua en el suelo y sobre el rendimiento del cultivo posterior.

Objetivos específicos:

- Durante el ciclo de un cultivo de soja monitorear el contenido de agua en el suelo roturado con tres sistemas de laboreo.
- Determinar el rendimiento final de un cultivo de soja implantado con tres sistemas de laboreo.
- Establecer posibles relaciones entre las variables medidas.

## CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de Trabajo:

La experiencia se realizó a campo, en un establecimiento ubicado a 5 Km al oeste de la localidad de Bulnes, 33° 30' 45" latitud sur y 64° 42' 13" longitud oeste (Figura 1). El ambiente del sitio experimental está compuesto por planicies muy suavemente onduladas. El relieve es normal-subnormal (sin napa freática cercana a la superficie). Las pendientes son largas a muy largas, con gradientes generales de 0,7 a 1%, (Cantero *et al.*, 1986). El suelo es un Haplustol típico de textura franca arenosa muy fina perteneciente a la Unidad Cartográfica MNud-5 del Atlas Los Suelos (Agencia Córdoba Ambiente- INTA, 2006), correspondiendo a la serie Italó por presentar la mayor similitud morfológica y analítica. El mismo es bien drenado a algo excesivamente drenado, presenta una retención de humedad moderada (curva característica de retención hídrica en Anexo 1) y estructura superficial moderada. Es un suelo apto para agricultura, aunque presenta limitaciones de tipo climática. Las características morfológicas y analíticas se describen en el Anexo 2.

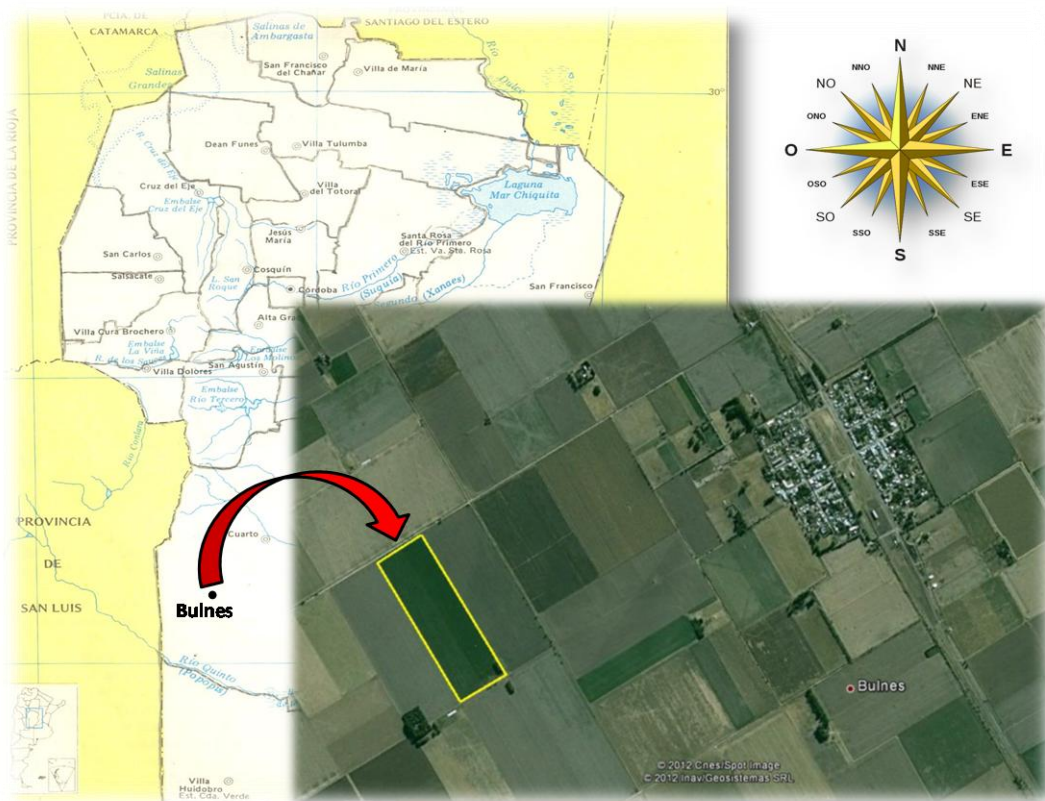


Figura 1: Ubicación del sitio experimental.

El clima corresponde al Dominio semi-seco con tendencia al semi-húmedo del Piedemonte con invierno térmico (estación con temperatura inferior a 10 °C) que comienza en la primera quincena de junio y finaliza en el mes de agosto. Presenta verano térmico (estación con temperaturas superiores a 20 °C) que comienza durante el mes de octubre y finaliza en abril. Las precipitaciones oscilan entre los 700 y 800 mm anuales concentrándose principalmente en los meses de primavera y verano. La evapotranspiración potencial varía entre 800 y 850 mm por lo que el déficit medio anual de agua es de 100 mm. La fecha de comienzo de heladas es la primera quincena de mayo y finalizan la primera quincena de septiembre. Los vientos que predominan son los del sector sur, suroeste y norte (UPSIIA, 2008).

## **2.2 Tratamientos y diseño experimental:**

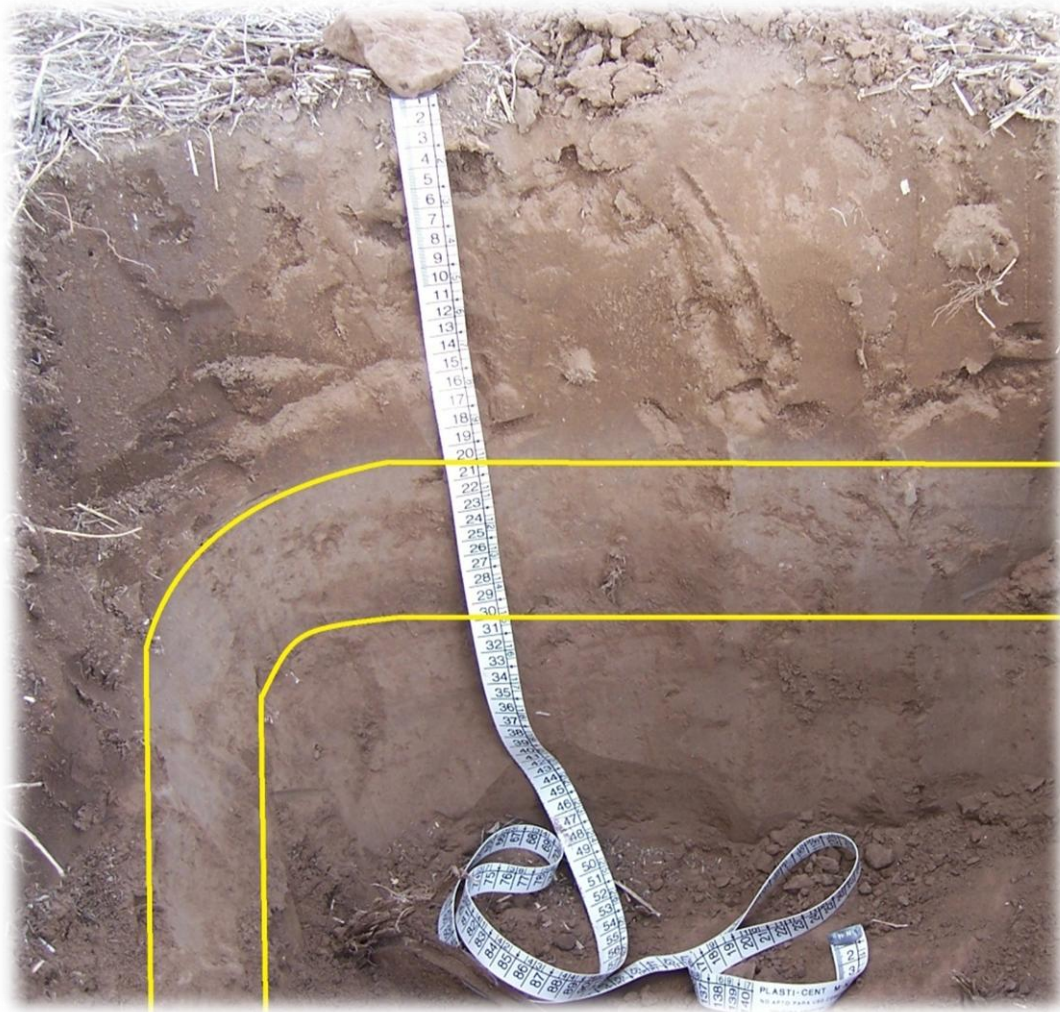
La experiencia se llevó a cabo en un sistema de producción mixto, es decir, en el cual se desarrollan y complementan actividades de ganadería y agricultura.

Como cultivo antecesor en el lote donde se llevó a cabo la experiencia, se encontraba una pastura de alfalfa (*Medicago sativa*) de 5 años de antigüedad. Sobre ésta se realizaron el día 4 de octubre de 2010, los siguientes tratamientos de labranza: escarificador alado + rolo + siembra directa (**EA**), cincel + rolo + siembra directa (**C**) y doble acción + rolo + siembra directa (**DA**).

El tratamiento (**EA**) consistió en realizar una labor profunda con un escarificador de 6 rejas aladas, rígidas, con un ancho de trabajo de 10 cm. Dichas rejas son fabricadas por la empresa INGERSOLL, código IAR-0642-C. Constan de timones rectos con regulación para ángulo de ataque, filos longitudinales y verticales, están elaborados con acero boro, tratados y cementados con un espesor de 9,52 mm, y fueron montadas sobre el bastidor de un arado de cinceles PAMPERO 1998, espaciadas a 0,4 m y con una capacidad teórica de trabajo de hasta 0,35 m de profundidad (Figura 3 y 4). Este distanciamiento fue de 1,29 veces la profundidad de trabajo, encontrándose dentro del rango de espaciamiento/profundidad de  $1,4 \pm 25\%$  veces la profundidad de trabajo (Godwin *et al.*, 1984). La profundidad efectiva de trabajo utilizada en la experiencia fue de 31 cm (Figura 5) ya que a partir de la evaluación de la condición estructural que presentaba el perfil en los primeros 40 cm de suelo, se determinó la presencia de un piso de arado el cual iba aproximadamente desde los 20 a los 30 cm de profundidad (Figura 2).

A este implemento se le enganchó un rolo que tuvo por función romper terrones y realizar el cierre de los surcos superficiales. La labor se realizó con suelo friable según lo propuesto por Cholaky *et al.* (2010) para un suelo similar al de la presente experiencia. La siembra se realizó con una sembradora CELE Plus 7000 modelo 2007, de tipo siembra directa con equipo de doble fertilización. La misma es de 14 surcos espaciados a 0,525 m, (ancho total

de trabajo 7,35 m). Este equipo fue arrastrado por un tractor JOHN DEERE 6615 de 119 HP (88,5 kW). Las pulverizaciones han sido realizadas por una pulverizadora de arrastre marca PAMPERO Tetra Full modelo 2008 (ancho de labor de 23,5 m) la cual fue tirada por un tractor JOHN DEERE 5705 de 85 HP (63 kW) que permite aplicaciones variables en caudal y en espectro de aplicación. La cosecha se realizó en forma manual según lo que se describe en evaluaciones.



**Figura 2: Profundidad de la capa compactada. Las líneas amarillas señalan el espesor de la misma.**



**Figura 3: Vista lateral del escarificador alado.**



**Figura 4: Escarificador alado trabajando.**



**Figura 5: Profundidad efectiva de trabajo del escarificador alado.**

El tratamiento (C) consistió en realizar una labor con un arado de cincel de 11 arcos espaciados a 26 cm uno del otro. La herramienta es CL/9 a 27 ARCOS, modelo 1998 fabricado por la empresa PAMPERO (Figura 6). A este implemento además, se le acopló un rolo (Figura 7), que cumplió la función antes mencionada. La siembra y la cosecha se realizaron de la misma manera que la descrita en el tratamiento anterior.



**Figura 6: Vista lateral del cincel.**



**Figura 7: Cincel trabajando.**

La profundidad efectiva de trabajo de este implemento fue de 18 cm (Figura 8).



**Figura 8: Profundidad efectiva de trabajo del cincel.**

El tratamiento **(DA)** fue llevado a cabo con una rastra de discos doble acción desencontrada. Esta herramienta es LH 4 ALAS REBATIBLES modelo 1998, fabricada por la empresa PAMPERO (Figura 9). A este implemento además, se le enganchó un rolo, al igual que los casos antes citados (Figura 10). En lo que respecta a la siembra y cosecha se realizaron de la misma manera que en los tratamientos anteriores.



**Figura 9: Vista lateral de la rastra doble acción.**



**Figura 10: Conjunto rastra doble acción – rolo, trabajando.**

La profundidad efectiva a la que se trabajó con la rastra de discos doble acción fue de 14 cm (Figura 11).



**Figura 11: Profundidad efectiva de trabajo de la rastra doble acción.**

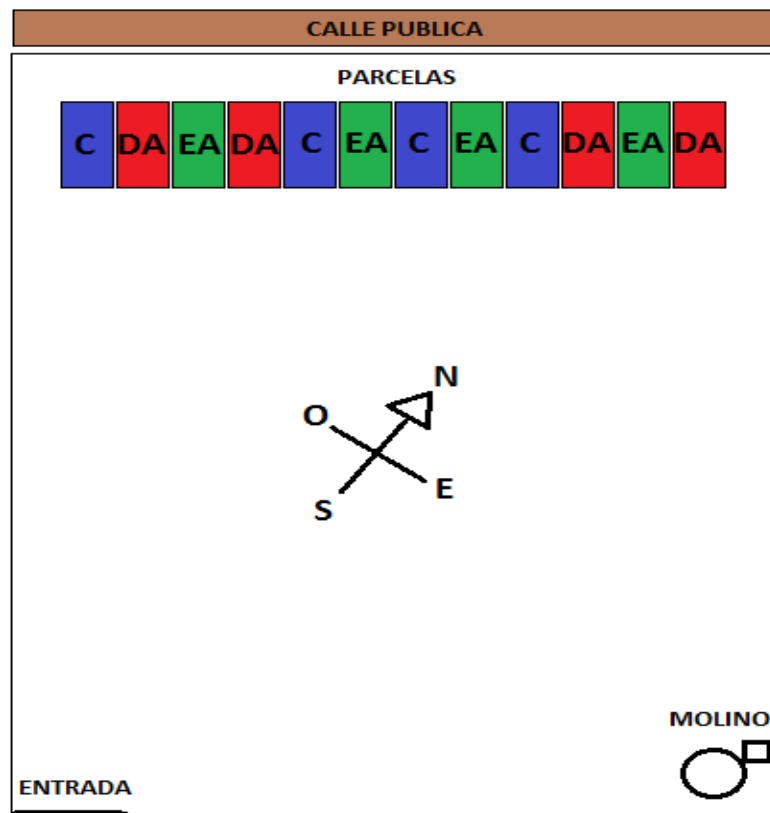
Los tres implementos utilizados para llevar a cabo las operaciones de roturación de la pastura de alfalfa, fueron impulsados por un tractor ZANELLO 460C de 160 HP (120 KW).

