

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

**Trabajo Final Presentado para**  
**Optar al Grado de Ingeniero Agrónomo**

Efecto de la pérdida de rastrojo, causado por incendio, sobre el  
rendimiento del cultivo de soja (*Glycine max (L.) Merrill*)

Federico Daniel Morla  
DNI.27759643

Director: Ing. Agr. Fernando Daita  
Co-director: Ing. Agr. César Nuñez

Río Cuarto – Córdoba  
Marzo 2009

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. OBJETO DE ESTUDIO Y ANTECEDENTES:

La soja, *Glycine max* (L.) Merrill, es una de las oleaginosas más importante en el país, ocupando un área sembrada de 16,1 millones de hectáreas en la campaña 2006/07. En el departamento Río Cuarto, en la campaña 2004/05 se sembraron 350.000 has y la producción fue de 966.000 tn (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la provincia de Córdoba, 2007).

A nivel regional, los sistemas de labranza convencionales provocaron un aumento en el proceso de degradación física y química de los suelos, como así también el efecto nocivo e irreversible de la erosión. A través de la implementación de técnicas de labranzas con escasa remoción de suelo, como la siembra directa (SD), que fue ampliamente adoptada por los productores para la implantación de cultivos de soja, dicho proceso erosivo pudo contenerse (Marelli *et al.*, 1997).

La disponibilidad de agua es la principal limitante de producción del cultivo en nuestra zona. La ocurrencia de períodos de déficit hídrico más o menos prolongados se constituye en una causa fundamental que explica la variabilidad interanual en los rendimientos. La magnitud de estas deficiencias está estrechamente relacionada con la capacidad de almacenaje de agua de los suelos y el volumen explorado por las raíces (Bodrero *et al.*, 2002).

Para la región sojera núcleo, las necesidades de agua de los cultivos de soja de primera varían de 500 a 600 mm. Las variaciones en dichas cantidades dependen de la demanda atmosférica, la duración del ciclo del cultivo y del área foliar desarrollada por el mismo (Andriani, 1997).

El balance hídrico de la zona indica un período negativo en época estival (Seiler *et al.*, 1995), que puede ser muy perjudicial para la producción del cultivo en caso de coincidir con el período crítico del mismo.

En soja, este período crítico se inicia alrededor de R<sub>3</sub>-R<sub>4</sub> y se extiende hasta R<sub>6</sub>, siendo el subperíodo comprendido entre R<sub>4,5</sub> y R<sub>5,5</sub> esencialmente crítico (Sadras *et al.*, 2002).

Internacionalmente se ha establecido, para la mayoría de las plantas cultivadas y diferentes ambientes, el 50% de agua útil en el suelo como límite por debajo del cual comienzan a producirse deficiencias hídricas que afectan la producción. Sin embargo, para el cultivo de soja en el período reproductivo valores superiores al 50% han ocasionado restricciones en la producción de materia seca (Dardanelli *et al.*, 1991).

En ensayos realizados en la Provincia de Santa Fe, Andriani (2002) encontró que diferencias hídricas de intensidad mediana (10 a 20% menos de agua útil respecto al testigo) desde emergencia a R1, producían una reducción en el rendimiento del 10% al reducir el IAF por debajo de niveles críticos, 10 a 20% de reducción de rendimiento en la etapa R1-R5 debida principalmente al aborto de flores y frutos y reducciones del rendimiento de 20 al 40% en R5-R7 donde se vio afectado el número de vainas, el número de granos y el peso de los granos.

Experiencias realizadas indican que los cultivares de ciclo corto, como es el caso de esta experiencia, sufren mayores reducciones de rendimiento que los de ciclo largo cuando se presentan limitaciones hídricas de importancia. Esto se debe a que el período reproductivo de los cultivares de ciclo corto es más estrecho y las pérdidas por aborto floral sumado a las pérdidas de vainas pequeñas (que son más susceptibles a abortar que las más grandes) no pueden ser compensadas si las precipitaciones se producen después de dicho período; por eso, este período es el más sensible ante un estrés hídrico y produciría una reducción muy marcada en el rendimiento (Baigorri *et al.*, 1995 a y b).

Durante el déficit hídrico se produce menor traslocación de fotoasimilados en la planta, debido a la reducción de la fotosíntesis en las hojas y a la inhibición del crecimiento de los órganos de la planta (Confalone *et al.*, 1997).

Cox y Jolliff (1987), encontraron que la disminución de la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) ante situaciones de déficit hídrico se explica por caídas en la tasa de fotosíntesis por unidad de área foliar debida a factores estomáticos y no estomáticos, presentándose la soja como un cultivo de gran sensibilidad en la fotosíntesis en respuesta a déficits hídricos.

Salinas *et al.*, (1996) describen una disminución de la conductancia estomática ( $\text{cm}\cdot\text{seg}^{-1}$ ) del 80,6% y del 39,8% en cinco cultivares sometidos a deficiencias hídricas en los estadios R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub> respectivamente.

Si la sequía edáfica se combina con días de baja humedad relativa e insolación, las plantas no podrán mantener la posición normal de sus hojas respecto de la incidencia de los rayos solares, disminuirá la fotosíntesis, la tasa de asimilación neta y consecuentemente los rendimientos. Por otro lado, cuando la tensión del agua cae por debajo de un valor crítico (-7 a -9 bares), la planta sintetiza ácido abscísico a nivel hojas, produciendo cierre estomático y al trasladarse a raíces, actúa junto con las giberelinas provocando abscisión y muerte de los nódulos (Sasovsky, 2000).

La deficiencia hídrica también afecta la fijación de nitrógeno, ya que el nódulo debe tener más del 80% de peso fresco del tejido totalmente turgente para que no se afecte la capacidad de reducir N atmosférico (Perticari *et al.*, 2003; Serraj *et al.*, 1999).

Egli, (1998) describió que las disminuciones en el peso de granos causada por deficiencias hídricas están más frecuentemente asociadas a un acortamiento en el período de llenado que a cambios evidentes en la tasa de crecimiento de los granos.

Salinas *et al.*, (1996) encontraron una disminución del peso de 100 granos en cultivares sometidos a deficiencias hídricas respecto. Describiendo claras evidencias de senescencia foliar en la mayoría de las hojas aun presentes en el estadio R<sub>6</sub>.

Si bien existen diversos factores que afectan la capacidad de almacenaje de agua de los suelos, los mismos pueden agruparse en dos grandes grupos: los relacionados con la génesis del suelo: textura y profundidad del perfil, y los relacionados con los factores de manejo: época de siembra, duración del período de barbecho, cultivo antecesor y estado estructural de los suelos, entre otros.

Las prácticas de manejo mencionadas anteriormente pueden determinar diferencias en la recarga de agua de un suelo previo a la siembra del cultivo o en la eficiencia de captación de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo (Sawchik y Certta, 2005).

La SD es importante debido a que mantiene residuos de cosecha (rastros) en la superficie del suelo, que permite incrementar la capacidad de infiltración del agua, disminuir el sellado superficial debido al impacto de las gotas de lluvia, demorar el escurrimiento superficial, retardar la pérdida por evaporación y aumentar consecuentemente el agua disponible para los cultivos favoreciendo la producción de estos, lo que a su vez redundará en una mayor producción de rastros para otorgar cobertura al suelo (Dardanelli, 1998).

En la localidad de Bengolea (Córdoba), sobre un suelo de textura areno franca con rastros de maíz, se determinó a través de un simulador de lluvia, que en una precipitación de 60 mm. hora<sup>-1</sup> se infiltra el 73% del agua cuando está el rastro pero se reduce al 54% cuando se lo saca, aumentando la erosión a 2.3 Tn de suelo. ha<sup>-1</sup>. Esto manifiesta la gran importancia del rastro en la infiltración y en el control de la erosión (Insuelo, 2007).

La mayor acumulación de agua en el perfil en suelos bajo labranzas conservacionistas está estrechamente relacionada con la menor remoción y con la disminución de la evaporación del agua almacenada desde la superficie por la presencia de material vegetal (Zhai *et al.*, 1990).

Launchbaugh (1965), observó que en áreas donde se efectúa quema, la tasa de infiltración es reducida por formación de costras superficiales, habiendo también aumento en las pérdidas de agua por evaporación. A su vez Mattos (1971), estableció que una menor cobertura vegetal, debido a una quema, hace reducir la tasa de infiltración y permite un aumento en las pérdidas de agua por escurrimiento.

Meyer y Mannering (1967) reportaron, que las gotas de lluvia que caen durante un año en una hectárea de tierra, ejercen un impacto de energía equivalente a 50 toneladas de dinamita. Esta energía imprimida por las gotas de lluvia, desagrega el suelo en partículas muy pequeñas

que obstruyen los poros provocando una selladura superficial que impide la rápida infiltración del agua y disminuye la DAP (Garza y Blackburn, 1985).

Semple (1970), registró valores de humedad del perfil hasta el 52% inferiores y pérdidas por escorrentías 3,5 veces mayores en suelos que sufrieron quema con respecto a otro con presencia de cobertura vegetal.

Trabajos de investigación realizados en Brasil (Roth, 1985) también muestran, que el porcentaje de cobertura del suelo con residuos vegetales es el factor más importante que influye sobre la infiltración de agua en el suelo. Mientras la infiltración fue prácticamente total cuando el suelo estaba 100% cubierto con residuos vegetales, se verificó un escurrimiento superficial de 75 a 80% del agua, de una lluvia de 60 mm. hora<sup>-1</sup> en caso de suelo descubierto.

Otra causa es la evaporación de agua desde el suelo. Está comprobado que existe un efecto protector - aislante de la cobertura sobre las variaciones de temperatura ambiente (Panigatti *et al.*, 1983; Steiner, 1994). Esta se traduce en la capacidad de almacenar agua y generar condiciones óptimas para el desarrollo de microorganismos y el crecimiento de las raíces (Gupta *et al.*, 1983; Power *et al.*, 1986).

Las propiedades de la cobertura vegetal son la mayor y más pronta intercepción de la energía radiante, menor evaporación de agua en forma directa, mayor eficiencia en el uso de agua especialmente bajo condiciones de estrés hídrico (Ferrari *et al.*, 1992; Baigorri 1997; Maddoni y De la Fuente, 2003; Krunk y Satorre, 2003).

En la estación experimental del INTA de la zona semiárida, se determinó la influencia de la radiación solar en un suelo desnudo. Este reflejaba el 50.5% mientras que un suelo cubierto el 59.5%. Este 9% más de reflexión redujo la evaporación potencial del suelo en 0.6 mm por día. (Quiroga *et al.*, 1996).

A tal efecto Damé *et al.*, (1996), evaluando los efectos del fuego sobre la temperatura del suelo, observaron que la misma varió de 20°C a 22°C en la superficie, 15,3° a 15,9°C a 5cm de profundidad y de 14,6° a 14,8°C a 10 cm de profundidad, antes y días después de la quema. Los autores señalan que los efectos no fueron tan pronunciados como los que se esperaban, probablemente debido al bajo residuo que había en el área de estudio.

Por otro lado, la cobertura vegetal, tiene importancia como futura fuente de nutrientes, que serán aportados al suelo mediante la incorporación y descomposición (mineralización) llevada a cabo por la mesofauna y los microorganismos del suelo.

Al sur de la provincia de Córdoba, se observa un marcado déficit hídrico al final del invierno y principios de la primavera, régimen pluviométrico Monzónico. Esta sequedad propicia que restos vegetales puedan quemarse con facilidad, en casos de incendios accidentales, ya que en esta zona no se acostumbra quemar los rastrojos.

Por otro lado, a fines del invierno existe mucho viento en esta región de la Provincia, lo que renueva el aporte de oxígeno y facilita la dispersión en caso de un incendio (Kopta, 1999).

En la provincia de Córdoba se registraron, en el año 2005, un total de 16.946 ha quemadas, especialmente en las zonas de montaña o de pastizales naturales o seminaturales (Agencia Córdoba Ambiente S. E., 2007).

Saal y Llorente (1996) estimaron que, para los incendios producidos entre 1993 y 1995, contemplando sólo la pérdida económica en recursos forestales nativos e implantados, recursos forrajeros e instalaciones ganaderas, la pérdida anual varió entre 36 y 124 millones de pesos, dependiendo del estado de los recursos afectados.

