



Universidad Nacional de Río Cuarto

Facultad de Agronomía y Veterinaria

---

*“TRABAJO FINAL PRESENTADO PARA OPTAR AL  
GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO”*

**“Efectos de la labranza subsuperficial en la dinámica del  
agua y la producción del cultivo de soja en Haplustoles  
típicos de Córdoba.”**

Martinez, Álvaro Ricardo.

DNI: 30.158.904

Director

Cisneros, José Manuel.

Co-Directora

Cholaky, Carmen Gloria.

---

Río Cuarto – Córdoba

Agosto de 2011

*Universidad Nacional De Río Cuarto  
Facultad de Agronomía y Veterinaria*

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

*“Efectos de la labranza subsuperficial en la dinámica del agua y la  
producción del cultivo de soja en Haplustoles típicos de Córdoba.”*

Autor Álvaro R. Martinez.

DNI: 30.158.904

Director: José Manuel Cisneros.

Co-Directora: Carmen Gloria Cholaky.

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

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

Secretario Académico

## **DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS**

Dedico este trabajo final de tesis a mis padres, a quienes les debo no solo mi esencia como persona, sino también mi profesión.

A mi amor Silvana, quien siempre estuvo a mi lado siendo mi guía, y sustento.

A mis hermanos, tíos y abuelas; a Pedro y Aniceto...

A mis amigos Juan, Mauricio y Ana...

Mi mayor agradecimiento a Carmen Cholaky y José Cisneros, por su dedicación y tiempo, el cual fue el principal sustento para este trabajo final de tesis.

Agradezco especialmente a Inés Moreno y Eugenio Hampp, quienes estuvieron a mi lado durante la carrera, brindando su incondicional apoyo.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto...

## INDICE GENERAL

### CAPITULO 1

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. <i>PRESENTACIÓN:</i> .....	1
1.2. <i>ANTECEDENTES</i> .....	2
1.2.1. EL AGUA Y LOS SISTEMAS DE LABRANZA .....	2
1.2.2. EL CULTIVO DE LA SOJA .....	3
1.2.3. LOS SUELOS Y LOS SISTEMAS DE LABRANZA.....	3
1.2.4. CALIDAD DE LOS SUELOS, INDICADORES. ....	4
1.2.5. EFECTOS DE LA LABRANZA DE DESCOMPACTACIÓN SUBSUPERFICIAL .....	6

### CAPITULO 2

<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
2.1. <i>HIPÓTESIS:</i> .....	8
2.2. <i>OBJETIVOS:</i> .....	8
2.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8

### CAPITULO 3

<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
3.1. <i>ÁREA DE TRABAJO:</i> .....	9
3.2. <i>CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS:</i> .....	10
3.2.1. DE LA REGIÓN: .....	10
3.2.2. DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO: .....	10
3.3. <i>CARACTERIZACIÓN DEL SUELO:</i> .....	11
3.4. <i>SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO:</i> .....	12
3.5. <i>DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS:</i> .....	13
3.5.1 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	13
3.5.2 TRATAMIENTOS .....	13
3.6. <i>DETERMINACIONES Y MOMENTOS DE EVALUACIÓN:</i> .....	15

3.6.1. DETERMINACIONES: .....	15
3.6.1.1 Del Suelo:.....	15
3.6.1.2 En el cultivo: .....	19
3.6.2. MOMENTOS DE EVALUACION: .....	21
3.7. INTERPRETACION DE RESULTADOS: .....	21

## **CAPITULO 4**

<b>RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>
<i>4.1. MORFOLOGÍA DEL PERFIL CULTURAL: .....</i>	<i>22</i>
4.1.1. CONDICIÓN ORIGINAL.....	22
4.1.2. CONDICIÓN POSTLABOR.....	24
<i>4.2. CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO: .....</i>	<i>27</i>
4.2.1. VARIACIÓN DEL CONTENIDO HÍDRICO EN EL PERFIL DEL SUELO EN CADA MOMENTO ESTUDIADO:.....	27
4.2.1.1- Post Siembra. ....	27
4.2.1.2. Estado Vegetativo, 3-4 hojas ( <b>V3-4</b> ). ....	29
4.2.1.3. Estado Reproductivo, Inicio de Floración ( <b>R1</b> ). ....	31
4.2.1.4. Estado Reproductivo, Inicio de Formación de Vainas ( <b>R3</b> ).....	32
4.2.1.5. Estado reproductivo, inicio de formación de las semillas ( <b>R5</b> ).....	36
4.2.1.6. Estado reproductivo, Inicio de Maduración ( <b>R7</b> ). ....	39
4.2.1.7. Cosecha. ....	42
4.2.2. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN CADA UNA DE LAS PROFUNDIDADES ESTUDIADAS. ....	44
4.2.2.1. Profundidad 0 a 10 cm.....	44
4.2.2.2. Profundidad 10 a 20 cm.....	47
4.2.2.3. Profundidad 20 a 30 cm.....	49
4.2.2.4. Profundidad 30 a 40 cm.....	50
4.2.2.5. Profundidad 40 a 100 cm.....	51
4.2.3. ESTIMACIONES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL: .....	54
<i>4.3. COBERTURA: .....</i>	<i>56</i>
4.3.1. COBERTURA DE RASTROJO PRELABRANZA. ....	56
4.3.2. COBERTURA DEL ENTRESURCO.....	57
<i>4.4. BIOMASA AÉREA Y TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO: .....</i>	<i>59</i>
<i>4.5. PRODUCCIÓN DE GRANOS, EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA E ÍNDICE DE COSECHA:.....</i>	<i>61</i>

4.5.1. PRODUCCIÓN DE GRANOS:.....	61
4.5.2. EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA):.....	62
4.5.3. INDICE DE COSECHA (IC):.....	63

## **CAPITULO 5**

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>64</b>
--------------------------	-----------

## **CAPITULO 6**

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
-----------------------------	-----------

## **CAPITULO 7**

<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>66</b>
--------------------------	-----------

<b>ANEXO 1:.....</b>	<b>78</b>
----------------------	-----------

<b>ANEXO 2:.....</b>	<b>79</b>
----------------------	-----------

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Mapa de Ambientes Geomorfológicos de la Provincia de Córdoba (INTA-Agencia Córdoba Ambiente, 2006) e imagen LANDSAT del Área de Estudio (Google Earth, 2010) (Escala aproximada 1:50.000). .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 2: Distribución de precipitaciones en el periodo comprendido entre Julio de 2004 y Junio de 2005 para el Área de Estudio. Datos de precipitaciones cedidos por el Establecimiento Agropecuario. ....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 3: Imagen LANDSAT del Área de Estudio (Google Earth, 2010)(Escala aproximada 1:7000). ....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 4: Capas de suelo, correspondientes al perfil cultural en la condición prelabor (SD). ....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 5: Capas de suelo, correspondientes al perfil cultural en la condición postlabor (LDS).....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 6: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en postsiembra .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 7: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en V3-4 .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 8: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en R1.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 9: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en R3.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 10: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en R5.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 11: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en R7.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 12: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en cosecha .....</b>	<b>43</b>

<b>Figura 13: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 0-10 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 14: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 10-20 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 15: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 20-30 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 16: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 30-40 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 17: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 40-60 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 18: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 60-80 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 19: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 80-100 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 20: Evolución de la lámina de agua total almacenada en el suelo de ambos tratamientos, durante el ciclo del cultivo.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 21: Evapotranspiración Real estimada para cultivo de soja bajo dos sistemas de labranza: “SD” y “LDS” .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 22: Evolución de la producción de biomasa aérea total del cultivo de soja, en dos sistemas de labranza: “SD” y “LDS”.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 23: Rendimiento final de granos de cultivo de soja bajo dos sistemas de labranza “SD” y “LDS”, obtenidos mediante cosecha manual .....</b>	<b>61</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Fecha de los momentos de evaluación, y precipitación total (mm) desde el anterior momento de evaluación.....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 2: Caracterización del perfil de suelo del área bajo estudio.....</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 3: Densidad aparente para cada capa del suelo, de ambos tratamientos. ....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 4: Contenido de agua (% g/g) a capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua útil, de cada horizonte del perfil de suelo bajo estudio.....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 5: Contenido de agua (% g/g) a capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua útil, de cada capa de suelo estudiada. ....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 6: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en postsiembra.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 7: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en V3-4. ....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 8: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en R1. ....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 9: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en R3. ....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 10: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en R5. ....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 11: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil ambos tratamientos de labranza en R7. ....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 12: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en cosecha. ....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 13: Componentes del balance hídrico (expresados en forma de lámina de agua acumulada en el periodo analizado) empleados para el cálculo de ETR del cultivo de soja en “SD”. ....</b>	<b>54</b>

<b>Tabla 14: Factores (expresados en forma de lámina de agua acumulada en el periodo analizado) empleados para el cálculo de ETR del cultivo de soja en “LDS”.</b> .....	<b>54</b>
<b>Tabla 15: Cobertura superficial prelabor (SD) y postlabor (LDS), porcentaje de residuo enterrado, y porcentaje cobertura remanente.</b> .....	<b>56</b>
<b>Tabla 16: Cobertura del entresurco en V3-4 para los dos sistemas de labranza, “SD” y “LDS”.</b> .....	<b>58</b>
<b>Tabla 17: Evolución de biomasa aérea de cultivo de soja, para dos sistemas de labranza; “SD” y “LDS”.</b> .....	<b>59</b>
<b>Tabla 18: Eficiencia en el uso de agua del el cultivo de soja bajo dos sistemas de labranza.</b> .....	<b>62</b>
<b>Tabla 19: Rendimiento final de granos, biomasa aérea e índice de cosecha, de cultivo de soja bajo dos sistemas de labranza “SD” y “LDS”.</b> .....	<b>63</b>

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

<b>Fotografía 1: Perfil de suelo del área bajo estudio, identificando los diferentes horizontes.....</b>	<b>12</b>
<b>Fotografía 2: Imagen del momento de realización de la labranza de descompactación subsuperficial en el área de estudio. ....</b>	<b>13</b>
<b>Fotografía 3: Detalle de la reja alada sobre el montante utilizado para el tratamiento “LDS”. ....</b>	<b>14</b>
<b>Fotografía 4: sonda de rayos gamma utilizada para la determinación de densidad aparente (DAP).....</b>	<b>15</b>
<b>Fotografía 5: Imagen de toma de muestras de suelo por medio de barreno, para determinación de contenido hídrico.....</b>	<b>16</b>
<b>Fotografía 6: Imagen de toma de muestras de biomasa aérea total, para posterior determinación de materia seca. ....</b>	<b>20</b>
<b>Fotografías 7.a y 7.b: Imagen del perfil cultural correspondiente a la condición prelabor. ....</b>	<b>22</b>
<b>Fotografía 8: Bloque angular de caras de ruptura lisas, sin porosidad visible, con presencia de raíces sobre los planos de debilidad. ....</b>	<b>23</b>
<b>Fotografías 9.a y 9.b: Perfil cultural correspondiente a la condición postlabor (LDS)..</b>	<b>24</b>
<b>Fotografía 10: Unidades estructurales correspondientes a la condición prelabor (izquierda) y postlabor (derecha).....</b>	<b>25</b>
<b>Fotografías 11.a y 11.b: Imágenes de cobertura de rastrojo superficial, Pre y Postlabranza, respectivamente. ....</b>	<b>56</b>
<b>Fotografía 12: Imagen de cobertura PostLabor (LDS). ....</b>	<b>57</b>
<b>Fotografías 13.a y 13.b: Imágenes del entresurco en V3-4, para “SD” (izquierda) y “LDS” (derecha).....</b>	<b>57</b>
<b>Fotografía 14: Imagen de cobertura del entresurco en R1 para “LDS” y “SD”. ....</b>	<b>58</b>

**Fotografía 15: Imagen de 10 plantas de soja tomadas al azar, del área bajo estudio, en R1, de los tratamientos “SD” (izquierda) y “LDS” (derecha)..... 59**

**Fotografía 16: Imagen de cosecha mecánica del ensayo experimental..... 61**

## RESUMEN

Los planteos de siembra directa continua producen compactación de suelos, incrementando la densidad aparente y resistencia mecánica, y disminuyendo la infiltración y conductividad hidráulica. Al respecto, en numerosos estudios se han llevado adelante labranzas de tipo vertical, para revertir la compactación de los suelos afectando lo menos posible la cobertura superficial del mismo. El presente estudio evaluó el comportamiento hídrico del suelo y el del cultivo de soja (*Glycine max* L.) manejado con diferentes sistemas de labranza. El mismo se realizó al NO de Alcira Gigena, durante el ciclo 2004-2005, en una situación de siembra directa continua desde 1998. La hipótesis fue que en suelos compactados subsuperficialmente y que provienen de sistemas de labranza sin remoción, la inclusión de una operación de subsolado genera incrementos en la producción de biomasa aérea y en el rendimiento de soja, al mejorar la condición física e hídrica del perfil, en comparación con sistemas de labranza sin remoción del suelo. El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados, con dos tratamientos, siembra directa (SD) y labranza de descompactación subsuperficial (LDS). Se evaluó humedad del suelo en diferentes etapas del ciclo del cultivo, producción de materia seca, cobertura superficial de residuos y del canopeo, y rendimiento final del cultivo. Se estimó el balance de agua en el suelo y la eficiencia en el uso del agua por parte del cultivo. Los resultados mostraron que LDS produjo un enterrado del 22% del rastrojo inicial y que tuvo un almacenamiento medio de agua 6.65% menor que SD, indicando una mayor extracción de agua por parte del cultivo en LDS respecto a SD, siendo la evapotranspiración durante el ciclo del cultivo 37 mm mayor en el tratamiento con descompactación subsuperficial que en SD. En el estadio R5 del cultivo se produjo la mayor diferencia en la producción de biomasa aérea total siendo en LDS 1550 kg/ha mayor que en SD. El rendimiento final fue 6,7% superior en LDS que en SD, siendo estas diferencias no significativas estadísticamente. La hipótesis del trabajo fue confirmada, aunque los resultados no mostraron diferencias significativas.

**Palabras Claves:** descompactación subsuperficial, humedad del suelo, *Glycine max* (Soja), biomasa aérea, rendimiento de granos.

## SUMMARY

Continuous no-till farming produces soil compaction, increasing bulk density and mechanical strength and decreasing infiltration and hydraulic conductivity. In many studies subsoiling has been carried out to avoid compaction soil without affecting the residue coverage. This study tested the water behavior in the soil and in the soybean crop (*Glycine max L*) using different tillage systems. This was carried out in the NW of Alcira Gigena, during 2005-2006, in a continuous no-till farming area since 1998. The hypothesis was that in compacted subsoil that comes from tillage systems without removal, the inclusion of a subsoiler generates an increase in the production of aerial biomass and in the soybean yield, producing a better physic and hydric condition in comparison to other tillage systems without soil removal. The experimental design was carried out at random in blocks with two treatments, no-till farming (SD) and subsoil alleviation tillage (LDS). The humidity of the soil in different crop cycle stages, the production of dry matter, the surface residue cover and canopy and final crop yield were evaluated. Moreover, an estimation of the soil water balance and the efficacy of the crop water use efficiency were made. The results showed that LDS produced a burial of 22% initial stubble and that it had a medium storage of water of 6.65% lower than SD, indicating a major extraction of water from the crop in LDS compared with SD. In this way, the evapotranspiration during the crop cycle was 37 mm higher in the subsoil alleviation than in SD. In the R5 state of the crop occurred the biggest difference in the Total Aerial Biome Production being in LDS 1550 kg/ha biggest than in SD but these differences were not significant statistically. The hypothesis of this work was confirmed although the results did not show considerable differences.

Key words: **subsoil alleviation, soil humidity, *Glycine max* (soja), aerial biomass, crop yield.**

## CAPITULO 1

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. PRESENTACIÓN:

Desde los principios de la sociedad, la práctica agrícola ha acompañado al hombre. Pero con el transcurso de los siglos no sólo la sociedad sufrió cambios, sino también la forma de practicarse la agricultura. Hace unos 200 años Thomas Malthus publicó en su obra “Un ensayo sobre población” que la población humana crecía a una tasa exponencial, comparativamente al crecimiento lineal de la producción agropecuaria.

La necesidad de una agricultura de productividad creciente genera una mayor presión sobre los recursos naturales, instalándose un conflicto con los principios o fundamentos de la sustentabilidad. El desarrollo sustentable es un concepto que impone límites, tanto sobre la presión que se puede ejercer sobre el ambiente, como sobre la tecnología que se puede generar para potenciar el crecimiento económico y el bienestar (Viglizzo, 1994). La degradación estructural del suelo es uno de los principales problemas de las áreas cultivadas del mundo (Hakansson y Reeder, 1994; Soane y Van Ouwerkerk, 1994).

Esta degradación puede incluir el sellado de la superficie, el endurecimiento de capas del perfil, la disminución de la estabilidad de agregados y la compactación subsuperficial del suelo, siendo una de sus principales causas el excesivo laboreo y la remoción de la cobertura superficial (Greenland, 1981; Packer *et al.*, 1992).

En Argentina, la degradación y deterioro de las propiedades físicas y químicas de los suelos como resultado del uso agrícola, está presente en prácticamente la totalidad de las tierras agrícolas bajo cultivo. Las pérdidas económicas por este concepto son de difícil estimación, pero, a la consecuente disminución de los rendimientos habría que sumarle el mayor costo en labranzas y tareas culturales, necesidades de resiembras, mayores dosis y número de pasadas de agroquímicos, necesidades crecientes de fertilizantes, ineficiencia en el uso de la maquinaria (SAGyP-CFA, 1995).

El aspecto más grave de la expansión e intensificación de la agricultura fue el incremento de la erosión hídrica de los suelos, dado su carácter irreversible (Coscia, 1988).

La cobertura superficial disipa la energía de la gota directa de lluvia y reduce la erosión. Provee, además, resistencia mecánica al flujo de agua, por lo que decrece el potencial de erosión (Foster *et al.*, 1982).

La siembra directa constituye un sistema de labranza conservacionista donde el suelo se deja sin disturbar y la presencia de residuos desde la cosecha del cultivo al momento de siembra del siguiente, supera el 30 % de cobertura (Karayel, 2009).

De las 95 millones de hectáreas que se manejan con siembra directa en el mundo, alrededor de 19 millones corresponden a nuestro país, ocupando el 70% de la superficie dedicada a la producción de cultivos anuales (Lal *et al.*, 2007).

Las evaluaciones realizadas por el Centro de Información sobre Labranza Conservacionista especifican que al menos un 30% de la superficie del suelo debe estar cubierto con el residuo vegetal luego de la siembra. Con este porcentaje se reduce aproximadamente entre 50 y 90% la erosión por agua, comparado con lo que ocurre en un suelo descubierto (Laflen *et al.*, 1978).

Manning y Fenster (1977) mostraron que la erosión se redujo exponencialmente con la cobertura del suelo por residuos vegetales, obteniéndose la máxima reducción entre 0 y 30% de la superficie cubierta y poco efecto con más cobertura, similares valores encontraron Griffith *et al.* (1986). Lo que llevó a la definición de "laboreo conservacionista" para cualquier sistema de preparación del suelo que deje 30% o más de la superficie cubierta a la siembra (Allmaras *et al.*, 1991).

Kohnke y Bertrand (1959) admitieron que la cobertura de 2/3 o 3/4 de la superficie del suelo sería suficiente para protegerlo del impacto de la lluvia y, prácticamente, eliminar el transporte de suelo por salpicadura.

Por su parte, Shelton *et al.* (1995), observaron que sólo los sistemas de no labranza y la labor con rejas tipo pie de pato superaron el 30 % de residuos en superficie al momento de la siembra del cultivo.

## **1.2. ANTECEDENTES**

### **1.2.1. EL AGUA Y LOS SISTEMAS DE LABRANZA**

El agua es el factor más limitante en la producción de cultivos extensivos en secano en la región pampeana Argentina y en muchas otras regiones del mundo (Estrada, 2001). Por lo tanto se debe producir haciendo un uso eficiente de este recurso escaso (Micucci y Álvarez, 2003) la disponibilidad hídrica para el cultivo está limitada al agua proveniente de las precipitaciones y de las reservas edáficas (Villar, 2000). Esta última es la única que puede ser modificada por el manejo, una de las prácticas recomendadas en la bibliografía para

aumentar la eficiencia del uso del agua es la siembra directa, que ha tenido una gran difusión en la región pampeana Argentina, en los planteos agrícolas (Carrasco y Zamora, 2010).

La influencia positiva de la siembra directa continua a través de los años, en el balance hídrico del suelo, producida por la acumulación de rastrojo en superficie, incrementa la captación del agua de lluvia, la capacidad de retención de la misma y reduce la evaporación (Andrade y Sadras, 2002; Dardanelli, 1998).

La siembra directa, inicialmente adoptada en la pampa húmeda se expandió hacia la zona subhúmeda y semiárida, donde los agrosistemas se emplazan en regiones ecológicas más frágiles y de resiliencia baja. Su difusión se vincula inicialmente a la optimización del uso del agua en una zona donde el recurso es escaso, al control de procesos erosivos, al incremento de la fertilidad natural y a la racionalización en el uso de la maquinaria agrícola (Schmidt, 2010).

### 1.2.2. EL CULTIVO DE LA SOJA

En la región pampeana en general, y en la zona de planicies onduladas de Córdoba en particular, se ha venido intensificando el uso de la tierra, pasando de sistemas de producción mixtos alternando ciclos agrícolas con ganaderos, hacia sistemas agrícolas puros con predominio de cultivos oleaginosos, sobre las gramíneas (INTA, 2003).

En el área pampeana, el “monocultivo” de soja en siembra directa constituye la secuencia de cultivos más difundida (Ministerio de Agricultura, 2010). En este esquema productivo se observa un deterioro de la estructura de los suelos asociada a la compactación por tránsito (Gerster y Bacigaluppo, 2004).

La superficie sembrada con Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) en la campaña 2008-2009, alcanzó mas de 17 Mha (SAGPyA, 2009) con un rendimiento medio nacional de 19,6 qq/ha, siendo el cultivo de mayor importancia económica de la Argentina.

El área del sur de Córdoba es de uso mixto (86%), con una clara tendencia a la agriculturización, donde el 65% de la superficie es de uso agrícola (56% de esa superficie destinada a soja y 27% a maíz) (Cisneros *et al.*, 2008).

### 1.2.3. LOS SUELOS Y LOS SISTEMAS DE LABRANZA

La introducción de sistemas de labranzas conservacionistas como la siembra directa, produce cambios en las propiedades químicas y físicas de los suelos que pueden afectar la biología del suelo y el desarrollo radicular de las plantas (Doran, 1980).

La capacidad de regeneración de la estructura porosa de los suelos es una característica importante para definir la adaptabilidad de los suelos para ser manejados con siembra directa (Stengel *et al.* 1984) pues la falta de remoción reduce la posibilidad de formación mecánica de macro poros (Pierce *et al.* 1994).

Cerana y Nicolier (1969) mencionan, entre los factores intrínsecos del suelo que favorecen la formación de capas densas a la baja proporción de agregados estables, la elevada proporción de limo y arena fina, el bajo contenido de materia orgánica, la materia orgánica dispersa, entre otros.