En todos los tratamientos, se sembró el día 11 de diciembre de 2010 un cultivo de soja (*Glycine max*), variedad Don Mario 4800, mediante siembra directa según lo descrito precedentemente.

El diseño experimental que se utilizó fue en parcelas completamente aleatorizadas, donde se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento (Figura 12).

Las parcelas tuvieron las siguientes dimensiones: 30 m de largo por 15 m de ancho, es decir, una superficie de 450 m<sup>2</sup>.





**Figura 12: Bosquejo del diseño experimental.**

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2009). Este comprendió varios análisis de la varianza (Anova). Se analizó la lámina almacenada en diferentes profundidades de suelo, expresada como porcentaje de humedad respecto al agua útil. Para la misma variable, pero expresada en lámina total acumulada hasta el metro de profundidad se realizaron Anovas considerando las diferentes etapas fenológicas del cultivo analizadas y por otro lado los tratamientos de labranza en cada uno de esos momentos.

Otros análisis similares se realizaron para la densidad aparente del suelo y para el rendimiento final del cultivo.

La comparación de medias se hizo a través del test DGC.

### **2.3 Evaluaciones:**

*-Humedad del suelo:* en los distintos tratamientos se midió mensualmente el contenido de agua del suelo. Esta actividad se realizó mediante la extracción de 2 muestras por repetición y profundidad, mediante la utilización de un barreno. Las profundidades de muestreo fueron las siguientes: 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm; 30-60 cm; y 60-100 cm, definidas en el perfil cultural a partir de la profundidad de trabajo de las distintas labores y por debajo de éste los intervalos se

determinaron en función del espesor de los horizontes genéticos del perfil. La humedad se determinó mediante el método gravimétrico en el que las muestras se llevan a estufa a 105° C hasta peso constante. El contenido de agua se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{(SH + T) - (SS + T)}{(SS + T) - T} * 100$$

Donde, **H**= contenido de agua gravimétrico (% g g<sup>-1</sup>).

**SH** = suelo húmedo (g).

**SS** = suelo seco (g).

**T** = tara del recipiente (g).

Los datos se expresaron en forma gravimétrica (% g g<sup>-1</sup>) y en lámina total hasta el metro de profundidad (mm) y como proporción del agua útil (AU) a diferentes intervalos de profundidad analizados.

- *Balance Hídrico Mensual*: con los datos de las precipitaciones mensuales ocurridas durante la campaña 2010 – 2011 (Anexo 3) y los valores de evapotranspiración potencial mensual de la ciudad Rio Cuarto y zona de influencia, se calculó el Balance Hídrico Mensual (Thornthwaite y Mather, 1957) con la finalidad de estimar la evapotranspiración real mensual ocurrida en ese periodo y detectar los momentos de déficit y excesos de agua (Anexo 4). Afectando el valor de evapotranspiración real por el coeficiente del cultivo de soja (Kc) (Anexo 5), se calculó la evapotranspiración real que dicho cultivo tuvo a lo largo del ciclo.

- *Densidad aparente*: se utilizó método del cilindro (Blake y Hartge, 1986). Las muestras se tomaron con el muestreador de densidad aparente Eijkelkamp que tiene cilindros de volumen igual a 100 cm<sup>3</sup> (figura 13).



**Figura 13: Muestreador de densidad aparente Eijkelkamp.**

La medición se realizó previo a la cosecha, tomando una muestra por tratamiento y repetición a las siguientes profundidades: de 0 a 10 cm, de 10 a 20 cm, de 20 a 30 cm, a 40 cm y a 70 cm en función de los horizontes del perfil de suelo del sitio experimental (Anexo 2).

El objetivo de realizar esta medición fue el de poder expresar el contenido de agua del suelo en forma de lámina y evaluar un indicador del estado físico del suelo en cada uno de los tratamientos.

- *Densidad aparente crítica*: con la metodología propuesta por Pillatti y De Orellana (2000) se calcularon los valores de densidad aparente crítica (DAPc) ( $\text{Mg/m}^3$ ) correspondientes a cada horizonte del perfil a través de la siguiente ecuación:

$$DAPc = 1,52 - 0,0065 \times \% \text{ de arcilla del horizonte}$$

- *Curva característica de humedad*: Se realizó la determinación de la curva característica de humedad de los diferentes horizontes del perfil de suelo mediante el método de la olla de presión a 0,3, 3 y 15 bares de presión (Klute, 1986), con 5 muestras por cada horizonte, con el objeto de tener puntos de referencia en el análisis de los datos de contenido hídrico y estimar la proporción del agua útil que presentaba cada horizonte en los diferentes momentos de evaluación.

- *Fenología del cultivo*: en cada fecha de muestreo se determinó el estado fenológico del cultivo de soja según la metodología propuesta por la escala de Fehr *et al.* (1971). De este modo se pudo relacionar la oferta hídrica con las distintas demandas del cultivo de acuerdo a su estado ontogénico.

- *Rendimiento*: Se midió el rendimiento del cultivo de soja mediante la cosecha manual de una superficie de un metro cuadrado. Se realizaron tres muestras por parcela y se determinó el rendimiento según la metodología de Satorre *et al.* (2003).

Además se estimó un *rendimiento alcanzable* teniendo en cuenta la eficiencia en el uso del agua (EUA) teórica (Della Maggiora *et al.*, 2000) y los milímetros totales de lluvia registrados durante el ciclo del cultivo.

### CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1 Efecto de los sistemas de labranza sobre el contenido hídrico del suelo:

##### 3.1.1 Evolución del contenido de agua total hasta el metro de profundidad:

Los resultados encontrados indicaron que existen diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,0001$ ) para la variable contenido hídrico, expresada en forma de lámina total hasta el metro de profundidad, entre los distintos momentos de muestreo como se puede apreciar en la Tabla 1.

**Tabla 1: Lámina total hasta el metro de profundidad en los distintos momentos de muestreo.**

| <b>MOMENTO DE MUESTRO</b> | <b>CONTENIDO HIDRICO (Lámina Total en mm hasta el metro)</b> |
|---------------------------|--|
| <b>V1 (29/12/2010)</b>    | <b>148,34 c</b>  |
| <b>R1 (11/02/2011)</b>    | <b>151,83 c</b>  |
| <b>R3 (13/03/2011)</b>    | <b>137,11 b</b>  |
| <b>R6 (02/04/2011)</b>    | <b>106,14 a</b>  |
| <b>R8 (13/04/2011)</b>    | <b>110,61 a</b>  |

*Letras distintas indican diferencias significativas entre momentos de muestreo ( $p < 0.05$ ), según test DGC.*

Al observar la tabla precedente, se aprecia que las dos primeras fechas de muestreo son las que registraron la mayor cantidad de milímetros acumulados hasta el metro de profundidad, independientemente del tratamiento. Estos momentos de muestreo coincidieron con los estadios fenológicos V1 y R1, correspondiendo este último con el inicio del periodo crítico del cultivo de soja, ya que dentro del lapso de tiempo comprendido entre R1 y R7 se definen los componentes del rendimiento más importantes que son el número y el peso de granos.

El total de precipitaciones acumuladas durante la experiencia fue de 616 mm, tomando como punto de partida el día que se realizaron las labores y como punto final el día de la cosecha del cultivo de soja. Si se toma como inicio del ciclo el día en que se sembró el cultivo, el total acumulado hasta la cosecha fue de 426 mm. El mes de Febrero fue el que mayores precipitaciones registró dentro del ciclo agrícola, acumulando un total de 176 mm (Anexo 3).

Asumiendo que la evapotranspiración del cultivo y la evaporación directa desde el suelo fueron similares entre tratamientos, la diferencia hídrica existente entre los distintos momentos

en los que se midió la humedad del suelo, puede atribuirse a la distribución que las precipitaciones tuvieron dentro de la campaña agrícola 2010 – 2011 ya que, esta vía, es la única fuente de recarga de agua que posee el perfil.

Por otro lado, la misma variable no tuvo diferencias estadísticamente significativas ( $P>0,05$ ) en lo que respecta a los sistemas de labranza utilizados.

A continuación, la Tabla 2 resume las láminas acumuladas hasta el metro de profundidad para los distintos tratamientos de labranza a lo largo del ciclo del cultivo de soja y muestra la falta de significancia estadística.

Los resultados hallados en el presente trabajo se corresponden con lo encontrado por Sanzano *et al.* (2008) quienes al medir el efecto del paratill sobre las propiedades físicas de Haplustoles típicos de textura franco limosa bajo siembra directa con monocultivo de soja, no hallaron diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de agua almacenada.

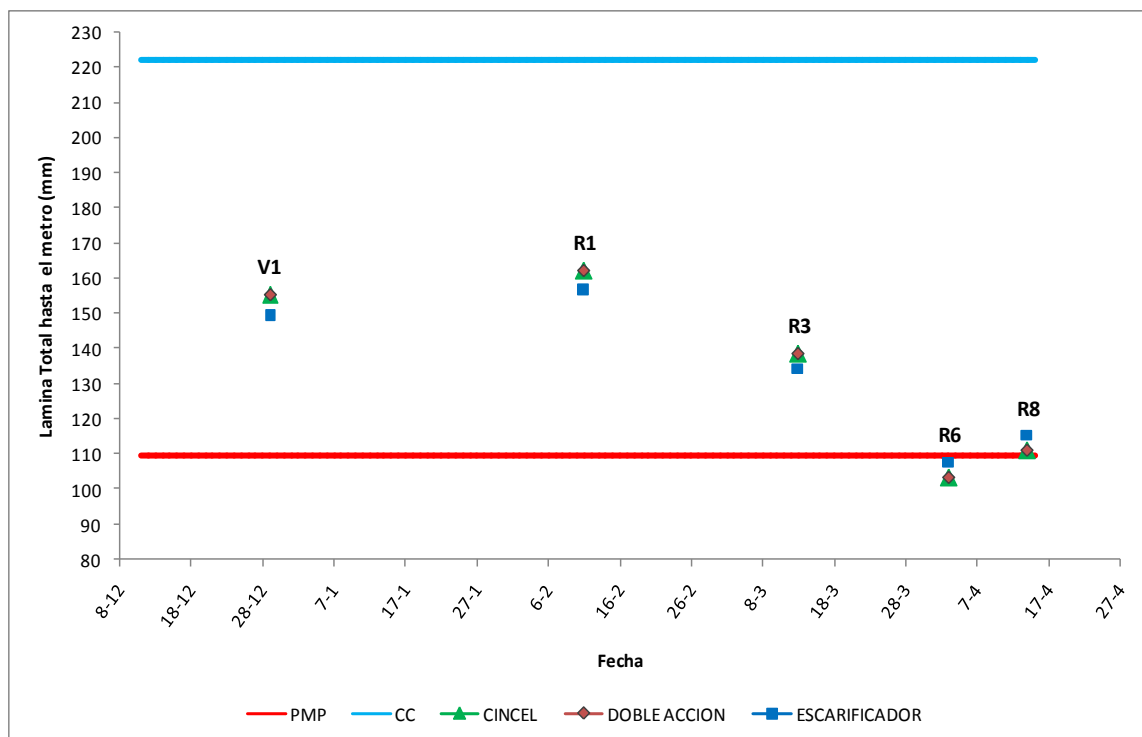
**Tabla 2: Lámina total hasta el metro para distintos estadios fenológicos en función el sistema de labranza.**

| <b>ESTADIO FENOLOGICO</b> | <b>SISTEMA DE LABRANZA</b> | <b>CONTENIDO HIDRICO (Lám. Total en mm hasta el metro)</b> |
|---------------------------|----------------------------|--|
| <b>V1 (29/12/2010)</b>    | <b>Doble Acción</b>        | <b>140.48 a</b>  |
|                           | <b>Escarificador Alado</b> | <b>149.15 a</b>  |
|                           | <b>Cincel</b>              | <b>155.39 a</b>  |
| <b>R1 (11/02/2011)</b>    | <b>Doble Acción</b>        | <b>136.73 a</b>  |
|                           | <b>Escarificador Alado</b> | <b>156.48 a</b>  |
|                           | <b>Cincel</b>              | <b>162.29 a</b>  |
| <b>R3 (13/03/2011)</b>    | <b>Escarificador Alado</b> | <b>134.42 a</b>  |
|                           | <b>Cincel</b>              | <b>138.69 a</b>  |
|                           | <b>Doble Acción</b>        | <b>138.79 a</b>  |
| <b>R6 (02/04/2011)</b>    | <b>Cincel</b>              | <b>103.17 a</b>  |
|                           | <b>Doble Acción</b>        | <b>107.36 a</b>  |
|                           | <b>Escarificador Alado</b> | <b>107.90 a</b>  |
| <b>R8 (13/04/2011)</b>    | <b>Doble Acción</b>        | <b>105.13 a</b>  |
|                           | <b>Cincel</b>              | <b>111.16 a</b>  |
|                           | <b>Escarificador Alado</b> | <b>115.54 a</b>  |

*Letras distintas para un mismo estadio fenológico indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ), según test DGC.*

La lámina de agua total almacenada hasta el metro de profundidad del suelo, independientemente del sistema de labranza que se utilizó, no alcanzó a la lámina de agua total

almacenada por ese suelo a capacidad de campo hasta la misma profundidad (222,12 mm) en ninguno de los 5 momentos de medición (Gráfico 1).



**Gráfico 1: Evolución del contenido hídrico del suelo hasta el metro de profundidad.**

El agua útil total hasta el metro de profundidad para el suelo en el que se realizó la experiencia, es de 112,49 mm (222,12 mm en CC – 109,63 mm en PMP).

El estado fenológico R1, como se mencionó anteriormente, fue el que presentó mayor contenido hídrico hasta el metro, pero representa sólo el 46 % del agua útil que puede retener el suelo en cuestión. Los demás estadios ontogénicos presentaron menor proporción de agua útil, siendo R6 el momento en el que se registró el menor contenido hídrico, que si bien son 106 mm, no llegan a superar el valor de lámina total de punto de marchitez permanente por lo que representan, un 0 % de agua útil en el gráfico 1. Sin embargo, este comportamiento en la lámina total de agua almacenada en el perfil no quiere decir que el contenido hídrico de los diferentes horizontes se encontrara en igual condición, aspecto que se analizará a continuación.