Para comprender el daño que puede ocasionar la pérdida de los rastrojos acumulados sobre la superficie del suelo, en lotes donde se emplea la técnica de la S. D., se deben considerar los siguientes antecedentes

a) Para revertir la degradación de los suelos es necesario dejar de ararlos, dejar de quemar los rastrojos, procurar una cobertura permanente del mismo y procurar de maximizar la producción de biomasa aérea por superficie. La quema de rastrojos en la región pampeana Argentina indujo a una reducción de los contenidos iniciales de materia orgánica por debajo del 25% del valor original (75% de reducción) con un enorme impacto en materia de pérdida del recurso suelo (JICA-INTA, 2004).

b) La quema de rastrojos ocasiona: 1) Pérdida del agua almacenada en los primeros 20 cm del suelo por evaporación directa, eliminando entre el 50-60% del contenido de humedad del mismo(a los 15-20 días). Es decir un suelo con 15% de humedad (valor normal para la zona) puede perder una lámina de 20 mm ante una quema de rastrojos. 2) Teniendo en cuenta que cada milímetro de agua del suelo, al momento de la siembra, puede producir 7 kg ha<sup>-1</sup> de soja, la pérdida de 20 mm de agua a la siembra disminuiría 140 kg ha<sup>-1</sup> de soja. 3) Reducción del contenido de nutrientes y disminución de su disponibilidad para los próximos cultivos, afectando negativamente los rendimientos. 4) En algunos casos evaluados se han detectado, en años posteriores a la quema de rastrojos, reducciones de rendimientos de cultivos de hasta el 45 %. 5) Cuando por efecto del fuego desaparecen los rastrojos acumulados y los beneficios logrados, el productor está obligado a iniciar nuevamente la secuencia de cultivo en S.D. desde el principio y con una alta inversión en tecnología e insumos (Guevara, 2005).

c) La velocidad final de infiltración y la conductividad hidráulica del suelo dos días luego de la quema de rastrojos es significativamente disminuida (alrededor del 50%) por este efecto (Valzano *et al.*, 1997).

d) Consigli (1999) enumera los principales efectos negativos que causan los incendios, especialmente los fuegos accidentales, que por ser espontáneos y no deseados, eliminan vegetales impidiendo el retorno de materia orgánica al suelo, deja el suelo expuesto a los agentes erosivos incrementando la circulación superficial del agua en suelos con pendiente y destruye la microbiología y la estructura del suelo.

e) González *et al.*, (1999), Abril y González, (1999) y González *et al.*, (2003) en estudios realizados bajo diferentes condiciones encontraron que la humedad edáfica y el contenido de materia orgánica disminuyeron en los sitios quemados, especialmente un año después de los incendios, mientras que el contenido de nitratos aumentó. También disminuyeron todas las poblaciones microbianas, siendo las más afectadas las nitrificantes y amonificantes.

Estos autores también observaron que inmediatamente después de los incendios, se producía una pérdida significativa en el contenido de humedad, evidentemente fundamentada en la rápida evaporación por acción del calor. Al segundo y tercer año después del incendio las diferencias de materia orgánica fueron significativas, correspondiendo los mayores valores al sitio no quemado. Esto evidencia la interrupción en el retorno de carbono al suelo en los sectores donde se alteró el aporte de restos vegetales por efecto del fuego.

A tal efecto en un ensayo realizado por el Instituto de suelos del INTA Castelar sobre un rastrojo de maíz de  $7.500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , se determinó un contenido de 5 kg de nitrógeno, 4 kg de fósforo, 53 kg de calcio, 4 kg de azufre, 51 gr de boro, 41 gr de cobre y 128 gr de zinc por hectárea. Estos nutrientes, en su mayoría, se irán gradualmente incorporando al suelo a medida que los rastrojos se van descomponiendo por la intensa actividad biológica que caracteriza a la siembra directa (Insuelo, 2007).

Serbino (1999) encontró aumentos de hasta el 150% de fauna benéfica en suelos donde se viene practicando la SD.

Espósito (2002) ha reportado en un estudio realizado en el Campo de docencia y experimentación de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la U.N.R.C., en cercanías del paraje La Aguada, Dpto. Río Cuarto, pérdidas de agua a razón de 64 mm, por aumentos en los niveles de escurrimiento, una pérdida de la capacidad de infiltración y un aumento de la evaporación a lo largo del ciclo del cultivo. Estas diferencias hídricas son explicadas por el efecto de la mayor evaporación y el escurrimiento debido a la eliminación de rastrojos por pastoreo, lo cual significó diferencias de rendimiento de  $15,75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  por cada mm de agua perdida a lo largo del ciclo de cultivo de maíz.

Este trabajo pretende realizar un aporte debido que, a través del mismo, se cuantifica la alteración en los rendimientos del cultivo de soja como consecuencia de la eliminación de los rastrojos en lotes donde se viene practicando la de siembra directa. Así mismo, aporta información que resulta muy difícil de obtener a través de ensayos destinados a tal fin.

### 1.2 HIPOTESIS:

La quema de los rastrojos en sistemas con siembra directa afecta el rendimiento del cultivo de soja.

### 1.3. OBJETIVO:

Evaluar el efecto de la pérdida de rastrojo de maíz, causada por incendio, sobre el rendimiento del cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merrill).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO Y TRATAMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo durante la campaña agrícola 2006-2007, en un lote de producción agrícola ubicado aproximadamente a 2 km al este de la Universidad Nacional de Río Cuarto (33° 07' S, 64° 14' W, 421 m.s.n.m.).

El mismo presenta un suelo Hapludol típico de textura franco arenosa fina descrito por Bricchi *et al.*, (1986). Este lote sufrió la pérdida total de la cobertura vegetal superficial compuesta por rastrojo de maíz de la campaña 2005/2006 (cultivo antecesor), a causa de un incendio accidental ocurrido a mediados de 2006, el cual afectó aproximadamente un 40% de la superficie total del lote.

El control de malezas previo a la siembra se realizó mediante la aplicación del herbicida Glifosato en dosis de 2.5 l.ha<sup>-1</sup> formulado al 48% de ingrediente activo realizada en septiembre de 2006.

El cultivo de soja se sembró bajo el sistema de Siembra Directa, el 10 de noviembre de 2006, con el cultivar “Don Mario 3700” a una distancia entre hileras de 35 cm.

Las semillas fueron inoculadas con Nitragin® según dosis comerciales y se fertilizó al costado de la línea de siembra con 75 kg.ha<sup>-1</sup> de fosfato di amónico.

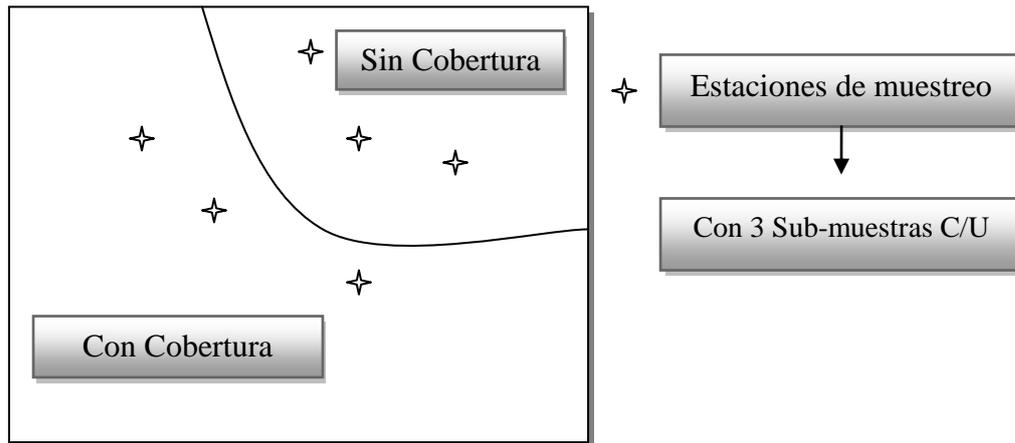
Durante el ciclo de la soja, para mantener el lote libre de malezas e insectos, se realizaron los siguientes controles:

1.- Tratamiento con herbicida preemergente, aplicado a los 2 días después de la Siembra: diclosulam (Spider®) y glifosato formulado al 48% en dosis de 16 gr.ha<sup>-1</sup> y 1.5 l.ha<sup>-1</sup> respectivamente con un total de 80 litros de agua.ha<sup>-1</sup>.

2.- Control de insectos, principalmente de larvas de lepidópteras, mediante aplicación de cipermetrina en dosis de 150 cc.ha<sup>-1</sup>.

En el cultivo se realizaron estas prácticas en forma indistinta, tanto en la fracción del lote que conservó la cobertura de rastrojos (sin quemar) como en la que lo había perdido (quemada).

Los tratamientos fueron: lote sin quemar (testigo) y lote con quema de rastrojo. El diseño experimental utilizado fue completamente aleatorizado, con 3 repeticiones en cada tratamiento y submuestras por cada repetición (Di Rienzo *et al.*, 2001).



**Figura 1.** Esquema del lote en estudio

## **2.2. Observaciones y mediciones realizadas durante el estudio**

### **2.2.1. Del cultivo:**

2.2.1.1. Número de plantas ha<sup>-1</sup>: Se contó en una distancia de 1,42 m lineales (equivalente a 0,5 m<sup>2</sup>), el número de plantas presentes en el estado fenológico R<sub>5</sub>. Se realizaron 2 muestras por repetición (3).

2.2.1.2. Materia seca total, aérea: Se tomaron 2 muestras de 1,42 m lineales por repetición, del total de plantas presentes al estado fenológico R<sub>5</sub> y R<sub>8</sub> según escala de desarrollo descrita por (Fehr *et al.*, 1971) y (Fehr y Caviness, 1977). Posteriormente se llevaron a estufa de circulación de aire forzado a 70°C hasta peso constante y se determinó peso seco.

Con los datos de materia seca a cosecha (R<sub>8</sub>), se calculó el índice de cosecha como la relación entre el peso seco de las semillas y el peso de la biomasa aérea total de las plantas.

2.2.1.3. Caracteres morfológicos y componentes del rendimiento: En la etapa fenológica R<sub>8</sub>, registrada el 13/03/2007, se cosecharon las plantas presentes en 0.5 m<sup>2</sup> por submuestra (4), para cada tratamiento y repetición (3), para efectuar las siguientes mediciones.

2.2.1.3.1 Características morfológicas: altura del eje principal (en cm) y el número de ramificaciones por planta.

2.2.1.3.2 Componentes del rendimiento: número de frutos (vainas) por planta, el número de granos por vaina y el peso de 100 granos (Andrade *et al.*, 2002)

$$\text{Rendimiento} = \left( \frac{\text{Plantas}}{\text{ha}} \right) \times \left( \frac{\text{N}^\circ \text{ granos}}{\text{planta}} \times \text{Pesode100granos} \right)$$

Los pesos de 100 granos fueron corregidos por humedad según la siguiente ecuación (SAGPYA, 2004).

$$\text{Pérdida de Peso} = \frac{(H_i - H_f)}{(100 - H_f)} \times 100$$

Donde:

H<sub>i</sub>: humedad inicial (%).

H<sub>f</sub>: humedad final (13,5%).

### **2.3. Del suelo:**

2.3.1. Cobertura superficial: Se obtuvieron 3 muestras en una superficie de 0,35 m<sup>2</sup> del tratamiento “con cobertura”, tomando como insignificante el valor del otro tratamiento, las que fueron llevadas a estufa hasta peso constante.

Para estimar el porcentaje de cobertura superficial se utilizó la ecuación propuesta por el modelo de simulación RESIDUES AND TILLAGE (Rastrojos y Labranzas). RES-N-TILL v2.1, desarrollado por el Departamento de Agronomía, Universidad Estatal de Kansas, EEUU.

$$\text{Cobertura (\%)} = \{1 - e^{(-\alpha \times \text{kg de Residuos})}\} \times 100$$

Donde:

$\alpha$  = factor de conversión del Índice de residuos. Para este caso se tomó el de rastrojo de maíz (cultivo antecesor) que es 0,00058.