Los suelos limosos manejados con siembra directa poseen dificultades para crear porosidad estructural estable y presentan a menudo estructuras no deseables como las de tipo laminar (Taboada *et al.*, 2008).

La densificación de la capa superficial de los suelos bajo sistemas sin remoción continua es considerada una limitante para adoptar los sistemas de labranza cero en la región Pampeana (Chagas *et al.* 1994; Ferreras *et al.* 1998; Domínguez *et al.* 2000).

Los suelos del área central de la provincia de Córdoba se caracterizan por presentar granulometrías con predominio de partículas esqueléticas finas (70% entre 20-100 micras) (Bricchi *et al.* 1993). Con relación a esto, Carter (1988 (b)), sostiene que los suelos con elevada relación arena fina/gruesa y bajo índice de plasticidad, son inestables y fácilmente compactables. Estas características texturales les confieren además escasa o nula capacidad de auto regeneración de su estructura, al presentar una mínima variación de volumen a medida que el suelo se deseca (Jayawardane y Greacen, 1987; Taboada *et al.* 1996; Consentino *et al.* 1998).

La degradación estructural del suelo es uno de los principales problemas de las áreas cultivadas del mundo, esta degradación puede incluir el sellado de la superficie, el endurecimiento de capas del perfil, la disminución de la estabilidad de agregados y la compactación subsuperficial. Es sabido que el tráfico vehicular es el principal responsable de la compactación inducida en suelos bajo producción, siendo la textura y su contenido de humedad los aspectos más relevantes en relación con la reducción del espacio poroso Botta *et al.* (2009).

#### 1.2.4. CALIDA DE LOS SUELOS, INDICADORES.

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.

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 del suelo en planteos de trabajo y laboreo (Richmond & Rillo, 2006).

Bricchi *et al.*, (2008) señala que el sistema de labranza es uno de los factores que afectan fuertemente la macroporosidad del suelo, su tasa de infiltración y la conductividad saturada.

Unger (1996) indicó que debe tenerse particular interés en el seguimiento de la densidad aparente y el índice de cono, puesto que ambos factores pueden modificar la infiltración, el crecimiento radical y el rendimiento de los cultivos.

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, (Erbach, 1982; Bonadeo, 1997), pudiendo persistir durante varios años (Voorhees *et al.* 1986).

La resistencia mecánica o resistencia a la penetración que ofrece el suelo en la zona de las raíces, es utilizada como una medida de compactación, señalando condiciones que pueden impedir el crecimiento de las raíces y por lo tanto reducir el rendimiento de los cultivos (Oussible *et al.* 1992).

Cualquier factor adverso que altere el crecimiento y actividad de las raíces, como capas compactadas, inadecuada aireación, temperatura y estado hídrico del suelo entre otros, puede afectar parcial o severamente la actividad radical y por lo tanto la capacidad de producción del cultivo, del mismo modo que algunas propiedades del suelo, tales como una baja conductividad hidráulica, que puedan limitar el libre suministro de agua a las raíces. Por lo tanto se desprende la importancia de contar con un ambiente edáfico cuyas características funcionales le permitan a la planta expresar su potencial de producción desde este punto de vista (Gil R., 2005(a)).

Giayetto *et al.* (1992) señala que las altas compactaciones de suelos generan impedimentos para una adecuada infiltración de las lluvias en profundidad y provoca severos confinamientos superficiales del sistema de raíces y la consecuente disminución del volumen de suelo explorado

Cirilo y Andrade, (1994) señalaron que la tasa de expansión foliar se reduce marcadamente ante deficiencias de agua y/o nutrientes. En tanto Ray y Sinclair (1998), señalan que la transpiración comienza a declinar rápidamente en soja, cuando la fracción de agua útil remanente en el suelo es menor a un tercio de la capacidad de campo. Mientras que

la fijación simbiótica del N<sub>2</sub>, comienza a declinar cuando la fracción de agua útil remanente en el suelo, es equivalente a unos dos tercios de la capacidad de campo (Sinclair, 1986).

Andreani (2006) señala que **R5** es el inicio del período más crítico del cultivo, ya que el estrés hídrico provoca reducciones simultáneas del número de vainas, del número de granos por vainas y del peso de los granos, sin que haya probabilidad de compensación. Deficiencias hídricas severas en este período pueden producir pérdidas de rendimiento muy importantes (40% o más del rendimiento).

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 de una campaña agrícola (Taylor, 1971).

#### 1.2.5. EFECTOS DE LA LABRANZA DE DESCOMPACTACIÓN SUBSUPERFICIAL

La densificación de la capa superficial sólo puede ser disminuida con labranzas de tipo vertical (Fontanetto y Gambaudo, 1996).

Clark *et al.* 1993 sostienen que estas labranzas fragmentan las capas del suelo restrictivas, sin causar una destrucción severa de los agregados y mantienen la superficie protegida mediante la escasa incorporación de residuos.

Di Prinzio *et al.* 2000 evaluaron el efecto de un subsolador alado combinado con cinceles y sostienen que esta labor constituye una técnica apropiada para estandarizar las condiciones físicas del suelo previo a la plantación.

Cholaky (2003) evaluó el efecto de una labor de descompactación con subsolador alado en un suelo Hapludol típico franco arenoso y encontró que el fracturamiento producido en el perfil es independiente del nivel de compactación al momento de realizar la labor y que el efecto de la labor se manifiesta en toda la profundidad de trabajo de la herramienta, con un desmenuzamiento más evidente en los sectores del perfil altamente densificados y próximos al sitio por donde pasan las rejas.

Gerster *et al.* 2010, en estudios sobre cultivo de soja observaron que labranzas de descompactación mecánica de los suelos redujeron la resistencia a la penetración a corto plazo, aunque sin producir incrementos en los rendimientos del cultivo.

Castañeda *et al.* 2010, en estudios de la humedad de suelo en cultivo de soja, bajo diferentes sistemas de labranza, observaron que la labranza mínima vertical se mostró como el sistema de labranza con mejor balance hídrico tanto durante el ciclo del cultivo, como posterior a cosecha.

Sojka *et al.* (1993), Carter *et al.* (1996) y Pikul y Aase (1999), observaron incrementos en la velocidad de infiltración del agua y consecuentemente disminuciones en la erosión

producida por el escurrimiento, debido a la labor de subsolado. Por su parte Uberto *et al.* (2004), observó que la rotura de pisos de arado por debajo de 25 cm incrementa las velocidades de infiltraciones entre 50-100%, lo cual mejora significativamente el ingreso y redistribución del agua de lluvia dentro del suelo.

Harrison *et al.* (1994) observaron que el efecto del subsolado condujo a un significativo aumento en la conductividad hidráulica de la capa compactada, en la longitud de raíces y en el porcentaje total de raíces presentes por debajo de los 30 cm, lo que finalmente se tradujo en un mayor rendimiento del cultivo, comparado con una situación no subsolada.

Orellana *et al.* (1990) demostró que la labranza profunda redujo la resistencia del suelo, estimuló el enraizamiento profundo y promovió un crecimiento radical rápido. A similares conclusiones llega Vepraskas *et al.* (1986).

Barber y Díaz (1992) encontraron que el rendimiento de soja se había incrementado por efecto de la ruptura de capas densificadas a través de una labor de subsolado y Mora *et al.* (2001) obtuvieron resultados similares en maíz. Por su parte, Cerana y Nicollier (1969) manifiestan que la destrucción de una capa densa, puede no reflejarse en un mayor crecimiento de las raíces y de las plantas, cuando las condiciones climáticas son lo suficientemente satisfactorias, como para que la capa no genere una resistencia mecánica apreciable. A similar conclusión llega Sadras *et al.* (2005), quienes indican que la práctica de descompactación suele presentar mayor impacto sobre la producción del cultivo en condiciones de moderado estrés hídrico.

La descompactación produjo un incremento del rendimiento de maíz del 6% probablemente, debido a una mayor disponibilidad hídrica por incrementos en la infiltración y mayor accesibilidad por parte de las raíces al agua y/o nutrientes, debido a una menor resistencia a la penetración (Álvarez *et al.*, 2010).

En tanto, Imvinkelried *et al.* 2010, encontraron que los parámetros de crecimiento y componentes del rendimiento del cultivo de soja, respondieron diferencialmente al grado de compactación del suelo.

Los efectos de la descompactación en la región central argentina, han sido poco estudiados, por lo cual este trabajo pretende aportar conocimientos sobre las respuestas del suelo y el cultivo en relación a la aplicación de esta técnica.

## CAPITULO 2

### HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

#### 2.1. HIPÓTESIS:

- ✓ En suelos del área ondulada de Córdoba compactados subsuperficialmente y que provienen de sistemas de labranza sin remoción, la inclusión de una operación de subsolado genera incrementos en la producción de biomasa aérea y en el rendimiento de soja.
- ✓ El uso de labranza profunda mejora la disponibilidad y distribución de la humedad en el suelo al romper impedancias mecánicas, mejorando la dinámica hídrica del perfil, en comparación con sistemas de labranza sin remoción del suelo.

#### 2.2. OBJETIVOS:

##### 2.2.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Evaluar el efecto de una labranza de remoción subsuperficial sobre el comportamiento hídrico del suelo en un cultivo de soja en siembra directa.

##### 2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Evaluar la producción de biomasa aérea y de grano del cultivo de soja bajo dos sistemas de labranza.
- ✓ Evaluar el contenido hídrico del perfil en diferentes estados fenológicos del cultivo de soja manejado en dos sistemas de labranza.
- ✓ Monitorear la cobertura del entresurco por efecto del canopeo del cultivo de soja en los dos sistemas de laboreo.

## CAPITULO 3

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE TRABAJO:

La experiencia a campo se realizó en el Dpto. Río Cuarto, pedanía Tegua, a 6 Km al Nor-Oeste de la localidad de Alcira Gigena, en establecimiento perteneciente al señor Ricardo Martinez ( $32^{\circ} 43'54.78''$  de latitud Sur y a los  $64^{\circ}21'42.59''$  de longitud Oeste), ubicado en la Planicie Periserrana Proximal (INTA-Agencia Córdoba Ambiente, 2006) (Figura 1).



**Figura 1: Mapa de Ambientes Geomorfológicos de la Provincia de Córdoba (INTA-Agencia Córdoba Ambiente, 2006) e imagen LANDSAT del área de estudio (Google Earth, 2010) (Escala aproximada 1:50.000).**

El sitio experimental presenta un relieve normal, fuertemente ondulado, con pendientes largas y gradientes de hasta el 5 % y el suelo es Haplustol típico, de textura franca arenosa a franca, perteneciente a la Unidad Catastral N°1, Oeste de Gigena (Cantero *et al.*, 1986).

## **3.2. CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS:**

### **3.2.1. DE LA REGIÓN:**

A continuación se presenta una síntesis de la información agro climática de la región donde fué realizado el ensayo a campo del presente trabajo final (Cantero *et al.*, 1986).

#### **I- Precipitaciones:**

El clima en dicha zona es de tipo mesotermal subhúmedo con estación seca, con un régimen de precipitaciones de tipo monzónico que concentra el 80 % de las mismas en el período que comprende los meses de Octubre a Abril. Las precipitaciones totales anual oscila los 700-800 mm.

#### **II- Balance hídrico:**

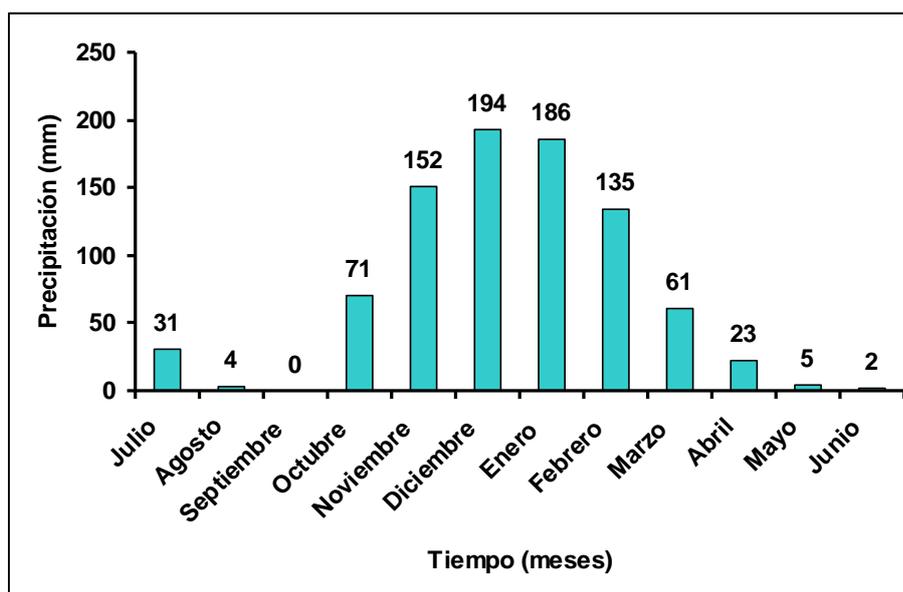
Para esta región se estima un déficit hídrico de 50 a 100 mm/año, en relación a los 850 mm/año de Evapotranspiración Potencial (**ETP**), siendo los meses de déficit Diciembre, Febrero, Agosto-Septiembre; y los períodos de reposición desde mediados de Septiembre a Noviembre y Febrero a Abril.

#### **III- Temperatura:**

La temperatura media anual correspondiente al área bajo estudio es de 16.5°C, siendo la temperatura media del mes más cálido, la de Enero, con 23,5°C y la del mes más frío, la de julio, con 8.8°C, definiendo una amplitud térmica anual, de 14,7°C. En cuanto al período libre de heladas, el mismo se extiende, en promedio, desde el 11 de Septiembre hasta el 11 de Mayo, siendo dicho período de una duración media de 240 días.

### **3.2.2. DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO:**

El ciclo de cultivo se desarrolló a lo largo de la campaña 2004/2005, siendo el mismo de buena disponibilidad hídrica para el cultivo. Las precipitaciones de Diciembre de 2004 fueron de 194 mm, mientras que las correspondientes a los meses de 2005, durante el ciclo de cultivo, fueron de 410 mm (Enero/Mayo), acumulando durante el ciclo del cultivo 604 mm (**Siembra** 16/12/2004 a **Cosecha**, 21/5/2005). (**Figura 2**) (**Tabla 1**).



**Figura 2: Distribución de precipitaciones en el periodo comprendido entre Julio de 2004 y Junio de 2005 para el área de estudio. Datos de precipitaciones cedidos por el establecimiento agropecuario.**

**Tabla 1: Fecha de los momentos de evaluación, y precipitación total (mm) desde el anterior momento de evaluación.**

Momento de Evaluación	Fecha	Precip. total desde el anterior momento (mm)
PreLabor	16/12/2004	0
PostSiembra	23/12/2004	20
V3-4	22/01/2005	202
R1	01/03/2005	175
R3	26/03/2005	59
R5	16/04/2005	10
R7	05/05/2005	15
Cosecha	21/05/2005	5

Por otra parte en lo que se refiere a eventos meteorológicos de importancia para el cultivo, se registró la primera helada del año el día 23 de Abril de 2005.

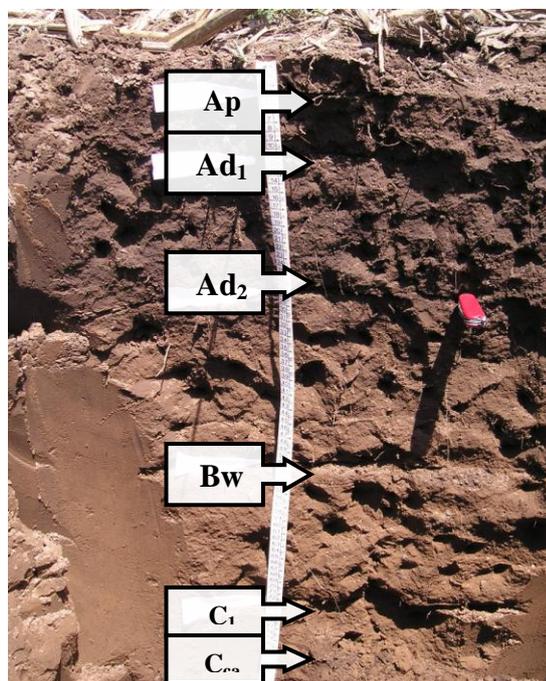
### 3.3. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO:

El suelo del área bajo estudio, según el Atlas de Los Suelos de la Provincia de Córdoba (INTA-Agencia Córdoba Ambiente, 2006) pertenece a la Serie “El Cano”, siendo el mismo Haplustol típico de la planicie peri serrana proximal ondulada. Este tipo de suelo está medianamente desarrollado, bien drenado y de textura franco arenosa. Presenta una capa

arable (**Ap**) de 21 cm de profundidad, moderado contenido de materia orgánica y moderada estabilidad de los agregados. Continúa el horizonte **B<sub>2</sub>** que pasa transicionalmente (**B<sub>3</sub>**) a los 74 cm a un horizonte **C** con carbonatos libres diseminados en la masa del suelo.

### 3.4. SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO:

La caracterización morfológica del perfil típico (**Fotografía 1**) de suelo fue realizada en base a las Normas de Reconocimiento de Suelos (Etchevehere, 1976) (**Tabla 2**).



**Fotografía 1:** Perfil de suelo del área bajo estudio, identificando los diferentes horizontes.

**Tabla 2:** Caracterización del Perfil de Suelo del área bajo estudio.

		Ap	Ad <sub>1</sub>	Ad <sub>2</sub>	Bw	C <sub>1</sub>	Cca
<b>Profundidad (cm)</b>		0-4	4-12	12-28	28-51	51-75	75 a +
<b>Textura</b>		Franco arenoso	Franco arenoso				
<b>Estructura</b>	<b>Tipo</b>	Pseudo laminar	Bloques subangulares	Bloques subangulares	Bloques subangulares	Bloqs subang / masivo	Masivo
	<b>Clase</b>	Medios	Medios	Medios	Medios	Medios	---
	<b>Grado</b>	Moderados	Fuerte	Fuerte	Moderados	Débil	---
<b>Límite</b>		Abrupto-ondulado	Suave-Claro	Suave-Claro	Suave-Claro	Suave-Claro	Abrupto
<b>Consistencia</b>	<b>Seco</b>		Duro	Duro			
	<b>Húmedo</b>	Friable	Friable	Friable	Friable	Friable	Friable
	<b>Mojado</b>	Ligeramente Plástico	Ligeramente Plástico	Ligeramente Plástico	Ligeramente Plástico	Ligeramente Adhesivo	Ligeramente Adhesivo
<b>Humedad Equivalente</b>		12.36	11.72	11.83	9.27	9.28	10.33
<b>Observaciones</b>		Suelto	Densificación	Densificación	---	---	---

### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS:

#### 3.5.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue en parcelas pareadas, con dos tratamientos, y tres repeticiones. Cada uno de los tratamientos abarcó 20 m de ancho por 80 m de largo (**Figura 3**).



**Figura 3: Imagen LANDSAT del área de estudio (Google Earth, 2010)(Escala aproximada 1:7000).**

#### 3.5.2 TRATAMIENTOS

Los tratamientos de labranza fueron: siembra directa durante 6 años (“SD”), y siembra directa con la inclusión de labranza de descompactación subsuperficial (“LDS”), que se realizó por primera vez en la parcela destinada a este estudio (**Fotografía 2**).



**Fotografía 2: Imagen del momento de realización de la labranza de descompactación subsuperficial en el área de estudio.**

En ambos tratamientos se realizó la siembra de un cultivo de soja (*Glycine max* (L) Merrill) grupo de madurez V y ½, de crecimiento determinado variedad A5901 RG (Nidera), cuyas características se pueden observar en Anexo 1 Tabla 1. La siembra fue realizada el día 23 de diciembre de 2004, con una sembradora marca FABIMAC Multiplanter (2001), de siembra directa con equipo fertilizador. La misma fue de 13 surcos espaciados a 0,52 m (ancho total de trabajo 7,28 m.). Para traccionarla se utilizó un tractor de 125 HP (90KW). Tras la misma se realizaron tareas de control químico con una pulverizadora autopropulsada marca METALFOR, Modelo 2004 (ancho de labor de 21 m) la que permitió aplicaciones variables de caudal y espectro de aplicación. La cosecha mecánica se realizó, con una cosechadora JOHN DEERE 9610, Maximizer, Modelo 1996, ancho de corte de 7 m.

El tratamiento “LDS”, incluyó una operación con subsolador alado, de similares características al prototipo “Reja Cero” (Cisneros *et al.*, 1998), con 8 rejas rígidas aladas, con filos longitudinales y verticales, montadas sobre el bastidor de un arado de cinceles (de marca TEMPLAR), espaciadas a 0,50 m (**Fotografía 3**) y con una capacidad teórica de trabajo hasta 0,30 m de profundidad, a las que se les anexó un kit de cuchillas de corte de rastrojo. A este implemento se le acopló un rolo compactador, que tuvo por función romper terrones y realizar el cierre superficial de los surcos. Para realizar estas operaciones se utilizó un tractor de 175 HP (125 KW). La labor se realizó en condición de suelo friable, siendo el contenido hídrico medio para la capa afectada por dicha labor, de 22,43% g/g.



**Fotografía 3: Detalle de la reja alada sobre el montante utilizado para el tratamiento “LDS”.**

La siembra y las labores posteriores a la misma, fueron llevadas a cabo con los equipos descritos para el tratamiento “SD”.

### 3.6. DETERMINACIONES Y MOMENTOS DE EVALUACIÓN:

#### 3.6.1. DETERMINACIONES:

##### 3.6.1.1 Del Suelo:

✓ Caracterización del **Perfil Cultural** antes y después de realizar la labranza de descompactación subsuperficial, mediante la metodología de la cuadrícula propuesta por Gautronneau y Manichon (1987). La misma consistió en realizar una excavación en forma transversal a la dirección de la labranza de aproximadamente 0,40 m de profundidad por 1,20 m de ancho y sobre una de sus paredes previamente alisada, se procedió a diferenciar, con la ayuda de un elemento punzante, diferentes zonas del perfil tanto en el sentido vertical como lateral. Las zonas diferenciadas fueron identificadas mediante palillos punzantes contorneando sus bordes. Sobre esta pared se dispuso una grilla graduada, con cuya ayuda se transfirió la forma de las zonas a un papel que reprodujo la grilla. Las dimensiones de la grilla utilizada fueron de 0,30 m x 1,20 m, definiendo una superficie total de 0,306 m<sup>2</sup>, siendo cada cuadrado de 0,03 m de lado. La información obtenida fue digitalizada mediante el software ARC INFO (ESRI, 1992) con el que se obtuvieron los mapas de los perfiles culturales.

✓ Determinación de **Densidad Aparente (DAP)**, para ambos tratamientos se realizó por medio de una sonda de rayos gamma (Donald *et al.*, 1991), hasta la profundidad de 0,30 m (**Fotografía 4**); con tres repeticiones dispuestas al azar.