El consumo de agua total del cultivo es el valor de la evapotranspiración acumulada a lo largo del ciclo de crecimiento y desarrollo. Para la región sojera núcleo, las necesidades de agua de los cultivos de soja de 1º y 2º varían de 500 a 600 mm y de 350-550 mm, respectivamente. Las variaciones en dichas cantidades dependen de la demanda atmosférica, la duración del ciclo del cultivo y del área foliar desarrollada por el mismo (Andriani, 2006).

Por otra parte, Andriani (2000) establece que la demanda diaria de agua (mm/día), varía a lo largo del ciclo del cultivo, llegando a evapotranspirar una soja de primera alrededor de 8

mm/día en el período crítico, mientras que una de segunda, demanda unos 5 mm/día respectivamente (Anexo 5).

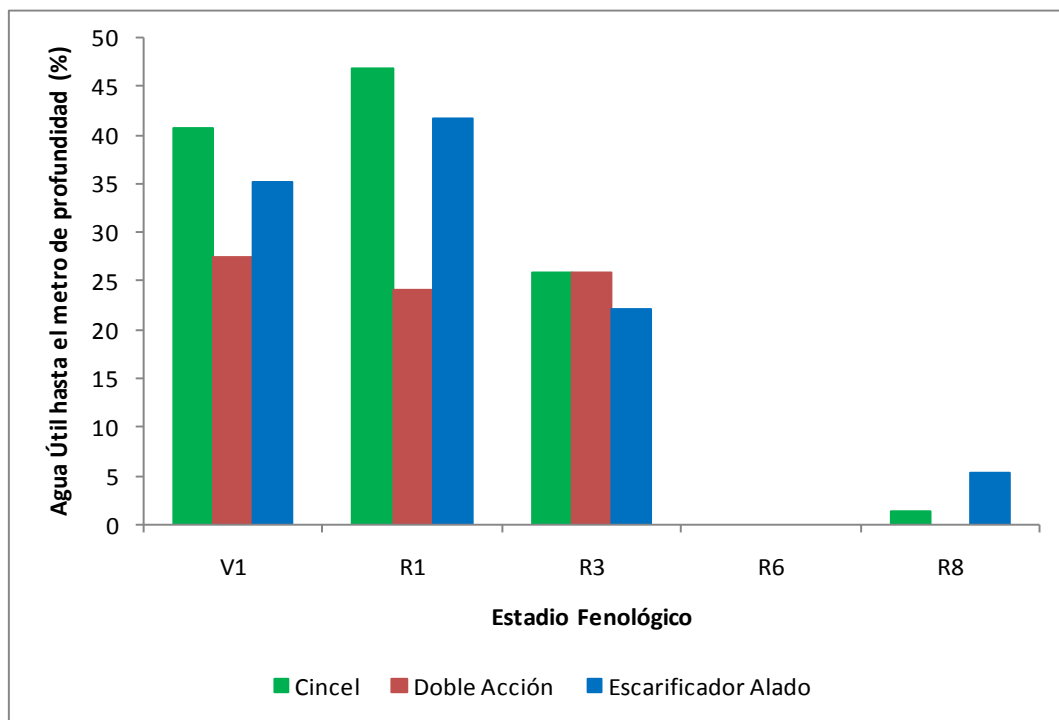
El momento de ocurrencia de una deficiencia hídrica es de gran importancia, porque para una misma intensidad de deficiencia, el efecto de ésta sobre el rendimiento será distinto según el estadio fenológico en que se encuentre el cultivo. Según Toledo y Rubiolo (2006), en el caso del cultivo de soja se puede determinar tres subperíodos con diferentes respuestas a la reducción del rendimiento ante deficiencias hídricas moderadas o severas, que según el orden de menor a mayor importancia se detallan a continuación (Anexo 5):

- *Desde emergencia a Floración (VE a R1):* en este período, deficiencias hídricas de mediana intensidad (40-50% del agua útil en el suelo) no producen reducciones en el rendimiento, si bien pueden reducir el área foliar y la altura de la planta. Intensidades mayores (20-40% de agua útil) producirían reducciones en el rendimiento del orden del 10%.
- *Desde Floración a comienzo de llenado de semillas (R1 a R5):* este período es más susceptible a deficiencias hídricas que el anterior, ya que las intensidades medias de estrés pueden causar reducciones del 10% en el rendimiento y las severas del 20% o mayores. Esto es provocado por el aborto de flores y vainas siendo en parte compensado por el peso del grano si cesa la deficiencia hídrica en la etapa posterior. Las magnitudes de estas reducciones son variables según el hábito de crecimiento del cultivo y el régimen hídrico del período anterior y posterior. Sin embargo, sería deseable que el nivel de agua en el suelo se mantenga por encima del 50% de agua útil.
- *Desde comienzo de llenado a fin de llenado de la semilla (R5 a R7):* es el período más crítico para el cultivo de soja, porque además de depender de la historia previa, se produce un cambio en la distribución de los asimilados y el sistema radicular ya alcanzó su máxima profundización. Situaciones de estrés hídrico severas en esta etapa, provocan reducciones del 40 % o mayores en el rendimiento del cultivo ya que afectan simultáneamente el número de vainas, el número de granos por vaina y el peso de los granos, sin que haya posibilidad de compensación. Sería deseable mantener un valor superior al 40 % de agua útil en este período.

En los 5 estadios fenológicos analizados en el presente estudio, que coinciden con las fechas en que se realizaron los muestreos de humedad del suelo, las láminas totales de agua almacenada hasta el metro de profundidad del perfil de los tres sistemas de labranza, se

encontraron por debajo del 50 % de agua útil (Gráfico 2), especialmente a partir de R3, coincidiendo con el segundo y tercer subperíodo de sensibilidad al estrés hídrico.

Los estadios R6 y R8 que se ubicaron temporalmente en el mes de Abril, fueron los que presentaron el estrés hídrico más severo, 0 y 10 % de agua útil, respectivamente. El estadio R6 se encuentra dentro del subperíodo más sensible a la falta de humedad por lo que dicho estrés, pudo impactar negativamente sobre el rendimiento del cultivo. Esta situación se atribuye a que la recarga del perfil, en dicho mes, por parte de las precipitaciones fue de 8 mm solamente.



**Gráfico 2: Evolución del contenido hídrico del suelo hasta el metro de profundidad expresado como proporción del agua útil.**

Cabe resaltar que en los dos primeros estadios fenológicos del cultivo (V1 y R1), los sistemas de laboreo vertical (C y EA) almacenaron mayor cantidad de agua que el tratamiento con remoción superficial (DA), presentando valores superiores al 35 % y al 40 % de agua útil respectivamente, condición que podría asociarse a una mejor condición física del perfil para el ingreso y redistribución del agua de las precipitaciones ocurridas en ese período, mientras que en el tratamiento con DA no supero el 30 % de agua útil en dichos estadios.



### **3.1.2 Proporción del contenido de agua respecto al agua útil en diferentes estratos de profundidad del suelo:**

El cultivo antecesor a la soja que se sembró para ésta experiencia, fue una alfalfa de 5 años de antigüedad. Vale aclarar que este lote, al igual que muchos otros en nuestro país y en el mundo, posee una historia agrícola-ganadera donde la labranza convencional y el pisoteo de los animales dejaron su huella tanto superficial como subsuperficialmente, afectando de esta manera la propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La compactación modifica el estado de agregación y las interacciones existentes entre la fase sólida, líquida y gaseosa, disminuyendo la conductividad, permeabilidad y difusión del agua y del aire a través del sistema poroso del suelo (Soane *et al.*, 1982). La habilidad con que un suelo puede almacenar y transmitir agua, está determinada por sus propiedades hidráulicas (capacidad hídrica, conductividad hidráulica), que a su vez depende de la geometría de su espacio poroso, la cual es modificada por las labranzas (Pla Sentis, 1994). Las propiedades hidráulicas afectan el movimiento del agua dentro del perfil, la infiltración y la disponibilidad de agua para el cultivo, por ende las labranzas afectarían a estos procesos.

Como ya se describió en los párrafos anteriores, los implementos utilizados poseen diferentes características y profundidades efectivas de trabajo, es por este motivo que se realizó un análisis de la varianza para cada profundidad muestreada por separado, con el objetivo de poder detectar en forma clara que sucede con el contenido hídrico en los distintos sustratos del perfil en función de cada tratamiento.

El análisis de los resultados indicó que hubo diferencias significativas desde el punto de vista estadístico ( $P < 0,0001$ ) para la variable contenido hídrico, expresada como porcentaje de humedad respecto al agua útil de cada profundidad considerada, entre los distintos momentos de muestreo, siguiendo una tendencia similar a la de la lámina total de agua almacenada hasta el metro de profundidad (Tabla 1), pero no tuvo diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) en lo que respecta a los sistemas de labranza utilizados (Tabla 3). Ressia *et al.* (2005) encontraron resultados conformes a los hallados en este trabajo al evaluar diferentes alternativas para la descompactación en un Argiudol típico.

Por otro lado, en contraposición a la cita anterior, Rangeon (2008), al analizar la humedad del suelo como indicador de calidad en distintos sistemas de labranza halló diferencias altamente significativas en el contenido hídrico del suelo a favor del sistema de labranza mínima vertical (Escarificador) en un Ustocrepte údico.

Los estratos comprendidos entre 0-30 cm de profundidad son los que presentaron mayor proporción de agua respecto al agua útil potencial capaz de almacenar el perfil, mientras que en los estratos inferiores (30-100 cm) la proporción de agua almacenada decayó marcadamente

(Tabla 3). Esto podría indicar que las recargas por precipitaciones generaron una redistribución del agua especialmente en el primer espesor mencionado.

**Tabla 3: Contenido hídrico medio del suelo, expresado como proporción del agua útil, en función del sistema de labranza y la profundidad.**

| <b>PROFUNDIDAD (cm)</b> | <b>SISTEMA DE LABRANZA</b> | <b>CONTENIDO HIDRICO (% de AU)</b> |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| <b>0-10</b>             | <b>Escarificador Alado</b> | <b>44,11 a</b>                     |
|                         | <b>Doble Acción</b>        | <b>47,11 a</b>                     |
|                         | <b>Cinzel</b>              | <b>48,92 a</b>                     |
| <b>10- 20</b>           | <b>Escarificador Alado</b> | <b>53,46 a</b>                     |
|                         | <b>Doble Acción</b>        | <b>55,39 a</b>                     |
|                         | <b>Cinzel</b>              | <b>61,11 a</b>                     |
| <b>20-30</b>            | <b>Doble Acción</b>        | <b>40,99 a</b>                     |
|                         | <b>Escarificador Alado</b> | <b>42,31 a</b>                     |
|                         | <b>Cinzel</b>              | <b>44,42 a</b>                     |
| <b>30-60</b>            | <b>Escarificador Alado</b> | <b>28,98 a</b>                     |
|                         | <b>Doble Acción</b>        | <b>29,57 a</b>                     |
|                         | <b>Cinzel</b>              | <b>35,62 a</b>                     |
| <b>60-100</b>           | <b>Doble Acción</b>        | <b>9,20 a</b>                      |
|                         | <b>Escarificador Alado</b> | <b>9,94 a</b>                      |
|                         | <b>Cinzel</b>              | <b>10,62 a</b>                     |

*Letras distintas para una misma profundidad indican diferencias significativas entre sistemas de labranza ( $p < 0.05$ ), según test DGC.*

Doble acción es un implemento de laboreo secundario que se utiliza para cortar, desplazar y mezclar una capa de tierra de 6 a 12 cm de profundidad, con la finalidad de romper terrones, cortar residuos y emparejar superficies irregulares, provocando la desintegración del suelo para lograr una buena cama de siembra (Cisneros *et al.* 2006). El efecto esperable es que haya un aumento de la infiltración, aireación, dinámica de M.O. y de nutrientes y una disminución de la DAP hasta la profundidad de trabajo de esta herramienta. Vale aclarar, como se observa en la Figura 14, que en este caso, posiblemente asociado al cultivo antecesor, no dejó rastrojo en superficie.



**Figura 14: Resultado post-labor de rastra doble acción.**

Al trabajar a una baja profundidad efectiva, en este caso 14 cm, no llegó a romper la capa subsuperficial densificada presente en el lote, lo cual impactó negativamente en la morfología que presentaron las raíces del cultivo (Figura 15) pudiendo afectar la exploración del suelo.



**Figura 15: Raíces del tratamiento DA afectadas por compactación subsuperficial.**

Por otro lado el Cincel y el Escarificador Alado son consideradas prácticas de laboreo reducido, ya que los objetivos de estos sistemas de labranza son reducir el tránsito, costos, DAP, resistencia mecánica, compactaciones subsuperficiales, la erosión hídrica y eólica; mejorar el

drenaje, la homogeneización del perfil y el enraizamiento. Esto último lo logran al no invertir el pan de tierra, producir fisuras en el perfil, dejar residuos en superficie (Figuras 16 y 17) y aumentando la retención, detención y rugosidad que hacen que sea mayor la infiltración y disminuya la escorrentía. Presentan como inconvenientes la menor dinámica de M.O. y nutrientes, menor control de malezas, compactación superficial y dificultades a la siembra (Cisneros *et al.* 2006).



**Figura 16: Condición superficial post-labor del cincel.**



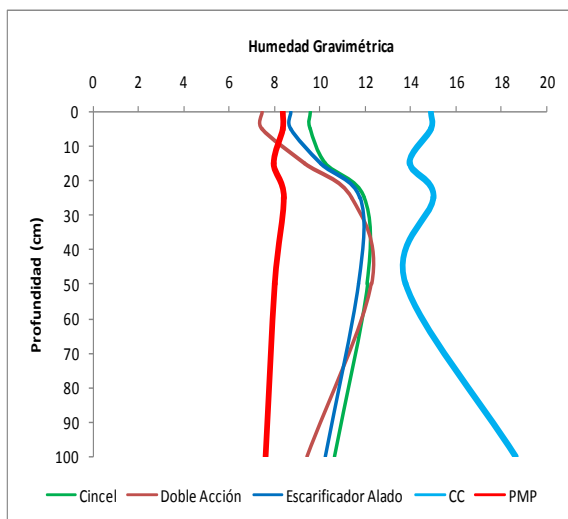
**Figura 17: Condición superficial post-labor del escarificador alado.**

Lo que diferencia al **C** del **EA** es la profundidad efectiva de trabajo y la constitución de sus órganos activos. El cincelado comprende trabajos que involucran el horizonte superficial y el subyacente (hasta los 25 cm aproximadamente); mientras que el escarificado profundo o subsolado involucra horizontes inferiores (hasta los 40 cm aproximadamente).