2.3.2. Humedad del suelo: Se midió el contenido de agua del suelo en los estadios fenológicos V<sub>1</sub>, R<sub>1</sub> y R<sub>6</sub>. Se utilizó el método gravimétrico con 3 muestras de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm y de 40 a 60 cm de profundidad para cada repetición.

Las muestras se pesaron húmedas, se secaron en estufa a una temperatura de 105° C hasta peso constante y se volvieron a pesar. La diferencia entre el peso de la muestra húmeda y la seca es la cantidad de agua que, relacionada (mediante las siguientes ecuaciones) con el peso seco del suelo, representa el contenido de humedad en el momento de muestreo (Gill y Martelotto, 1993).

$$(1) \quad CGA = \frac{(PH + T) - (PS + T)}{PS + T}$$

Donde:

CGA: contenido gravimétrico de agua (g.g<sup>-1</sup>)

PH: peso de la muestra de suelo húmedo (g)

PS: peso de la muestra de suelo seco (g)

T: tara del recipiente de aluminio (g)

$$(2) \quad HV = CGA \times DAP$$

Donde:

HV: humedad volumétrica (cm<sup>3</sup> . cm<sup>-3</sup>)

CGA: contenido gravimétrico de agua (g.g<sup>-1</sup>)

DAP: densidad aparente (g.cm<sup>-3</sup>)

$$(3) \quad LA = HV \times E$$

Donde:

LA: lámina de agua (mm)

HV: humedad volumétrica (cm<sup>3</sup> . cm<sup>-3</sup>)

E: espesor de la muestra (mm)

Los datos de densidad aparente del suelo DAP, necesarios para la determinación de la lámina de agua (Ecuación 2), fueron tomados por medio de tres muestras de volumen conocido para cada tratamiento y en cada profundidad.

$$DAP = \frac{PESOSolido(g)}{VOLUMENtotal(cm^3)}$$

A fin de comparar los resultados del contenido hídrico del suelo, se estimaron Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente y Agua Útil, mediante las siguientes ecuaciones, y a partir de los datos del perfil típico de la zona (Ver Anexo II).

La CC fue estimada mediante la Humedad equivalente, expresada como porcentaje gravimétrico, utilizando ecuaciones 1, 2 y 3. Experimentalmente se ha visto que para gran parte de los suelos, el contenido de humedad así determinado, no difiere sensiblemente del valor de capacidad de campo (Artiago Ramírez y Guardado López, 1993).

Para PMP se utilizó la formula de Tassinari:

$$PMP = 0.01Ar + 0.12L + 0.57Ac$$

Donde:

PMP: Punto de marchitez permanente expresado como humedad gravimétrica en porcentaje.

Ar: Porcentaje de Arena.

L: Porcentaje de Limo.

Ac: Porcentaje de Arcilla.

Para el agua útil se utilizó:

$$AU \% = CC \% - PMP \%$$

2.3.3. Análisis químico del suelo: Se tomaron, antes de la siembra, 5 muestras con barreno manual a una profundidad de 0 a 20 cm por tratamiento, se homogenizaron para obtener una muestra compuesta y representativa de 500 gr para cada tratamiento. Se llevó a laboratorio donde se determinó Materia Orgánica (%) y Fósforo disponible (ppm). Los métodos de

medición empleados fueron: Bray-Kurtz para determinación de Fósforo y Walkley-Black para Materia Orgánica (Bueno Pinto, 1969).

#### **2.4. Del clima:**

Registros de variables meteorológicas durante el ciclo del cultivo de la Estación Agrometeorológica instalada en el Área Experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad de Río Cuarto ubicada a 2000 m del ensayo experimental:

- Precipitaciones (mm), expresadas en décadas.
- Temperatura del aire máxima, mínima y media en abrigo meteorológico (°C), expresadas en décadas.

#### **2.5. Análisis estadísticos**

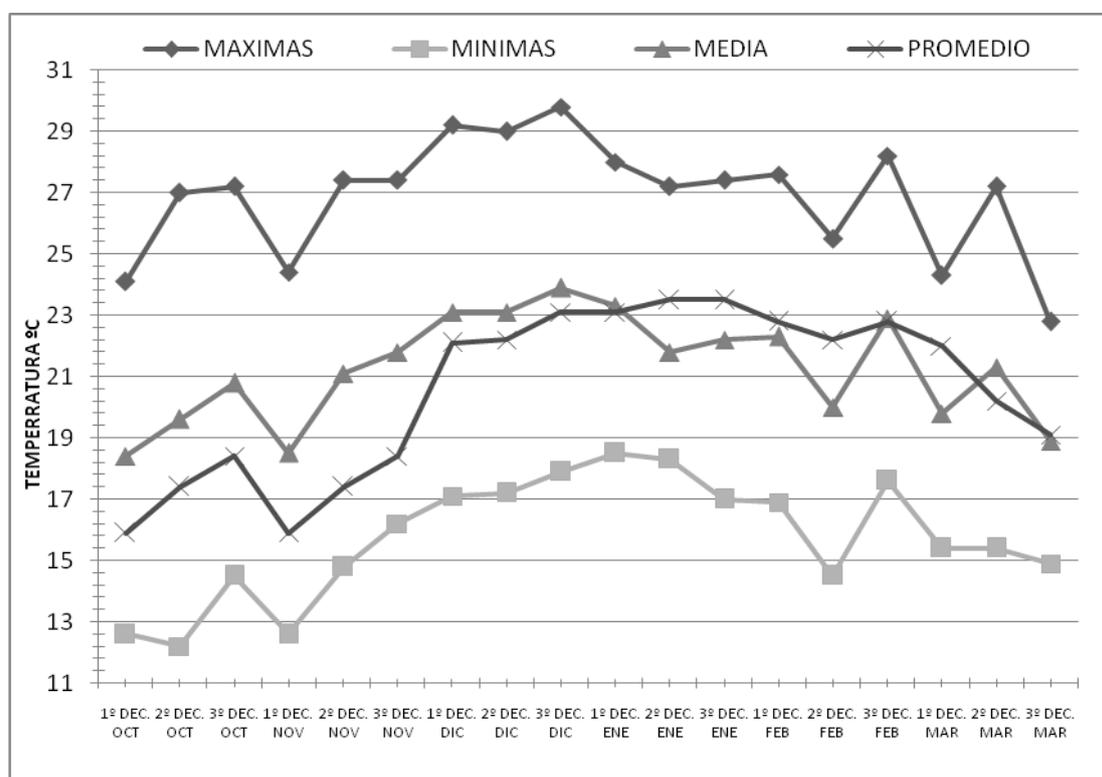
A los fines de detectar diferencias estadísticamente significativas se compararon las dos situaciones a través de un Anova (análisis de la varianza) y el correspondiente Test de comparaciones múltiples, con el programa estadístico Info-Stat Versión 2004.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Condiciones Meteorológicas durante la estación de crecimiento

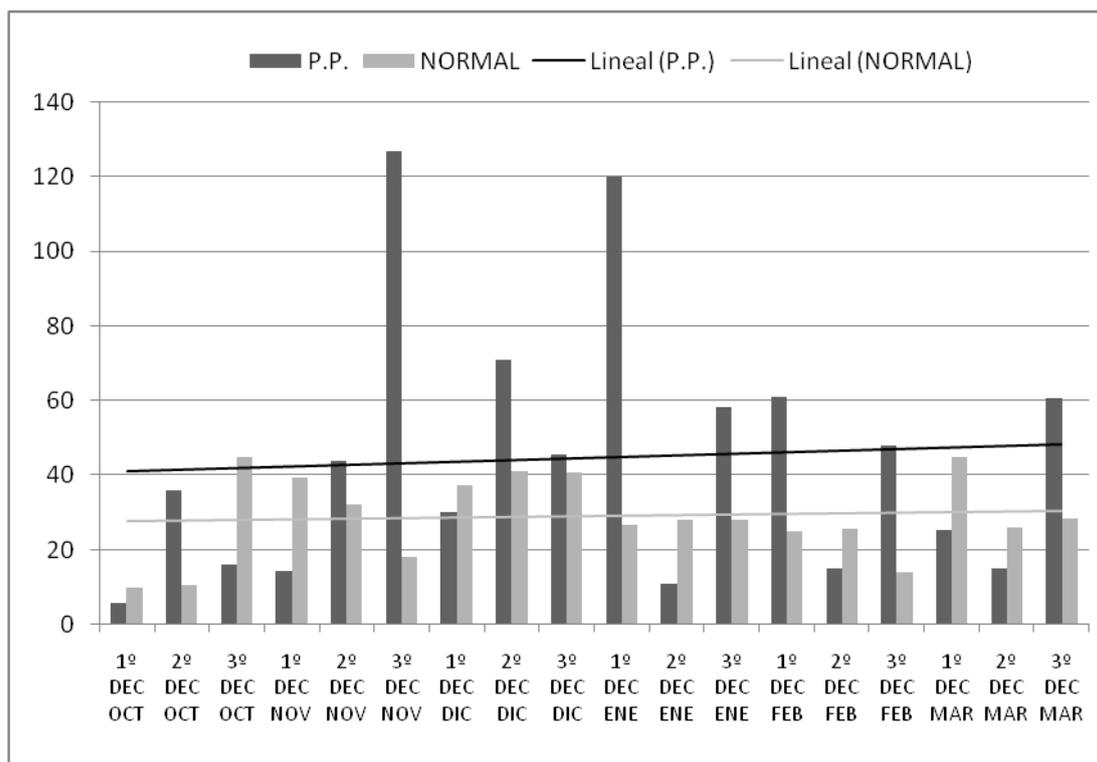
A continuación se presenta la caracterización meteorológica de la estación de crecimiento del cultivo de soja (octubre a marzo) correspondiente al ciclo agrícola 2006/07 y se la compara con valores promedios de una serie histórica de registros de 30 años (1961-1990) perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional.

En ese sentido, las figuras 2, 3 y 4 muestran los promedios de la temperatura del aire media, máxima y mínima y las precipitaciones totales para cada década y la precipitación total acumulada, respectivamente.



**Figura 2.** Datos decádicos de la temperatura del aire durante los meses de octubre a marzo del ciclo 2006/07, las temperaturas medias mínimas y medias máximas y del período 1961/1990.

La temperatura media del ciclo 2006/07 (figura 2) fue superior, a la media histórica, en los primeros meses del ciclo productivo (meses de octubre, noviembre y diciembre) mientras que, en los meses siguientes las temperaturas medias fueron menores a la normal. Como situación extrema se destacan la segunda década de noviembre (3,7°C más alta) y la segunda década de febrero y la primera década de marzo (2,2° C más bajas).

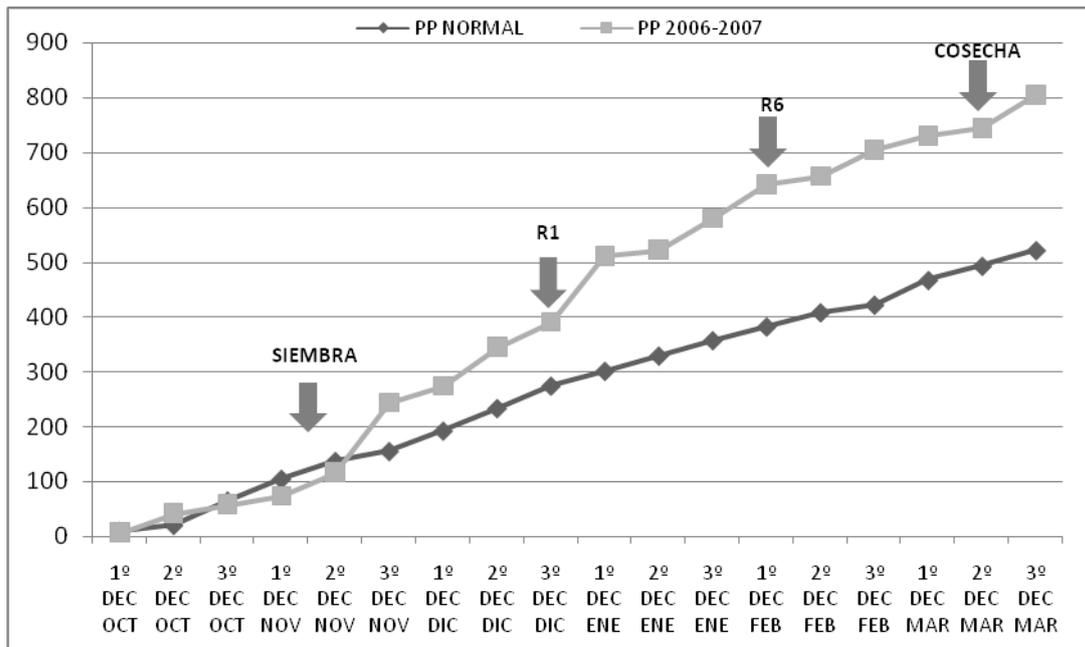


**Figura 3.** Precipitaciones totales (mm) decádicas durante los meses de octubre a marzo del ciclo 2006/07(PP) y del período 1961/1990 (Normal).

Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo fueron marcadamente superiores a los valores medios de la región (Figura 3). El valor acumulado en el ciclo analizado fue de 804.7 mm, mientras que el promedio histórico para ese mismo período, es de 521,7 mm (Figura 4).

En la figura 4 se puede observar la longitud del ciclo del cultivo, que se extendió desde el 10 de noviembre de 2006 (siembra) hasta el 13 de marzo del 2007 (madurez de cosecha) y de las principales etapas fenológicas, R<sub>1</sub> el 20 de diciembre de 2006 y R<sub>6</sub> el 6 de febrero de 2007.

En el período analizado los días con lluvias mayores a 1mm fueron 50, esto pudo tener un posible efecto en otras variables climáticas como radiación y heliofanía (datos no mostrados), las que pudieron relacionarse con las menores temperaturas registradas en el ciclo, comentadas anteriormente.



**Figura 4.** Precipitaciones acumuladas (mm) decádicas durante los meses de octubre a marzo del ciclo 2006/07 y del período 1961/1990.

### 3.2. Del suelo:

#### 3.2.1. Cobertura:

La cobertura producida por el rastrojo de maíz en la zona no afectada por el incendio se detalla en el cuadro 1, mientras que en el otro tratamiento se consideró una cobertura de 0 % (ver fotografías 1, 2, 3 y 4 del anexo I).

**Cuadro 1.** Valores de cobertura expresadas en kg MS.ha<sup>-1</sup> y en porcentaje de suelo cubierto para tres estaciones de muestreo del tratamiento con cobertura.

TRATAMIENTO CON COBERTURA	kg MS.ha <sup>-1</sup>	% DE COBERTURA
ESTACION 1	7456	98,67%
ESTACION 2	7832	98,93%
ESTACION 3	5046	94,64%

### 3.2.2. Agua en el Perfil:

#### Densidad Aparente

Si bien las diferencias de Densidad Aparente entre los dos tratamientos no son estadísticamente significativas ( $p\text{-valor} = 0,2585$ ), se observa una disminución de esta en los primeros centímetros del perfil del suelo (cuadro 2) posiblemente debido a la formación de una compactación superficial (costra). Estas modificaciones estarían dadas por la remoción de cobertura, que deja al suelo descubierto y absorbe el impacto de las gotas de lluvia sufriendo la destrucción de los agregados (Meyer y Mannering, 1967).

Por esto, se podría esperar que la densidad aparente de la capa superficial del perfil del suelo en el tratamiento sin cobertura disminuyera aún más durante el ciclo del cultivo ya que este se encuentra sin el efecto protector de la cobertura de rastrojos descrito por Panigatti *et al.*, (1983) y Steiner, (1994).

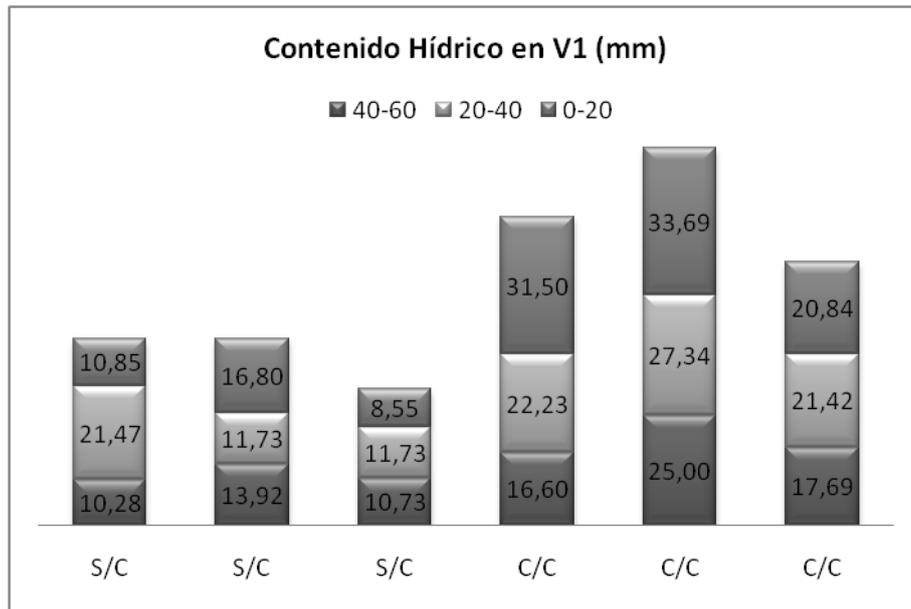
**Cuadro 2.** Valores de Densidad aparente en  $\text{Tn. m}^{-3}$  a profundidades de 0 a 20 cm, de 20 a 40 cm y 40 a 60 cm.

	SIN COBERTURA	CON COBERTURA
0-20 cm (a)	1,24	1,32
0-20 cm (b)	1,3	1,29
0-20 cm (c)	1,4	1,25
<b>0-20 cm PROM</b>	<b>1,313 <math>\text{Tn. m}^{-3}</math> a</b>	<b>1,286 <math>\text{Tn. m}^{-3}</math> a</b>
20-40 cm (a)	1,38	1,3
20-40 cm (b)	1,31	1,32
<b>20-40 cm PROM</b>	<b>1,345 <math>\text{Tn. m}^{-3}</math> a</b>	<b>1,31 <math>\text{Tn. m}^{-3}</math> a</b>
40-60 cm (a)	1,31	1,3
40-60 cm (b)	1,34	1,34
<b>40-60 cm PROM</b>	<b>1,325 <math>\text{Tn. m}^{-3}</math> a</b>	<b>1,32 <math>\text{Tn. m}^{-3}</math> a</b>

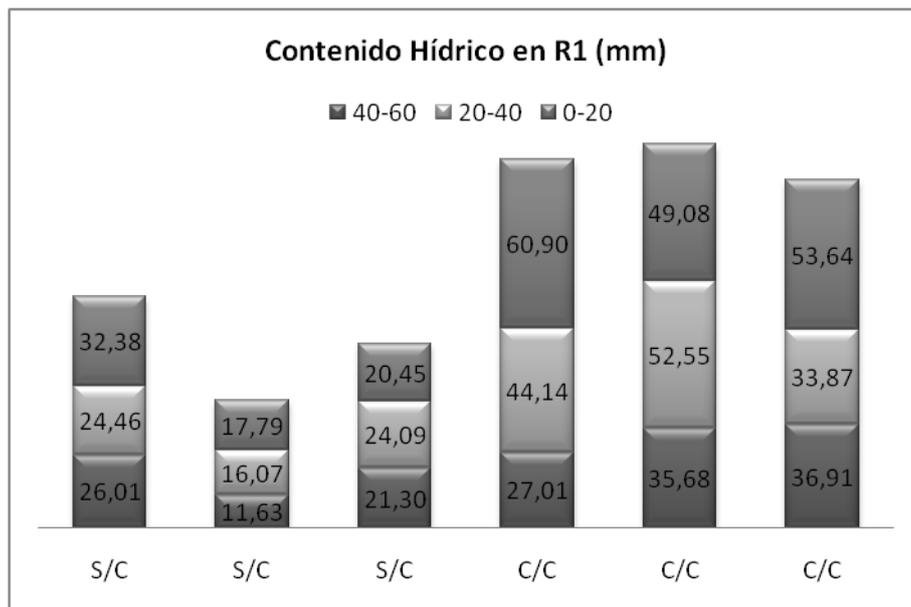
En filas, letras iguales no difieren estadísticamente según test de Duncan al 5%.

Los valores determinados de contenido hídrico, en un metro de suelo, a capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua útil fueron 201,5 mm, 82,5 mm y 119 mm respectivamente (figura 8).

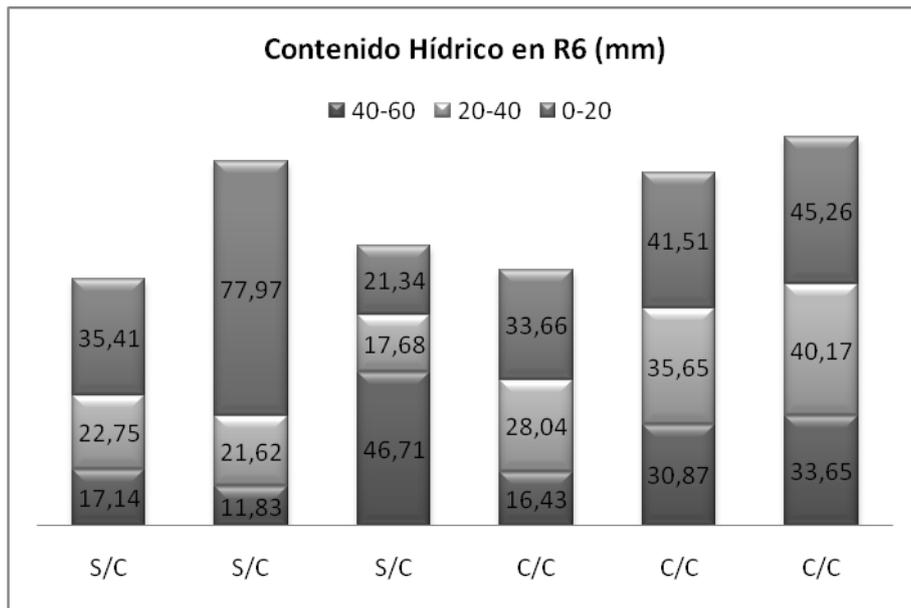
En las siguientes figuras (5, 6, 7 y 8) se observa que el contenido de humedad edáfica es siempre superior en el suelo que posee cobertura de rastrojo.



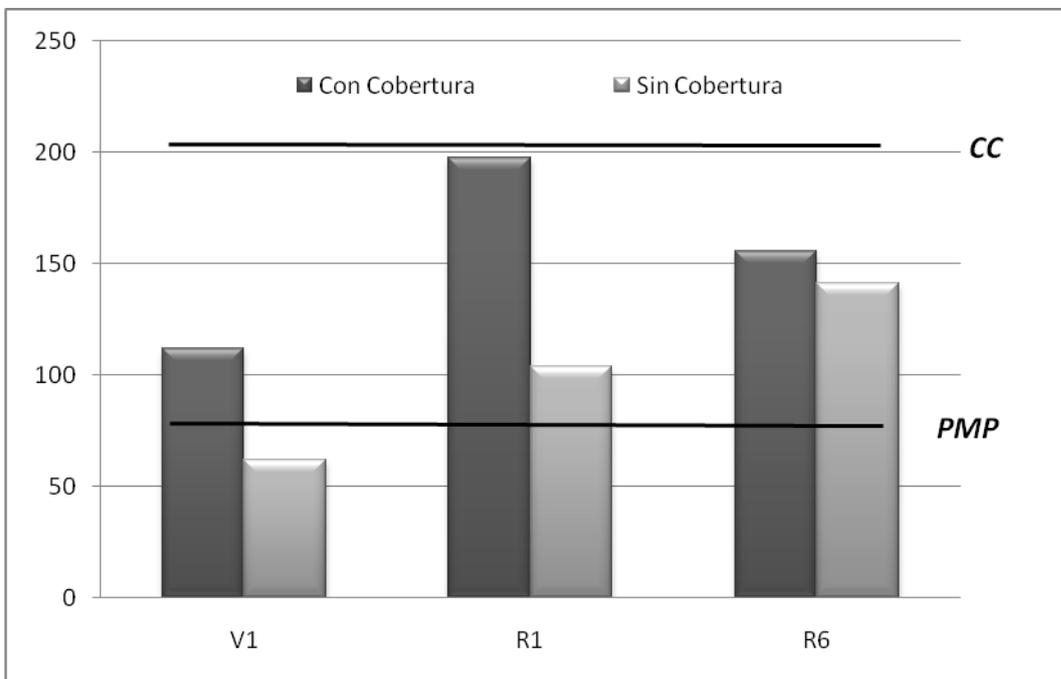
**Figura 5.** Contenido hídrico del suelo a 60 cm de profundidad en estado Fenológico V1 (18/11/2006) para los tratamientos sin cobertura (S/C) y con cobertura (C/C).