**Fotografía 4: sonda de rayos gamma utilizada para la determinación de densidad aparente (DAP).**

✓ El porcentaje de **Cobertura de Suelo** se determinó por el método de la línea transecta (Steiner *et al.*, 1994), que consistió en dos hilos de 5 m de largo cada

uno, marcados cada 0,10 m, los cuales se colocaron en los puntos de muestreo formando un ángulo de 45 grados con respecto a la dirección de los surcos. Cuantificando la cobertura como la cantidad de marcas de los hilos que tocan residuos, de este modo se obtuvo directamente el porcentaje de cobertura del suelo para cada tratamiento. Se realizaron cuatro mediciones al azar por tratamiento. A partir de esta medición se estimó el porcentaje de **cobertura remanente** (Johnson, 1988), a través de la siguiente ecuación:

$$\%COB_{rem} = \left( \frac{COB_{post}}{COB_{pre}} \right) \times 100$$

Donde:

$\%COB_{rem}$  es el porcentaje de cobertura remanente;

$COB_{post}$  es el porcentaje de cobertura postlabor;

$COB_{pre}$  es el porcentaje de cobertura prelabor.

✓ Determinación de la **Humedad de Suelo**, las muestras se extrajeron mediante barreno a intervalos de 10 cm hasta los 40 cm y de 20 cm desde esta profundidad hasta el metro (**Fotografía 5**). Su posterior determinación en laboratorio de contenido hídrico gravimétrico, se obtuvo a partir del secado en estufa a 105°C hasta peso constante.



**Fotografía 5: Imagen de toma de muestras de suelo por medio de barreno, para determinación de contenido hídrico.**

Los resultados fueron expresados de tres maneras diferentes: **% de agua gravimétrico (g/g)**, **proporción del contenido de agua útil (%)**, y como **lámina de agua almacenada (mm)**. Para la segunda alternativa de expresión de estos resultados, se tomó como 100% al contenido de agua útil de cada horizonte (contenido hídrico de capacidad de campo menos el contenido hídrico de punto de marchitez permanente) y a partir de ello se estimó que proporción de ella representaba cada valor de humedad registrado en los diferentes momentos y profundidades. Para la expresión en forma de lámina de agua almacenada se utilizaron los valores de densidad aparentes (**DAP**) determinados a campo, hasta los 30 cm de profundidad y a partir de allí se tomó el valor de  $1,30 \text{ Mg/m}^3$  constante hasta el metro de profundidad (**Tabla 3**).

**Tabla 3: Densidad aparente para cada capa del suelo, de ambos tratamientos.**

Profundidad (cm)	DAP (Mg/m <sup>3</sup> )	
	SD	LDS
<b>0-10</b>	1.21	1.14
<b>10-20</b>	1.35	1.24
<b>20-30</b>	1.35	1.28
<b>30-40</b>	1.30	1.30
<b>40-60</b>	1.30	1.30
<b>60-80</b>	1.30	1.30
<b>80-100</b>	1.30	1.30

✓ Obtención de **curvas características de humedad** a través del método de la olla de presión (Klute, 1986) de cada horizonte genético del perfil. Se obtuvieron los contenidos de agua a capacidad de campo “CC” y punto de marchitez permanente “PMP” (**Tabla 4**).

**Tabla 4: Contenido de agua (% g/g) a capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua útil, de cada horizonte del perfil de suelo bajo estudio.**

	Ap 0-4 cm	Ad1 4-12 cm	Ad2 12-28 cm	Bw 28-51 cm	C 51-75 cm	Cca 75 a + cm
<b>% CC</b>	18.79	18.56	18.84	16.33	15.83	17.25
<b>% PMP</b>	6.43	6.85	7.01	7.06	6.55	6.91
<b>% AU</b>	<b>12.36</b>	<b>11.72</b>	<b>11.83</b>	<b>9.27</b>	<b>9.28</b>	<b>10.33</b>

Estos valores de **CC**, **PMP** y **%AU**, de cada horizonte genético del perfil del suelo estudiado, se utilizaron para el cálculo de los valores de **CC**, **PMP** y **%AU**, correspondiente a cada capa de suelo sobre la que se realizaron las determinaciones de humedad (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm), en los momentos de evaluación (tratados en el capítulo 3.6.2). Para dicho cálculo se realizó un promedio ponderal que incluyó la proporción que cada horizonte genético del perfil estudiado representó sobre la misma (**Tabla 5**).

**Tabla 5: Contenido de agua (% g/g) a capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua útil, de cada capa de suelo estudiada.**

	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
<b>% CC</b>	18.654	18.782	18.336	16.331	16.107	16.187	17.247
<b>% PMP</b>	6.681	6.977	7.020	7.059	6.831	6.643	6.913
<b>% AU</b>	11.974	11.805	11.316	9.272	9.276	9.544	10.334

✓ En cada tratamiento se estimó la lámina de agua escurrida luego de cada lluvia durante el ciclo del cultivo, mediante el método de la **curva número (CN)** propuesto por el S.C.S de los Estados Unidos (Kent, 1973). Para ello se utilizó el valor de abstracción inicial o umbral de escorrentía ( **$P_0$** ) tabulado según se especifica en la **Anexo 2 Tabla 1**. Dadas las características del perfil de suelo, se consideraron los Grupos hidrológicos “B” y “C” para “**LDS**” y “**SD**”, respectivamente, tomando en cuenta una pendiente del suelo menor al 3%, y como uso de la tierra a cultivos en hilera. El valor de  **$P_0$**  fue corregido en función de la precipitación ocurrida 5 días antes del evento estudiado, utilizando los datos humedad previa del suelo, según **Anexo 2 Tablas 2 y 3**. La lámina escurrida luego de cada evento se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$P_n = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4P_0}$$

**Donde:**

**$P_n$** : Lámina Escurrida Neta

**$P$** : Precipitación total

**$P_0$** : Umbral de Escorrentía

La lámina total escurrida (mm) durante todo el ciclo del cultivo, se estimó mediante la sumatoria de las láminas parciales correspondientes a cada precipitación.

✓ **Estimación de Evapotranspiración Real:** para estimar esta variable se utilizó un método simplificado al propuesto por Ritchie (1998), en el que se tuvieron en cuenta los siguientes componentes:

$$\mathbf{ALM}_{\mathbf{final}} = \mathbf{ALM}_{\mathbf{inicial}} + \mathbf{PP} - \mathbf{ESC} - \mathbf{ETR} \quad (1)$$

Donde:

**ALM** = almacenamiento de agua en el suelo.

**PP** = precipitación.

**ESC** = escurrimiento superficial.

**ETR** = evapotranspiración real del cultivo.

La percolación en profundidad fue desestimada para el cálculo por la complejidad en los cálculos de las variables intervinientes, como la lámina de mojado para cada lluvia teniendo en cuenta el contenido hídrico inicial al momento de producirse cada evento y el perfil explorado por las raíces en cada estadio fenológico.

La diferencia entre la lámina inicial y final de agua almacenada en el perfil marca la variación del contenido hídrico del suelo entre dos momentos del ciclo del cultivo. Para la estimación de ambas láminas se utilizó la información resultante de los muestreos de suelo realizados en los momentos de estudio, que se detallan en el apartado 3.6.2.

La evaporación del suelo y la transpiración del cultivo forman parte de la *evapotranspiración del cultivo*, que se estimó para cada tratamiento en el ciclo del cultivo con los diferentes componentes del balance hídrico (las entradas y las salidas), mencionados precedentemente, según expresión despejada de (1):

$$\mathbf{ETR} \text{ (mm)} = \mathbf{ALM}_{\mathbf{inicial}} + \mathbf{PP} - \mathbf{ESC} - \mathbf{ALM}_{\mathbf{final}}$$

Esta estimación fue realizada para los siguientes períodos, durante el ciclo del cultivo:

- **PostSiembra-V3-4**
- **V3-4-R1**
- **R1-R3**
- **R3-R5**
- **R5-R7**

3.6.1.2 En el cultivo:

✓ **Producción de Materia Seca**, para ello fueron tomadas tres submuestras en cada uno de los momentos especificados en el apartado 3.6.2. del

presente capítulo y en cada tratamiento de labranza (**Fotografía 6**). Las mismas se secaron en estufa a una temperatura de 80 °C hasta peso constante tal como aconsejan Mills y Jones (1996). Las mediciones de peso se realizaron en una balanza analítica con una precisión de  $\pm 0,01$  gramos.

Cada submuestra estuvo compuesta por 20 plantas correspondientes a dos surcos contiguos (10 plantas de cada surco). A partir del peso medio de las plantas y la densidad de plantas a cosecha (40,5 plantas/m<sup>2</sup> en **SD** y 39,5 plantas/m<sup>2</sup> en **LDS**), se expresó la producción de materia seca en Kg/ha. El stand de plantas a cosecha se determinó realizando el conteo de las plantas por unidad de superficie cosechada manualmente.



**Fotografía 6: Imagen de toma de muestras de biomasa aérea total, para posterior determinación de materia seca.**

✓ **Cobertura del entresurco** por el canopeo del cultivo, a través de la medición directa del espacio sin cobertura en el entresurco, utilizando una regla (<sup>1</sup>). Se realizaron 10 mediciones al azar en cada tratamiento y momento de evaluación. Los valores se expresaron en porcentaje de cobertura del entresurco en base al distanciamiento entre hileras, 52 cm.

✓ **Rendimiento de grano**, se extrajeron las plantas comprendidas en una superficie de 1 m<sup>2</sup> con tres repeticiones al azar en cada tratamiento. Los resultados se expresaron en unidad de peso por hectárea.

---

<sup>1</sup> Comunicación personal del área de Cultivos Oleaginosos de la FAV (UNRC).

✓ **Eficiencia en el uso del agua (EUA):** es la relación entre la biomasa o la producción de granos (kg/ha) y el consumo de agua estimado (**ETR**), en milímetros (mm) (Toledo y Rubiolo, 2006).

✓ **Índice de cosecha (IC):** es un indicador de la porción de materia seca producida que es particionada hacia granos. Se estimó con la siguiente relación (Baigorri *et al*, 2003):

$$IC = \frac{\text{Producción de granos (kg/ha)}}{\text{Biomasa aérea total (kg/ha)}}$$

### 3.6.2. MOMENTOS DE EVALUACIÓN:

1. **Caracterización inicial** (prelabor de descompactación subsuperficial): en el momento previo a la labranza de descompactación subsuperficial, en cada tratamiento se llevaron a cabo las tareas de caracterización de perfil cultural, determinación de cobertura de suelo, densidad aparente y humedad de suelo.
2. **Momentos preestablecidos durante el ciclo del cultivo:** en **PostSiembra**, **V3-4, R1, R3, R5 y R7** (Fehr y Caviness, 1977) se determinó: humedad de suelo, y producción de biomasa aérea. En **V3-4** y **R1** se evaluó la cobertura del entresurco.
3. **Cosecha:** En este momento se determinó humedad de suelo, producción de biomasa aérea, rendimiento de granos y stand de plantas.

### 3.7. INTERPRETACION DE RESULTADOS:

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el programa INFOSTAT (Robledo *et al.*, 2008), realizando comparaciones de medias entre tratamientos mediante Test de Tukey, tomando un nivel de significancia  $p < 0.05$ .

## CAPITULO 4

### RESULTADOS

#### 4.1. MORFOLOGÍA DEL PERFIL CULTURAL:

Este apartado se realizó de manera conjunta con Cacciavillani (2009), quien realizó su trabajo final de grado en la misma experiencia que el presente trabajo.

##### 4.1.1. CONDICIÓN ORIGINAL

En el perfil correspondiente a la condición original se pudieron diferenciar cuatro capas: **H0**, **H1**, **H6** y **H8**. (Fotografías 7.a 7.b y Figura 4)



Fotografías 7.a y 7.b: Imagen del perfil cultural correspondiente a la condición prelabor.

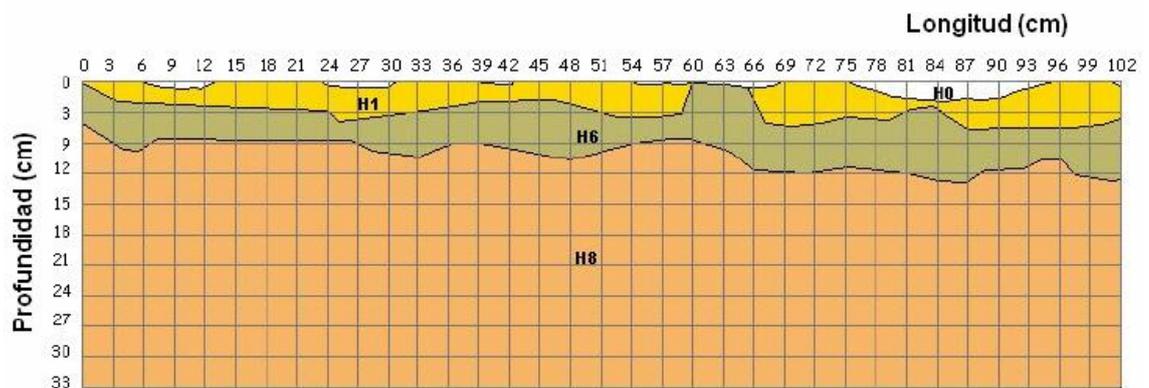


Figura 4: Capas de suelo, correspondientes al perfil cultural en la condición prelabor (SD).

✓ **H0-** Capa superficial del perfil de suelo que ocupa los primeros 6 cm del perfil, caracterizada por altos contenidos de suelo suelto, apedal y rastrojo de los cultivos antecesores.

✓ **H1-** Capa de suelo inmediatamente inferior a **H0**, de espesor aproximado a 3 cm, ocupa la capa de suelo comprendida entre los 6-9cm caracterizada por presencia de agregados de 2 x 4 cm en promedio, muestreados al azar y medidos a campo; de caras lisas y sin porosidad visible, cohesivos en seco, correspondiendo a un estado interno de los agregados “Δ”, lo que según De Battista *et al.* (1992 – 1993), sería un indicador de deterioro de la estructura. Desde el punto de vista de su 2° nivel de organización estructural, dichos agregados presentaron una disposición fragmentaria “F”, es decir, en la que es posible individualizarlos claramente.

✓ **H6-** Capa densificada de aproximadamente 6 cm de espesor, que ocupa la faja de suelo comprendida entre los 9-18 cm de profundidad, correspondiente al denominado piso de rastra o disco. Presenta agregados de tamaño medio de 6 x 10 cm con un estado interno estable, soldados, pero fácilmente discernibles. Esto puede atribuirse al tránsito de los implementos agrícolas, por efecto de la presión ejercida por sus ruedas y/o por efecto de las lluvias que al ingresar en el perfil van desmoronando los terrones inestables y por lo tanto arrastrando partículas hacia la base del perfil, donde vuelven a reacomodarse, según lo observado por Barber (1994).

✓ **H8-** Capa subyacente a **H6**, de 30 cm de espesor, aproximadamente, con un tamaño medio de agregados de 6 x 10 cm y un estado interno estable, difícilmente discernible, con aspecto masivo y escasas grietas y raíces confinadas, rompiendo arbitrariamente en dirección a la fuerza que se le aplique (Porta *et al.*, 1994).

Estas últimas dos capas, **H6** y **H8**, denotan un gran deterioro estructural, presentando estructuras compactas, con agregados de gran tamaño que dificultan la exploración intra ped de raíces (**Fotografía 8**) y raicillas del cultivo, como así también la dinámica hídrica y del aire en el perfil.



**Fotografía 8: Bloque angular de caras de ruptura lisas, sin porosidad visible, con presencia de raíces sobre los planos de debilidad.**

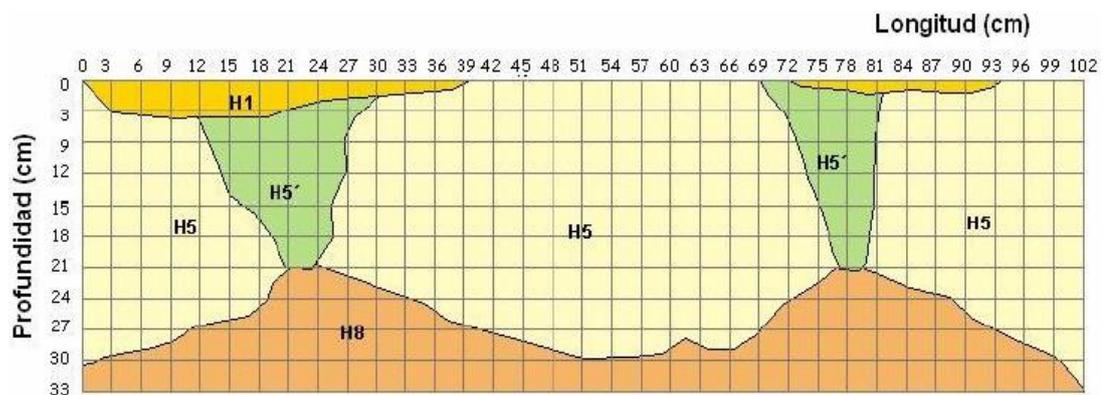
Con respecto al primer nivel de organización o estado interno de los terrones, de estas capas se caracterizó por una alta cohesión, con caras de ruptura lisas, sin porosidad visible o algo de porosidad visible y caras de ruptura de los agregados irregulares. En cuanto al segundo nivel de organización o disposición de los terrones, en **H6**, se observó que los agregados son posibles de individualizar, encontrándose los terrones adheridos y fácilmente discernibles. Mientras que en **H8**, se caracterizó por su estado masivo, con terrones difíciles de diferenciar.

#### 4.1.2. CONDICIÓN POSTLABOR

En la evaluación postlabor, la grilla fue dispuesta de modo que su ancho abarcara por lo menos dos pasadas de rejas del implemento. Fueron notables los cambios respecto a la situación original, en cuanto al grado de fractura alcanzado y la disposición de los terrones que constituyeron las principales diferencias, como se puede observar (**Fotografías 9.a y 9.b**) (**Figura 5**), coincidiendo con lo observado por Cholaky (2003):



**Fotografías 9.a y 9.b: Perfil cultural correspondiente a la condición postlabor (LDS).**



**Figura 5: Capas de suelo, correspondientes al perfil cultural en la condición postlabor (LDS).**

✓ **H0**, en superficie, con idénticas características a las descritas para la condición **prelabor**.

A partir de esta capa se pudo observar una nueva, producto del impacto de la labranza, **H5**, diferenciándose en ésta dos sectores, correspondientes a la zona de paso el órgano activo de la maquinaria (reja) y la zona que quedó comprendida entre ambas; denominadas **H5** y **H5'**, respectivamente.

✓ **H5**, esta capa de suelo se observó desde la superficie del perfil cultural hasta los 30 cm de profundidad, siendo el límite inferior de esta capa ondulado (oscilando entre los 21-30 cm de profundidad), correspondiéndose con el paso de los órganos activos de la maquinaria. En este sitio, en la situación **PreLabor**, se encontraba ocupada por **H6** y **H8**, no encontrándose la primera de éstas, en la situación **PostLabor**. **H5**, se caracteriza por abundante tierra fina y agregados, siendo el tamaño medido a campo de terrones tomados al azar de 2 x 5 cm (**Fotografía 10**). Observándose una reducción del tamaño medio de los mismos a dicha profundidad, aunque si bien mantuvieron su estado interno “ $\Delta$ ”, se presentaron de manera fragmentaria “F”, pudiéndose individualizar claramente.



**Fotografía 10: Unidades estructurales correspondientes a la condición prelabor (izquierda) y postlabor (derecha).**

✓ **H5'**, se observó en la situación **postlabor**, ubicada entre los 2 y 21 cm de profundidad, siendo la forma de esta capa la de conos invertidos entre las capas de **H5**, ubicados entre la zona donde, pasaran los órganos activos. Con respecto al primer nivel de organización o estado interno de los terrones, se observó un tamaño promedio, medido a campo y al azar, de aproximadamente 7 x 5 cm. En cuanto al segundo nivel de organización o disposición de los terrones, se observó una tendencia a que los agregados se presentaran en estado fragmentario “F” a fácilmente discernibles “SF”.

✓ **H8**, esta capa de suelo se observó a partir de los 21-30 cm de profundidad, correspondiéndose la misma con la capa **H8**, descrita en la situación **prelabor**, siendo sus características estructurales, las mismas. Como se hiciera mención con anterioridad, el límite de esta capa con **H5-H5'** se observó como ondulado, correspondiéndose con el pasaje de los órganos activos, debido al un distanciamiento excesivo de los mismos, ya que esta capa debería haberse fragmentado completamente con la labranza. El distanciamiento de 0,50 cm resultaría elevado, ya que a 0,28 cm de profundidad de trabajo efectivo da una relación de 1,85:1 (ancho de trabajo: profundidad de trabajo). Al respecto, Balbuena *et al.* (2009) indica que la separación entre órganos activos óptima para descompactadores es de  $1,4 \pm 25\%$  veces la profundidad de trabajo. Siendo la relación ancho trabajo: profundidad excesiva; por lo que la capa **H8** no llegó a fragmentarse completamente.

## 4.2. CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO:

Este tema será abordado bajo dos puntos de vista: uno estático, en el que se analizará para cada momento de evaluación la variación del contenido de agua en profundidad; y otro dinámico, en el que se analizará para cada profundidad la variación de su contenido hídrico en el tiempo.

### 4.2.1. VARIACIÓN DEL CONTENIDO HÍDRICO EN EL PERFIL DEL SUELO EN CADA MOMENTO ESTUDIADO:

#### 4.2.1.1- Post Siembra.

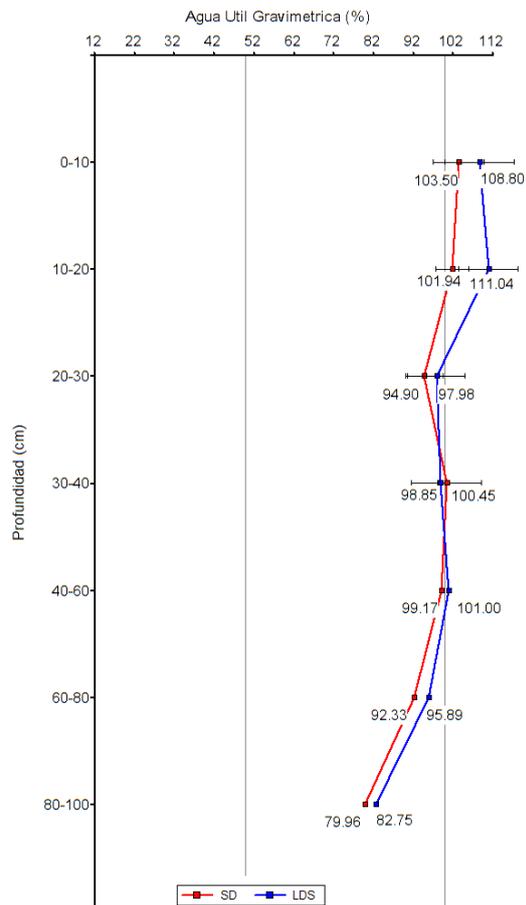
Los contenidos hídricos registrados al momento postsiembra se observaron próximos a capacidad de campo y el análisis de la varianza, arrojó que no hubo efecto significativo de los tratamientos sobre el contenido hídrico del suelo (**Tabla 6**).