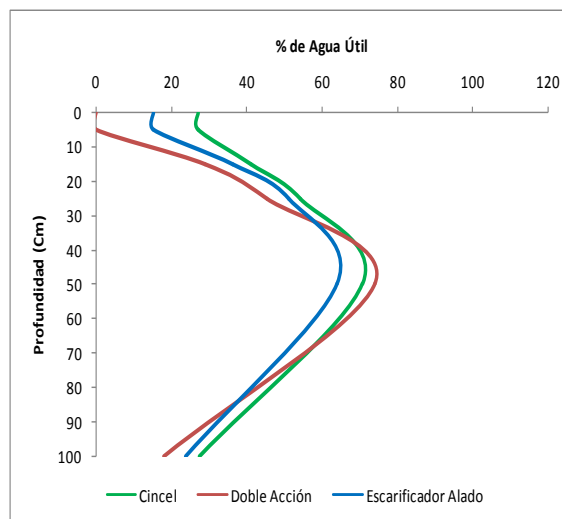
La labranza con escarificadores se fundamenta en el trabajo de rejas que fracturan el suelo sometiendo al mismo a tensión, por compresión o flexión. Los efectos varían principalmente en función del ancho de la reja, el ángulo de ataque y la profundidad de labor. A su vez, el conjunto de los órganos activos se dispone en el bastidor en diferentes configuraciones espaciales que inciden sobre aspectos energéticos, edáficos y operativos, (Balbuena *et al.*, 2009).

A modo de ampliar lo expuesto en la Tabla 3 y desarrollado en párrafos precedentes, se presentan a continuación los gráficos de perfil de distribución de la humedad gravimétrica y proporción de agua útil en profundidad para cada uno de los momentos de evaluación.

Cuando se analizaron los diferentes tratamientos en cada uno de los momentos de muestreo se observó que en la primera fecha de muestreo (29/12/2010), es decir V1 en términos fenológicos, el contenido hídrico del primer horizonte (0-24 cm) para **DA** se encontraba por debajo de PMP, no así **C** y **EA**, en los cuales el contenido hídrico fue mayor, siendo del 27 % y 16% del AU, respectivamente (Gráficos 3 y 4). Esta situación puede atribuirse a la diferente condición superficial que presentaba el suelo post-labor, ya que es característica de cada sistema de labranza (Figuras 14, 16 y 17) donde **DA** al quedar sin residuos vegetales en superficie, es más susceptible a la pérdida de agua por evaporación directa desde la superficie desnuda del suelo y a las pérdidas de agua por escurrimiento al estar la superficie expuesta a la formación de sellos y costras superficiales. Los demás horizontes del perfil en este momento se encontraban dentro del rango de AU, presentando el máximo contenido hídrico entre los 40 y 60 cm de profundidad donde el porcentaje de agua osciló entre el 60 al 70 % del AU aproximadamente. Probablemente en este período las raíces del cultivo estarían concentradas en los primeros 40 cm del perfil (Anexo 6) por lo que la extracción de agua no superaría dicha profundidad.



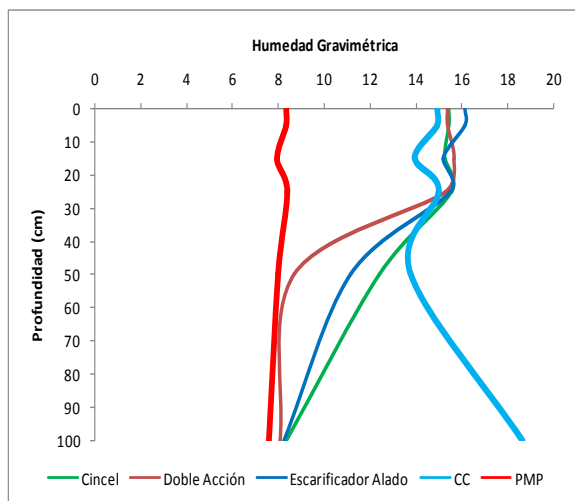
**Gráfico 3: Humedad gravimétrica del suelo en V1.**



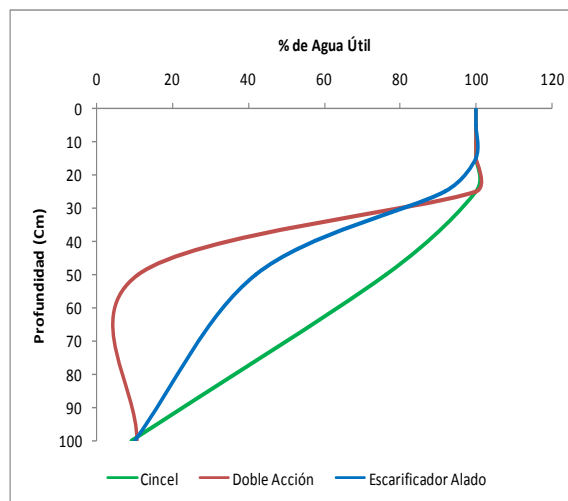
**Gráfico 4: Proporción del agua útil del suelo en V1.**

En el estadio ontogénico R1 se aprecia que los tres sistemas de labranza se encuentran con un contenido hídrico superior a CC hasta los 30 cm, profundidad en la cual la humedad del suelo comienza a descender siendo **DA** el tratamiento que tuvo el descenso más marcado y abrupto llegando al 10 % de AU a partir de los 50 cm de profundidad, mientras que **EA** y **C** lo hacen recién a los 80 cm aproximadamente (Gráficos 5 y 6), lo que indicaría una mejor redistribución en profundidad de las recargas hídricas por precipitaciones, respecto a **DA**. Como

se mencionó en párrafos anteriores, en esta fecha de muestreo, el perfil de suelo retuvo el máximo contenido hídrico registrado en la experiencia.

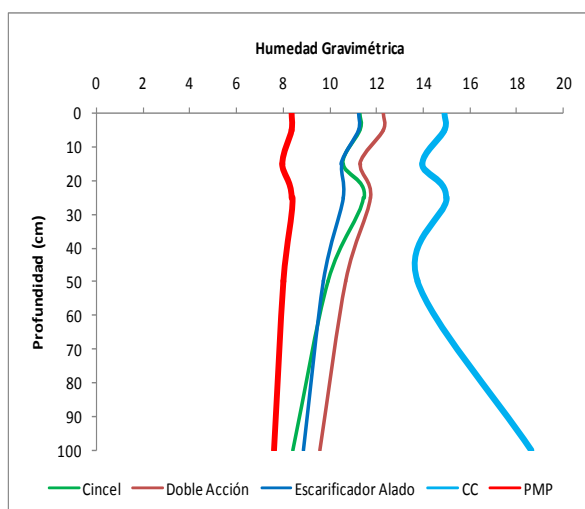


**Gráfico 5: Humedad gravimétrica del suelo en R1.**

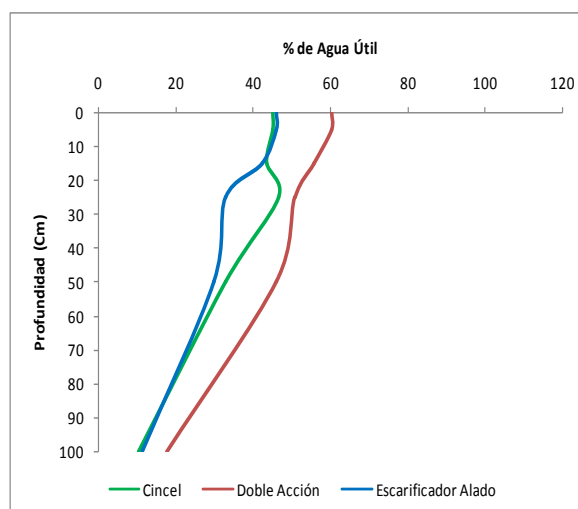


**Gráfico 6: Proporción del agua útil del suelo en R1.**

Al observar la distribución del agua del suelo en profundidad, en R3, los tres sistemas de labranza se encontraron con un contenido hídrico dentro del rango de AU, siendo **DA** el tratamiento que tuvo mayor humedad a lo largo de todo el perfil con valores que van desde 60 % de AU en superficie al 20 % a partir de los 80 cm aproximadamente (Gráficos 7 y 8). Esta tendencia podría explicarse por una mayor extracción de agua por parte de las raíces en profundidad en los tratamientos con descompactación, respecto de **DA**, si se considera que en este estadio las raíces del cultivo estarían explorando hasta 1,6 m de profundidad aproximadamente (Anexo 6).

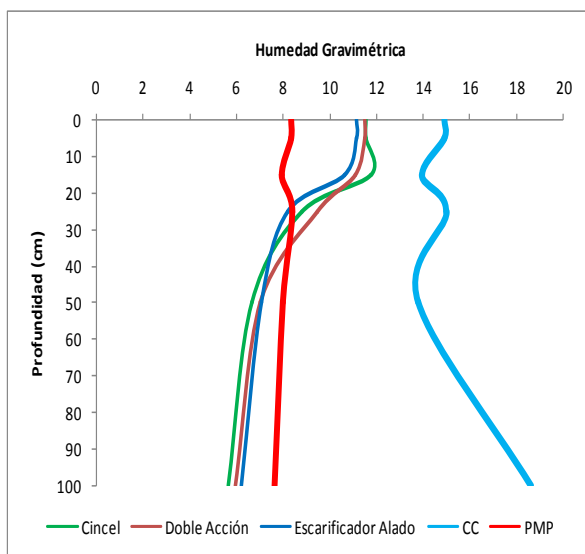


**Gráfico 7: Humedad gravimétrica del suelo en R3.**

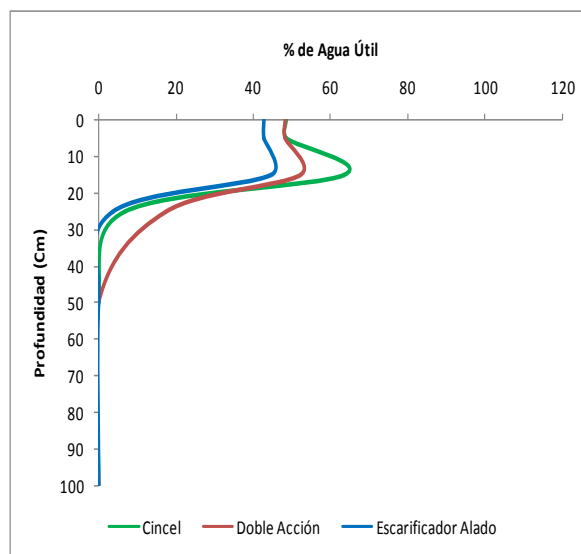


**Gráfico 8: Proporción del agua útil del suelo en R3.**

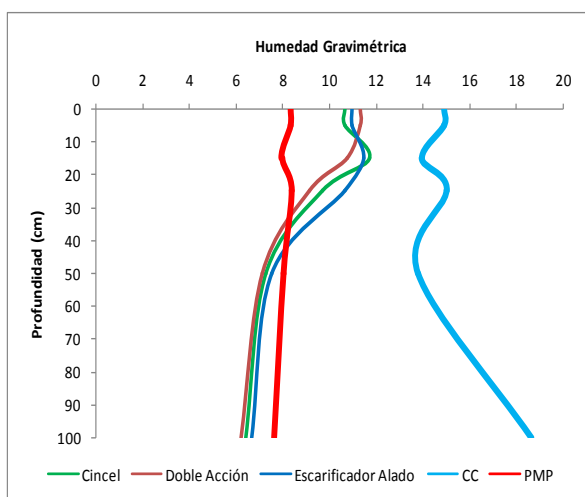
Se puede apreciar que el primer horizonte (0-24 cm) en el cuarto y quinto muestreo, R6 y R8 respectivamente, se encontraba dentro del rango de agua útil para los tres sistemas de labranza con un contenido hídrico entre el 40 y 60 % de AU (Gráficos 10 y 12). En R6, a partir de los 25 cm, todos los tratamientos entraron en punto de marchitez permanente perdiendo la capacidad de aportar agua a las raíces del cultivo por más que estas hayan alcanzado los 2 m de profundidad (Anexo 6); mientras que en R8 esta situación se dio a partir de los 50 cm de profundidad siendo estos dos últimos momentos de muestreo, los que registraron el menor contenido de agua en el perfil (Gráficos 9 y 11).



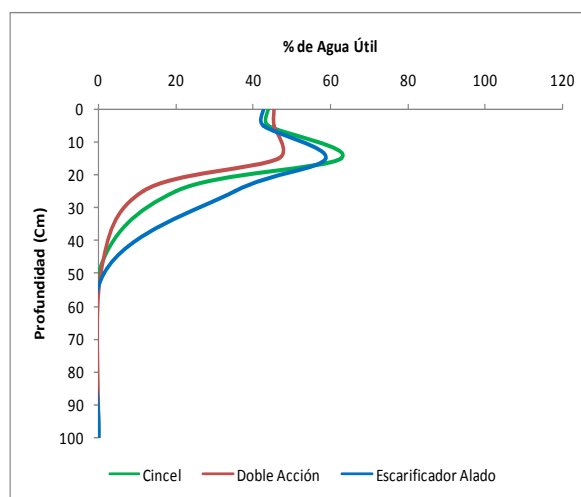
**Gráfico 9: Humedad gravimétrica del suelo en R6.**



**Gráfico 10: Proporción del agua útil del suelo en R6.**



**Gráfico 11: Humedad gravimétrica del suelo en R8.**



**Gráfico 12: Proporción del agua útil del suelo en R8.**

### 3.2 Efecto de los sistemas de labranza sobre la DAP del suelo:

El objetivo principal de realizar la medición de esta variable, fue el de poder expresar el contenido de agua del suelo en forma de lámina. El objetivo secundario fue ver si los sistemas de labranza utilizados modificaron este parámetro físico edáfico diferenciándose entre sí.

Al analizar los resultados del Anova, se aprecia que la DAP fue insensible a las prácticas utilizadas. No se halló diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) entre los tratamientos de labranza para dicha variable (Tabla 4). Este resultado coincide con lo hallado por Álvarez *et al.* (2009) quienes trabajaron evaluando el efecto de descompactadores (Paratill) sobre propiedades físicas edáficas en Argiudoles y Hapludoles de la Pampa Ondulada en planteos de siembra directa. Dichos autores concuerdan además, con las conclusiones a las que arribaron Hamilton - Manns *et al.* (2002), Botta *et al.* (2004) y Tourn *et al.* (2012) pero se contraponen a lo informado por Franzluebbbers *et al.* (2007).