**Figura 6.** Contenido hídrico del suelo a 60 cm de profundidad en estado Fenológico R1 (20/12/2006) para los tratamientos sin cobertura (S/C) y con cobertura (C/C).



**Figura 7.** Contenido hídrico del suelo a 60 cm de profundidad en estado Fenológico R6 (06/02/2007) para los tratamientos sin cobertura (S/C) y con cobertura (C/C).



**Figura 8.** Contenido hídrico promedio del suelo a 100 cm de profundidad.

Esta diferencia observada en el contenido hídrico del suelo entre los tratamientos puede ser debida, como señalaron otros autores, a cambios en la tasa de infiltración (Launchbaugh, 1965; Mattos (1971), aumentos de pérdidas por escorrentías (Semple, 1970; Roth, 1985) y de la tasa de evaporación de agua desde el suelo (Panigatti *et al.*, 1983; Steiner, 1994; Quiroga *et al.*, 1996) y disminución en la porosidad (ver Densidad Aparente en el punto 3.2.2).

### **3.2.3 Fracción química del suelo**

Para las variables del suelo analizadas, materia orgánica, fósforo y pH, se observaron diferencias entre los tratamientos, algunos autores, describen que éstas diferencias se pueden incrementar con el correr del tiempo por que se interrumpe el ciclo de retorno de nutrientes debido a la pérdida de cobertura vegetal (González *et al.*, 1999; Abril y González, 1999; González *et al.*, 2003) y a la disminución de la actividad biológica que caracteriza a la siembra directa (Serbino, 1999).

**Cuadro 3.** Análisis de suelo del lote donde se llevó a cabo el ensayo para cada tratamiento.

	Profundidad (cm)	M.O. (%)	P (ppm)	pH
SUELO CON COBERTURA	0-20	2,2	9,4	6,65
SUELO SIN COBERTURA	0-20	2,1	9,5	6,82

### **3.3. Del cultivo:**

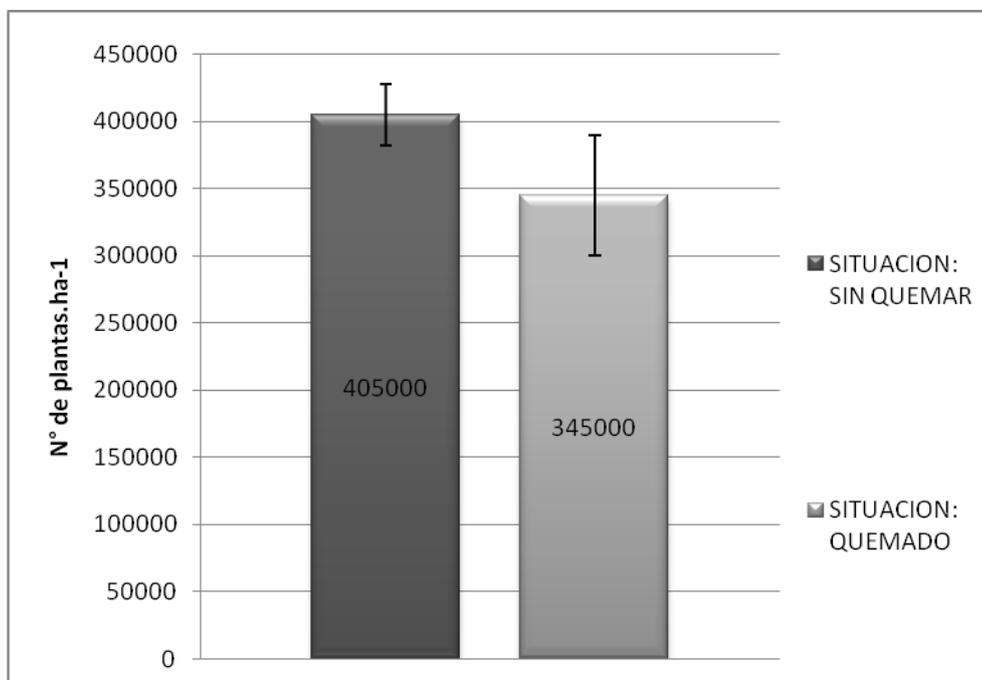
De las observaciones realizadas en los puntos anteriores de suelo y de condiciones agrometeorológicas, se puede deducir que uno de los principales factores que difieren en los tratamientos y que está infiriendo sobre el cultivo de soja es el agua.

Por lo que en la presente se discutirán las diferencias en los tratamientos a través de la deficiencia hídrica sufrida principalmente por el tratamiento sin cobertura.

### 3.3.1. Densidad:

El número de plantas por hectárea es un componente importante que influye en las prácticas de manejo del cultivo tales como control de malezas, control de plagas, incidencia de enfermedades, entre otros, y el desarrollo adecuado del cultivo, para evitar problemas de vuelco y lograr una cobertura que permita el uso eficiente de la radiación solar (Giorda y Baigorri, 1997).

Se puede observar en la siguiente figura que existe una marcada diferencia en el stand de plantas a cosecha (*p*-valor 0,0004), donde en el suelo con cobertura de rastrojos es, en promedio, un 15% superior.



**Figura 9.** Densidad promedio de plantas.ha<sup>-1</sup> a cosecha (Estado fenológico R8) para cada tratamiento.

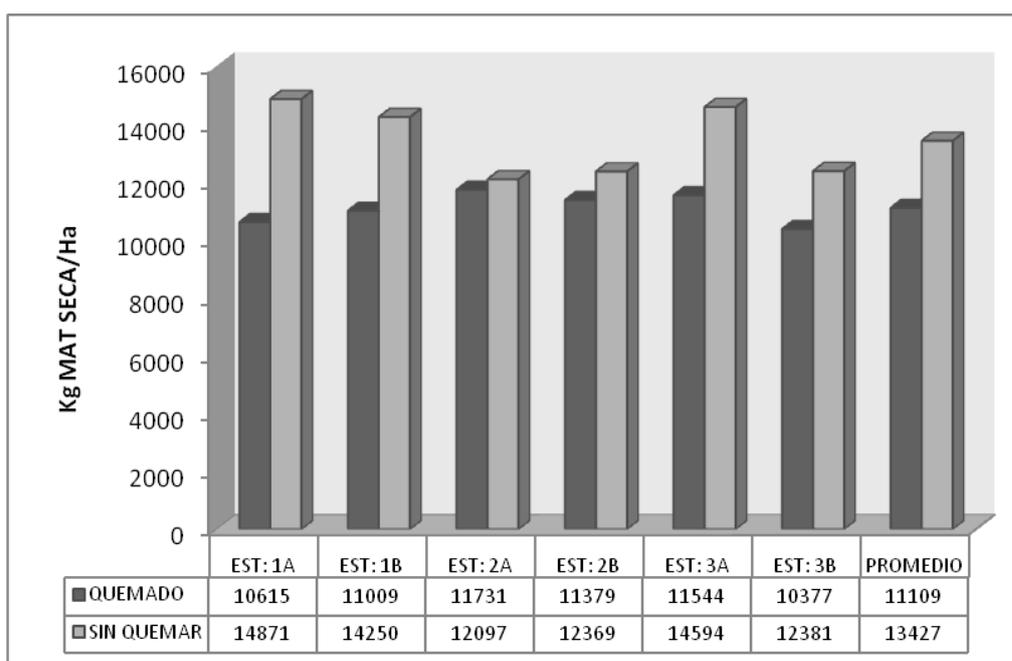
Esta disminución de plantas pudo estar dado a problemas para la germinación y emergencia por formación de sellado superficial del suelo (obsérvese en el cuadro 2, la disminución de la densidad aparente en la primer capa del perfil del suelo) y de muerte de plántulas por efecto abrasivo de partículas finas de suelo (en inglés: “Sandblasting”) que eran transportadas en el suelo desnudo por el viento en los primeros estadios del cultivo (Corn Growth, Development and Diagnostics, 1996).

Observaciones visuales en las parcelas mostraron una capa superficial seca, de espesor muy variable de alrededor de 10 cm (ver fotografías 1 y 4 en anexo I). La capa de suelo seco pudo influir sobre la imbibición y germinación de las semillas de soja. A medida que disminuye en contenido de agua en el suelo, primero se reduce la velocidad de germinación y cuando es más severa la restricción se reduce el porcentaje de germinación (Leopold, 1983). Otros autores (De Juan Valero y de Santa Olalla Mañas, 2003), describen que la humedad del suelo también influye en la consistencia de la costra de suelo y en la capacidad de la semilla para generar la suficiente presión requerida para romperla y nacer.

En un principio esta diferencia de densidad no parecería afectar el rendimiento, ya que se sabe que el cultivo de soja es poco sensible a variaciones en la densidad. Bodrero *et al.*, 1989 (a), establecieron que variaciones de la densidad en hasta 5 veces menor produjeron rendimientos no inferiores al 75% del rendimiento máximo. Pero esta menor cantidad de plantas por unidad de superficie, modifica la utilización del agua del suelo (López-Castañeda *et al.*, 1995; Passioura, 1994).

### 3.3.2. Materia seca total, aérea:

Como se observa en la figura 10, la cantidad de materia seca total aérea en el cultivo fue siempre superior en el tratamiento con cobertura de restos vegetales (*p*-valor 0,0021). También se observó lo mismo en la altura de las plantas en los distintos estados de desarrollo del cultivo (ver fotografías 5, 10 y 14).



**Figura 10.** Biomasa aérea del cultivo de soja a cosecha (estado fenológico R8).

Esta disminución de materia seca total aérea que se observa en el tratamiento sin cobertura es debida a la menor disponibilidad hídrica a la que estuvo sometido el cultivo en sus primeros estadios (figura 8), y posiblemente está relacionada con la expansión de las células (Confalone *et al.*, 1997) y una menor translocación de fotoasimilados (Cox y Jolliff, 1987). A tal efecto Segura (2000) describe que el efecto más importante de, incluso, un estrés hídrico suave es la reducción del crecimiento, siendo especialmente sensible la expansión celular, se sabe que la presión de turgencia de las células proporciona la fuerza motriz para esta expansión, mientras que la división celular, aunque afectada, es menos sensible.

#### Índice de cosecha:

Si bien se observan diferencias en el índice de cosecha en ambos tratamientos (con cobertura el índice de cosecha promedio de 0,344 y en el tratamiento sin cobertura de 0,318), estas no son estadísticamente significativas (*p*-valor 0,3153) (cuadro 4). Esto indica que el distinto arreglo espacial, debido a las diferencias de densidad por pérdida de plántulas, no provocó cambios en la partición de asimilados. Estos resultados coinciden con los de Bodrero *et al.*, (1989 (b)). A tal efecto Andriani *et al.*, 1991, sostienen que no se cuentan con datos que permitan evaluar si el IC es dependiente del agua disponible para el cultivo.

**Cuadro 4.** Relación entre Biomasa aérea en estadio fenológico R8 (kg. ha<sup>-1</sup>) y el rendimiento de cada tratamiento.