**Tabla 6: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en postsiembra.**

		Contenido hídrico del suelo					
		Gravimétrico (g/g)			Lámina (mm/capa)		
Momento	Prof. (cm)	SD	LDS	p	SD	LDS	P
Postsiembra (23/12/2004)	0-10	19.07 a	19.71 a	0.6479	23.12 a	22.25 a	0.5940
	10-20	19.01 a	20.09 a	0.3458	25.66 a	25.07 a	0.6660
	20-30	17.76 a	18.11 a	0.7376	23.97 a	23.18 a	0.5624
	30-40	16.22 a	16.97 a	0.1711	21.88 a	21.09 a	0.8655

*Letras distintas para una misma profundidad, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) según Test de Tukey.*

Como se mencionó con anterioridad los contenidos hídricos se encontraban muy próximos al 100% del agua útil, siendo el contenido hídrico medio de “SD” 95,8% de la capacidad de agua útil; mientras que el valor medio de “LDS” fue de 99,5% (**Figura 6**).



**Figura 6: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en postsiembra (Las líneas verticales indican el 50 y 100 % del agua útil del perfil, las líneas horizontales asociadas a cada valor indican el error estándar).**

#### 4.2.1.2. Estado Vegetativo, 3-4 hojas (V3-4).

La medición se realizó el día 22 de Enero de 2005, a 30 días desde la anterior evaluación y habiendo precipitado en dicho periodo 202 mm, siendo el último registro de 5 mm, 3 días antes de la misma.

No se observaron diferencias significativas en los contenidos hídricos para los diferentes sistemas de labranza (Tabla 7).

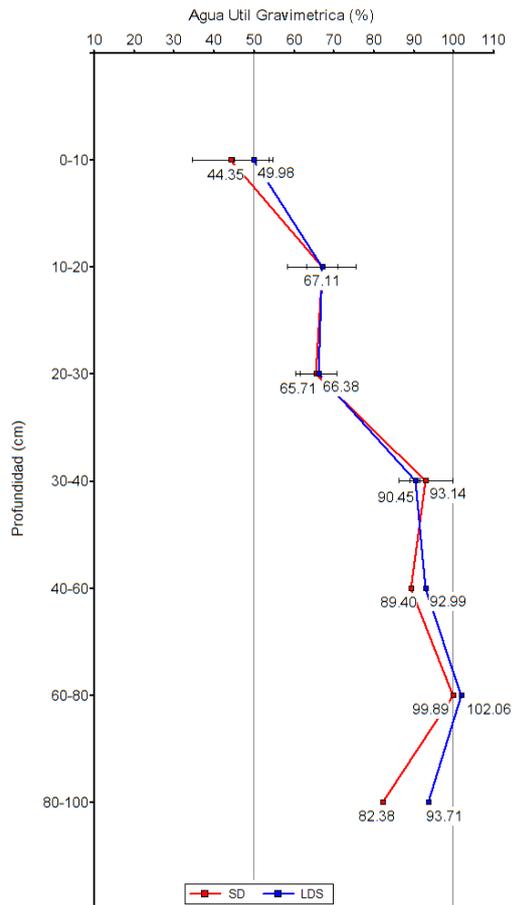
**Tabla 7: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en V3-4.**

		Contenido hídrico del suelo					
		Gravimétrico (g/g)			Lámina (mm/capa)		
Momento	Prof (cm)	SD	LDS	p	SD	LDS	P
V3-4 (22/01/2005)	0-10	11.99 a	12.66 a	0.6296	14.53 a	14.30 a	0.8840
	10-20	14.90 a	14.91.a	0.9936	20.11 a	18.61 a	0.3665
	20-30	14.46 a	14.53 a	0.9283	19.52 a	18.60 a	0.4250
	30-40	15.45 a	15.70 a	0.7168	20.40 a	20.08 a	0.7174

*Letras distintas para una misma profundidad, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) según Test de Tukey.*

En este momento, se observó que los contenidos hídricos de los perfiles de suelo de ambos tratamientos fueron marcadamente inferiores al anterior muestreo (**postsiembr**) en todas las profundidades evaluadas, siendo esto más acentuado en las capas más superficiales del perfil analizado, observándose disminuciones del orden de 60, 40 y 30% del contenido hídrico del suelo (expresado como porcentaje de agua útil gravimétrica) para las capas 0-10, 10-20, y 20-30 cm, respectivamente (**Figura 7**). A partir de esa profundidad la disminución osciló el 8%.

Las mayores diferencias en contenidos hídricos entre ambos momentos se observó en la profundidad de 0-10 cm, registrándose valores medios de 12,7% (expresado como porcentaje de agua útil gravimétrica) para “LDS” y 12% para “SD”. De todos modos, los contenidos hídricos medios de los primeros 40 cm de suelo fueron para “LDS” de 68,5%, mientras que en “SD” fue de 67,6%, es decir una diferencia entre ambos tratamientos de 0,9% de su capacidad de agua útil. Esta diferencia se incrementó a 2,95%, a favor de “LDS”, si se considera todo el perfil estudiado, pudiendo deberse a una mayor recarga a partir de los 60 cm de profundidad por la precipitación ocurrida entre ambos momentos. Al respecto, Bricchi *et al.*, (2008) señala que el sistema de labranza es uno de los factores que afectan fuertemente la macroporosidad del suelo, su tasa de infiltración y la conductividad saturada.



**Figura 7: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en V3-4 (Las líneas verticales indican el 50 y 100 % del agua útil del perfil, las líneas horizontales asociadas a cada valor indican el error estándar).**

#### 4.2.1.3. Estado Reproductivo, inicio de floración (R1).

El muestreo correspondiente a este momento se realizó el día 1° de Marzo de 2005, habiendo transcurrido 38 días del anterior muestreo, y registrándose en este período una precipitación total de 175 mm, siendo el último evento ocurrido en el mismo de 65,5 mm 6 días antes del muestreo.

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos, en cuanto a contenidos hídricos gravimétricos del suelo (**Tabla 8**), mientras que sí las hubo en la lámina de agua almacenada en la profundidad 20-30 cm.

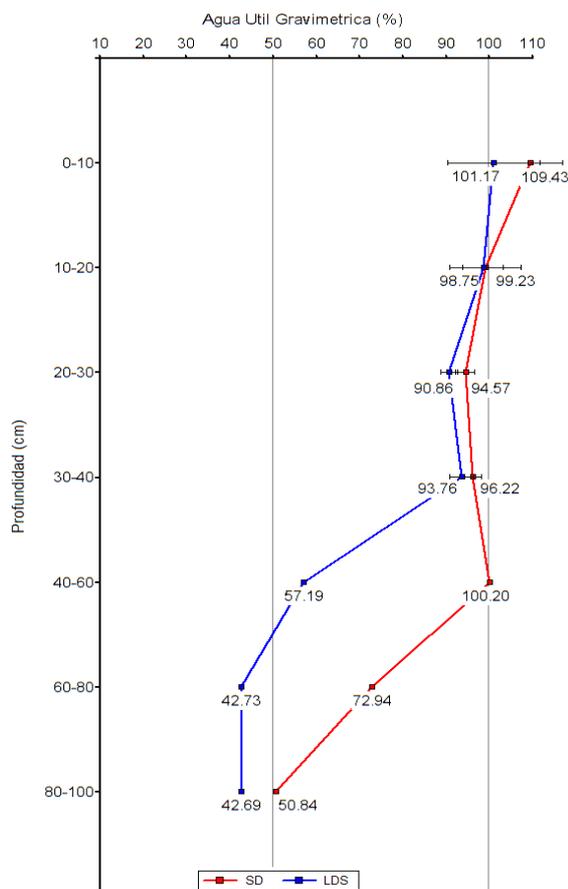
**Tabla 8: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en R1.**

		Contenido hídrico del suelo					
		Gravimétrico (g/g)			Lámina (mm/capa)		
Momento	Prof (cm)	SD	LDS	P	SD	LDS	P
R1 (01/03/2005)	0-10	18.79 a	19.78 a	0.5635	23.98 a	21.22 a	0.2039
	10-20	18.63 a	18.69 a	0.9624	25.23 a	23.26 a	0.2558
	20-30	17.30 a	17.72 a	0.2822	<b>23.92 a</b>	<b>22.15 b</b>	<b>0.0161</b>
	30-40	15.75 a	15.98 a	0.5176	20.77 a	20.48 a	0.5163

*Letras distintas para una misma profundidad, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) según Test de Tukey.*

Esta diferencia a favor de “SD”, podría atribuirse a que en “LDS” hubo mayor extracción de agua por el cultivo en profundidad debido a la mejor condición física del perfil para la exploración radical en este periodo, evidenciada por las variaciones en la densidad aparente entre ambos, “SD” y “LDS”, que en dicha capa presentaron valores de 1,3 y 1,28 Mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. En relación a ello, Cacciavillani (2009), observó para igual momento y tratamientos valores de resistencia mecánica medios, para esta capa, de 1,52 y 0,80 Mpa para “SD” y “LDS”, respectivamente. Gil (2005 (b)) señala que muchos investigadores coinciden en que cuando las resistencias del suelo exceden los 2 Mpa el crecimiento de las raíces puede verse seriamente afectado o restringido. Sin embargo, es tanto más importante recordar que la velocidad o tasa de elongación puede decaer marcadamente, por ejemplo a más de la mitad, con niveles muy inferiores al mencionado.

En lo que respecta a “SD”, los contenidos hídricos medios para los primeros 40 cm del perfil fueron 99,86% del agua útil gravimétrica, en tanto, “LDS” fue del 96,14%, siendo la diferencia entre ambos de 3,72% (**Figura 8**).



**Figura 8: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en R1 (Las líneas verticales indican el 50 y 100 % del agua útil del perfil, las líneas horizontales asociadas a cada valor indican el error estándar).**

Para este momento, las raíces del cultivo habrían superado el metro de profundidad, ya que según Dardanelli (1998) la velocidad de profundización de las mismas, en condiciones normales, en la etapa lineal (**V3/R1**) de la curva de crecimiento de las mismas en profundidad, resulta en aproximadamente 28 mm/día para soja. Por su parte, Gil (2005 (b)) señala que dependiendo de la disponibilidad de agua en el suelo, el desarrollo inicial de las raíces en suelos profundos y no compactados es relativamente rápido y vigoroso, variando la tasa de elongación entre 13 mm/día en las etapas vegetativas, a más de 30 mm/día en las reproductivas.

Este mismo análisis, considerando todo el perfil estudiado, arrojó contenidos hídricos medios de 89,06% para “SD” y 75,31% para “LDS”, es decir, este último registró 13,75% (expresado como porcentaje de agua útil gravimétrica) menos agua, respecto del primero. Ello podría deberse, como se dijo anteriormente, a que el cultivo en “LDS” extrajo mayor cantidad de agua en profundidad, al respecto Orellana *et al.* (1990) en una experiencia de 7 ciclos de cultivo, llevada a cabo en un suelo franco arenoso compactado demostró que la

labranza profunda redujo la resistencia del suelo, estimuló el enraizamiento profundo y promovió un crecimiento radical rápido.

Por otro lado, las estimaciones de Evapo-Transpiración Real en el período **V3-4/R1** que fueron 162,05 mm para “**SD**”, mientras para “**LDS**” fueron 194,45 mm (este tema será tratado en amplitud en el apartado 4.2.3). Esta diferencia en la evapotranspiración real explicaría las variaciones en la lámina almacenada en todo el perfil, la misma fue de 27 mm (“**SD**”: 202,9 mm y “**LDS**”: 175,9 mm). Lo cual guarda relación con el contenido hídrico medio del perfil, en el cual se verifica que el tratamiento “**SD**” aumentó en este periodo de 11,63%, respecto el anterior; mientras que “**LDS**” disminuyó 5,07%.

#### 4.2.1.4. Estado reproductivo, inicio de formación de vainas (**R3**).

El muestreo correspondiente a **R3**, fue realizado el día 26 de marzo de 2005, a 25 días del anterior muestreo. En este período precipitaron 59 mm, siendo la última lluvia registrada de 5 mm, 8 días antes del muestreo.

En este estadio no se observaron diferencias significativas en los contenidos hídricos gravimétricos para los distintos sistemas de labranza, pero sí hubo diferencias significativas para la profundidad de 0-10 cm en la lámina almacenada, siendo los valores de “**SD**” mayores que “**LDS**” en 2,4 mm para dicha capa (**Tabla 9**). Esta diferencia podría deberse a una disminución en la dispersión de los valores del contenido hídrico de “**LDS**”.

En tanto, si se considera la lámina almacenada para todo el perfil estudiado, la diferencia es de 4,3 mm (“**SD**”: 158,1 mm y “**LDS**”: 153,8 mm), es decir que la diferencia de la lámina acumulada de la primera capa (2,4 mm) explicaría el 65,1% de la variación entre sistemas de labranza.

**Tabla 9: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en R3.**

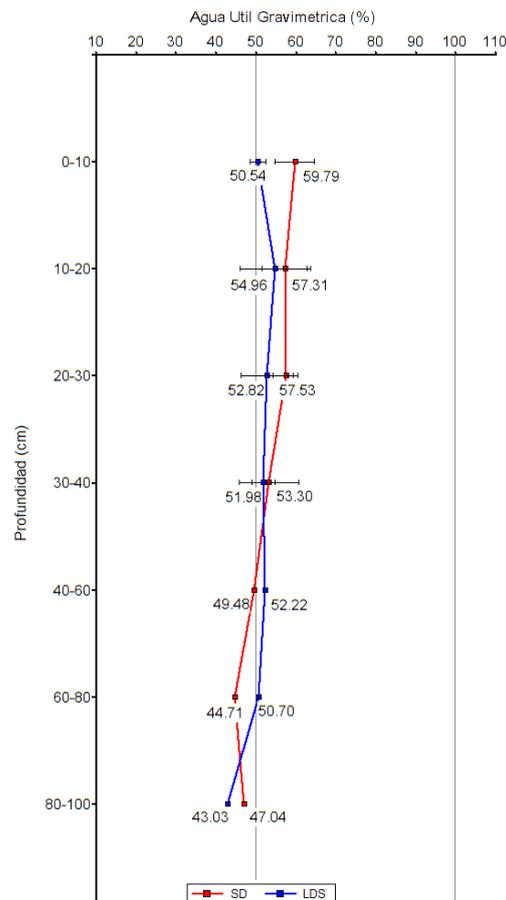
		Contenido hídrico del suelo					
		Gravimétrico (g/g)			Lámina (mm/capa)		
Momento	Prof (cm)	SD	LDS	p	SD	LDS	P
<b>R3</b> (26/03/2005)	<b>0-10</b>	12.73 a	13.84 a	0.1517	<b>16.77 a</b>	<b>14.37 b</b>	<b>0.0330</b>
	<b>10-20</b>	13.47 a	13.74 a	0.8322	18.55 a	16.80 a	0.3270
	<b>20-30</b>	13.00 a	13.53 a	0.5475	18.27 a	16.64 a	0.1952
	<b>30-40</b>	11.88 a	12.00 a	0.8762	15.60 a	15.44 a	0.8759

*Letras distintas para una misma profundidad, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) según Test de Tukey.*

En cuanto al contenido hídrico gravimétrico medio para el perfil analizado (0-100 cm), en **R3**, se observó una diferencia entre tratamientos de 1,85%, (“**SD**”: 52,74% y “**LDS**” 50,89%), mientras que en **R1** la misma era de 13,75%. Esta disminución en la diferencia de contenidos hídricos de los 2 sistemas de labranza podría deberse a diferencias en Evapo-Transpiración Real, ya que en “**SD**” fue 14,89 mm mayor que la de “**LDS**” (según las estimaciones del presente trabajo, este tema será abordado con mayor amplitud en el apartado 4.2.3).

Esta diferencia en contenido hídrico gravimétrico medio, se incrementa a 4,4%, si se considera la capa de suelo de 0-40 cm. De todos modos, esta tendencia de mayor contenido hídrico de “**SD**” por sobre “**LDS**” se revierte de 40-80cm de profundidad (**Figura 9**). A

diferencia de lo encontrado en este estudio, Gil (2005(b)), señala que bajo condiciones de humedad restringida, los patrones de extracción de agua por las raíces no siempre muestran una relación estrecha con la densidad de longitud de raíces, sino más bien con la disponibilidad de agua en el perfil, y con las propiedades de conductividad hidráulica del suelo. Aún con valores bajos de densidad de raíces, en las capas más profundas puede manifestarse una alta actividad radical a medida que el suelo se seca en las partes superiores, pudiendo extraer una cantidad considerable de agua del suelo, especialmente durante los periodos finales de desarrollo. Esto coincide con lo observado en “SD” para la capa de suelo de 40-80 cm de profundidad. En este sentido podría considerarse que la descompactación, al aumentar las tasas de infiltración del agua mejoraría su acumulación en los horizontes profundos, lo cual podría traducirse luego en mejoras en la productividad del cultivo.



**Figura 9: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en R3 (Las líneas verticales indican el 50 y 100 % del agua útil del perfil, las líneas horizontales asociadas a cada valor indican el error estándar).**

#### 4.2.1.5. Estado reproductivo, inicio de formación de las semillas (**R5**).

El muestreo correspondiente a **R5**, se realizó el día 16 de Abril de 2005, habiendo precipitado 10 mm desde el anterior muestreo y transcurridos 20 días desde el mismo. La última precipitación fue de 8 mm, registrándose 15 días antes del muestreo.

En este momento se pudo observar que los contenidos hídricos medios del perfil de suelo bajo estudio, para ambos tratamientos, mostraron una tendencia menos variable en profundidad.

Los valores medios del contenido de agua útil fueron 13,49% (expresados como porcentaje de agua útil) mayor en “**SD**” (con 38,17%) que en “**LDS**” (con 24,68%); siendo las diferencias en la lámina almacenada para todo el perfil de 23,6 mm a favor de “**SD**” (140,00 mm), por sobre “**LDS**” (116,54 mm). Esto podría deberse a una mayor exploración radical del cultivo, debido a la remoción del suelo producida en “**LDS**”, que además permitiría explicar el por qué “**LDS**”, redujo un 26,21% los contenidos hídricos medios de todo el perfil edáfico en relación a **R3**, mientras que “**SD**” solo lo hizo en 14,57%. Al respecto Gil (2005 (b)) señala que la compactación, además de limitar el desarrollo y crecimiento de las raíces, provoca en aquellas que logran penetrar, deformaciones, estrangulaciones y otras anomalías morfológicas que alteran el sistema de conducción hacia la parte aérea. En resumen, la compactación del suelo provoca una reducción del tamaño de poros y ocasiona una disminución del volumen de agua que pasa a través de ellos. Este concepto también explica por qué la compactación de un suelo afecta la velocidad de infiltración y el movimiento de agua y nutrientes hacia las raíces (Gil, 2005 (b)).

Las variaciones en los contenidos hídricos anteriormente citadas, para el período **R3-R5**, coinciden además con las estimaciones de evapotranspiración real (capítulo 4.2.3), siendo en “**LDS**” (con 39,35 mm) 10,49 mm mayor que en “**SD**” (con 28,86 mm), coincidiendo además con la producción de biomasa aérea total, expresada como materia seca, la cuál en este momento fue, en promedio, 1500 kgMS/ha más en “**LDS**” que en “**SD**”, aspecto que será tratado en el capítulo 4.4.

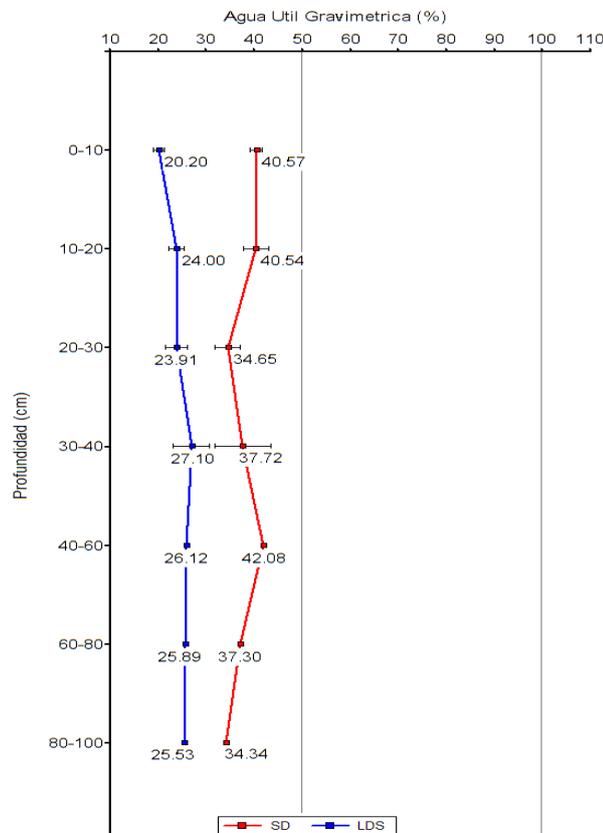
El análisis estadístico de los contenidos hídricos, permitió discriminar diferencias significativas entre tratamientos, para las capas comprendidas entre 0-30 cm del perfil estudiado; tanto en su expresión gravimétrica como en lámina acumulada (**Tabla 10**).

**Tabla 10: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en R5.**

		Contenido hídrico del suelo					
		Gravimétrico (g/g)			Lámina (mm/capa)		
Momento	Prof (cm)	SD	LDS	p	SD	LDS	P
R5 (16/04/2005)	0-10	9.10 a	11.54 b	0.0002	13.98 a	10.27 b	0.0001
	10-20	9.81 a	11.76 b	0.0064	15.88 a	12.24 b	0.0018
	20-30	9.73 a	10.94 b	0.0373	14.77 a	12.45 b	0.0114
	30-40	9.57 a	10.56 a	0.2013	13.72 a	12.44 a	0.2025

Letras distintas para una misma profundidad, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) según Test de Tukey.

En ambos tratamientos el contenido hídrico medio, expresado como porcentaje de agua útil, estuvo por debajo del 50% en toda la profundidad estudiada, siendo más marcado el bajo contenido hídrico en “LDS” que en “SD” (Figura 10).



**Figura 10: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en R5 (Las líneas verticales indican el 50 y 100 % del agua útil del perfil, las líneas horizontales asociadas a cada valor indican el error estándar).**

La mayor disminución en el contenido hídrico en “LDS” se podría atribuir a la persistencia de una menor resistencia mecánica para la exploración de las raíces en “LDS” respecto “SD”, tal cual lo observó Cacciavillani (2009) en **R3**, para esta misma experiencia. Esta baja proporción de agua útil se encuentra asociado además a los altos requerimientos hídricos por parte del cultivo, encontrándose el mismo en su inicio del período crítico respecto a la demanda hídrica (Andriani, 2006). Por otro lado, Ray y Sinclair (1998), señalan que la transpiración comienza a declinar rápidamente en soja, cuando la fracción de agua útil remanente en el suelo es menor a un tercio de la capacidad de campo. Mientras que la fijación simbiótica del N<sub>2</sub>, comienza a declinar cuando la fracción de agua útil remanente en el suelo, es equivalente a unos dos tercios de la capacidad de campo (Sinclair, 1986).