Las profundidades comprendidas entre los 10 y los 30 cm fueron las que presentaron los mayores valores de DAP, independientemente del sistema de labranza utilizado. El tercer estrato (20 a 30 cm) coincide con la capa densificada (Figura 2) detectada cuando se realizó la calicata en el lugar de la experiencia para observar el perfil del suelo y en función de ello decidir las profundidades de trabajo de los implementos.

**Tabla 4: DAP del suelo en función del sistema de labranza y la profundidad.**

| <b>PROFUNDIDAD (cm)</b> | <b>SISTEMA DE LABRANZA</b> | <b>DAP (Mg/m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| <b>0-10</b>             | <b>Doble Acción</b>        | <b>1.18 a</b>                 |
|                         | <b>Cincel</b>              | <b>1.20 a</b>                 |
|                         | <b>Escarificador Alado</b> | <b>1.33 a</b>                 |
| <b>10- 20</b>           | <b>Doble Acción</b>        | <b>1.45 a</b>                 |
|                         | <b>Escarificador Alado</b> | <b>1.46 a</b>                 |
|                         | <b>Cincel</b>              | <b>1.49 a</b>                 |
| <b>20-30</b>            | <b>Doble Acción</b>        | <b>1.44 a</b>                 |
|                         | <b>Cincel</b>              | <b>1.45 a</b>                 |
|                         | <b>Escarificador Alado</b> | <b>1.46 a</b>                 |
| <b>30-60</b>            | <b>Doble Acción</b>        | <b>1.36 a</b>                 |
|                         | <b>Escarificador Alado</b> | <b>1.39 a</b>                 |
|                         | <b>Cincel</b>              | <b>1.42 a</b>                 |
| <b>60-100</b>           | <b>Doble Acción</b>        | <b>1.36 a</b>                 |
|                         | <b>Escarificador Alado</b> | <b>1.39 a</b>                 |
|                         | <b>Cincel</b>              | <b>1.41 a</b>                 |

*Letras distintas para una misma profundidad indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ), según test DGC.*



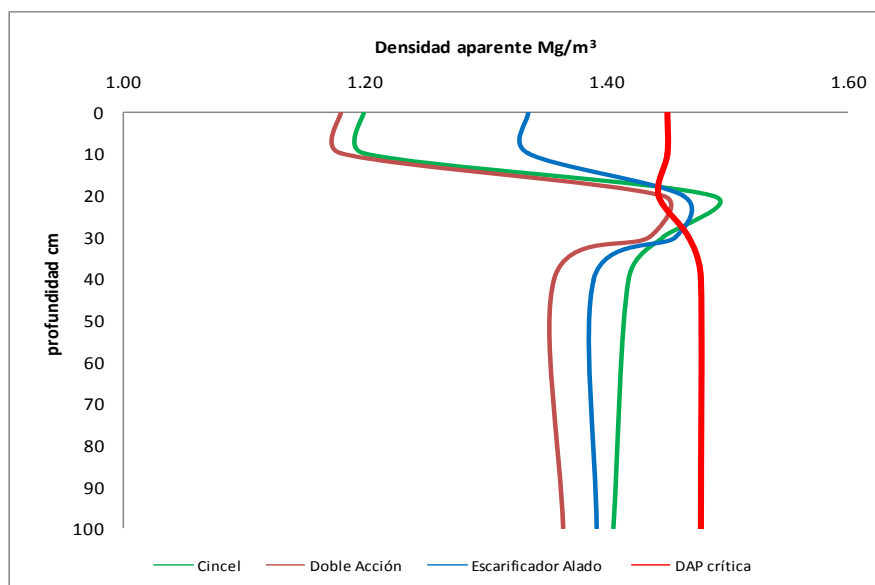
La densidad aparente expresa la relación de la masa de suelo seca (partículas minerales y materia orgánica) por unidad de volumen total (volumen ocupado por los sólidos y volumen ocupado por poros). Los suelos tienden a una densidad de equilibrio donde la resultante de las fuerzas de interacción (atracción y repulsión de partículas) se hace cero (Bernardo *et al.* 2008).

La densidad aparente varía mucho dependiendo de la condición estructural del suelo, es por ello que es usada a menudo como un índice de condición estructural y por lo general se encuentra expresada en  $\text{Mg/m}^3$  (Blake y Hartge, 1986).

El espacio poroso, es una propiedad dinámica, sujeta a cambios, fundamentalmente en los primeros horizontes por aplicación de fuerzas de origen externo, por efecto del laboreo, acción de raíces, mesofauna, tránsito de maquinarias y animales, etc.; o de origen interno como humedecimiento – secado, expansión – contracción (Bernardo *et al.* 2008).

En el Gráfico 13, se aprecian los valores correspondientes a la Tabla 4, mostrando el perfil de distribución de la DAP en profundidad. Si bien **DA** y **C** presentan menor DAP en los primeros 20 cm de suelo, **EA** posee una distribución más isotrópica para esta variable a lo largo del perfil.

Independientemente del sistema de labranza utilizado, el tercer estrato de profundidad evaluado (20 a 30 cm) que se corresponde con la capa densificada (Figura 2) supera los valores de DAP crítica ( $1,44 \text{ Mg/m}^3$ ) para el crecimiento de raíces (Pillatti y De Orellana, 2000) estimados para el suelo del presente trabajo (Gráfico 13). Además habría que considerar que la evaluación de esta variable se realizó hacia el final del ciclo del cultivo, pudiendo haber ocurrido procesos de recompactación o reconsolidación por tránsito o por las condiciones ambientales a las que queda expuesto el suelo luego del laboreo.



**Gráfico 13: Perfil de distribución de la densidad aparente en el suelo en función del sistema de labranza.**

La DAP, conjuntamente con el contenido hídrico son los dos factores determinantes de la resistencia mecánica que ofrece el suelo a la penetración de raíces. Como las precipitaciones fueron abundantes hasta R2, estadio fenológico alcanzado aproximadamente a los 70 - 75 DDS y el contenido de agua en el suelo estuvo cercano al 50% del agua útil en los tratamientos con labranza vertical, la resistencia mecánica en estos tratamientos no habría sido restrictiva para el normal desarrollo de las raíces del cultivo a pesar de que entre los 20 y 30 cm de profundidad se superó el valor de DAP crítica ya que a esta altura del ciclo, el cultivo poseía raíces de hasta 1,6 m de profundidad aproximadamente (Anexo 6). La máxima profundidad de exploración de las raíces del cultivo de soja es de 2 m y se alcanza en R5.

Los altos valores de DAP registrados a partir de los 20 cm de profundidad se pueden atribuir a:

- *Recompactación del suelo por tránsito:* ya que las labores se realizaron en el mes de Octubre y luego de esta fecha, tuvieron lugar las pulverizaciones del barbecho y las que se hicieron en post-emergencia del cultivo. A esto hay que sumarle las tareas de siembra.
- *Recompactación natural:* debido a que hubo suficientes precipitaciones durante el período comprendido entre la realización de los tratamientos y la fecha en que se tomaron los datos correspondientes a esta variable como para permitir la reacomodación natural del perfil.
- *Método de muestro:* debido al pequeño diámetro y altura del cilindro utilizado para el muestreo, la porción de suelo que se explora con el muestreador es muy pequeña. Además, dentro del cilindro, se puede producir densificación del suelo muestreado.

### **3.3 Efecto de los sistemas de labranza sobre el rendimiento:**

En relación al rendimiento final del cultivo, no hubo diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) entre los distintos sistemas de labranza empleados (tabla 5). Este resultado se contrapone a lo observado por Ressa *et al.* (2003) quien establece que los sistemas de labranza modifican el crecimiento y el rendimiento del cultivo de soja en la Pampa Húmeda (Azul, Argentina). Sin embargo, **DA** y **EA** se despegaron de **C** en 260 kg/ha y 176 kg/ha, respectivamente, lo que si bien no es significativo desde el punto de vista estadístico, puede serlo económicamente para el productor.

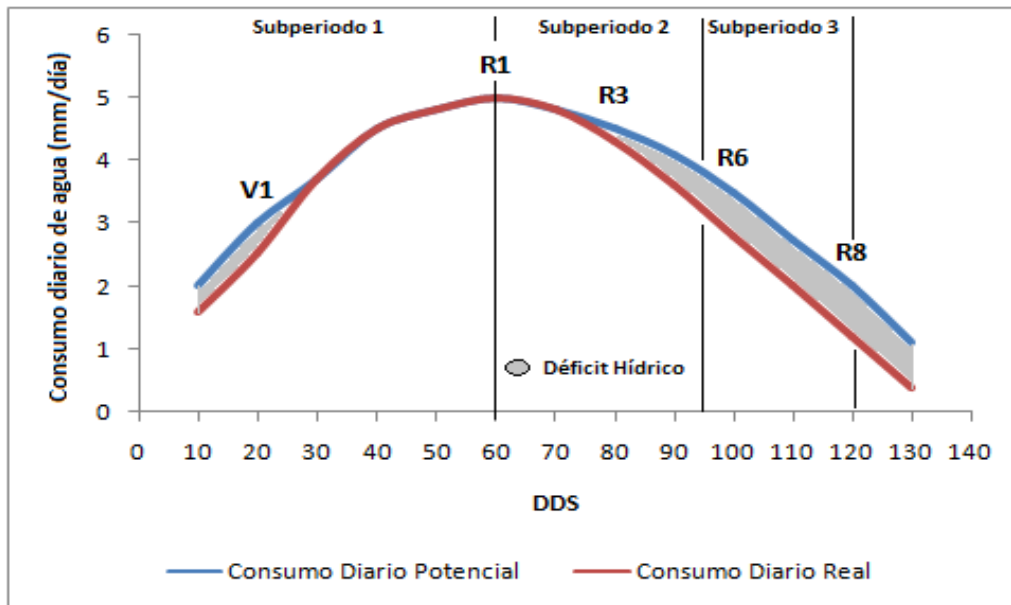
**Tabla 5: Rendimiento del cultivo de soja en función del sistema de labranza.**

| <i>Sistema de labranza</i> | <i>Rendimiento (kg/ha)</i> |
|----------------------------|----------------------------|
| <b>Cinzel</b>              | <b>1796.83 a</b>           |
| <b>Escarificador Alado</b> | <b>1972.14 a</b>           |
| <b>Doble Acción</b>        | <b>2056.18 a</b>           |

*Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ), según test DGC.*

De acuerdo a los potenciales efectos que produciría el tratamiento **EA** como mejorar la infiltración y la distribución de agua en el perfil, reducir la DAP, romper la capa compactada, homogenizar el perfil y favorecer el desarrollo de raíces, era esperable que generara el mayor rendimiento respecto a los otros tratamientos utilizados, pero no fue así. Este resultado coincide con varios autores como Richmon *et al.* (2010) que establecen que si bien en los tratamientos subsolados se produjeron reducciones en densidad aparente y resistencia a la penetración y aumentos en la infiltración y presencia de raíces a mayor profundidad, ello no contribuyó a aumentar los rendimientos. Algo similar sucede con el trabajo de Faita *et al.* (2012) donde resaltan que el rendimiento de soja de primera, pese al mayor ingreso de agua al perfil de suelo, no mostró diferencias significativas entre tratamientos, en coincidencia con lo verificado por Álvarez *et al.* (2009) para el mismo cultivo. Sanzano *et al.* (2008), citan que el laboreo vertical profundo aumentó la tasa de infiltración, pero no se observaron diferencias significativas ni en la cantidad de agua almacenada en el suelo ni en los rendimientos del cultivo de soja, probablemente debido a las condiciones hídricas no limitantes.

Haciendo referencia a la última cita, en el presente trabajo, tampoco se encontraron condiciones hídricas limitantes para el normal desarrollo del cultivo de soja desde el punto de vista de precipitaciones acumuladas totales ya que, desde el mes de octubre del 2010 hasta la fecha de cosecha del cultivo en 2011, se ajustaron a los valores normales para la localidad de Bulnes y a los milímetros requeridos por el cultivo, aunque la distribución de las mismas no se ajustó en concordancia a las demandas del cultivo. Este hecho, determinó que los 3 subperiodos de susceptibilidad al estrés hídrico se encontraran con déficit de agua en el perfil de suelo (Gráfico 14) por lo que afectaron negativamente el rendimiento del cultivo de soja. Como se mencionó en el capítulo 2, esta región presenta un déficit hídrico medio anual de 100 mm, ubicándose en los meses de invierno cuando las precipitaciones son bajas y en los meses de verano cuando la demanda evapotranspirativa supera la oferta hídrica, siendo este último mayor que el invernal.



**Gráfico 14: Déficit hídrico durante el ciclo del cultivo de soja.**

Durante el ciclo del cultivo de soja 2010 – 2011, se detectaron dos momentos con estrés hídrico. El primero de ellos estuvo ubicado temporalmente desde la siembra hasta V1 aproximadamente; mientras que el segundo desde el comienzo de formación de vainas (R3) hasta el fin de llenado de granos (R7), siendo este último de mayor magnitud que el primero ya que estos estadios fenológicos se ubicaron temporalmente en los meses de Marzo y Abril respectivamente, período que representa solo el 17 % del total de precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo (Anexo 3) y que se corresponden con los subperiodos 2 y 3 de susceptibilidad al estrés hídrico por lo que tienen mayor incidencia sobre la disminución del rendimiento del cultivo de soja.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) para el cultivo de soja varía entre los 5 y 11 kg/ha/mm (Toledo y Rubolo, 2006). La fecha de siembra es uno de los parámetros que modifican la EUA del cultivo, por esta razón, como el cultivo fue sembrado en segunda fecha de siembra, la EUA sería baja. Teniendo en cuenta un valor teórico de 7 kg/ha/mm de EUA, el rendimiento alcanzable, independientemente del tratamiento de labranza, tendría que haber rondado los 2982 kg/ha aproximadamente ( $426 \text{ mm} * 7 \text{ kg/ha/mm}$ ), valor superior a los medidos en esta experiencia.

Los rendimientos observados serían consecuencia de:

- *Atraso en la fecha de siembra:* reduciendo de esta manera el rendimiento potencial esperado ya que, al acortarse el ciclo del cultivo, la capacidad de captar recursos del ambiente (radiación, nutrientes y agua), es menor. Además se reduce la EUA.