<b>SIN COBERTURA</b>			<b>CON COBERTURA</b>		
Biomasa kg MS. ha <sup>-1</sup>	Rendimiento kg. ha <sup>-1</sup>	Índice de cosecha	Biomasa kg MS. ha <sup>-1</sup>	Rendimiento kg. ha <sup>-1</sup>	Índice de cosecha
10615	4008	0,378	14871	4773	0,321
11009	3650	0,332	14250	4131	0,29
11731	3457	0,295	12097	4512	0,373
11379	3441	0,302	12369	4190	0,339
11544	2830	0,245	14594	501	0,343
10377	3688	0,355	12381	4935	0,399

### 3.1.3. Caracteres morfológicos y componentes del rendimiento:

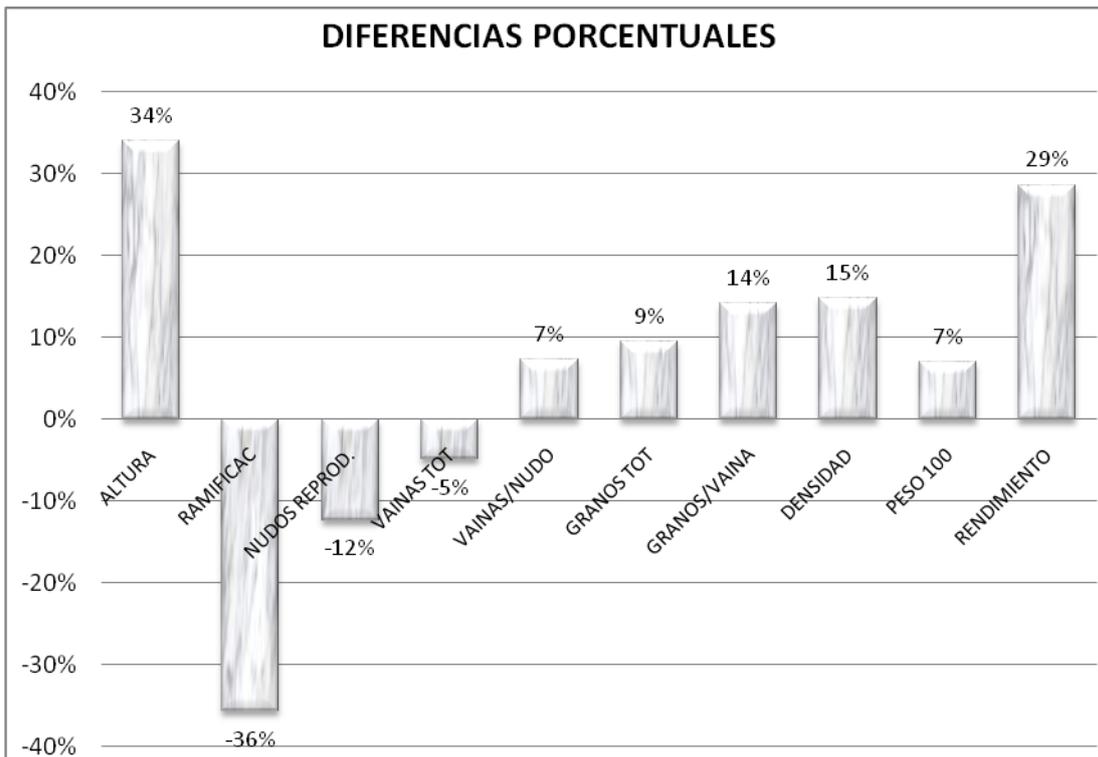
Dos parámetros medidos que se manifestaron en mayor proporción en el tratamiento sin cobertura fueron la cantidad de ramificaciones (*p-valor* 0,0260) y nudos reproductivos por planta (*p-valor* 0,0039) (figura 12). Esto se debe a la gran plasticidad vegetativa de la soja para lograr el canopeo y así interceptar la máxima radiación incidente (Vega y Andrade, 2002). En otro trabajo (Valentinuz, 1996) se encontró que el número de ramificaciones aumentó hasta 6 veces y el de nudos totales por planta hasta 4 veces, cuando la densidad se modificó desde 55 a 7,7 plantas m<sup>-2</sup>.

Sin embargo la altura total de la planta y la longitud de las ramificaciones fueron inferiores al tratamiento Con Cobertura (figura 11).

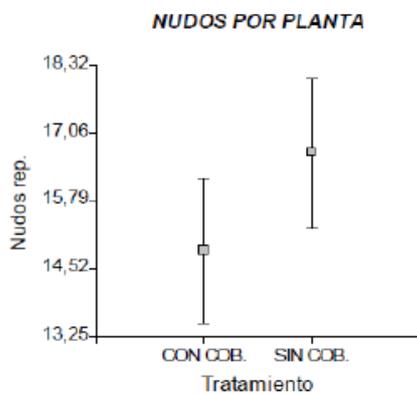
El menor número de nudos por planta en el tratamiento con cobertura, que posee altas densidades, obedece principalmente a un menor crecimiento de ramas y por lo general no afecta el número de nudos en el tallo principal (Kantolic *et al.*, 2003). El número de nudos que se diferencian en el tallo principal depende de las condiciones previas a la floración y el hábito de crecimiento de cada genotipo (Raper y Kramer citados por Board *et al.*, 1999).

#### **Cuadro 5.** Caracteres morfológicos y componentes del rendimiento.

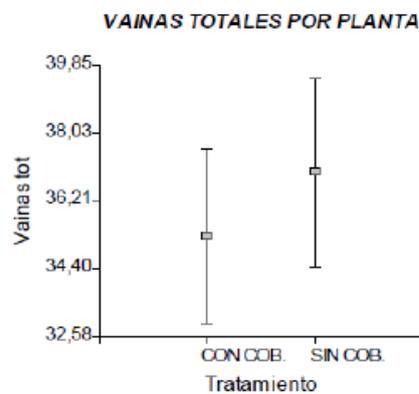
		PROMEDIOS	DESVIO ESTANDAR
Nudos reproductivos	C. C.	14,85	1,37
	S. C.	16,68	1,41
Vainas totales	C. C.	35,25	2,34
	S. C.	36,98	2,53
Vainas/nudo	C. C.	2,39	0,13
	S. C.	2,22	0,09
Granos totales	C. C.	81,25	5,90
	S. C.	73,56	5,76
Granos/vaina	C. C.	2,32	0,07
	S. C.	1,99	0,06
Densidad	C. C.	405000	22763,61
	S. C.	345000	44415,39
Peso de 100	C. C.	14,32	0,65
	S. C.	13,32	0,70
Rendimiento	C. C.	47,07	3,95
	S. C.	33,59	3,91



**Figura 11.** Diferencias porcentuales entre los Tratamientos (los valores negativos representan una diferencia a favor del tratamiento sin cobertura).

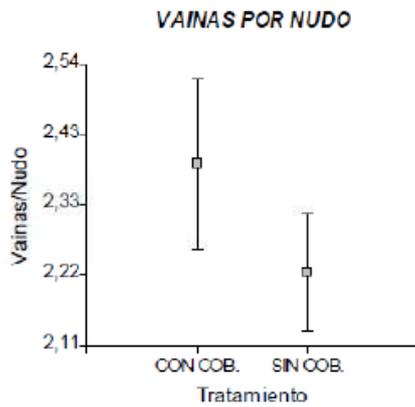


**Figura 12.** Promedios y desviación estándar Nudos Reproductivos por planta.

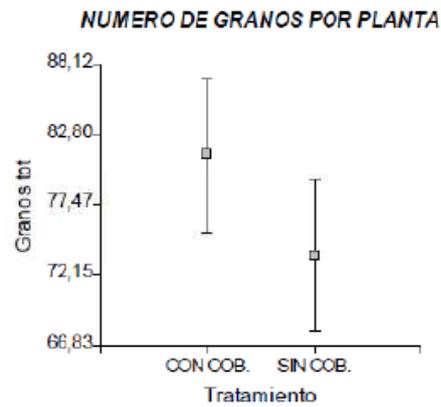


**Figura 13.** Promedios y desviación estándar Número de frutos por planta.

Tal como se observa en la figura 15, el número de granos por planta es afectado por las condiciones hídricas del suelo, Salinas *et al.*, (1996) describieron una disminución del 17,24% en el número de semillas por planta y un aumento del 86,17% de semillas subdesarrolladas por planta en un ensayo en donde se sometieron a diferentes cultivares a una sub irrigación al 60% de la capacidad de campo.



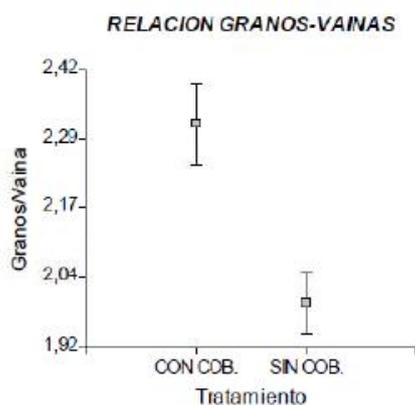
**Figura 14.** Promedios y desviación estándar de la relación de frutos por nudo.



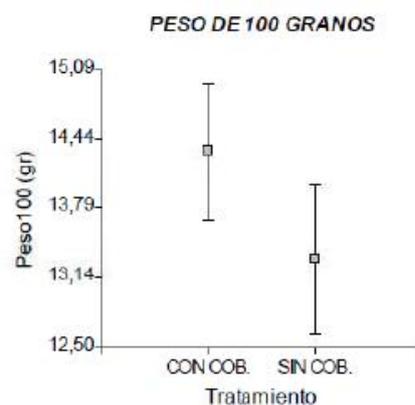
**Figura 15.** Promedios y desviación estándar del número de granos por planta.

El mayor número de granos logrados por vaina en el tratamiento con cobertura (figura 16) puede ser debido al aborto de uno o más granos antes de ingresar a su fase de llenado efectivo en el tratamiento sin cobertura. Sin embargo, este componente es mucho más estable que los demás sub-componentes del número de granos ante variaciones ambientales (Board *et al.*, 1999).

En la figura 17 se observa una marcada diferencia en el peso de los granos (*p*-valor 0,0014). Gran parte de esta variación puede estar asociada a un acortamiento del período de llenado, en la fotosíntesis y/o nutricionales causadas por deficiencias hídricas (Kantolic *et al.*, 2003; Egli, 1998) Estos resultados coinciden con los descriptos por Salinas *et al.*, (1996) quienes encontraron una disminución del 6,42% del peso de 100 granos, en cultivares sometidos a deficiencias hídricas en R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> y R<sub>6</sub>.

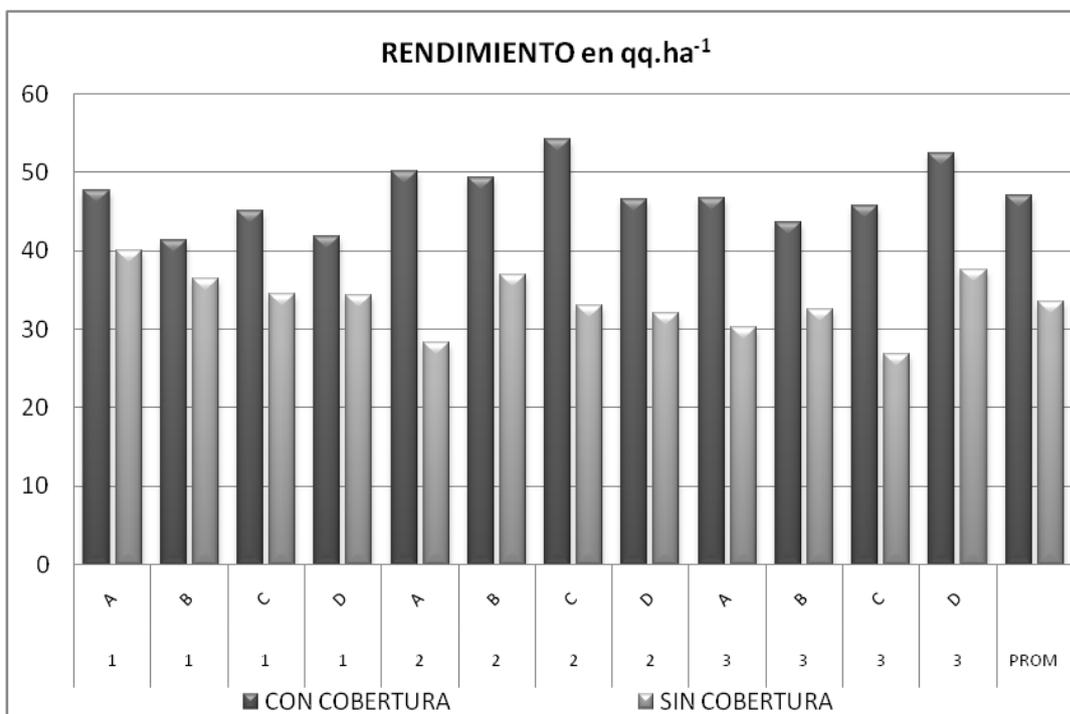


**Figura 16.** Promedios y desviación estándar de la relación entre granos y número de frutos por planta.



**Figura 17.** Promedios y desviación estándar del peso de 100 granos.

Los rendimientos por hectárea se ilustran en la figura 18. Como se puede observar, estos fueron siempre superiores en el tratamiento con cobertura en todas las muestras realizadas ( $p$ -valor  $<0,0001$ ). Así el rendimiento promedio fue un 29% superior en este.