#### 4.2.1.6. Estado reproductivo, inicio de maduración (R7).

La toma de muestras correspondientes a **R7**, se realizó el día 5 de Mayo de 2005, habiendo transcurrido 19 días del anterior muestreo, siendo la única precipitación registrada de 15 mm en dicho período la del día 24 de Abril (11 días antes del muestreo correspondiente a **R7**). Por otro lado, el día 23 de Abril, se produjeron en el área bajo estudio temperaturas inferiores a 0°C (helada).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en los contenidos hídricos del suelo para los distintos sistemas de labranza, tanto en su expresión como lámina almacenada o gravimétricamente (**Tabla 11**).

**Tabla 11: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil ambos tratamientos de labranza en R7.**

		Contenido hídrico del suelo					
		Gravimétrico (g/g)			Lámina (mm/capa)		
Momento	Prof (cm)	SD	LDS	P	SD	LDS	P
<b>R7</b> <b>(05/05/2005)</b>	<b>0-10</b>	13.86 a	14.45 a	0.6482	17.51 a	15.64 a	0.2600
	<b>10-20</b>	11.40 a	11.86 a	0.5603	16.01 a	14.22 a	0.1407
	<b>20-30</b>	11.37 a	11.58 a	0.7986	15.63 a	14.56 a	0.3498
	<b>30-40</b>	9.24 a	9.31 a	0.8423	12.01 a	12.10 a	0.8432

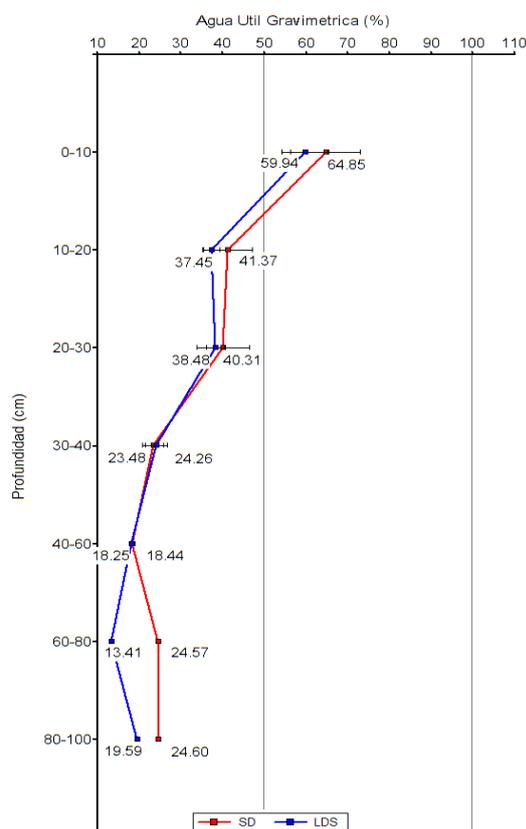
*Letras distintas para una misma profundidad, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) Según Test de Tukey.*

En el **Figura 11**, se puede observar que en este momento se produjo un aumento medio en el contenido hídrico, en relación al muestreo anterior, de 1,49% (expresado como porcentaje de agua útil gravimétrica) en “**SD**” y de 5,52%, en “**LDS**”, es decir este último aumentó 4,03% más que “**SD**”. Esta diferencia se incrementó a 12,1% al considerar la capa 0-40 cm, siendo el aumento de “**SD**” de 4,13%, mientras que “**LDS**” aumentó 16,23%. Es decir, “**LDS**” aumentó un 393% más que “**SD**” (tomando como base a este último). Muestra de ello es que mientras “**LDS**” aumentó 39,74% y 13,45%, en las capas de suelo 0-10 y 10-20 cm, respectivamente, “**SD**” lo hizo en 24,28% y 0,83%, en las mismas capas, respectivamente. No obstante, esto difiere de lo encontrado por Giayetto *et al.* (1992) señala que las altas compactaciones de suelos generan impedimentos para una adecuada infiltración de las lluvias en profundidad y provoca severos confinamientos superficiales del sistema de raíces y la consecuente disminución del volumen de suelo explorado. Ambos aspectos determinan la ocurrencia de déficits hídricos al incrementarse las pérdidas de agua por escorrentías superficiales y limitan su captación desde horizontes profundos. Estos autores

sostienen además, que los efectos de esta problemática sobre el crecimiento y producción, varían sustancialmente con las condiciones hídricas de cada estación de cultivo, siendo marcadamente disminuidos o enmascarados cuando las precipitaciones son abundantes y bien distribuidas en todo el ciclo.

En términos de lámina almacenada para el perfil estudiado, mientras “SD” pasó de 140,2 mm en **R5**, a 131,3 mm en **R7**, reduciéndose la misma en 8,9 mm, “LDS” aumentó 5,9 mm, de 116,6 mm en **R5** a 122,5 mm en **R7**.

Si se considera la diferencia en lámina almacenada, entre ambos sistemas de labranza para ambos momentos, mientras que para **R5** era de 23,6 mm (140,20 mm en “SD” y 116,6 mm en “LDS”) en **R7** esta diferencia se redujo a 8,8 mm (131,30 mm en “SD” y 122,50 mm en “LDS”).



**Figura 11: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en R7 (Las líneas verticales indican el 50 y 100 % del agua útil del perfil, las líneas horizontales asociadas a cada valor indican el error estándar).**

El comportamiento observado en este momento podría estar asociado a la reposición de agua en las capas comprendidas entre 0-30 cm, producida por la precipitación de 15 mm cuya lámina profundizó más en la condición de suelo que presentaba “LDS” respecto a

“SD”, mientras que por debajo de esta capa se registró una disminución en el contenido hídrico medio en ambos sistemas de labranza siendo la misma más marcada en “LDS” respecto “SD”, asociada a la extracción por parte del cultivo hasta el momento en que se registró la primer helada, cesando la demanda del cultivo a partir de este momento. Al respecto, Harrison *et al.* (1994) observaron que el efecto del subsolado condujo a un significativo aumento en la conductividad hidráulica de la capa compactada, en la longitud de raíces y en el porcentaje total de raíces presentes por debajo de los 30 cm, lo que finalmente se tradujo en un mayor rendimiento del cultivo, comparado con una situación no subsolada.

#### 4.2.1.7. Cosecha.

Fue realizada el día 21 de Mayo de 2005, tras 16 días del anterior muestreo. En este período sólo se registró una precipitación de 5 mm, 6 días antes de la toma de muestras.

Durante este período el cultivo dejó de demandar agua, ya que se registró la ocurrencia de una helada con anterioridad al inicio de esta fase.

Los contenidos hídricos gravimétricos medios para el perfil estudiado en “SD” fueron 37,16% (expresado como porcentaje de agua útil gravimétrica) y 38,56% para “LDS”, siendo la diferencia entre ambos valores 1,4%. Esta diferencia se incrementa a 8,75% si se considera la capa de suelo de 0-40cm (“SD”: 29,64% y “LDS”: 38,39%).

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido hídrico gravimétrico, entre los sistemas de labranza, únicamente para la profundidad de 0-10 cm (**Tabla 12**). Para la misma se registró un valor medio de 53,88% (expresado como porcentaje de agua útil gravimétrica) en “LDS”, mientras que en “SD” fue de 37,2%. Esta diferencia podría deberse, por un lado a la reposición de agua producto de la precipitación registrada; y por otro, a una menor evaporación directa del suelo en “LDS” respecto a “SD” debida, a mayor cobertura de suelo por la biomasa aérea del cultivo de soja producida, en el tratamiento con labranza, que fue superior a la de “SD”, el cual será tratado en el apartado 4.4 de este mismo capítulo. Al respecto suelo Ritchie (1998) señala que el rastrojo en superficie, reduce el efecto del viento, y disminuye la temperatura del suelo al reflejar una mayor porción de la radiación incidente, que el suelo desnudo, en consecuencia disminuye la evaporación.

En cuanto a la variación media del contenido hídrico, para el perfil estudiado, en el período **R7-Cosecha**, se observó una disminución del mismo en 2,5% (expresado como porcentaje de agua útil) para “SD” y un aumento de 8,36% para “LDS”. Al considerar la capa de 0-40 cm del perfil, se observaron disminuciones en contenido hídrico medio tanto para “SD” como para “LDS”, en 12,86% y 1,64%, respectivamente (**Figura 12**).

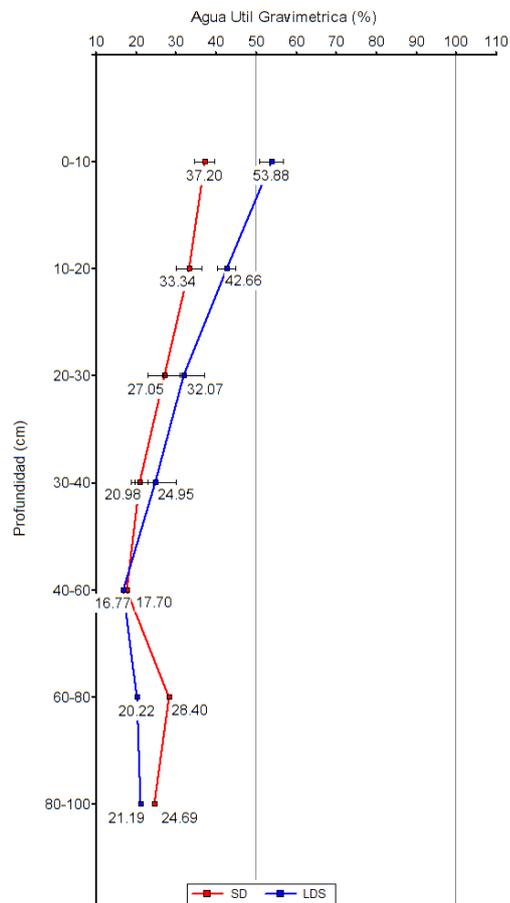
Al igual que para anteriores momentos estudiados en este capítulo, los contenidos hídricos en las capas mas profundas mostraron mayores valores para “SD”, por sobre “LDS”, agua del suelo que no llegó a ser utilizada por el cultivo en la condición “SD”.

Por último, si se observa lo ocurrido con la lámina almacenada, en “SD” disminuyó 6,8 mm de **R7** a **Cosecha**, mientras que “LDS” aumentó en 0,7 mm para igual período. Por otro lado, la diferencia entre sistemas de labranza en lámina almacenada, disminuyó, ya que en **R7** ésta era de 8,8 mm (“SD” en 131,3 mm y 122,50 mm en “LDS”) y en **Cosecha** de 1,3 mm (124,50 mm en “SD” y 123,20 mm en “LDS”), lo que indica que a final del ciclo del cultivo el contenido hídrico de todo el perfil edáfico estudiado fue similar en ambos tratamientos.

**Tabla 12: Contenido de agua gravimétrico (g/g) y lámina de agua (mm) para las diferentes capas del perfil de ambos tratamientos de labranza en Cosecha.**

		Contenido hídrico del suelo					
		Gravimétrico (g/g)			Lámina (mm/capa)		
Momento	Prof (cm)	SD	LDS	p	SD	LDS	P
Cosecha (21/05/2005)	0-10	11.13 a	13.13 b	0.0127	13.49 a	14.83 a	0.0697
	10-20	10.91 a	12.01 a	0.0748	14.73 a	14.99 a	0.6929
	20-30	10.08 a	10.65 a	0.4800	13.61 a	13.63 a	0.9843
	30-40	9.00 a	9.37 a	0.5108	11.71 a	12.18 a	0.5079

*Letras distintas para una misma profundidad, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) según Test de Tukey.*



**Figura 12: Contenido de agua del suelo expresado como porcentaje de agua útil en cada profundidad analizada, para cada tratamiento, en Poscosecha (Las líneas verticales indican el 50 y 100 % del agua útil del perfil, las líneas horizontales asociadas a cada valor indican el error estándar).**

## 4.2.2. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN CADA UNA DE LAS PROFUNDIDADES ESTUDIADAS.

### 4.2.2.1. Profundidad 0 a 10 cm

Esta profundidad se caracteriza por mostrar la mayor variabilidad en los contenidos hídricos a lo largo del período de análisis, respecto a las demás profundidades, coincidiendo con lo observado por Gil (2005 (b)), quien señala que generalmente los patrones de extracción de agua, muestran un mayor consumo en las partes más superficiales del perfil al comienzo del ciclo del cultivo, con una progresiva profundización a medida que avanza la estación de crecimiento del mismo. A medida que el contenido de agua de las capas más superficiales del suelo se va agotando, la extracción cambia hacia capas más profundas.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en los contenidos hídricos medios de la capa de suelo analizada, entre los diferentes tratamientos, para los momentos **R3, R5 y Cosecha**.

En **PreLabor**, el contenido hídrico de la capa fue 23,59% (gr/gr), almacenando la mayor lámina de todo el período de análisis, 28,59 mm.

A la **Siembra** el contenido de agua en ambos tratamientos mostró una disminución marcada respecto al momento de **PreLabor**, pese a haberse producido en dicho período una precipitación total de 20 mm, pudiendo atribuir esta variación a pérdidas de agua por evaporación directa debido a las condiciones de elevada demanda atmosférica, a la transpiración por parte de malezas presentes en el lote y a procesos de redistribución de agua en profundidad, entre otros aspectos. Estas disminuciones fueron del orden de 32,43% para **“LDS”**, mientras que en **“SD”** la misma fue de 37,73% (expresado como porcentaje de agua útil gravimétrico) (**Figura 13**). Al respecto, Allen *et al.* (1998) señalan que la evaporación del agua del suelo, es causada por el viento, las altas temperaturas, y por el déficit de presión de vapor de la atmósfera, y además influye el alto contenido de humedad en el horizonte superficial del suelo. A pesar del descenso registrado, el contenido hídrico de esta capa en ambos tratamientos para el momento **PostSiembra**, estuvo próximo al 100% de agua útil, siendo en **“LDS”** un 5,30% mayor que **“SD”**.

En **V3-4** ocurrió algo similar con respecto al momento anterior, aunque en este caso los contenidos de agua en ambos tratamientos estuvieron próximos al 50% del agua útil, pese a haberse producido una precipitación total acumulada en el período de 202 mm, pudiendo atribuir la pérdida de agua a similares aspectos que los citados en el período anterior. En este caso la cobertura del entresurco producida por el canopeo del cultivo en ambos tratamientos promediaba el 40% (este apartado será tratado con mayor amplitud en el apartado 4.3.2).

Para los momentos **PostSiembra** y **V3-4**, se observaron valores medios porcentuales de agua útil levemente mayores en **“LDS”** que en **“SD”**. En **R1** esta situación se revierte,

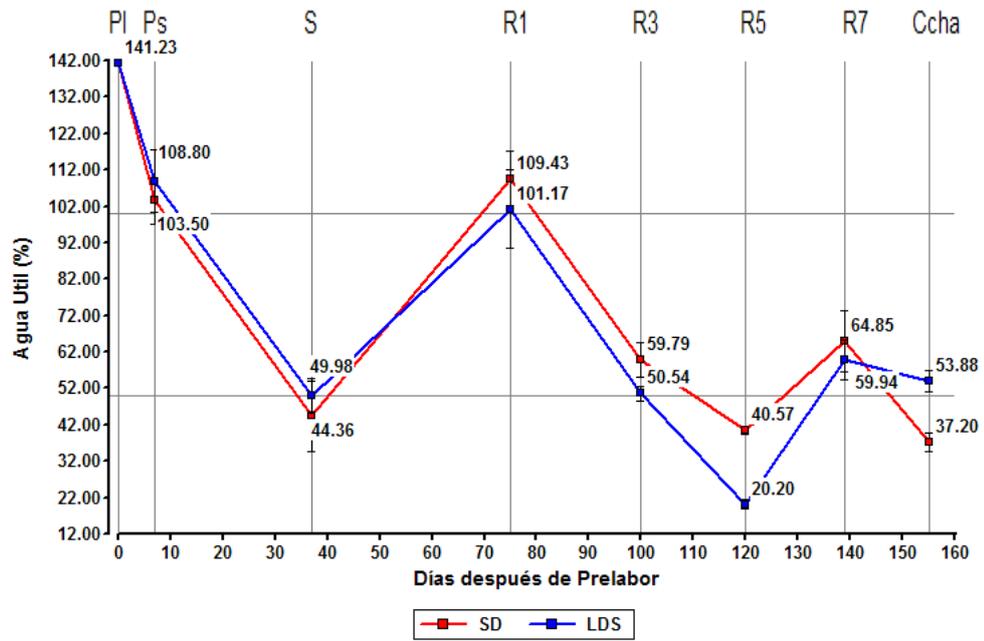
pasando a presentar un contenido hídrico mayor “SD” en 8,26% respecto a “LDS”. En ambos casos el perfil repuso su capacidad de agua útil al 100%. En este momento, la demanda evaporativa habría disminuido con respecto al momento anterior, además de que la cobertura del entresurco era del 100% en ambos tratamientos, para este momento.

En ambos tratamientos, en los estadios **R3** y **R5** la variación en el contenido hídrico de esta capa mostró una tendencia declinante, a valores cercanos y por debajo del 50% del agua útil, respectivamente, siendo el contenido hídrico alcanzado en **R3** (en la expresión de lámina almacenada) y **R5** (en su expresión gravimétrica y como lámina) significativamente menor en “LDS” que en “SD”. Este comportamiento podría estar asociado al período de máxima extracción de agua por parte del cultivo. Al respecto Andreani (2006) señala que **R5** es el inicio del período más crítico del cultivo, ya que el estrés hídrico provoca reducciones simultáneas del número de vainas, del número de granos por vainas y del peso de los granos, sin que haya probabilidad de compensación. Deficiencias hídricas severas en este período pueden producir pérdidas de rendimiento muy importantes (40% o más del rendimiento).

En **R5**, como ya fuera comentado con anterioridad, se observaron diferencias estadísticamente significativas en contenido hídrico tanto en su expresión gravimétrica, como volumétrica. Mientras “LDS” disminuyó entre **R3** y **R5** su contenido medio porcentual de agua útil en 30,34%, “SD” lo hace en 19,22%, generando la mayor diferencia de agua útil para la profundidad 0-10 cm, 20,37% (expresado como porcentaje de agua útil) o 3,7 mm (expresado como lamina media almacenada para esta capa).

Hacia **R7**, las diferencias en el contenido hídrico medio, entre ambos sistemas de labranza comienzan a disminuir, siendo en dicho momento 4,91% (expresado como porcentaje de agua útil), sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Aumentando el contenido hídrico entre **R5** y **R7** de “LDS” 39,74% (de su porcentaje de agua útil), mientras “SD” lo hizo en 24,28%.

En **Cosecha**, se observaron diferencias estadísticamente significativas en los contenidos hídricos gravimétricos para los sistemas de labranza, siendo “LDS” 53,88% y “SD” 37,20% (expresado como porcentaje de agua útil), arrojando una diferencia entre ambos de 16,68% a favor del primero. Esta diferencia fue debida a que mientras “LDS” disminuyó su contenido hídrico en 6,06%, de **R7** a **Cosecha**, “SD” lo hizo en 27,65%.



**Figura 13: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 0-10 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio (Las líneas horizontales indican el 50 y 100% del agua útil del perfil, las líneas verticales indican los momentos de evaluación).**

#### 4.2.2.2. Profundidad 10 a 20 cm

En esta profundidad sólo se observaron diferencias estadísticamente significativas en los contenidos hídricos medios, entre los distintos tratamientos, en el momento **R5**.

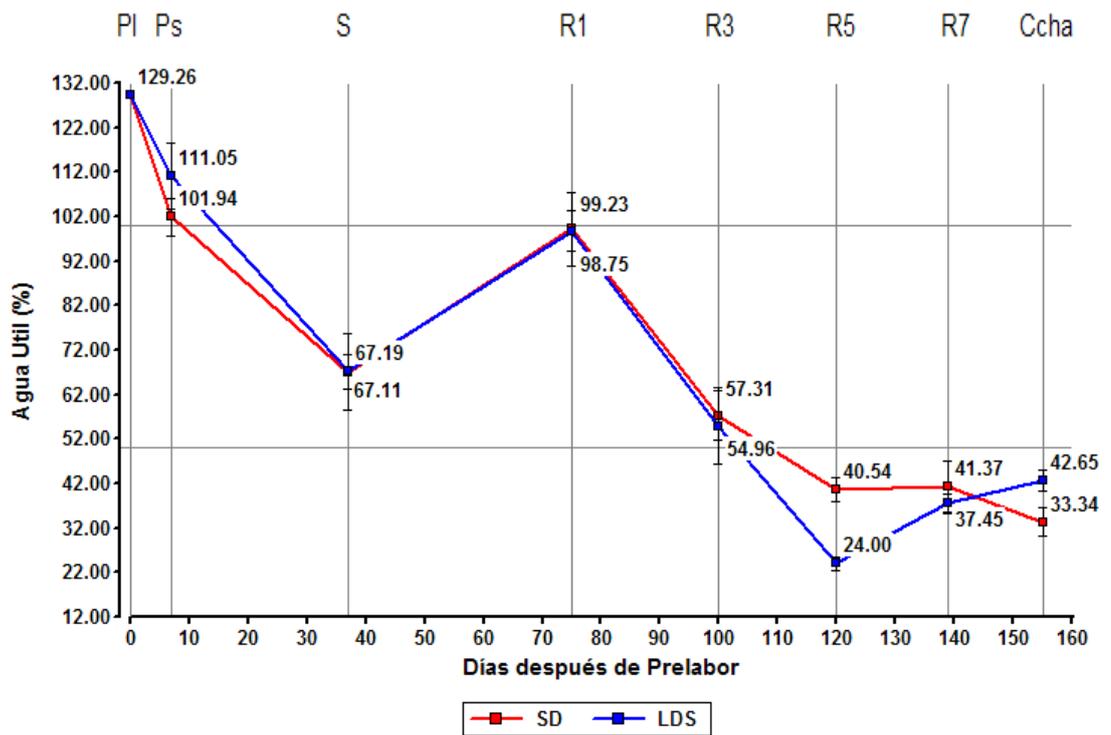
**PreLabor** presentó el mayor contenido hídrico observado para esta profundidad, con un valor de 129,26% expresado como porcentaje de agua útil (**Figura 14**), almacenando la mayor lámina de agua útil durante todo el ciclo del cultivo para esa profundidad, siendo de 30 mm.

De igual manera que para la profundidad anterior en **PostSiembra** se observó una disminución en el contenido hídrico edáfico, tendencia que se prolongó hasta el período **V3-4**, aunque en este caso la disminución llevó a los contenidos hídricos a valores próximos al 70% del agua útil, para ambos tratamientos.

En **R1** hubo una reposición de agua en el suelo, alcanzando valores próximos al 100% del agua útil del mismo para ambos tratamientos.