- *Estrés hídrico*: el agua es el factor limitante de rendimiento más importante en los cultivos de secano. Debido a que hubo deficiencia hídrica entre R3 y R7, se vio afectado negativamente el rendimiento del cultivo de soja ya que, en ese lapso de tiempo se definen el número y el peso de los granos (Figura 18) que son los principales componentes del rendimiento del cultivo de soja.

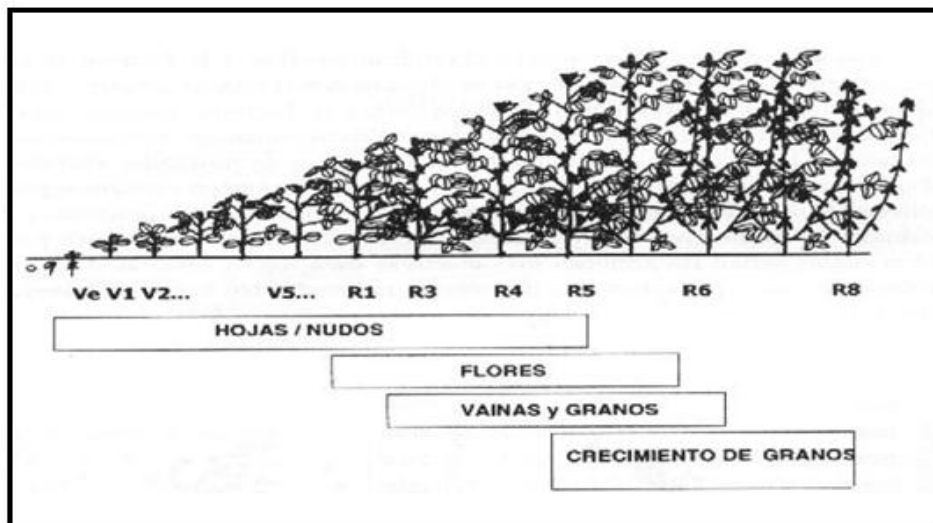


Figura 18: Cambios morfológicos durante el ciclo del cultivo de soja, (Kantolic y Satorre, 2004).

Considerando el rendimiento alcanzable estimado, hubo una reducción del 30 – 40 % en el rendimiento obtenido en los tratamientos de labranza, siendo una de las posibles causas de esta reducción el estrés hídrico en el periodo detallado anteriormente (Gráfico 15).

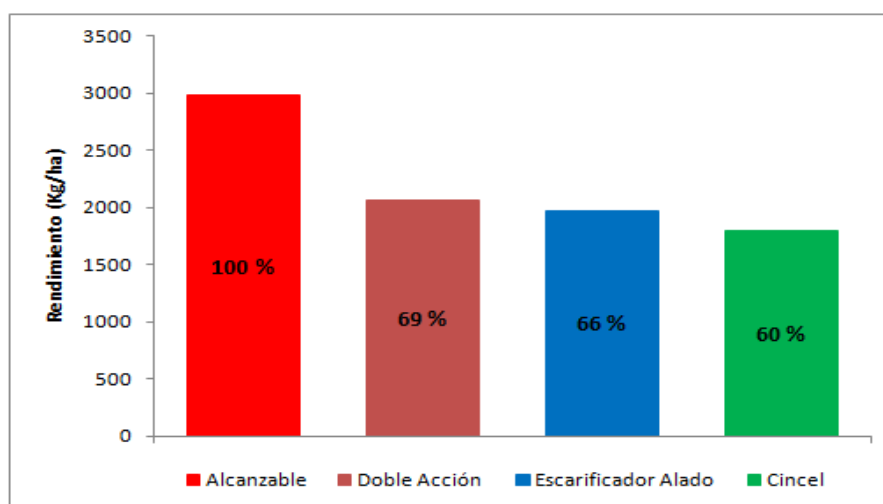


Gráfico 15: Proporción del rendimiento de soja de la campaña 2010 – 2011 respecto al rendimiento alcanzable.

El lote en el cual se llevó a cabo la experiencia, tuvo como cultivo antecesor una pastura de alfalfa, la cual estuvo establecida allí por 5 años. Esta situación hace suponer que la cantidad de M.O., especialmente la fracción lábil (Álvarez y Steinbach, 2006) y nutrientes como N potencialmente mineralizables, sería elevada. Esta suposición está apoyada en el trabajo de Videla *et al.* (2005) quienes midieron las tasas de mineralización bajo distintos sistemas de labranza y hallaron que los cambios en el sistema de manejo afectaron a la tasa de mineralización bruta del nitrógeno y fueron destacables los altos valores obtenidos después de 5 años bajo pasturas, en contraste con los manejos agrícolas. Estos resultados indican que sólo la pastura consiguió recuperar la actividad biológica del sistema suelo, hecho corroborado por los mayores valores de N potencialmente mineralizable medidos por dichos autores.

Teniendo en cuenta que las condiciones ambientales (temperatura, radiación y precipitaciones) durante la experiencia fueron similares para los 3 sistemas de labranzas empleados, el mayor rendimiento logrado por el tratamiento **DA** puede ser atribuido a una mayor tasa de mineralización de M.O. y nutrientes que se pudo haber generado durante el ciclo agrícola, coincidiendo con Minolo *et al.* (2010) y Ressia *et al.* (2003) quienes trabajaron con sistemas de labranza similares a los utilizados en este trabajo y citan que el efecto de desintegración del suelo producida por una labor secundaria como lo es **DA**, genera las condiciones necesarias para que aumente la dinámica de M.O. y nutrientes del suelo.

## CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

En un Haplustol típico, franco arenoso y bajo las condiciones de clima y suelo que imperaron en esta experiencia, luego de haberse utilizado distintos sistemas de labranzas para roturar una pastura de alfalfa, se concluye que:

- El sistema de labranza utilizado para roturar una pastura de alfalfa no afecta el rendimiento del cultivo de soja que se implanta posteriormente.
- Los sistemas de labranza no afectan la disponibilidad de agua útil para el cultivo que se implanta posteriormente.
- La operación de descompactación con escarificador alado no incrementa la cantidad de agua almacenada.

## **CAPÍTULO 5: POSIBLES LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN**

Sería interesante desde el punto de vista científico y técnico, llevar a cabo para distintas situaciones de suelo y clima, los siguientes planteos de investigación:

- Estimar la eficiencia en el uso del agua en un suelo compactado y otro descompactado.
- Estudiar el impacto que genera una labor de descompactación subsuperficial sobre la dinámica de la materia orgánica y de los nutrientes.
- Evaluar el efecto de la descompactación sobre la exploración radical en el perfil.
- Analizar el efecto de la descompactación sobre la redistribución de agua dentro del perfil.



## CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA CORDOBA AMBIENTE – INTA EEA MANFREDI. 2006. Recursos naturales de la provincia de Córdoba: los suelos. Nivel de reconocimiento escala 1:500000 (en CD).

ALVAREZ, R. H. Y H. STEINBACH. 2006. Factores climáticos y edáficos reguladores del nivel de materia orgánica. En: Álvarez R (Coordinador). Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Editorial Fac de Agronomía UBA Buenos Aires, Argentina. 205 pp.

ÁLVAREZ, C. R.; M. A. TABOADA; M. T. DUGGAN; C. BUSTINGORRI y F. G. BOEM. 2009. Uso de descompactadores en planteos de siembra directa: efectos sobre el suelo y el cultivo en la región pampeana. III Taller de física del suelo (AACS), Río Cuarto, Córdoba, Argentina (en CD) – 2009.

ANDRIANI, J. M. 1997. Uso del agua y del riego. En: El cultivo de la soja en Argentina. Ed: L. Giorda y H. Baigorri. Córdoba pp 143-150.

ANDRIANI, J. M. 2000. Dinámica del agua en cultivos extensivos. Extraído de la página web: <http://www.criata.com.ar/trabajos/dina-agua-barrow10.pdf> el día 25/07/12.

ANDRIANI, J. M. 2006. Dinámica del agua en el cultivo de soja. En: Soja. Actualización 2006. Informe de Actualización técnica n° 3. Marcos Juarez. pp 24-30

BALBUENA, R. H., BOTTA, G.F. y RIVERO E.R.D. 2009. Herramientas de labranza para la descompactación del suelo agrícola. Orientación gráfica Editora SRL, Buenos Aires, Argentina; 205 páginas.

BERNARDO, I.; BONADEO, E.; MORENO, I.; BONGIOVANNI, M. Y MARZARI, R. 2008. Capítulo 4: Densidad y Compactación. Material didáctico de la cátedra de Sistema Suelo Planta de la UNRC-Argentina: 197 páginas.

BEUTLER, A. N.; J.F. CENTURION, J. F. 2003. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, p 849-856.

BLAKE, G.R. y HARTGE, K. H. 1986. Bulk density. In: Methods of soil analysis. Part 1. A Klute (ed.), Agronomy 9. ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, EEUU.

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

BOTTA, G. F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R. y ROSATTO H. 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect of soybean (*Glycine max* L.) yields. Soil Till. 78: 53 – 78.

BRICCHI, E. y DEGIOANNI, A. 2006. Sistema suelo, su origen y propiedades fundamentales. Editorial fundación UNRC, Río Cuarto, Argentina, 229 págs.

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

CABRERA, F. S. 2007. Efecto de la carga animal y humedad edáfica sobre el comportamiento hidrofísico de un suelo franco-arenoso del centro-sur de Córdoba. Tesis de grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 56 p.

CACCIAVILLANI, M. 2009. Evolución del comportamiento de un suelo Haplustol típico de Córdoba bajo dos sistemas de laboreo. Tesis de grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 58 p.

CANTERO, A. G.; E. M. BRICCHI; V. H. BECERRA; J. M. CISNEROS y H. A. GIL. 1986. Zonificación y descripción de tierras del departamento Río Cuarto (Córdoba). 1º ed. UNRC. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

CARVALHO FILHO, A.; L. CARVALHO; J. CENTURION; R. DA SILVA; C. FURLANI. 2006. Efeitos de sistemas de preparado do solo na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) Eng. Agríc. Jaboticabal, 26(3):777- 786.

CASTAÑEDA, M. A.; OSINAGA, R. y ARZENO, J. L. 2010. Evaluación de la humedad del suelo en cuatro sistemas de labranzas y a dos distancias de siembra. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Santa Fe, Argentina. (En Cd).

CHANG, C. y LINDWALL, C. W. 1989. Effect of long-term minimum tillage practices on some physical properties of a Chernozemic clay loam. Can. J. Soil Sci. 69:443-449.

CHOLAKY, C. 2003 Efectividad y persistencia de una labor de descompactación con subsolador alado, en función de la compactación y humedad antecedente. Tesis de Maestría en Manejo y Recuperación de Tierras, UNRC-Argentina: 218 págs.

CHOLAKY, C.; J. CISNEROS y R. BALBUENA. 2010. Desempeño a campo de un escarificador alado en función de la compactación y el contenido de agua del suelo. Chilean J. of Agric. Res. 70 (1): 150 – 158.

CISNEROS, J. M.; CANTERO, A.; CHOLAKY C.; BECERRA, V. H.; ANGELI, A. R. y REYNERO, M. 2006. Capítulo 6: Laboreo y sistemas de labranzas. Material didáctico de la cátedra uso y manejo de suelos de la UNRC-Argentina: 123 páginas.

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

COLAREDA, G. O.; A. TERMINIELLO; R. H. BALBUENA y J. A. HILBERT 2002. Descompactación de suelos bajo el sistema de siembra directa de cultivos. Persistencia de la labor. XVIII Congreso Nacional de la Ciencia de Suelos, Puerto Madryn, Chubut (en CD).

DAMIANO F. Y TABOADA M. A. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de la región pampeana. Ciencia del Suelo 18 (2):77-88.

DAO H. 1993. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:1586-1595.

DELLA MAGGIORA A., J. GARDIOL Y A. IRIGOYEN. 2000. Requerimientos hídricos. En: Bases para el manejo del Maíz, el Girasol y la Soja. Eds: F. Andrade y V. Sadras, Buenos Aires. pp 155-171.

DI PRINZIO, A. P.; S. N. BEHMER y G. L. STRIEBECK. 2000. Influencia de las rejas aladas en un subsolador combinado sobre el rendimiento de la labor. Agric. Téc. [online]. abr. 2001, vol.61, no.2, p.235-240. En: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072001000200014&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072001000200014&lng=es&nrm=iso). ISSN 0365-2807.

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

ELLIOTT, E. T. y CAMBARDELLA, C. A. 1991. Physical separation of soil organic matter. Agricultural. Ecosystems Environment 34: 407 – 419.

FAITA, E. C.; BOYADJIAN, A. y ROS M. A. 2012. Efecto de la labranza vertical sobre propiedades edáficas y rendimiento en siembra directa. XXI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

FEHR W., C. CAVINESS, D. BURMOOD Y J. PENNINGTON. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, glycine max (L.) Merrill. Crop Science. Vol 11: 929-93.

FLOWER M.D., R. LAL 1998. Axle load and tillage effects on selected soil physical properties and soybean yield on a Mollic Achraqualf in northwest Ohio. Soil Tillage Research 48: 21-35.

GODWIN, R.J.; G. SPOOR Y M.S. SOOMRO. 1984. The effect of tine arrangement on soil forces and disturbance. J. Agric. Engng. Research, 30, 47-56.

GONELLA, C. A. 2000. Producción de carne en sistemas pastoriles. Publicación Técnica 32. Área de Investigación, Estación Experimental Agropecuaria General Villegas, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, República Argentina.

HAKANSSON, I. y R. C. REEDER 1994. Subsoil compaction by vehicles with axle load-extend, persistence and crop response. *Soil and Tillage Research* 29: 277-304.

HALL A., REBELLA C., GHERSA C., Y CULOT J.P. 1992. Field-crop systems of the pampas. In: *Field crop ecosystems*. Pearson J.P. (eds). Elsevier, Amsterdam. p. 413-450.

HAMILTON-MANNS, M.; ROSS C. W.; HOME D. J. y BLAKER C. J. 2002. Subsoil loosening does little to enhance the transition to no-tillage on a structurally degraded soil. *Soil Till. Res.* 68: 109 – 148.

HASSINK, J.; BOUWMAN, L. A.; ZWART, K. B.; BLOEM, J. y BRUSSARD, L. 1993. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. *Geoderma* 57: 105 – 128.

HILL, R. L. y R. M. CRUSE. 1985. Tillage effects on bulk density and soil strength of two molisol. *Soil. Soc. Am. J.* 49:1 270-1 273.