**Figura 18.** Rendimientos de los diferentes tratamientos, estaciones de muestreo, submuestras y promedio.

Estos resultados son similares a los descritos por Salinas *et al.*, 1996; Board *et al.*, 1999; Sasovsky, 2000; Confalone y Navarro Dujmovich, 1999.

Sin embargo difieren en cuanto a la sensibilidad del cultivo en el período vegetativo. Ya que, como se observó en el apartado de condiciones de humedad en el suelo, la mayor diferencia se dio en las primeras etapas fenológicas del cultivo, mientras que en estadios más avanzados la diferencia en contenido de agua del suelo fue menor. En general, se señala que en las primeras etapas del cultivo (E-R1), deficiencias hídricas de mediana intensidad (40-50% de agua útil en el suelo) no producen reducciones en el rendimiento en semilla, si bien pueden reducir el área foliar y la altura de la planta (Andriani, 2006). Este mismo autor describe, que deficiencias hídricas de mayor intensidad (20-40 % de agua útil) podrían producir reducciones en rendimiento en semilla solo del orden del 10% (Andriani, 2002).

## CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio obtenidos en un ciclo con condiciones hidrológicas excepcionales (registro pluviométrico 54,2% superior a la media normal de la zona) permiten concluir que la pérdida del rastrojo en sistemas de siembra directa producen una disminución significativa del rendimiento del cultivo de soja (29%), ratificando la importancia de la cobertura vegetal muerta en estos sistemas de producción en la zona del estudio. Esto permite inferir que para las condiciones de lluvias medias normales, estas diferencias podrían ser aún mayores.

La información generada es de importancia para el ajuste de modelos de simulación que incluyan el efecto de la cobertura vegetal muerta y como base de soporte para decisiones y recomendaciones de estrategias agronómicas en lotes sometidos a este tipo de pérdidas.

Este trabajo puso en evidencia nuevos aspectos que requieren una mayor profundización y que pueden ser vías para continuar la investigación y experimentación. El primero es el análisis de una serie más prolongada de años y en condiciones meteorológicas distintas a las predominantes durante el estudio. En segundo lugar, considerar la evolución del lote hasta alcanzar a una situación similar a la que tenía antes de ser afectado por el fuego, destacándose el análisis del efecto de la rotación.

## **BIBLIOGRAFÍA CITADA**

- ABRIL A. y C. GONZÁLEZ. 1999. Dinámica de la fertilidad y de las poblaciones microbianas en suelos afectados por incendios en las sierras de Córdoba (Argentina). **Agriscientia**, Vol. XVI: 63-70.
- AGENCIA CÓRDOBA AMBIENTE. 2007. Hectáreas quemadas por año en Córdoba entre 1993 y 2005. En <http://www.cordobaambiente.cba.gov.ar/publicaciones.html>, Consultado Febrero de 2007.
- ANDRADE F. H., AGUIRREZABAL L. A. N. y RIZZALLI R. H. 2002. Crecimiento y rendimiento comparado. En **Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja**. 2° ed. Andrade, F. y Sadras, V. (Ed.) Graficas Sirio. Argentina. pp. 57-96.
- ANDRIANI, J. 1997. Uso del agua y riego. En: Giorda, L y H. Baigorri. **El cultivo de la soja en Argentina**. 7:143-150. EEA INTA, Marcos Juárez, Argentina.
- ANDRIANI J. M. 2002. Estrés Hídrico en soja. **IDIA XXI** Año II – N° 3 pp 48-51
- ANDRIANI, J.M; ANDRADE,F.A; SUERO, E y DARDANELLI, J. 1991. Water deficit during reproductive growth of soybean. I Their effects on dray matter accumulation, seed yield and its componentes. **Agronomie** 11: 739-746.
- ANDRIANI, J.M. 2006. Soja, Actualización 2006 – Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez–Proyecto Regional Producción Agrícola Sustentable–Informe de Actualización Técnica N° 3.
- ARAUS JL , SLAFER GA, REYNOLDS MP y ROYO C. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? **Annals of Botany** 89: 925-940.
- ARTIGAO RAMÍREZ A. Y R. GUARDADO LÓPEZ. 1993. El agua en el suelo. En **Agronomía del Riego**. DE SANTA OLALLA MAÑAS J.M. y DE JUAN VALERO J.A. (ed.) Mundi-Prensa y Universidad de Castilla-La Mancha. Madrid. pp 23-67.
- BAIGORRI, H.E.J. 1997. Manejo del cultivo. En: Giorda, L.M. y Baigorri, H.E.J. (Ed.) **El cultivo de la soja en la Argentina**. INTA, Centro Regional Córdoba. EEA Marcos Juárez – EEA Manfredi. Coordinación Subprograma Soja, pp. 127 – 138.
- BAIGORRI, H.; R. SCARAFONI y B. MASIERO. 1995 (a). Comportamiento de cultivares de grupos de madurez III al VII en 5 fechas de siembra entre octubre y febrero en Marcos Juárez: parte 1, crecimiento. **Primer Congreso Nacional de Soja y Segunda Reunión Nacional de Oleaginosos**. Compendio de Trabajos Presentados. pp. 222-229.
- BAIGORRI, H.; R. SCARAFONI y B. MASIERO. 1995 (b). Comportamiento de cultivares de grupos de madurez III al VII en 5 fechas de siembra entre octubre y febrero en Marcos Juárez: parte 2, desarrollo. **Primer Congreso Nacional de Soja y Segunda Reunión Nacional de Oleaginosos**. Compendio de Trabajos Presentados. pp. 214-221.

- BOARD, J. E.; M. S. KANG y B. G. HARVIELLE. 1999. Path analyses of the yield process for late-planted soybean. **Agron. J.**, 91: 128 – 135.
- BODRERO, M., MACOR, L., C. GONZALEZ, N. BEDINI y L. MACAGNO. 1989 (a). Un análisis sobre le conveniencia de la resiembra en soja según densidad de plantas, cultivares y época de siembra. **IV Conferencia mundial de Investigación en Soja**. Buenos Aires. pp. 793-798.
- BODRERO, M.L.; DARWICH, N.; ANDRADE y NAKAYAMA, F. 1989 (b). Intercepción de radiación fotosintéticamente activa y productividad de soja de segunda sembrada a distintos espaciamentos entre surcos. **IV Conferencia Mundial de Investigación en Soja**. Buenos Aires. Argentina. pp 245-254.
- BODRERO, M; ANDRIANI, J.; BACIGALUPO, S.; GERSTER, G.; QUIJANO, A.; MARTIGNONE, R. y A. VAN LACKE. 2002. Factores limitantes del rendimiento y determinantes de su variabilidad en el cultivo de soja, campaña 2001-02. Para mejorar la producción de Soja. E.E.A. Oliveros. 45 p.
- BUENO PINTO, A. H. 1969. **Química Analítica y Análisis Agrícola**. 2º Ed. Departamento de publicaciones Universidad de Guayaquil, Col. pp. 321-326
- BRICCHI, E., CANTERO, A., BECERRA, V., CISNEROS, J., y H. GIL. 1986. **Zonificación y Descripción de las Tierras del Departamento Río Cuarto (Córdoba)**. FAV-UNRC. 79 p.
- CONFALONE, A.; COSTA, L.C. y C.R. PEREIRA. 1997. Eficiencia de uso de la radiación en distintas fases fenológicas bajo estrés hídrico. **Revista Facultad de Agronomía**, Buenos Aires, v.17, n.1, pp. 63-66.
- CONFALONE, A. y M. NAVARRO DUJMOVICH. 1999. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 2, pp. 183-187.
- CONSIGLI, R. E. 1999. El Productor Agropecuario y los Incendios Rurales. En: **Marca Líquida Agropecuaria**, Cba., pp. 17-20.
- Corn Growth, Development and Diagnostics, 1996. **CORN GROWTH CD-ROM (GERMINATION TO KNEE HIGH)** program **Purdue University. USA**.
- COX, W.J. y JOLLIFF. 1987. Crop-water relations of sunflower and soybean under irrigated and dryland conditions. **Crops Science**, Madison, v. 27, pp. 553-557.
- DAMÉ, P. R. V. QUADROS, F.L.F y C.E. KERSTING. 1996. Efeitos da queima sobre o resíduo, temperatura do solo e mesofauna de uma pastagem natural. **Ciência Rural**, v. 26, n. 3, pp. 391- 396.
- DARDANELLI J. 1998. Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranzas. En: L. Panigatti; H. Marelli; D. Buschiazzo y R. Gil (*eds*), **Siembra Directa**. INTA-SAGyP, pp. 107-115.

- DARDANELLI, J.L; SUERO, E; ANDRADE,F.A y ANDRIANI, 1991 Water deficit during reproductive growth of soybean II Water use and water deficiency indicators. **Agronomie** 11:747-756.
- DE JUAN VALERO J.A. y J.M. DE SANTA OLALLA MAÑAS. 1993. El estrés hídrico en las plantas. En **Agronomía del Riego**. DE SANTA OLALLA MAÑAS J.M. Y DE JUAN VALERO J.A. (ed) Mundi-Prensa y Universidad de Castilla-La Mancha. Madrid. pp 129-224.
- DI RIENZO, J; CASANOVES, F.; GONZALEZ, L.; TABLADA, E.; DÍAZ M.; ROBLEDO, C. y M. BALZARINI. 2001. **Estadística para las Ciencias Agropecuarias**. 4ta Ed. Triunfar. Córdoba, Argentina.
- EGLI, D. B. 1998. Variation in leaf starch and sink limitations during seed filling in soybean. **Crop Sci.**, 39: 1361-1368.
- ESPÓSITO G. 2002. **Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a diferentes sistemas de labranza en cultivo de maíz**. Tesis M. Sc Producción Vegetal. FAV-UNRC.:113 p.
- FEHR, W.R., C. E. CAVINESS, D. T. BURMOOD, y J. S. PENNINGTON. 1971. Stage development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop. Sci.** 11:929-931.
- FEHR, W.R. y C. E. CAVINESS. 1977. Stages of soybean development. Iowa St.Univ. **Special Report** 80. 11p.
- FERRARI, M.; OSTOJIC, O; PONTONI, R.; CACCIAMANI, M. y R.PELLEGRINO. 1992. Soja: distanciamiento entre surcos - un estudio de casos. **Boletín de extensión PAC - BAN N° 2**. EEA Pergamino. INTA, 32 p.
- GARZA, N. E. JR. y W. H. BLACKBURN. 1985. The effect of Early Winter or Burning on Runoff, Sediment, and Vegetation in the Post Oak Savannah of Texas. **Journal Range Manage**, v. 38, n. 3, pp. 283- 287.
- GILL, R.R. y E.E. MARTELOTTO. 1993. **El agua edáfica. Guía práctica para su determinación**. EEA INTA Manfredi. 9 p.
- GIORDA, L. M. y H. E. J. BAIGORRI. 1997. El cultivo de la soja en Argentina. **INTA Centro Regional Córdoba EEA Marcos Juárez – EEA Manfredi**. 448 p.
- GONZÁLEZ, C., ABRIL, A. y J. VOLLENWEIDER. 2003. Efecto de una quema prescripta de pastizales nativos sobre los procesos biológicos del suelo. (Inédito).
- GONZÁLEZ, C; A. ABRIL y M. ACOSTA. 1999. Efecto del fuego sobre la fertilidad edáfica y las comunidades microbianas en el Chaco occidental argentino. **Ecología Austral** 9:3-10.
- GUEVARA J. 2005. Incendios rurales. Quema de rastrojos. **Revista de la Sociedad Rural de Río Cuarto** Año 1 N° 4. 29 p.