Luego de este momento las diferencias en los contenidos hídricos medios entre los sistemas de labranza comenzaron a ser cada vez más marcadas a favor de “**SD**”, pasando de 0,48% a 2,35% en **R3** y 16,54% en **R5**, siendo en este momento las diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de labranza, tanto en su contenido hídrico gravimétrico como volumétrico. Esto se debería a una mayor extracción de agua por el cultivo en “**LDS**” dado que mientras para este sistema de labranza el contenido hídrico disminuyó en el período **R3-R5**, 30,96%, “**SD**” lo hizo en 16,77%. Cuando el agua es un factor limitante en el ciclo del cultivo, el subsolado puede incrementar la humedad y el N disponible, por un aumento en el espacio explorado por las raíces (Sojka *et al.* 1990), tal como ocurre en “**LDS**”. En tanto, Cerana y Nicollier (1969) manifiestan que la destrucción de una capa densa, puede no reflejarse en un mayor crecimiento de las raíces y de las plantas, cuando las condiciones climáticas son lo suficientemente satisfactorias, como para que la capa no genere una resistencia mecánica apreciable.

En el período **R5-R7** el contenido hídrico medio de “**SD**” aumentó 0,83%, mientras que “**LDS**” lo hizo en 13,45%, disminuyendo las diferencias entre tratamientos a 3,92%; para luego, en **Cosecha**, pasar las mismas a ser diferencias a favor de “**LDS**” en 9,32% tras recargar el perfil 5,21% de agua útil, mientras que “**SD**” disminuyó en 4,11%. Esto se debería no sólo a una mejora en la dinámica hídrica (infiltración), sino también a la cobertura del suelo por la biomasa aérea del cultivo para cada sistema de labranza, en finales del período de estudio.



**Figura 14: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 10-20 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio (Las líneas horizontales indican el 50 y 100% del agua útil del perfil, las líneas verticales indican los momentos de evaluación).**

#### 4.2.2.3. Profundidad 20 a 30 cm.

En esta capa de suelo, la tendencia observada en la variación del contenido hídrico durante el ciclo del cultivo, fue similar a la ocurrida en la capa suprayacente (**Figura 15**).

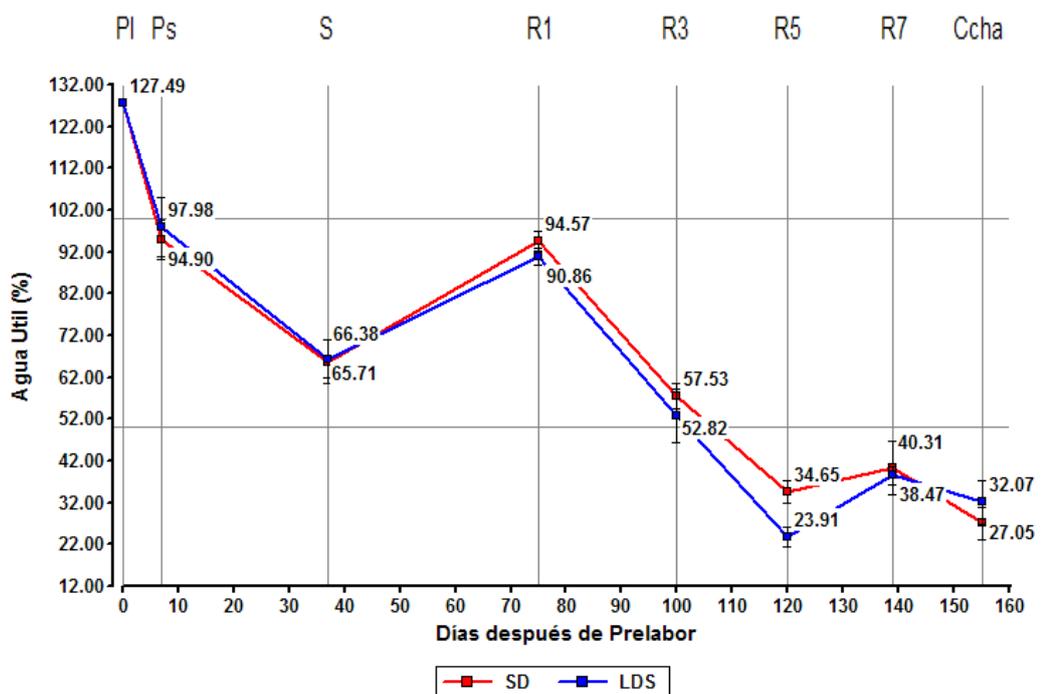
Se observaron diferencias estadísticamente significativas en los contenidos hídricos medios, entre los distintos tratamientos, para los momentos **R1** y **R5**.

Tras la medición realizada en **PreLabor** se registraron disminuciones en los contenidos hídricos, de su máximo valor para esta profundidad, hasta el momento **V3-4**, en que los mismos se mantuvieron próximos al 65% del agua útil.

En **R1**, se registraron mayores contenidos hídricos en “**SD**”, desde este momento y hasta **R7**. Elevando las diferencias registradas en **R1** (diferencias estadísticamente significativas en contenido hídrico volumétrico) de 3,71%, a 4,71% en **R3** y 10,74% en **R5** (diferencias significativas en contenido hídrico gravimétrico y volumétrico).

En **R7**, las diferencias en contenido hídrico disminuyeron a 1,83%, tras registrarse aumentos en el mismo de 14,57% para “**LDS**”, mientras que “**SD**” lo hiciera en 5,66%.

En **Cosecha**, la diferencia se incrementó a favor de “**LDS**” en 5,02%. Tras registrar este sistema de labranza disminuciones medias, en el período **R7-Cosecha**, de 6,41%, mientras que “**SD**” lo hiciera en 13,26%.



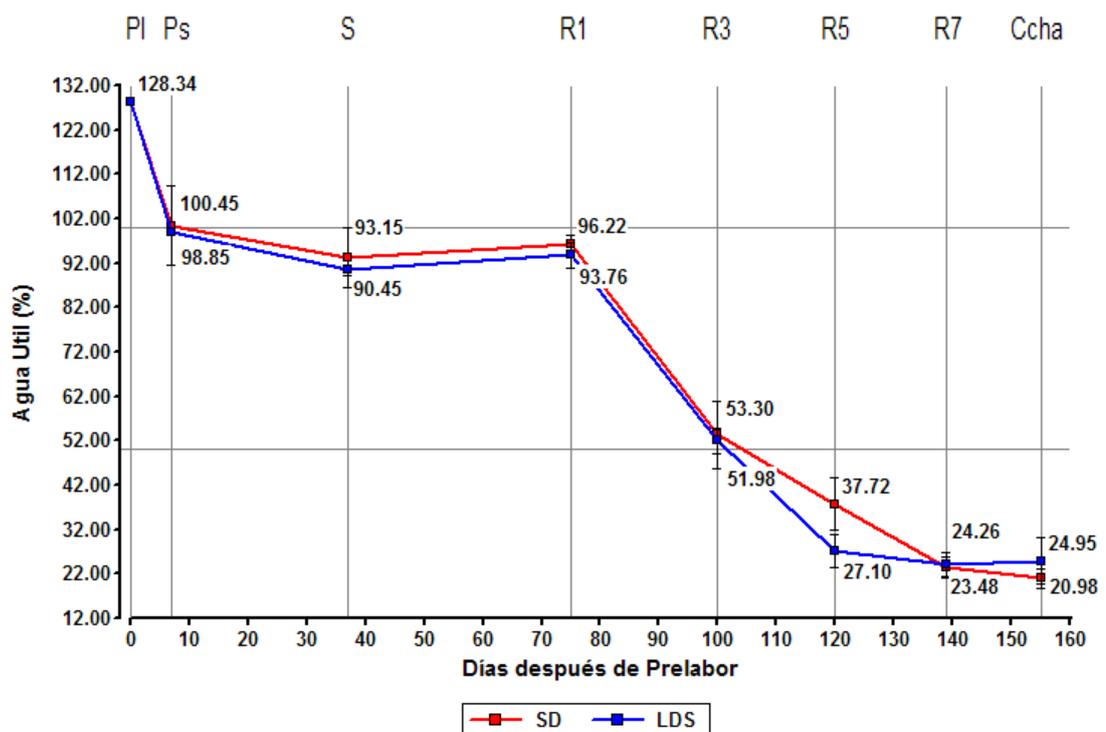
**Figura 15:** Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 20-30 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio (*Las líneas horizontales indican el 50 y 100% del agua útil del perfil, las líneas verticales los momentos de evaluación*).

#### 4.2.2.4. Profundidad 30 a 40 cm.

La capa del perfil analizado de 30 a 40 cm de profundidad no presentó diferencias estadísticamente significativas, en los contenidos hídricos medios, respecto a los diferentes tratamientos, aunque en **R5** se volvió a manifestar la mayor diferencia entre ambos.

El contenido hídrico al inicio del estudio, **PreLabor**, fue el más alto para todo el periodo de análisis, almacenando 24,6 mm en dicha capa o 128,35% del contenido hídrico, expresado como porcentaje de agua útil (**Figura 16**).

En **PostSiembra**, de igual manera que en las anteriores profundidades analizadas, en ambos tratamientos se observaron disminuciones en el contenido hídrico medio respecto a **PreLabor**, alcanzando valores próximos al 100% del agua útil, que se mantuvieron hasta **R1**. A partir de esta etapa, los mismos descendieron a aproximadamente el 50%, en **R3**, este comportamiento continuó hasta el momento de **Cosecha**, alcanzando valores próximos al 30%, 24% y 22% (expresado como porcentaje del agua útil) en **R5**, **R7** y **Cosecha**, respectivamente.

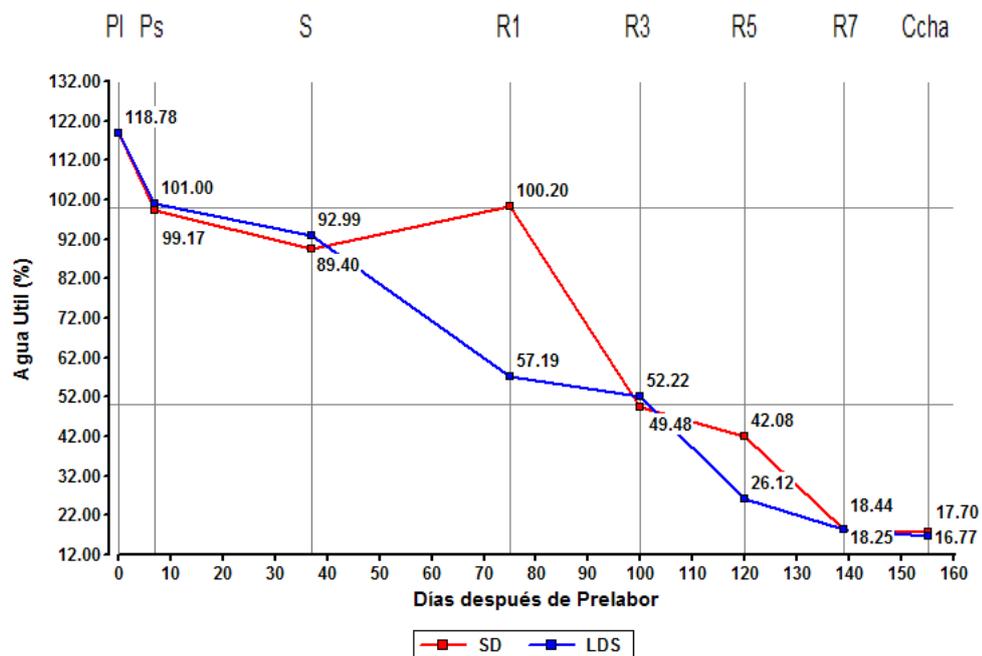


**Figura 16:** Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 30-40 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio (Las líneas horizontales indican el 50 y 100% del agua útil del perfil, las líneas verticales los momentos de evaluación).

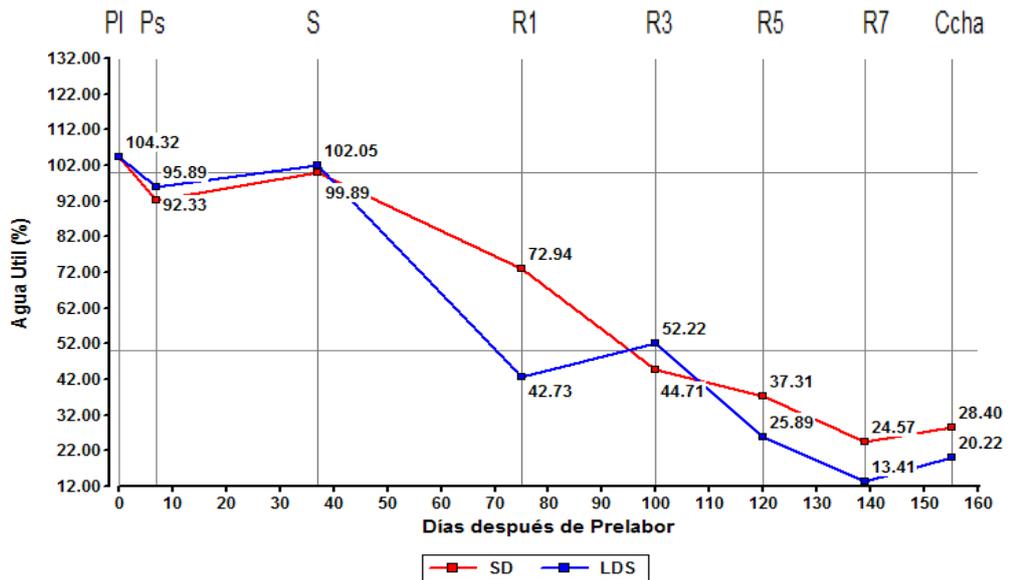
#### 4.2.2.5. Profundidad 40 a 100 cm.

En este espesor del perfil edáfico, los contenidos hídricos medios de ambos tratamientos mostraron una tendencia declinante a partir del estadio **R1** hasta **R7**. Sin embargo, en las capas de 40-60 cm y de 60-80 cm, la tendencia presenta variaciones, debidas al efecto de la labranza, ya que “SD” mostró mayor contenido de agua que en “LDS”, especialmente en el estadio **R1** y **R5**. En **R1**, “SD” presentó 100 y 73 % del agua útil, en las capas de 40-60 cm y 60-80 cm, respectivamente, mientras que “LDS” presentó 57 y 43%, para similares profundidades. Y en **R5** “SD” presentó un contenido de agua útil del 42 y 37 % de 40-60 y 60-80 cm, respectivamente; mientras que “LDS”, para ambos espesores presentó un 26% del agua útil (**Figuras 17-18**).

Este comportamiento observado podría estar asociado al efecto de fisuramiento de la capa compactada, generado por la labranza de descompactación subsuperficial; que ocasionaría, una mayor exploración del perfil por las raíces del cultivo, y por lo tanto una mayor extracción de agua, que en el tratamiento sin labranza. Al respecto Vepraskas y Miner (1986) y Orellana *et al.* (1990) encontraron que el número de raíces, creciendo por debajo de la capa originalmente densificada, se había incrementado en las parcelas subsoladas a diferencia de lo ocurrido en aquellas no subsoladas.

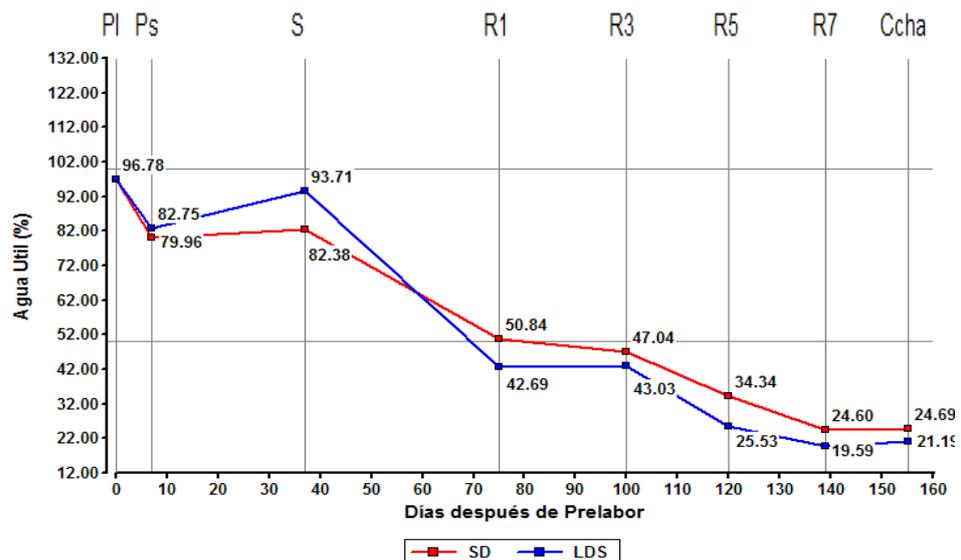


**Figura 17: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 40-60 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio (Las líneas horizontales indican el 50 y 100% del agua útil del perfil, las líneas verticales los momentos de evaluación).**



**Figura 18: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 60-80 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio (Las líneas horizontales indican el 50 y 100% del agua útil del perfil, las verticales los días transcurridos desde prelabor para cada momento de evaluación).**

En el espesor de 80-100 cm, las variaciones en el contenido hídrico medio, debidas a la labranza se minimizan, encontrándose el contenido hídrico del perfil de ambos tratamientos, próximos al 90% del agua útil, durante el período vegetativo. Desde inicios del periodo reproductivo los contenidos hídricos se mantuvieron por debajo del 50 % del agua útil, hasta **Cosecha (Figura 19)**. Registrándose, a partir de **R1**, los contenidos hídricos levemente superiores de “SD” en 4,01%, 8,81%, 5,01% y 3,50%, para **R3, R5, R7** y **Cosecha**, por sobre “LDS”, respectivamente.



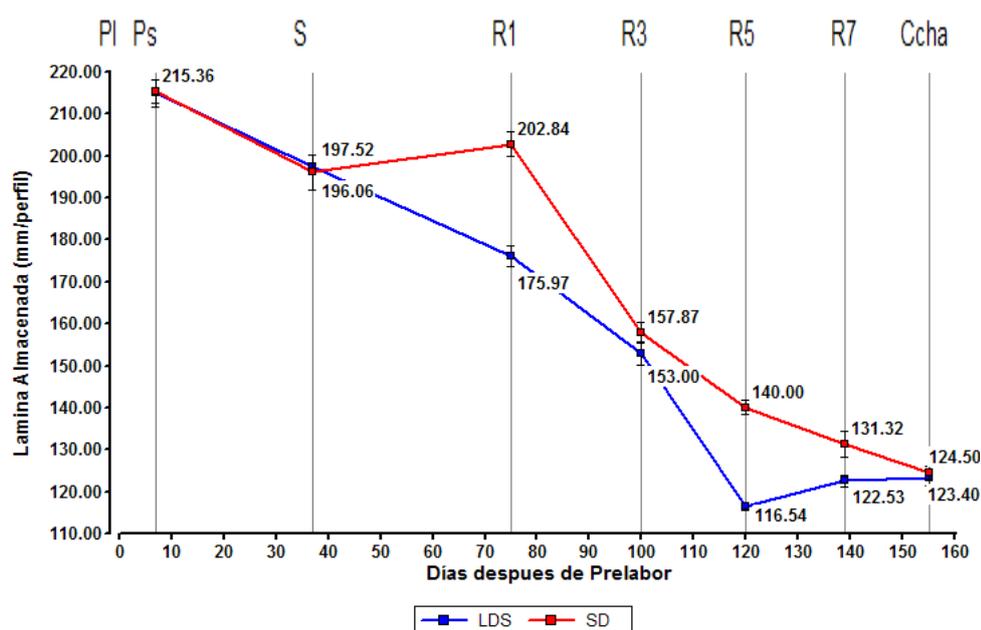
**Figura 19: Evolución del contenido de agua útil (%), de la capa 80-100 cm en los dos tratamientos del perfil de suelo bajo estudio (Las líneas horizontales indican el 50 y 100% del agua útil del perfil, las líneas verticales los momentos de evaluación).**

A partir de lo analizado hasta el momento, se podría sostener que hubo un efecto directo de la labranza de descompactación subsuperficial sobre el contenido hídrico del suelo en los primeros 40 cm del mismo, debido al efecto de fisuramiento de la estructura, que se manifestó especialmente en los estadios reproductivos **R1**, **R3**, **R5** y **R7**, donde la extracción por parte del cultivo fue mayor, probablemente por una exploración más intensa del mismo (mayor DLR).

A partir de esta profundidad hasta los 80 cm, se podría sostener que también hubo un efecto indirecto de la labranza, al generar condiciones físicas del perfil que propiciaron una mejor exploración radical en dicho espesor.

Se pudo observar una mayor recarga hídrica del perfil en “LDS” respecto a “SD”, para los momentos de **PostSiembra** y **V3-4**, siendo la misma más marcada en las capas más superficiales del suelo.

Al evaluar la evolución de la lámina total almacenada del perfil en ambos tratamientos se apreció que al inicio y al final del ciclo del cultivo, ambas situaciones mostraron un contenido de agua similar, sin embargo durante los diferentes estadios fenológicos “LDS” presentó una menor lámina acumulada que “SD” (**Figura 20**), fortaleciendo lo dicho precedentemente.



**Figura 20:** Evolución de la lámina de agua total almacenada en el suelo de ambos tratamientos, durante el ciclo del cultivo (Las líneas verticales los momentos de evaluación).

#### 4.2.3. ESTIMACIONES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL:

La evapotranspiración real (ETR) se vio afectada por el sistema de labranza, ello puede observarse en los valores estimados de  $ETR_{Total}$  (Siembra/R7), ya que mientras en “SD” fue de 487,8 mm/ciclo, en “LDS” fue de 524,8 mm/ciclo. Esto es, 7,6% mayor en “LDS”, respecto a “SD” (Tablas 13-14).