KANTOLIC, A, y E. SATORRE, 2004. Elementos centrales de ecofisiología del cultivo de soja. En: *Manual práctico para la producción de soja*. 1ra edición. Ed: M. Díaz Zorita y G. Duarte, Buenos Aires. 19-37

KIESSLING, R.; GALANTINI, J.; IGLESIAS, J.; KRUGER, H. Y VENANZI, S. 1998. Efecto de corto plazo sobre el espacio poroso en sistemas mixtos. Extraído de la pagina web <http://www.profertilnutrientes.com.ar/biblioteca> el 22/04/12.

KIESSLING R., GALANTINI J., IGLESIAS J., KRUGER H., y S. VENANZI. 2008. Efecto del pisoteo animal sobre la porosidad del suelo en lotes bajo siembra directa continúa. *Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo* (en CD). San Luis. Argentina.

KLUTE, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. Pp. 635-686. 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.

KRÜGER, H. R.; S. VENANZI y E DE. SÁ PEREIRA. 2004. Siembra directa y pastoreo. Impacto sobre el suelo y los cultivos en el sur la región semiárida pampeana. *Ciclo de conferencias INTA Expone 2004*. INTA. Buenos Aires. AR. 2006. v. II, p. 84-89.

LONGSDON, S. D.; T. C. KASPAR y C. A. CAMBARDELLA. 1999. Depth-incremental soil properties under no-till or chisel management. *Soil Science Society of America Journal*. 63(1):197-200

MICUCCI, G. F. 2002. Eficiencia de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua en los cultivos extensivos de la región pampeana argentina. Extraído de la pagina web [www.bvsde.paho.org/bvsacd/upf/micucci.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/upf/micucci.pdf). el día 26/06/12.

MINOLO, G.; GALATANI, J; IGLESIAS, J; SUÑER, L; KRUGER, H y VENANZI, S. 2010. Efecto de la labranza y los cultivos antecesores sobre algunas propiedades químicas del

suelo en el sudoeste bonaerense. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Santa Fe, Argentina (en CD).

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

PLA SENTÍS, I. 1994. Curso sobre efectos de la labranza en las propiedades físicas de los suelos. Instituto de suelos, CIRN – INTA Castelar. Capítulo II. Labranzas y Propiedades Físicas de los Suelos. 20pp.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; S. S. NOGUEIRA; M. A. C. MIRANDA. 2000. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p.929-938.

QUIROGA, A.R.; D. E. BUSCHIAZZO y N. PEINEMANN. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. Soil Till. Res. 52 (1999): 21-28.

RANGEON N. I.; ACIAR, L. M.; OSINAGA, R.; ARZENO, J. L. y SANCHEZ C. 2008. Análisis de la resistencia a la penetración y humedad de suelo como indicadores de calidad en distintos sistemas de labranza. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.

RESSIA, J. M.; LÁZARO, L.; LETT, L. C.; MENDIVIL, G. O.; PORTELA, G. R. y BALBUENA, R. H. 2003. Sistemas de labranza e inoculación en soja. Efectos sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo. Extraído de la pagina web [www.redalyc.uaemex.mx](http://www.redalyc.uaemex.mx) el 5/6/2012.

RESSIA, J. M.; LÁZARO, L.; MENDIVIL, L. O.; BOTTA, G. F.; AGOSTINI, M. DE LOS A.; DE PABLO M. C. Y R. H. BALBUENA. Evaluación de diferentes alternativas para la descompactación de los suelos. Extraído de CADIR 2005.

RICHMON, P.; IRURTIA, C. B.; MON, R.; GONZALEZ, N.; ELISEI, J. y TELLERIA, G. 2010. Efecto de la descompactación del suelo en diferentes posiciones del relieve en condiciones de sequia. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Santa Fe, Argentina (en CD).

RICHMON, P. y S, RILLO 2006. Evaluación del efecto de la compactación por el rodado de maquinarias sobre algunas propiedades físicas del suelo y el cultivo de trigo en siembra directa. INPOFOS Informaciones Agronómicas No. 32 p.22-25.

ROBERTS T.L., A.M. JOHNSTON. 2005. Intensidad de cultivo, rotaciones y tecnología de fertilización para la producción sustentable de trigo. Informaciones Agronómicas N° 29: 1-9.

SAGyP – CFA. 1995. El deterioro de las tierras de la República Argentina – Alerta Amarillo. DUO/Comunicación Visual – Capital Federal – Bs. As. 287 págs.

SANZANO, G.A; SOSA, F.; HASAÁN, A. J.; HERNANDEZ, C. F.; MONARDI, M. ROJAS QUINTEROS, H. y RODRIGUEZ W. 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 la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.

SATORRE, H .E.; BENECH ARNOLD, R. L.; SLAFER, G. A.; DE LA FUENTE, E. B.; MILLARES, D. J.; OTEGUI, M. E. Y R. SAVIN. 2003. Producción de granos. Editorial Facultad de Agronomía de la UBA, Buenos Aires, Argentina.

SECCO, D.; D. J. REINERT; J. M. REICHERT; C. O. DA ROS. 2004. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação . Revista Brasileira de Ciencia do Solo 28(5):797-804

SILVA, V. R.; D. J. REINERT.; J. M. REICHERT. 2000. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. Ciência Rural, v.30, p 795-801.

SOANE, B.; BLACKWELL, P.; DICKSON J. W. y PAINTER D. J. 1982. Compaction by agricultural vehicles: a review. Scottish Institute of Agricultural Engineering. Tec. Report N° 5.

SOZA, E. L.; D. W. AGNES; M. C. TOURN; G. F. BOTTA. 2007. Respuesta del cultivo de soja a la descompactación por mínimas labranzas y siembra directa. IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del MERCOSUR. Libro de resúmenes. p 66.

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

TABOADA M. A. 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. 4º Simposio de Ganadería en Siembra Directa, Aapresid, Potrero de los Funes, San Luis. p: 71-83.

TAYLOR, H.M. (1971). Effects of soil strength on seedling emergence, root growth, and crop yield. En Compaction of Agricultural Soils. Capítulo 6. pp 292-305. ASAE Monograph St. Joseph, Mi. USA 471 pp.

THORNTHWAITE, C. W. Y MATHER, J. R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology. Publication in Climatology 10 (3): 185-311.

TOLEDO, R. y O RUBIOLO. 2006. Manejo del cultivo de soja en el centro-norte de Córdoba (en línea) En: <http://www.planetasoja.com/trabajos/trabajos800.php?id1=6160&publi=&idSec=49&id2=6161> consultado: 22/04/12.



TOURN, S.N.; STUDDERT, G.A.; PLATZ, P.; DOMÍNGUEZ, G.F.; AGOSTINI, M.A.; DIEZ, S.N. y CAPURRO, J.A. 2012. Efecto de parapló y de cultivos de cobertura en planteos agrícolas bajo siembra directa continúa. XXI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

UNGER, P. W. 1996. Reconsolidation of Torric Paleustoll after tillage with paratill. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 195-199.

UNIDAD PROVINCIAL DEL SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACION AGROPECUARIA (UPSIIA) y MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTOS 2008. Caracterización del sector agropecuario por departamento. En: [http://www.cba.gov.ar/imagenes/fotos/agr\\_upssia\\_riocuarto.pdf](http://www.cba.gov.ar/imagenes/fotos/agr_upssia_riocuarto.pdf). Consultado: 10/07/12.

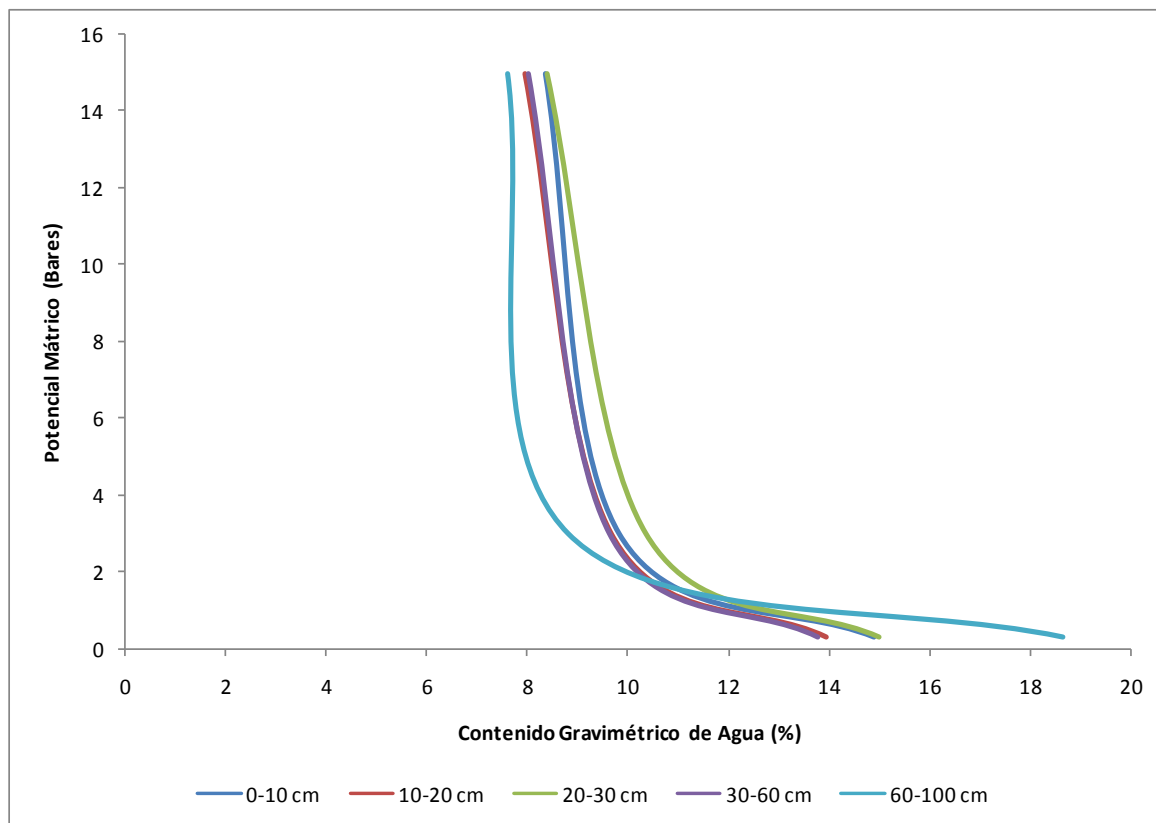
VAN VEEN, J. A. y KUIKMAN, P. J. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by microorganisms. Biogeochemistry 11: 213 – 233.

VIDELA C.; PAZOS A; TRIVELIN P. C.; ECHEVERRÍA H. E y STUDDERT G. A. 2005. Mineralización bruta de nitrógeno bajo labranza convencional, siembra directa y pastura. Extraído de la página web de la asociación argentina de la ciencia del suelo.

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

## ANEXOS:

### 1) Curva de retención hídrica del suelo estudiado:



### 2) Características morfológicas y analíticas del perfil representativo:

#### Haplustol típico

Es un suelo bien drenado a algo excesivamente drenado, desarrollado sobre materiales franco arenoso y vinculado a lomas arenosas ligeramente onduladas con pendientes del 1%.

El horizonte superficial (capa arable) de 24 cm de espesor, es de color pardo grisáceo oscuro, de textura franco arenosa y estructura en bloques moderados. Hacia abajo, pasa claramente a un horizonte B (no textural), de color pardo oscuro y estructura en prisma y bloques débiles. El horizonte C (material originario) se encuentra a una profundidad de 57 cm, es de color pardo amarillento oscuro, textura franco arenosa y con abundante calcáreo pulverulento en la masa del suelo a partir de los 95 cm de profundidad.

Estos suelos son aptos para agricultura aunque se encuentran limitados climáticamente. Presentan una moderada retención de humedad y moderada estructura superficial.



Datos analíticos:

| Perfil                             | A <sub>1</sub>   | B     | C <sub>1</sub> | C <sub>2ca</sub> |
|------------------------------------|------------------|-------|----------------|------------------|
| Profundidad de la muestra (cm)     | 0-24             | 24-57 | 57-95          | + 95             |
| Materia Orgánica (%)               | 1,94             | 0,62  |                |                  |
| Carbono Orgánico (%)               | 1,12             | 0,36  |                |                  |
| Nitrógeno total (%)                | 0,116            | 0,057 |                |                  |
| Relación C/N                       | 9,6              | 6,3   |                |                  |
| Arcilla (<2μ) (%)                  | 10,6             | 11,8  | 7,9            | 6,5              |
| Limo (2-50μ) (%)                   | 27,7             | 24,1  | 24,1           | 29,6             |
| Arena muy fina (50-100μ) (%)       | 28,2             | 24,5  | 30,5           | 34,0             |
| Arena fina (100-250μ) (%)          | 27,9             | 35,8  | 32,5           | 3,6              |
| Arena media (250-500μ) (%)         | 2,8              | 1,5   | 1,4            | 2,1              |
| Arena gruesa (500-1000μ) (%)       | 2,4              | 2,5   | 2,9            |                  |
| Arena muy gruesa (1000-2000μ) (%)  | 0,1              |       |                |                  |
| Gravas (>2000 μ) (%)               |                  |       |                |                  |
| CaCO <sub>3</sub> (%)              | 2,2              |       |                |                  |
| Equivalente de humedad (%)         | 13,8             | 12,0  | 9,3            | 9,7              |
| pH en pasta                        | 6,3              | 6,5   | 7,0            | 7,6              |
| pH en H <sub>2</sub> O (1:2,5)     | 6,5              | 6,7   | 7,2            | 7,9              |
| Cationes de cambio (meq/100g)      | Ca <sup>++</sup> | 5,8   | 6,5            | 6,3              |
| H <sup>+</sup> cambio (meq/100g)   | Mg <sup>++</sup> | 0,7   | 0,7            | 1,1              |
|                                    | Na <sup>+</sup>  | 0,3   | 0,2            | 0,2              |
|                                    | K <sup>+</sup>   | 2,9   | 1,3            | 0,7              |
|                                    | 1,1              | 0,7   | 0,4            |                  |
| Conductividad eléctrica (mmhos/cm) |                  |       |                |                  |
| Valor S. Suma de bases (meq/100g)  | 9,7              | 8,7   | 8,3            |                  |
| Valor T. CIC (meq/100g)            | 10,0             | 9,5   | 8,7            |                  |
| Saturación de bases S/T (%)        | 88               | 91    | 95             |                  |

Descripción del perfil típico:

El perfil típico, fue descrito a 13 km al Norte de Italó, departamento General Roca, provincia de Córdoba y corresponde con la serie Italó, descrita en la Hoja 3563-14 Buchardo de la serie Editorial Cartas de Suelos de la República Argentina (INTA – ACASE), escala 1:50000.

| <u>Horizonte</u> | <u>Profundidad</u> | <u>Descripción</u>   |
|------------------|--------------------|--|
| A <sub>1</sub>   | 0-24 cm            | Color pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2,5) en húmedo; franco arenosa; estructura en bloques subangulares medios moderados; duro en seco; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; límite inferior claro suave. |
| B                | 24-57 cm           | Color pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo; franco arenosa; estructura en prismas y bloques medios, débiles; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo;  |

vestigios de barnices (“ClaySkins”) muy finos; límite inferior gradual, suave.