- GUPTA, S.C.; LARSON, W.E. y D.R. LINDEN. 1983. Tillage and surface residue effects on soil upper boundary temperatures. **Soil Science Society American Journal**. 47:1212 - 1218.
- INFOSTAT. 2004. InfoStat, versión 2004. Grupo InfoStat, F. C. A. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- INSUELOS. 2007. La Siembra Directa controla la erosión y mejora la fertilidad del suelo, [http://www.insuelos.org.ar/Informes/La\\_siembra\\_directa.htm](http://www.insuelos.org.ar/Informes/La_siembra_directa.htm).
- JICA-INTA. .2004. Seminario “sustentabilidad de la producción agrícola” En: [www.inta.gov.ar/suelos/actualidad/Seminarios/S\\_SustentabilidadJICA-INTA.pdf](http://www.inta.gov.ar/suelos/actualidad/Seminarios/S_SustentabilidadJICA-INTA.pdf) pp. 6-11. Consultado Febrero de 2008.
- KANTOLIC, A.G., P.I. GIMÉNEZ y E.B. DE LA FUENTE. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en soja. En: SATORRE, E. *et al.* Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. **Ed. Facultad de Agronomía-UBA**. Cap. 9, pp. 165- 201.
- KOPTA, F. 1999. Problemática ambiental con especial referencia a la Provincia de Córdoba. En: **Programa Educar Forestando**. Fundación Ambiente, Cultura y Desarrollo ACUDE. Edición auspiciada por UNESCO y financiada por la Embajada Real de los Países Bajos. Córdoba, Argentina. 203 p.
- KRUNK, B. y SATORRE, E.H. 2003. Densidad y arreglo espacial del cultivo. En: Facultad de Agronomía (Ed.). **Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo**. Universidad de Buenos Aires, pp. 279 - 310.
- LAUNCHBAUGH, J. L. 1965. Effects of early spring burning on yields of native vegetation. **Journal Range Manage**. Portland, Ore, v. 17, n. 1, pp. 5-6.
- LEOPOLD, A. C. 1983. Volumetric components of seed imbibition. **Plant Physiol**. 73:677-680.
- LÓPEZ-CASTAÑEDA C, RICHARDS RA, FARQUHAR GD (1995) Variation in early vigour between wheat and barley. **Crop Science** 35: 472-479.
- MADDONI, G.A. y DE LA FUENTE, E.B. 2003. ¿Qué se entiende por estructura del cultivo?. En: Facultad de Agronomía (Ed.). **Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo**. Universidad de Buenos Aires. pp. 247 - 252.
- MARELLI, H. J., SALAS, P., LOVERA, E. . 1997. Secuencias de cultivos y Sistema de Labranza. En: **EL cultivo de la soja en Argentina**. Giorda, L. M., Baigorri, H. E. J. (Ed.) INTA C.R. Córdoba, Argentina. pp. 155-183.
- MATTOS, J. C. A. 1971. **A influência do fogo na vegetação e o seu uso no estabelecimento e manejo de pastagens**. São Paulo, Brasil, Secretaria de Agricultura, Instituto de Zootecnia. Boletim Técnico n° 1, 21 p.

- MEYER L. L. y J. V. MANNERING. 1967. Tillage and land modification for water erosion control. **Amer. Soc. Agric. Eng. Tillage for Greater Crop Production Conference**. N 11 - 12, pp 58 - 62.
- PANIGATTI, J.L.; PÉREZ, M del C. y MUSSTTE, M. 1983. Evolución de la temperatura del suelo. Influencia de la cobertura. Publicación miscelánea N° 15. EEA INTA Rafaela.
- PASSIOURA J. B. 1994. The yield of crops in relation to drought. In '**Physiology and determination of crop yield**' American Society of Agronomy, Madison, USA. pp.343-359.
- PERTICARI, A.; ARIAS, N.; BAIGORRI, H; DE BATTISTA, J.J.; LETT, L.; MONTECCHIA, M.; PACHECO BASURCO, J.C.; SIMONELLA, A.; TORESANI, S.; VENTIMIGLIA, L. y R. VICENTI. 2003. Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja. En: Satorre, E. **El libro de la soja**. Buenos Aires: Servicios y Marketing Agropecuario, pp 69 - 76.
- POWER J.F.; WILHEM, W.W. y DORAN, J.W. 1986. Crop residue effects on soil environment and dryland maize and soybean production. **Soil Tillage Research**, 8: 101 - 111.
- QUIROGA A. R., ADEMA E., BUSCHIAZZO D. E. y N. PEINEMANN. 1996. Efecto de dos sistemas de labranzas sobre el rendimiento de trigo y sorgo, y propiedades de un Haplustol Entico en la región semiárida pampeana central. 213 p.
- RES-N-TILL. **User Manual. Computer software for assisting tillage management decisions leading to soil and water conservation. Version 2.1.** Department of Agronomy, Kansas State University, Manhattan, KS. 5 p.
- ROTH, C.H., 1985. Infiltrabilität von Latossolo-Roxo-Böden in Nordparaná, Brasilien, in Feldversuchen zur Erosionskontrolle mit verschiedenen Bodenbearbeitungs-systemen und Rotationen. **Göttinger Bodenkundliche Berichte**, 83: 101 -104.
- SAAL, G. A. Y LLORENTE, C. A. 1996. Análisis y valoración económica de los efectos producidos por los incendios forestales y rurales en la Provincia de Córdoba. Incluido en: Cristante, M. C.; Llorente, C. A.; Paz, M. E.; Quiróz, B. y G. A. Saal. 1996. Proyecto de Tesis '**Sistema provincial de manejo del fuego**'. Maestría en Formulación, Evaluación y Administración de Proyectos de Inversión. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Córdoba.
- SADRAS, V. O., FERREIRO, M., GUTHEIM, F. Y KANTOLIC, R. H. 2002. Desarrollo frenológico y su repuesta a temperatura y fotoperíodo. En **Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja**. 2° ed. Andrade, F. y Sadras, V. (Ed.) Graficas Sirio. Argentina. pp. 25-56.

- SAGPyA. 2004. Normas de Calidad para la Comercialización de Soja. **Revista Granos** N° 47, pp. 6-11.
- SALINAS A., ZELENER N., CRAVIOTO R. M. y V. BISARO. 1996. Respuestas fisiológicas que caracterizan el comportamiento de diferentes cultivares de soja a la deficiencia hídrica en el suelo. **pesq. agprop. bras.** V 31. N 5 pp 331-338.
- SASOVSKY C.A., 2000. Estrés hídrico en el cultivo de soja. E.E.A. INTA Las Breñas. [www.inta.gov.ar/lasbrenas/info/documentos/pv/soja1.htm](http://www.inta.gov.ar/lasbrenas/info/documentos/pv/soja1.htm). Consultado: 06/2008
- SAWCHIK, J. Y CERETTA, S.2005 **Consumo de agua por sojas de distintos grupos de madurez en diferentes ambientes de producción.** en Jornada Técnica de Cultivos de Verano Serie. Actividades de Difusión N° 417. pp. 41-53
- SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTOS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, 2007, Información Estadística y técnica. En <http://www.cba.gov.ar/vercanal.jsp?idCanal=2067>, Consultado Febrero de 2007.
- SEGURA J. 2000. Introducción al Desarrollo, Concepto de Hormona Vegetal. En **Fundamentos de la Fisiología Vegetal.** AZCON BIETO J. y TALON M. (ed) Mc Graw-Hill Interamericana. Madrid. pp 285-286.
- SEILER, R. A., FABRICIUS, R., ROTONDO, V. y VINOCUR, M. 1995. **Agroclimatología de Río Cuarto – 1974/93**, vol. I. UNRC. 68 p.
- SEMPLE, A. T. 1970. Problemas e pesquisas em pastagens. In: **Fundamentos de manejo de pastagens.** 1ª ed., 2ª reimp. São Paulo. pp 19-22.
- SERBINO, M. S. 1999. Relevamiento de la fauna del suelo en sistemas de producción con siembra directa. **Jornada Nacional de Siembra Directa**, Mercedes, Uruguay. AUSID. pp. 22-25.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL (2007). **BOLETIN AGROMETEOROLOGICO MENSUAL.** Departamento Agrometeorología: Servicio Meteorológico Nacional (SMN). En <http://www.meteofa.mil.ar> Consultado Febrero de 2008.
- SERRAJ, R. T.; R. SINCLAIR y L. C. PURCELL. 1999. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation response to drought. **Journal Experimental Botany.** 50. 331. 143-156.
- STEINER, J.L. 1994. Crop Residue Effects on Water Conservation. En: Unger P.W. (Ed.) **Managing Agricultural Residues.** Lewis Publishers. Boca Raton, USA, pp. 41 – 76.
- VALENTINUZ O. R., 1996. **Crecimiento y desarrollo comparados de girasol, maíz y soja ante cambios en la densidad de plantas.** Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina. 45p.
- VALZANO, F.P., GREENE, R.S.B., MURPHY, B.W. 1997. Direct effect of stubble burning on soil hydraulic and physical properties in a direct drill tillage system. **Soil & Tillage Research**, 42, 209-219.

- VEGA C.R. y ANDRADE F. 2002. Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. En **Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja**. 2º ed. Andrade, F. y Sadras, V. (Ed.) Graficas Sirio. Argentina. pp.97-135.
- ZHAI R, R. G. KACHANOSKI y R. P. VORONEY. 1990. Tillage effects on the spatial and temporal variation of soil water. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 54:186-192.

## ANEXO I

### FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1.

Fotografía 2.



Fotografía 3.

Fotografía 4.



Fotografía 5.

Fotografías 1, 2, 3, 4 y 5. Estado del cultivo en etapa V1. (Tomadas el mismo día en el mismo lote)



Fotografía 6.



Fotografía 7.



Fotografía 8.



Fotografía 9.



Fotografía 10.

Fotografías 6, 7, 8, 9 y 10. Estado del cultivo en etapa fenológica R1.



Fotografía 11.

Fotografía 12.



Fotografía 13.



Fotografía 14.

Fotografías 11, 12, 13, y 14. Estado del cultivo en etapa fenológica R5.

## ANEXO II

### DATOS DEL SUELO

#### Hapludol típico

Suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre materiales francos, vinculados a sectores deprimidos.

Presentan una capacidad de retención de agua algo baja, por lo que son susceptibles al estrés hídrico en las épocas de secas. Son además propensos a ser erosionados, lo que debe ser contemplado en su manejo.

#### Descripción del perfil típico:

Perfil	A1	B	C
Profundidad de la muestra (cm)	0-22	22-51	51 a +
Materia orgánica (%)	2,8		
Carbono orgánico (%)	1,6		
Nitrógeno total (%)	0,19		
Relación C/N	8,4		
Arcilla ( $\leq 2 \mu$ ) (%)	10,1	12,5	10,3
Limo (2-50 $\mu$ ) (%)	48,5	49,5	48,3
Arena muy fina (50-100 $\mu$ ) (%)	35	35,5	39
Arena fina (100-250 $\mu$ ) (%)	4,5	2	1,5
Arena media (250-500 $\mu$ ) (%)	1		
Arena Gruesa (500-1000 $\mu$ ) (%)	0,5		0,5
CaCO <sub>3</sub> (%)	0	0	0
Equivalente de Humedad (%)	19,2	15,8	14
pH en pasta	6,1	6,5	7
pH en Agua (1:2,5)	6,9	7,1	7,3
Ca <sup>++</sup> (meq/100g)	11,3	10,6	10,8
Mg <sup>++</sup> (meq/100g)	0,9	1,1	0,9
Na <sup>+</sup> (meq/100g)	0,4	0,2	0,2
K <sup>+</sup> (meq/100g)	2,1	1,5	1,4
H <sup>+</sup> cambio (meq/100g)	2	1	0,4
Na <sup>+</sup> (% del valor T)	2,4	1,4	1,4
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)			
Resistencia eléctrica (ohms)			
Valor S. Suma de bases (meq/100g)	14,7	13,4	13,3
Valor T. CIC (meq/100g)	16,7	14,6	13,8
Saturación con bases S/T (%)	88	91,8	96,4