**Tabla 13: Componentes del balance hídrico (expresados en forma de lámina de agua acumulada en el periodo analizado) empleados para el cálculo de ETR del cultivo de soja en “SD”.**

SD	Hº Inicio	Hº Final	Precipitación	Escurrimiento	ETR
Siembra/V3-4	215.36	196.05	202	51.1	170.20
V3-4/R1	196.05	202.84	175	6.16	162.05
R1/R3	202.84	157.86	59	0	103.97
R3/R5	157.86	139.00	10	0	28.85
R5/R7	139.00	131.32	15	0	22.68
<b>TOTAL</b>	<b>911.13</b>	<b>827.09</b>	<b>461</b>	<b>57.26</b>	<b>487.78</b>

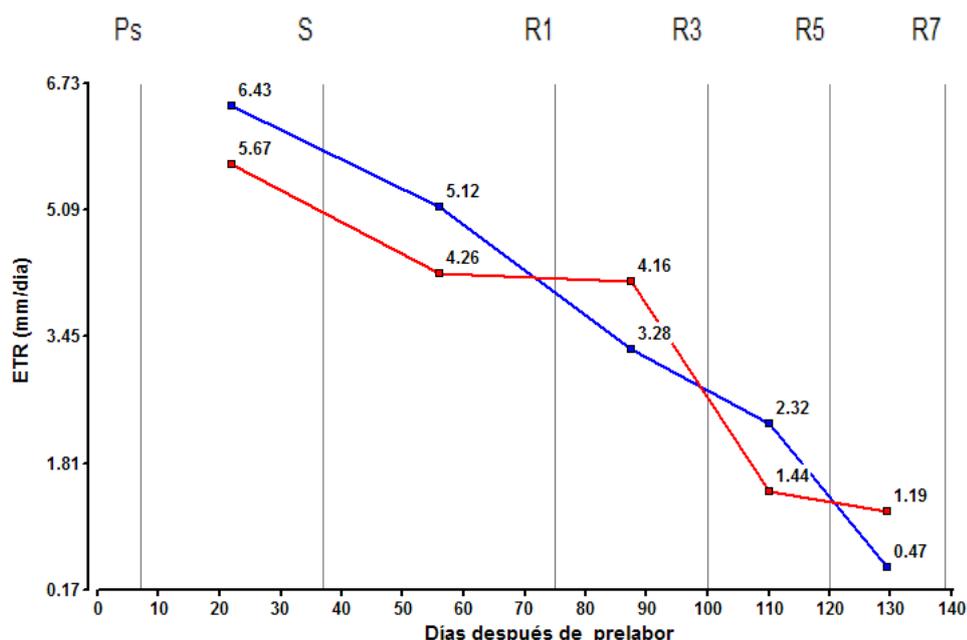
**Tabla 14: Factores (expresados en forma de lámina de agua acumulada en el periodo analizado) empleados para el cálculo de ETR del cultivo de soja en “LDS”.**

LDS	Hº Inicio	Hº Final	Precipitación	Escurrimiento	ETR
Siembra/V3-4	214.98	197.55	202	26.5	192.93
V3-4/R1	197.55	175.97	175	2.13	194.45
R1/R3	175.97	145.88	59	0	81.97
R3/R5	145.88	116.54	10	0	46.47
R5/R7	116.54	122.53	15	0	9.01
<b>TOTAL</b>	<b>850.93</b>	<b>758.47</b>	<b>461</b>	<b>28.63</b>	<b>524.83</b>

Para los períodos **Siembra-R1** y **R3-R5** se observó mayor ETR en “LDS” que en “SD” (Figura 21), en 55,1 mm y 17,6 mm, para ambos períodos y tratamientos, respectivamente. Esto como ya fuere tratado con anterioridad, podría deberse a mayor evaporación directa para el período **Siembra-R1** (antes del cierre de surco), y en el segundo período a las mejores condiciones del suelo para el desarrollo y exploración de las raíces en “LDS” que en “SD”, en momentos de alta demanda hídrica del cultivo.

Durante los períodos **R1-R3** y **R5-R7** las estimaciones de ETR, arrojaron mayores valores para “SD” por sobre “LDS”, en 22 mm y 13,7 mm, para ambos períodos y tratamientos, respectivamente. Esto podría deberse a que en el período **R1-R3** la disminución en el contenido hídrico de la capa del perfil de 40-80 cm, fue más marcada en

“SD” que en “LDS”, en la que ya el contenido hídrico había disminuido con anterioridad (en R1), probablemente asociado a una exploración más temprana del perfil en “LDS” que en “SD”, mientras que en esta última pudo haber habido una exploración de raíces más marcada en R3. Por otro lado en el período R5-R7 la mayor ETR en “SD” podrían deberse a que en este momento mientras en “SD” los contenidos hídricos continuaron disminuyendo, en “LDS” se observaron recargas hídricas en el perfil, debidas probablemente, a la mayor cobertura del suelo (por la mayor biomasa aérea, que tras la primer helada, produjo la caída de las hojas) y mayor infiltración de agua (por mejoras en las condiciones físicas del perfil) en “LDS” que en “SD”.



**Figura 21: Evapotranspiración real estimada para cultivo de soja bajo dos sistemas de labranza: “SD” y “LDS”** (Las líneas verticales indican los momentos de evaluación).

Es de destacar respecto a los componentes del balance realizado, las diferencias observadas en el escurrimiento estimado para cada tratamiento, que de ser validadas a campo mostrarían el efecto beneficioso de las labores de descompactación subsuperficial en el proceso de infiltración del agua y la consecuente disminución de su pérdida por escurrimiento superficial.

### 4.3. COBERTURA:

#### 4.3.1. COBERTURA DE RASTROJO PRELABRANZA.

Las mediciones de cobertura de rastrojo superficial, realizadas al inicio de los tratamientos, arrojaron valores medios de 78,75% en “SD” (Fotografía 11.a) y de 56,50% en “LDS” (Fotografía 11.b), presentando estos resultados diferencias estadísticamente significativas (Tabla 15).



**Fotografías 11.a y 11.b: Imágenes de cobertura de rastrojo superficial, pre y postlabranza, respectivamente.**

La labranza de descompactación produjo un enterrado del 22,25% del rastrojo de la condición prelabor, permaneciendo en superficie como cobertura remanente el 71,75% del mismo. Este comportamiento fue coincidente con lo observado por Cholaky (2003), quien evaluó el efecto de un subsolador alado sobre la cobertura superficial.

**Tabla 15: Cobertura superficial prelabor (SD) y postlabor (LDS), porcentaje de residuo enterrado, y porcentaje cobertura remanente.**

Cobertura Superficial		Valor de p	Residuo Enterrado (%)	Cobertura Remanente (%)
Prelabor	Postlabor			
78.75% a	56.50% b	0.0004	22.25	71.75

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según Test de Tukey.*

El porcentaje de cobertura vegetal postlabor superó el 50%, valor a partir del cual según Griffith *et al.* (1986), se incrementa la humedad del suelo y se reduce la susceptibilidad a la erosión por el agua y el viento (Fotografía 12).



**Fotografía 12: Imagen de cobertura PostLabor (LDS).**

El porcentaje de cobertura de residuo, tiene influencia en el encostramiento superficial y la escorrentía. La cobertura del suelo absorbe la energía cinética de la lluvia, evitando su golpe directo sobre el suelo. Manning y Fenster (1977) mostraron que la erosión se redujo exponencialmente con la cobertura del suelo por residuos vegetales, obteniéndose la máxima reducción entre 0 y 30% de la superficie cubierta y poco efecto con más cobertura, lo que llevó a la definición de "laboreo conservacionista" para cualquier sistema de preparación del suelo que deje 30% o más de la superficie cubierta a la siembra (Allmaras *et al*, 1991).

Kohnke y Bertrand (1959) admitieron que la cobertura de  $2/3$  o  $3/4$  de la superficie del suelo sería suficiente para protegerlo del impacto de la lluvia y, prácticamente, eliminar el transporte de suelo por salpicadura.

En este sentido, la labranza de descompactación subsuperficial ofrece una alternativa de manejo sustentable de la condición superficial al producir un enterramiento de solo el 22% del rastrojo inicial.

#### 4.3.2. COBERTURA DEL ENTRESURCO.

Los valores registrados fueron sometidos a Análisis de la Varianza, sin observarse diferencias significativas entre los mismos respecto a los sistemas de labranza (**Fotografías 13.a y 13.b**).



**Fotografías 13.a y 13.b: Imágenes del entresurco en V3-4, para "SD" (izquierda) y "LDS" (derecha).**

No obstante, se pudo apreciar una diferencia media de 3,65% a favor de “LDS”, con un mayor desarrollo del canopeo o cobertura del entresurco (**Tabla 16**). Similares valores fueron observados por Montanari (2008), quien encontró una diferencia de casi 4 cm a favor del **SD<sub>CS</sub>** (Siembra Directa con Subsolador Alado).

**Tabla 16: Cobertura del entresurco en V3-4 para los dos sistemas de labranza, “SD” y “LDS”.**

Cobertura del Entresurco (%)		p
SD	LDS	
39.81 a	43.46 a	0.4824

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según Test de Tukey.*

En **R1**, el cultivo en ambos tratamientos había cerrado completamente el entresurco (**Fotografía 14**). Pese a ello, la diferencia registrada en **V3-4** indicaría que el laboreo incrementó la velocidad en el desarrollo inicial de área foliar del cultivo.



**Fotografía 14: Imagen de cobertura del entresurco en R1 para “LDS” y “SD”.**

Cirilo y Andrade, (1994) señalaron que la tasa de expansión foliar responde marcadamente a la disponibilidad de recursos: deficiencias de agua y/o nutrientes reducen la tasa de expansión foliar, mientras que la duración no se ve afectada. Esta diferencia entre ambas labores puede estar correspondida a un mayor desarrollo radical del cultivo que considerando una tasa de crecimiento de raíces de 13 mm/día según lo planteado por Gil (2005 (b)), para el estadio **V3-4**, las raíces habrían explorado hasta alrededor de 30 cm de profundidad, produciéndose en “LDS” una mayor captación de agua por las raíces que en “SD” debido a la mejora en las condiciones físicas del perfil generadas por la descompactación subsuperficial, aspecto que se sustenta en la mayor disminución observada en el contenido hídrico, en dicho espesor, desde **postsiembra** a **V3-4** en “LDS” respecto a “SD”.

#### 4.4. BIOMASA AÉREA Y TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO:

La acumulación de biomasa aérea presentó diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos, únicamente para el momento de **Cosecha**. A pesar de ello, los valores medios de “LDS” en los distintos momentos, siempre se encontraron por sobre los de “SD” (**Fotografía 15**).

Los valores medios registrados de producción de biomasa aérea, como así también los niveles de significación se pueden observar en la **Tabla 17**.



**Fotografía 15:** Imagen de 10 plantas de soja tomadas al azar, del área bajo estudio, en R1, de los tratamientos “SD” (izquierda) y “LDS” (derecha).

**Tabla 17:** Evolución de biomasa aérea de cultivo de soja, para dos sistemas de labranza; “SD” y “LDS”.

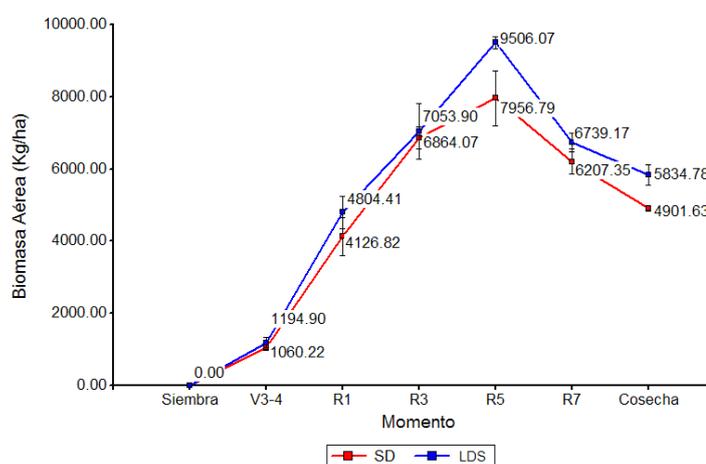
MOMENTOS	Biomasa Aérea		p
	SD	LDS	
	(gr MS/planta)		
V3-4	2.618 a	3.025 a	0.3887
R1	10.190 a	12.163 a	0.3228
R3	16.948 a	17.858 a	0.6867
R5	19.646 a	24.066 a	0.0853
R7	15.327 a	17.061 a	0.1786
<b>Cosecha</b>	<b>12.103 a</b>	<b>14.772 b</b>	<b>0.0214</b>

*Letras distintas para un mismo momento indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según Test de Tukey.*

En lo que respecta a biomasa aérea, entre los tratamientos, las mayores diferencias se observaron en **R5**, a pesar de que no fueron estadísticamente significativas, posiblemente debido a la gran dispersión de los valores registrados en el tratamiento “SD”. En este momento, “LDS” presentó 22,5% (1550 Kg/ha) más de biomasa aérea total que “SD”. Estos valores se corresponden además con los cálculos realizados en las estimaciones de **ETR** del período **Siembra-R5**, cuando “LDS” evapotranspiró 50,75 mm más que “SD” (apartado 4.2.3 del presente capítulo). Por otro lado, en este momento se produjeron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de agua de los primeros 30 cm del perfil estudiado, a favor de “SD” por sobre “LDS” (apartado 4.2.1.5.) debido a la extracción diferencial de agua.

A su vez en este momento, **R5**, en ambos tratamientos se observaron los mayores valores medios de biomasa aérea total de todo el período de estudiado, dado que 7 días después del mismo, se produjo un descenso marcado de la misma debido a las heladas que se registraron en el área de la experiencia, **Figura 22**.

Como ya se mencionó antes, sólo en **Cosecha**, hubo diferencias estadísticamente significativas en biomasa aérea total del cultivo a favor de “LDS”, siendo la misma 22,1% (933 Kg/ha) por sobre “SD”.



**Figura 22: Evolución de la producción de biomasa aérea total del cultivo de soja, en dos sistemas de labranza: “SD” y “LDS”.**

Condiciones favorables de temperatura, radiación solar, disponibilidad de agua y de nutrientes y buen estado estructural del suelo, contribuyen a una mayor Tasa de Crecimiento de Cultivo (**TCC**). Éste es el índice más significativo para caracterizar el crecimiento del canopeo e indica la acumulación de materia seca por unidad de superficie de suelo por unidad de tiempo (Baigorri *et al.*, 2003). La **TCC** promedio diaria fue de 65,76 y 78,56 kg de MS ha/día, para “SD” y “LDS”, respectivamente, para el período **Siembra-R7**, siendo la **TCC** media de “LDS” 19,5% mayor a la de “SD”. Estos valores están dentro de los parámetros reportados por Baigorri *et al.* (2003).

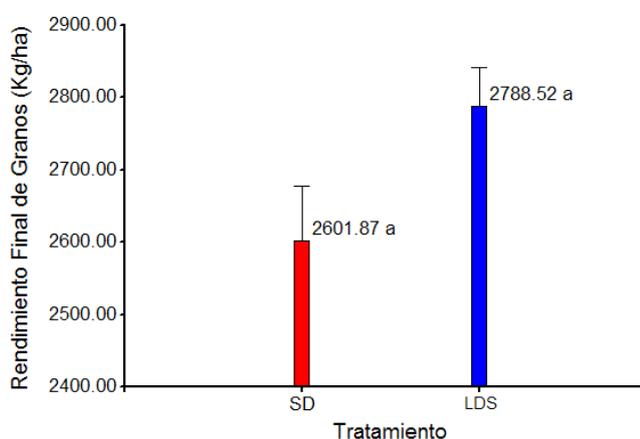
#### 4.5. PRODUCCIÓN DE GRANOS, EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA E ÍNDICE DE COSECHA:

##### 4.5.1. PRODUCCIÓN DE GRANOS:

El rendimiento en granos, medio del cultivo, en kg/ha, se expresa en el **Figura 23**. En el mismo se puede observar una diferencia a favor de “LDS”, de 186,65 Kg/ha, lo que representa, 7,2% más que en “SD”. De todos modos, los valores registrados mediante cosecha manual y mecánica (**Fotografía 16**), al someterse a Análisis de la Varianza, no arrojaron diferencias estadísticamente significativas, respecto a los distintos sistemas de labranza.



**Fotografía 16:** Imagen de cosecha mecánica del ensayo experimental.



**Figura 23:** Rendimiento final de granos de cultivo de soja bajo dos sistemas de labranza “SD” y “LDS”, obtenidos mediante cosecha manual (*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según Test de Tukey*).

Barber y Díaz (1992) encontraron que el rendimiento de soja se había incrementado por efecto de la ruptura de capas densificadas a través de una labor de subsolado y Mora *et al.* (2001) obtuvieron resultados similares en maíz.

La descompactación produjo un incremento del rendimiento de maíz del 6% (en promedio para 12 ensayos en la pampa ondulada en las campañas 2004, 2005 y 2006). El mismo podría atribuirse a una mayor disponibilidad hídrica por incrementos en la infiltración y mayor accesibilidad por parte de las raíces al agua y/o nutrientes, debido a una menor resistencia a la penetración (Álvarez *et al.*, 2010).

La práctica de descompactación suele presentar mayor impacto sobre la producción del cultivo en condiciones de moderado estrés hídrico, siendo este impacto mínimo o nulo en condiciones de estrés hídrico severo o de alta humedad del suelo (Sadras *et al.*, 2005), coincidiendo esta última condición con lo ocurrido en el presente estudio, ya que durante el ciclo del cultivo se produjo una precipitación total de 461 mm (**Siembra-R7**).

#### 4.5.2. EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA):

Los cálculos realizados para estimar la **EUA** del presente estudio arrojaron valores medios de 5,3 kg de grano/ha/mm, sin observarse diferencias estadísticas entre tratamientos (**Tabla 18**). La magnitud de los valores obtenidos, coincidiría con los estudios realizados por Della Maggiora (2000), quien, obtuvo para un cultivo de soja valores de eficiencia en el uso del agua que rondaron entre 5 y 11 kg/ha/mm. En tanto, los resultados obtenidos en el presente trabajo, no coincidirían con lo observado por Bonadeo (1997) quien trabajando en un suelo Hapludol típico con cultivo de maní y distintos grados de compactación, observó diferencias en la **EUA** respecto a la compactación del suelo, ya que en alta compactación la misma fue de 1,99 kg/ha/mm, mientras que en baja compactación fue de 3,94 kg/ha/mm.

**Tabla 18: Eficiencia en el uso de agua del el cultivo de soja bajo dos sistemas de labranza.**

	Rendimiento (Kg/ha)	ETR (mm)	EUA (kg ha/mm)
<b>SD</b>	<b>2601.87</b>	<b>487.78</b>	<b>5.33</b>
<b>LDS</b>	<b>2788.52</b>	<b>524.83</b>	<b>5.31</b>
<b>Diferencia</b>	<b>-186.65</b>	<b>-37.05</b>	<b>0.02</b>

#### 4.5.3. INDICE DE COSECHA (IC):

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, pero se observó una tendencia de mayor **IC** a favor de “**LDS**” por sobre “**SD**”. Al respecto, Baigorri *et al.* 2003, señala que el **IC** es afectado por factores ambientales como la disponibilidad hídrica y el fotoperíodo, los que interactúan con el genotipo.

Para similar tratamiento en Hapludoles típicos de la Serie Santa Isabel, provincia de Santa Fé, Montanari (2008) obtuvo valores de **IC** de 0.42 y 0.40 para **SD** y **SD<sub>C/S</sub>** (**SD** con Subsolador Alado), respectivamente.

Los valores de **IC** obtenidos en el presente trabajo están dentro del rango obtenido por Andrade y Sadras (2002) y Satorre *et al.* 2003 (**Tabla 19**). Se pueden observar los valores de **IC**, de los factores tenidos en cuenta para su estimación y los niveles de significación. Para los mismos no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque se puede observar una correspondencia entre los valores de Biomasa Aérea Total y Rendimiento de Granos, siendo ambos superiores en “**LDS**” que en “**SD**”.

**Tabla 19: Rendimiento final de granos, biomasa aérea e índice de cosecha, de cultivo de soja bajo dos sistemas de labranza “SD” y “LDS”.**

	<b>Rend. Granos (Kg/ha)</b>	<b>Biomasa Aérea en Cosecha (Kg/ha)</b>	<b>IC</b>
<b>SD</b>	2601.87 a	5791.733 a	0.4491 a
<b>LDS</b>	2788.52 a	6111.133 a	0.4565 a
<b>P</b>	0.1137	0.1965	0.4123

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según Test de Tukey.*

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES

Para las condiciones de suelo, clima, cultivo y sistemas de labranza estudiados en el presente trabajo, se concluye que:

- ✓ La extracción del agua por parte del cultivo de soja, es mayor en condiciones de suelo descompactados que en siembra directa, especialmente en las etapas reproductivas del cultivo.
  
- ✓ La Producción de Biomasa Aérea se incrementó en el tratamiento con subsolado, siendo esta diferencia estadísticamente significativa, únicamente en cosecha; por otra parte en R5 las diferencias fueron en orden de 1550 kg/ha.
  
- ✓ La inclusión de una labranza de descompactación subsuperficial en planteos de siembra directa continua, incrementó la producción en grano del cultivo de soja en 186,65 Kg/ha, aunque esta diferencia no resultó estadísticamente significativa.
  
- ✓ Para la situación estudiada, la inclusión de labranzas de descompactación subsuperficial no afecta significativamente la eficiencia en el uso del agua por parte del cultivo de soja.

## CAPITULO 6

### RECOMENDACIONES

- ✓ A fines prácticos se recomienda en próximos trabajos complementar el análisis de la evolución de los contenidos hídricos en el tiempo, con mediciones de profundidad de enraizamiento, como así también densidad de longitud de raíces (DLR), a fin de establecer correlaciones de estas variables con los modos de extracción de humedad del suelo.
- ✓ También se sugiere la realización de estudios de infiltración, escurrimiento, conductividad hidráulica y evaporación directa.
- ✓ Realizar seguimiento del estudio por más de un ciclo del cultivo, a fin de constatar la perdurabilidad de los efectos de la labranza en el tiempo.
- ✓ Se recomienda la medición de nutrientes del suelo que podrían ver afectada su disponibilidad a causa de labranzas de descompactación subsuperficial, como lo son los nutrientes sujetos a ciclos orgánicos: Nitrógeno, Fósforo y Azufre.
- ✓ Verificar el efecto de la labranza de descompactación subsuperficial, variando el distanciamiento de los órganos activos (Rejas) como así también su diseño.
- ✓ Por último se sugiere el estudio de los efectos de la labranza de descompactación subsuperficial sobre cultivos diferentes al utilizado en la presente experiencia, como Maíz, Maní y Trigo.

## CAPITULO 7

### BIBLIOGRAFIA

**ALLEN, R.G., PEREIRA, LS, RAES, D, AND SMITH, M. 1998.** Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. and Drainage Paper 56. FAO, Rome.

**ALLMARAS, R. R.; R, HORTON; M. D, ANKENY. 1991.** Effect of Compaction on Soil Hydraulic Properties. En SOANE Y C. VAN OUWERKERK (Eds.): Soil Compaction in Soil Production.. Amsterdam, Elsevier. Cap. 1-20.

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

**ANDRADE, F. H. y V. O, SADRAS. 2002.** Bases para el manejo del Maíz, Girasol y La Soja. Editores. En INTA FCA, UNMP. Pp. 450.

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

**BAIGORRI, H; M, BODRERO; E. N, MORANDI; R. A, MARTIGNONE; F. H, ANDRADE y D. R, CROATTO. 2003.** Ecofisiología, formación del rendimiento y manejo del cultivo de soja. Revista libre.

**BALBUENA, R. H. 2009.** Alternativas para la descompactación mecánica del suelo. III Taller de Física de los Suelos. AACS-Comisión de Física. FAyV. UNRC. Argentina. 2009.

**BARBER, R.G. 1994.** Persistence of loosened Horizons and Soybean Yield Increases in Bolivia. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:943-950.

**BARBER ,R.G. Y O. DÍAZ. 1992.** Effects of deep tillage and fertilization on soya yields in a compacted Ustochrept during seven cropping seasons, Santa Cruz, Bolivia. Soil and Tillage research 22: 371-381.