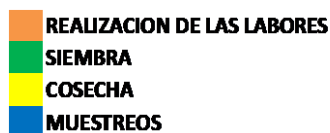
C<sub>1</sub> 57-95 cm Color pardo amarillento oscuro (10YR3,5/4) en húmedo; franco arenosa; estructura masiva; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; límite inferior abrupto, suave.

C<sub>2ca</sub> + 95 cm Color pardo amarillento oscuro (10YR3,5/4) en húmedo; franco arenosa; estructura masiva; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; abundante calcáreo pulverulento diseminado en la masa del suelo.

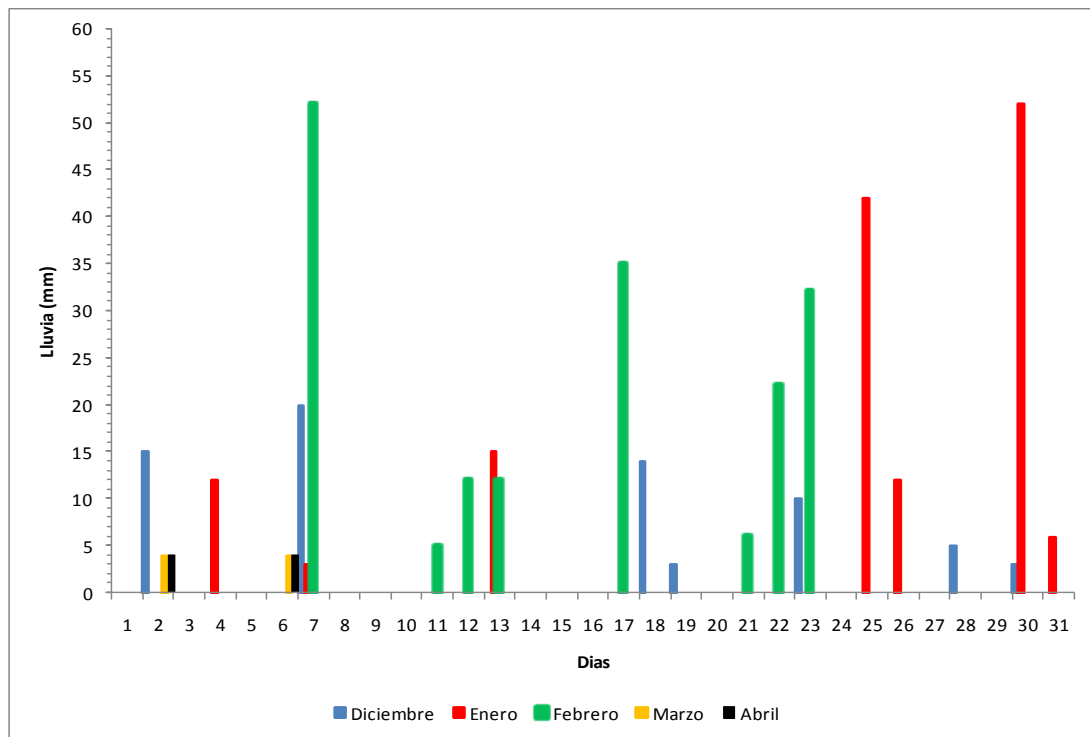
### 3) Precipitaciones de la campaña agrícola 2010 – 2011:

*Tabla de registro de precipitaciones diarias desde la realización de las labores de roturación de la pastura de alfalfa hasta la cosecha del cultivo de soja:*

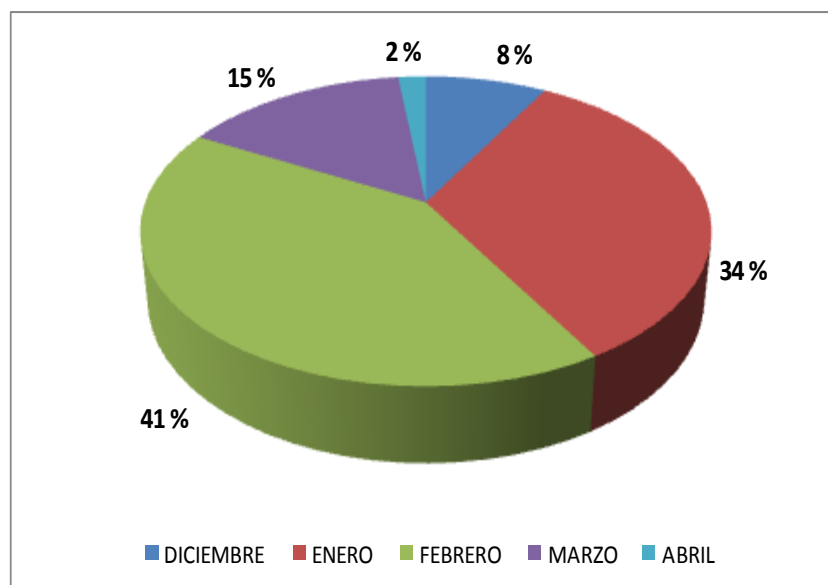
|           | 1  | 2 | 3  | 4 | 5 | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | TOTAL   | TOTAL     |     |
|-----------|----|---|----|---|---|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|-----------|-----|
|           |    |   |    |   |   |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | MENSUAL | ACUMULADO |     |
| OCTUBRE   | 45 |   |    |   | 8 |    |   |   |   |    |    |    | 32 |    |    |    |    |    |    | 9  | 5  |    |    |    |    |    |    | 13 |    |    | 67 | 67      |           |     |
| NOVIEMBRE |    |   |    |   |   |    | 5 |   |   |    |    |    |    | 5  |    |    | 17 | 9  | 10 |    |    |    |    |    |    |    |    | 30 | 12 |    |    | 88      | 155       |     |
| DICIEMBRE | 15 |   |    |   |   | 20 |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    | 14 | 3  |    |    |    |    | 10 |    |    |    |    | 5  | 3  |    |    | 70      | 225       |     |
| ENERO     |    |   | 12 |   | 3 |    |   |   |   |    |    | 15 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 42 | 12 |    |    | 52 | 6  |    |         | 142       | 367 |
| FEBRERO   |    |   |    |   |   | 52 |   |   |   |    | 5  | 12 | 12 |    |    | 35 |    |    |    | 6  | 22 | 32 |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 176     | 543       |     |
| MARZO     |    |   |    |   |   | 12 |   |   |   |    |    | 12 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 29 | 12 |    |    |    |    |    |    |         | 65        | 608 |
| ABRIL     | 4  |   |    |   | 4 |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |         | 8         | 616 |



*Gráfico de distribución de precipitaciones desde la siembra hasta la cosecha del cultivo de soja expresado mm/día de cada mes:*



*Gráfico de proporción de las precipitaciones mensuales respecto a las totales registradas desde la siembra a la cosecha del cultivo de soja:*



#### 4) Balance Hídrico Mensual:

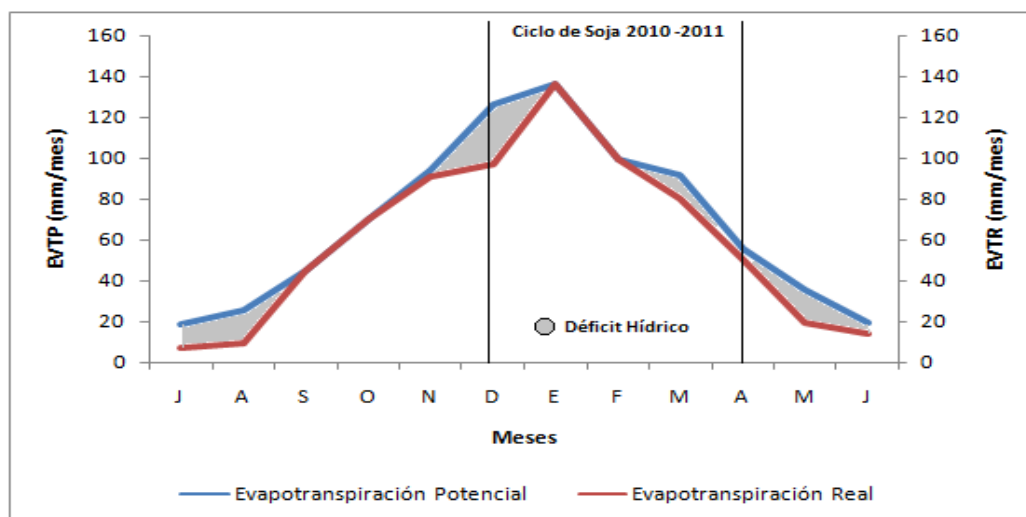
Tabla de cálculo del balance hídrico mensual del año 2010 (Thornthwaite y Mather, 1957):

| 2010               | E    | F     | M     | A     | M    | J    | J    | A    | S    | O     | N     | D     | TOTAL |
|--------------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| EVTP               | 136  | 99    | 92    | 56    | 36   | 20   | 19   | 26   | 45   | 70    | 94    | 126   | 819   |
| Precipitaciones    | 75   | 146   | 75    | 30    | 4    | 2    | 0    | 0    | 67   | 112   | 88    | 70    | 669   |
| P-EP               | -61  | 47    | -17   | -26   | -32  | -18  | -19  | -26  | 22   | 42    | -6    | -56   |       |
| Suma de P-EP       | -309 | -200  | -217  | -243  | -275 | -293 | -312 | -338 |      | -186  | -192  | -248  |       |
| Almacenaje         | 106  | 153   | 145   | 132   | 119  | 112  | 105  | 96   | 118  | 160   | 157   | 130   |       |
| Variación de Alm   | -24  | 47    | -8    | -13   | -13  | -7   | -7   | -9   | 22   | 42    | -3    | -27   |       |
| EVTR               | 99   | 99    | 83    | 43    | 17   | 9    | 7    | 9    | 45   | 70    | 91    | 97    | 669   |
| Exceso             | 0    | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     |       |
| Déficit            | 37   | 0     | 9     | 13    | 19   | 11   | 12   | 17   | 0    | 0     | 3     | 29    | 150   |
| Lámina Actual Útil | 0    | 43.37 | 35.37 | 22.37 | 9.37 | 2.37 | 0    | 0    | 8.37 | 50.37 | 47.37 | 20.37 |       |

Tabla de cálculo del balance hídrico mensual del año 2011 (Thornthwaite y Mather, 1957):

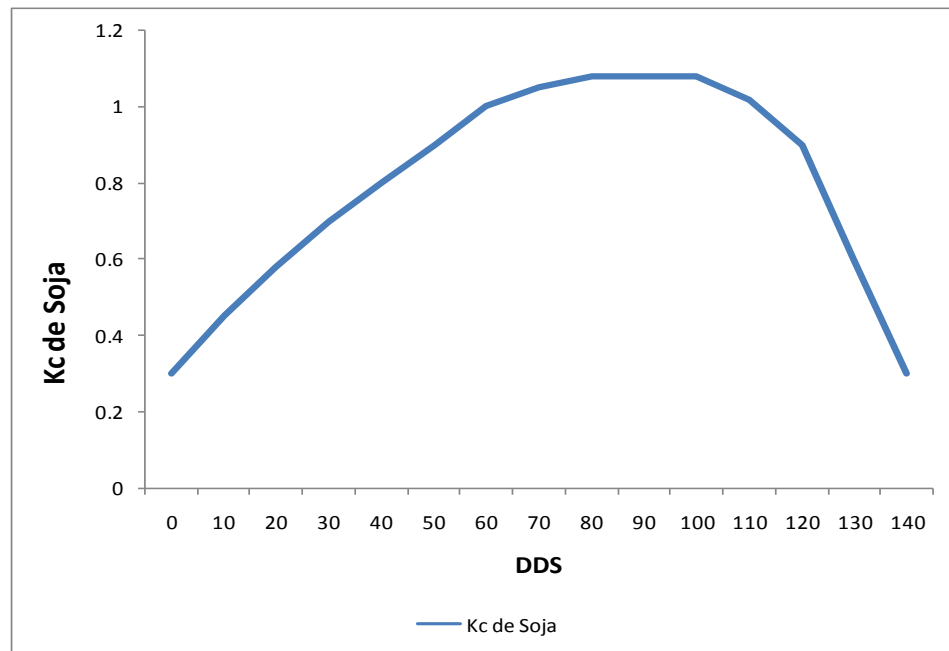
| 2011               | E   | F     | M     | A     | M     | J     | J     | A    | S    | O     | N     | D    | TOTAL |
|--------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| EVTP               | 136 | 99    | 92    | 56    | 36    | 20    | 19    | 26   | 45   | 70    | 94    | 126  | 819   |
| Precipitaciones    | 142 | 176   | 65    | 50    | 2     | 9     | 0     | 0    | 14   | 107   | 77    | 23   | 665   |
| P-EP               | 6   | 77    | -27   | -6    | -34   | -11   | -19   | -26  | -31  | 37    | -17   | -103 |       |
| Suma de P-EP       |     | -153  | -180  | -186  | -220  | -231  | -250  | -276 | -307 | -218  | -235  | -338 |       |
| Almacenaje         | 102 | 179   | 164   | 160   | 143   | 138   | 130   | 119  | 107  | 144   | 136   | 96   |       |
| Variación de Alm   | -6  | 77    | -15   | -4    | -17   | -5    | -8    | -11  | -12  | 37    | -8    | -40  |       |
| EVTR               | 136 | 99    | 80    | 54    | 19    | 14    | 8     | 11   | 26   | 70    | 85    | 63   | 665   |
| Exceso             | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0     | 0     | 0    |       |
| Déficit            | 0   | 0     | 12    | 2     | 17    | 6     | 11    | 15   | 19   | 0     | 9     | 63   | 154   |
| Lámina Actual Útil | 0   | 69.37 | 54.37 | 50.37 | 33.37 | 28.37 | 20.37 | 9.37 | 0    | 34.37 | 26.37 | 0    |       |

Evapotranspiración Potencial y Real durante la campaña agrícola 2010 – 2011:





*Coficiente de cultivo de soja (Andriani, 1997):*



**6) Patrón de crecimiento de raíces y parte aérea de un cultivo de soja, (Andriani, 1997):**