**BRICCHI, E., A. DEGIOANNI Y N. CUELLO. 1993.** Caracterización del perfil cultural en los suelos de la región central de Córdoba. Actas del XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mendoza, p. 457.

**BRICCHI E., ESPÓSITO G. Y F. DÍAZ. 2008.** Efectos de las labranzas sobre la conductividad hidráulica del perfil cultural del suelo. XXI Congreso Argentino de Suelo. Potrero de los Funes (SL), Argentina.

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

**BOTTA, G., TOLÓN BECERRA, A., BELLORA MELCON, F., TOURN M. 2009.** Effect of the number of tractor passes on soil rut depth and compaction in two tillage regimes. Soil Till Res. 3, 381 – 386.

**CACCIAVILLANI, M. 2009.** Evolución del comportamiento físico de un suelo Haplustol típico de Córdoba bajo dos sistemas de laboreo. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina: 14 pp.

**CANTERO A., BRICCHI E., BECERRA V., y GIL H. 1986.** Aplicación de un índice de aptitud relativa a las tierras del Departamento Río Cuarto-Córdoba. Actas II Jornadas Científico-Técnicas Fac. de Agron. y Veter. UNRC- Río Cuarto.

**CARRASCO, N. Y M. ZAMORA. 2010.** Eficiencia de uso de agua de rotaciones agrícolas y mixtas bajo siembra directa. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina.

**CARTER, M.R. 1988 (b).** Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. Soil Till. Res. 12: 37-51

**CARTER, M.R., HOLMSTROM D.A., COCHRANE, L.M., BRENTON, P.C., ROESTEL, J. A. VAN, LANGILLE, D.R. Y W.G., THOMAS. 1996.** Persistence of deep loosening of naturally compacted subsoils in Novo Scotia. *Can. J. Soil Sci.* 76:541-547.

**CASTAÑEDA M. A.; R. OSINAGA Y J. L. ARZENO, 2010.** Evaluación de la humedad del suelo en cuatro sistemas de labranzas y a dos distancia de siembra. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina. 2010.

**CERANA L.A. Y NICOLLIER V.S. 1969.** Las capas densas o duras y el crecimiento de los órganos de las plantas. INTA Pergamino-Argentina. 25 pp.

**CHAGAS, C. I., MARELLI, H. J., y O. J. SANTANOTOGIA. 1994.** Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol Típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencias de Suelo* 12:11-16.

**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.

**CIRILO, A. G. y F. H, ANDRADE. 1994.** Sowng date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Sci.* 34: 1039-1043.

**CISNEROS, J.M., CANTERO, G.A., MARCOS, J., DEGIOANNI, A., BRICCHI, E., GIAYETTO, O., CHOLAKY, C., BONADEO, E., CERIONI, G. Y M. UBERTO 1998.** Comportamiento de un subsolador alado adaptable a implementos de uso común. Págs. 128-134. En: Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito de Latinoamérica. Balbuena R., Benez, S.H. y D. Jorajuría (Eds.) Editorial de la Universidad de La Plata, Argentina. 612 pps.

**CISNEROS J., CANTERO A., DEGIOANNI A., BECERRA V., Y M. ZUBRZYCKI. 2008.** Producción, usoy manejo de las tierras. Cap. 3. pp. 31-46. de Prada J. Y J. Penna. (ed.) Percepción económica y visión de productores agropecuarios de los problemas ambientales en el sur de Córdoba, Argentina. INTA. Buenos Aires. Argentina.

**CLARK, R.L., RADCLIFFE, D.E., LANGDALE, G.W. Y R.R. BRUCE. 1993.** Soil strength and water infiltration as affected by paratillage frequency. American Soc. of Agric. Engineers, Vol.36 (5): 1301-1305.

**CONSENTINO D.J., PECORARI C., ARRIGO, N. Y A. COSTANTINI. 1998.** Impacto de la presencia de fitolitos sobre el comportamiento del esqueleto mineralógico de los suelos. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Villa Carlos Paz, Argentina: 21-22.

**COSCIA, A. 1988.** La agriculturización en la región Pampeana. En: Degradación de suelos por intensificación de la agricultura. Informe del Taller organizado por el CONICET. Estación Experimental del INTA Rafaela. Publicación miscelánea N°47.

**DARDANELLI J.L. 1998.** Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranzas. En: J.L. Panigatti; H. Marelli; D. Buschiazzo y R. Gil (eds), Siembra Directa. INTA-SAGyP, pp. 107-115.

**DE BATTISTA, J.J., ANDRIUJO, A. y C. PECORARI. 1992- 1993.** El perfil cultural: un método para la evaluación de sistemas de cultivo. Ciencia del suelo, Vol. 10-11.

**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., BEHMER, S.N. y G.L. STRIEBECK. 2000.** perdurabilidad del subsolado en huertos frutales. Agric. Téc., ene. 2000, Vol. 60, no.1, p.62-68. ISSN 0365-2807.

**DOMÍNGUEZ, J., RESSIA, J., JORAJJURÍA, D., BALBUENA, R. y G. MENDÍVIL. 2000.** reología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. Avances en Ingeniería Agrícola. II Congreso Americano de Ingeniería Agrícola. Pp. 110-115.

**DONALD J.; CAMBELL y L. K. HENSHALL. 1991.** Bulk Density. En: Smith A. y C. E. Mullis (Eds.) Soil Análisis Physical Methods. Marcel Dekker, Inc. USA.

**DORAN, J. W. 1980.** Soil Microbial and Biochemical Changes associated with reduced tillage. Soil Sci. Soc. Am J. 44: 765-771.

**ERBACH, D.C. 1982.** Tillage for continuous corn-soybean rotation . Transactions of the ASAE 25 (4):906-918.

**ESRI, 1992.** PC ARC-INFO, versión 3.4.2 D Plus Environmental Systems Research Institute, California.

**ESTRADA, J. 2001.** Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual. Terra 19: 19-27.

**ETCHEVEHERE, P. 1976.** Normas de Reconocimiento de Suelos. Sec. de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación -INTA. Dpto. de Suelos, publicación n°152, 211 págs.

**FEHR, W. R. y C.E. CAVINESS. 1977.** Stages of soybean development. Special report 80. Iowa State University, Ames Iowa. 11p.

**FERRERAS, L., DE BATISTA, J. J., AUSILIO, A. y C. PECORARI. 1998.** Efectos de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un Argiudol Típico. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Carlos Paz. Córdoba. pp. 23-24.

**FOSTER, G.R., JOHNSON, C.B. Y W.C. MOLDENHAUER. 1982.** Hydraulics of failure of unanchored cornstalk and wheat straw mulches for erosion control. Transactions of the ASAE 25(4):940-947.

**FOTANETTO, H. y GAMBAUDO. 1996.** Sistemas de labranza para el trigo. Su influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Public. Misc. Nro. 74. INTA EEA Rafaela.

**GAUTRONNEAU Y. y MANICHON. 1987.** Guide Methodologique du profil cultural. Cerefgeara, 71 pp.

**GERSTER, G. Y S. BASIGALUPPO. 2004.** Consecuencias de la densificación por tránsito en Argiudol del sur de Santa Fé. Acta XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Argentina.

**GERSTER, G. ; S. BACIGALUPPO; M. BODRERO Y F. SALVAGIOTTI, 2010.**

Secuencia de cultivos, descompactación mecánica y rendimiento de soja en un suelo degradado de la región pampeana. XXII Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo. Rosario, Argentina. 2010.

**GIAYETTO, O., BONADEO, E., CRESPI, R., FERNANDEZ, E. Y W. ASNAL.**

**1992.** Convenio de Cooperación y Complementación entre la Cámara Argentina del maní y la Univ. Nacional de Río Cuarto (FAV). Proyecto "Manejo del agua en e sistema suelo-cultivo de maní en secano y bajo riego". Informe Técnico 1990/91. Panorama manisero, año VI, n° 19: 14-20.

**GIL, R. 2005 (a).** El Comportamiento Físico-Funcional de los Suelos. Centro Soja

2005. "...Hacia la sustentabilidad del negocio argentino, en la región..." Colegio de Ingenieros Agrónomos de la Provincia de Santa Fe IV Circunscripción. Venado Tuerto, Argentina. 2005.

**GIL, R. 2005 (b).** Disponibilidad de agua y crecimiento de raíces. Centro Soja 2005.

"...Hacia la sustentabilidad del negocio argentino, en la región..." Colegio de Ingenieros Agrónomos de la Provincia de Santa Fe IV Circunscripción. Venado Tuerto, Argentina. 2005.

**GOOGLE EARTH, 2010.** Image © 2010 DigitalGlobe. Data SIO, NOAA, U.S.

Navy, NGA, GEBCO. 01/08/2010.

**GREENLAND, D.J. 1981.** Soil management and degradation. Journal of Soil Science

32: 301-322.

**GRIFFITH, D.R., MANNERING J.V. Y J.E. BOX. 1986.** Soil and moisture

management with reduced tillage, págs.: 19-57 En: Sprague M.A. y G.B. Triplett (Eds.). No-tillage and surface –tillage agriculture. The tillage revolution. John & Sons, USA. 467 págs.

**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.

**HARRISON, D.F., CAMERON, K.C. Y R.G. MCLAREN. 1994.** Effects of subsoil loosening on soil physical properties, plant root growth, and pasture yield. New Zealand Journal of Agricultural Research. Vol. 37: 559-567.

**IMVINKELRIED H.O.; S. IMHOFF Y M. BUTARELLI, 2010.** Análisis del crecimiento y respuesta del rendimiento del cultivo de soja a la compactación del suelo. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina. 2010.

**INTA - AGENCIA CÓRDOBA AMBIENTE.** Los Suelos. Características Fisiográficas: Ambientes Geomorfológicos. Córdoba, Argentina. 2006. Cap. 2. p: 38.

**INTA. 2003.** El INTA ante la preocupación por la sustentabilidad de largo plazo de la producción agrícola Argentina. Documento institucional en [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar) consultado:10-02-04.

**JAYAWARDANE N.S. Y E.L. GREACEN. 1987.** The nature of swelling in soils. Aust. J. Soil Res. 25: 107-113.

**JOHNSON, R. 1988.** Soil Engaging Tool Effects on Surface Residue and Roughness with Chisel-type Implements. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 237-243.

**KARAYEL, D. 2009.** Performance of modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. Soil Till. Res. 104: 121-125.

**KENT, K. M. 1973.** A method for Estimating Volume and Rate of Runoff in small watersheds. U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. U.S.A.

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

**KOHNKE, N. y A. BERTRAND. 1959.** Soil Conservation. McGraw-Hill, New York. 298 p.

**LAFLEN, J.M., BAKER, J.,L., HARTWING, R.O., BUCHELE W. F. Y H.P. JOHNSON. 1978.** Soil and water loss from conservation tillage systems. Trans. of the ASAE 21: 881-885.

**LAL, R., REICOSKY D. C. & J.D. HANSON. 2007.** Editorial: Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. Soil Till. Res. 93: 1-12.

**MANNING, J. V. y C. R, FENSTER. 1977.** In "Soil Erosion and Sedimentation" (J. M. Laflen, ed) pp. 91-106. Proc. Natl. Symp. On Soil Erosion and Sedimentation by water. Am Soc. Agric. Eng. St. Joseph. Michingan.

**MICUCCI, F & C, ALVAREZ. 2003.** El agua en los sistemas extensivos. III. Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua. INPOFOS. Archivo agronómico 8.

**MILLS, H. A. Y J. B. JONES. 1996.** *Plant análisis Handbook II*. MicroMacro Publishing, Georgia, USA.

**MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2010.** Estimaciones agrícolas.  
[www.minagri.gob.ar](http://www.minagri.gob.ar). 10/08/2010.

**MONTANARI, L. 2008.** Evaluación del comportamiento del cultivo de soja bajo dos sistemas de labranza en suelos Hapludoles del centro del Departamento General López (Provincia de Santa Fe). Tesis de Grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina. pp.: 35.

**MORA O., HERNÁNDEZ J. Y C. PÉREZ. 2001.** Efecto de la labranza vertical y el encalado sobre el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L), en un alfisol compactado del estado yaracuy. Venezuela. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del suelo, Varadero, Cuba. Actas trabajos completos en formato digital.

**ORELLANA, M., BARBER R.G Y O. DIAZ. 1990.** Effects of deep tillage and the fertilization on the population, growth and yield of soya during an exceptionally wet season on a compacted Ustochrept, Santa Cruz, Bolivia. Soil and Tillage research, 17: 47- 61.

**OUSSIBLE, M., CROOSKTON, R.K. y W. E. LARSON. 1992.** Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield components of wheat. *Agron. J.* 58:1782-1787.

**PACKER, I.J., HAMILTON, G. J. Y KOEN , T.B. 1992.** Runoff, soil loss and soil physical property changes of light textured soils from long term tillage treatments. *Australian Journal of Soil Research* 30: 789-806

**PIERCE, F. J., FORTÍN, M. C. y M. J. STATON. 1994.** Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Sci. Soc. Am J.* 58: 1782-1787.

**PIKUL, J. L. Y J. K. AASE. 1999.** Wheat response and residual soil properties following subsoiling of a sandy loam in eastern Montana. *Soil and Tillage Research*, 51:61-70.

**PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M. y C. ROQUERO. 1994.** Edafología para la agricultura y el medioambiente. Capítulo 11, Estructura del Suelo y propiedades relacionadas. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 807pp.

**RAY, J.D., AND SINCLAIR, T. R. 1998.** The effect of pod size on growth and transpiration of maize and soybean during water deficit stress. *J. Exp. Bot.* 49:1381-1386.

**RICHMOND, P & 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.* N° 32: 22-25.

**RITCHIE, J.T. 1998.** Soil water balance and plant water stress. p. 41-53. *In* G.Y. Tsuji et al., (eds.) *Understanding options for agricultural production, Systems approaches for sustainable agricultural development Volume 7*, Kluwer Academic Publishers, Great Britain.

**ROBLEDO, C. W.; J. A. DI RENZO; M. BALZARINI; L. GONZALEZ; F. CASANOVES y M. TABLADA. 2008.** Infostat, Software estadístico manual del usuario versión 1. Ed. Triunfar S.A. Córdoba, Argentina.

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

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

**SAGPyA 2009.** <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/> 29 de mayo de 2009.

**SARTORRE, E. H.; R. L, BENECH ARNOLD; G. A, SLAFER; E. B, FUENTE; D. J, MIRALLES; M. E, OTEGUI y R, SALVIN. 2003.** Producción de granos. Bases para su manejo. FAUBA. Ed. Facultad de Agronomía. Pp. 783.

**SCHMIDT, E.; N. AMIOTTI; O. BRAVO Y I. IRASTORZA. 2010.** Suelos y siembra directa en la región pampeana austral: efecto de la rotación de cultivos y la textura. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina. 2010.

**SHELTON, P.D., DICKEY, E.C., KACHMAN, S.D. Y K.T., FAIRBANKS. 1995.** Corn residue cover on the soil surface after planting for various tillage and planting systems. *Journal of soil and water conservation*, 50: 399-404.

**SINCLAIR, T.R. 1986.** Water and nitrogen limitations in soybean grain production. 1. Model development. *Field Crops Res.* 15:125-141.

**SOANE, B.D. Y VAN OUWERKERK, C. 1994.** Compaction problems in world agriculture. págs.1-21. En: Soane, B. D. y Van Ouwerkerk, C (Edit.) *Soil compaction in crop production*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Holanda

**SOJKA R.E., BUSSCHER W.J., GOODEN D.T. Y W.H. MORRISON. 1990.** Subsoiling for sunflower production in the Southeast Coastal Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1107-1112.

**SOJKA, R.E., WESTERMANN, D.T., BROWN M.J. Y B.D., MEEK. 1993.** Zone-subsoiling effects on infiltration, runoff, erosion, and yields of furrow-irrigated potatoes. *Soil and Tillage Research*, 25: (351-368).

**STEINER, J. L., H. H, SCHOMBERG y J. E, MORRISON. 1994.** Residue decomposition and redistribution. *In: Crop residue management in the Southern Great Plains*. U. S. Dept. Agric. Res. Info. Staff., Beltsville. MD, USA.

**STENGEL, P., DOUGLAS, P., GUERIF, J. T., GOSS, M. J., MONNIER, M. y R. Q. CANNELL. 1984.** Factors influencing the variation of some properties of soil in relation to their suitability for direct drilling. *Soil Till Res.* 4: 35-53.

**TABOADA M.A., MICUCCI F.G. Y D.J. CONSENTINO. 1996.** Evaluación de la siembra directa como causante de compactación en dos suelos de la Pampa Ondulada. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Santa Rosa de La Pampa, Argentina: 217-218.

**TABOADA M.A. 2007.** Efecto del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en Siembra Directa. Res. IV Simposio de Ganadería en Siembra Directa. Potrero de los Funes. San Luis.

**TABOADA, M.A., BARBOSA, O.A., and D.J. COSENTINO. 2008.** Null creation of air-filled structural pores by soil cracking and shrinkage in silty loamy soil. *Soil Sci.*, 173: 130-142.

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

**TOLEDO, R., O. RUBIOLO. 2006.** Manejo del cultivo de soja en el centro-norte de Córdoba.  
<http://www.planetasoja.com/trabajos/trabajos800.php?id1=6160&publi=&idSec=49&id2=6161> En línea. (consultado 18/04/08).

**UBERTO, M. E., CISNEROS, J. M., CHOLAKY, C. G., VERRI, L., CERIONI, G. y G. SANTA. 2004.** Rotaciones y labranzas en maní, recuperación de propiedades físicas y productividad de las tierras. XIX Jornada Nacional de Maní: 6-7. Gral. Cabrera, Córdoba, Argentina.

**UNGER, P.W. 1996.** Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. *Soil Till Res* 37, 67-75.

**VEPRASKAS, M.J.Y G.S., MINER. 1986.** Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root growth. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 423-427.

**VIGLIZZO, E. F. 1994.** El INTA frente al desafío del desarrollo agropecuario sustentable. En: Desarrollo agropecuario sustentable. INTA-INDEC. 85 pp.

**VILLAR, J. 2000.** Dinámica del consumo de agua por el trigo, según el sistema de labranza. Anuario 2000. INTA Rafaela.

**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.

### ANEXO 1:

Tabla N°1: Características de cultivar de Soja A 5901 RG, utilizado en la experiencia realizada.

	<b>A 5901 RG</b>
<b>Tipo de crecimiento</b>	Determinado
<b>Días a floración</b>	67
<b>Días a maduración</b>	164
<b>Color pubescencia</b>	Gris
<b>Color de flor</b>	Blanca
<b>Plantas/m2 a cosecha</b>	32
<b>Tipo de planta</b>	Alta
<b>Otros</b>	Med. Ramificada
<b>Peso 1000 granos (gr)</b>	160

Tabla N°2: Fecha de los momentos de evaluación, y días transcurridos desde el anterior momento de evaluación.

<b>Momento de Evaluación</b>	<b>Fecha</b>	<b>Días transcurridos desde el anterior momento de evaluación</b>
<b>PreLabor</b>	16/12/2004	0
<b>PostSiembra</b>	23/12/2004	7
<b>V3-4</b>	22/01/2005	37
<b>R1</b>	01/03/2005	75
<b>R3</b>	26/03/2005	100
<b>R5</b>	16/04/2005	120
<b>R7</b>	05/05/2005	139
<b>Cosecha</b>	21/05/2005	155

## ANEXO 2:

### Corrección según el grado de humedad previa del suelo

Las tablas que proporcionan el valor de  $P_o$  suponen un grado de humedad del suelo medio. Si los días anteriores a la precipitación estudiada se produjeron precipitaciones abundantes, las abstracciones (retenciones superficiales, infiltración,...) serán menores, por lo que el valor real de  $P_o$  será menor al proporcionado por la tabla. Análogamente, y en sentido contrario, si los días anteriores no ha llovido nada, el suelo estará seco, y todas las abstracciones serán mayores: hay que corregir el valor de  $P_o$ , aumentándolo.

El criterio se indica en la **Tabla 2**

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características hidrologicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	$\geq 3$	R	15	8	6	4
	$\geq 3$	N	17	11	8	6
	$< 3$	R/N	20	14	11	8
	$\geq 3$	R	23	13	8	6
Cultivos en hileras	$\geq 3$	N	25	16	11	8
	$< 3$	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	$\geq 3$	R	29	17	10	8
	$\geq 3$	N	32	19	12	10
	$< 3$	R/N	34	21	14	12
	$\geq 3$	R	26	15	9	6
Rotación de cultivos pobres	$\geq 3$	N	28	17	11	8
	$< 3$	R/N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	$\geq 3$	R	37	20	12	9
	$\geq 3$	N	42	23	14	11
	$< 3$	R/N	47	25	16	13
	$\geq 3$	Pobre	24	14	8	6
Media		53	23	14	9	
Buena		*	33	18	13	
Muy buena		*	41	22	15	
$< 3$	Pobre	58	25	12	7	
	Media	*	35	17	10	
	Buena	*	22	14	14	
	Muy buena	*	*	25	16	
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	$\geq 3$	Pobre	62	26	15	10
	$\geq 3$	Media	*	34	19	14
	$\geq 3$	Buena	*	42	22	15
	$\geq 3$	Pobre	*	34	19	14
$< 3$	Media	*	42	22	15	
	Buena	*	50	25	16	
	Muy clara	40	17	8	5	
	Clara	60	24	14	10	
Masas forestales (bosques, Monte bajo, etc.)	Media	*	34	22	16	
	Espesa	*	47	31	23	
	Muy espesa	*	65	43	33	
Tipo de terreno	Pendiente (%)	Umbral de escorrentia (mm)				
Rocas permeables	$\geq 3$	3				
	$< 3$	5				
Rocas impermeables	$\geq 3$	2				
	$< 3$	4				
Firmes granulares sin pavimento		2				
Adoquinados		1,5				
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1				

**Tabla 2**

Precipitación total en los 5 días anteriores		
Humedad previa	Plantas en periodo latente	Plantas en periodo de crecimiento
I (seco)	Menos de 13 mm	menos de 35 mm
II (normal)	De 13 a 32 mm	De 35 a 52 mm
III (húmedo)	Más de 32 mm	Más de 52 mm

La conversión del  $P_o$  proporcionado por la tabla 1 a las condiciones de humedad I ó III se realiza mediante tablas numéricas (**Tabla 3**).

**Tabla 3**

$P_o$ para humedad previa normal	$P_o$ para humedad previa seca	$P_o$ para humedad previa húmeda
3	7	0,5
6	14	1
9	21	2
13	29	3
17	38	5
21	48	7
27	61	10
33	75	13
41	93	17
50	112	21
61	135	27
75	167	33
93	213	41
117	283	50

Por ejemplo si la tabla de valores de  $P_o$  nos ha proporcionado un valor de 17, éste se refiere a unas condiciones de humedad previas intermedias. Si los 5 días anteriores llovió poco o nada (según la Tabla 1), convertimos el valor de  $P_o$  mediante la Tabla 2: a 17 corresponden 38.