

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

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

**INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA Y LA
FERTILIZACIÓN
SOBRE EL CONTENIDO, CONSUMO Y EFICIENCIA DE USO
DEL AGUA EN CULTIVO DE SOJA**

Alumno: Marján, Esteban Nicolás

DNI: 29.518.741

Director: Ing. Agr. MSc. Cerioni, Guillermo A.

Río Cuarto – Córdoba

Noviembre de 2007

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA Y LA FERTILIZACIÓN
SOBRE EL CONTENIDO, CONSUMO Y EFICIENCIA DE USO DEL AGUA EN
CULTIVO DE SOJA**

Autor: Marján, Esteban Nicolás

DNI: 29518741

Director: Ing. Agr. MSc. Cerioni, Guillermo A.

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

GIAYETTO Oscar

FERNANEDEZ Elena M.

MORENO Inés

Fecha de presentación: ____/____/____

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____

Secretario Académico

A mis viejos, Juan y Anna

AGRADECIMIENTOS

A Dios...

A mis viejos, que con gran esfuerzo hicieron posible mi estudio y me apoyaron incondicionalmente.

A cuatro personas maravillosas: Lolo, Ema, Carlitos y Tuli (mis hermanos).

A mis abuelos, por estar siempre a mi lado, ayudando en todo lo que necesitaba.

A Diame, por acompañarme y bancarme en todo momento.

A “Yogui” por ayudarme en este último proceso de la carrera y por su amistad (un fenómeno el Guille).

A Elena por su calidad de persona y por tratarme como en casa en el Departamento de Oleaginosas.

A mis compañeros y ahora amigos de la Facultad por hacerme pasar seis años de mi vida realmente espectaculares, que quedarán por siempre en mi recuerdo.

A Mati, Gringo, Ruly y Bocha (casi uno más de la casa), con quienes conviví y pasé la mayor parte de mi tiempo.

A mis amigos de Guati, simplemente por hacer mi vida más feliz y agradable.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto por la formación profesional.

A la Cooperativa Unión de Justiniano Posse, por facilitarme los medios y los tiempos para terminar la tesis.

A todos (y seguramente me estoy olvidando de alguien), un GRACIAS con mayúscula porque cada uno ha aportado para obtener este logro. Nuevamente, un millón de GRACIAS...

ÍNDICE GENERAL

Página

Certificado de aprobación.....	II
Dedicatoria.....	III
Agradecimientos.....	IV
Índice general.....	V
Índice de figuras.....	VI
Índice de cuadros.....	VII
Resumen.....	VIII
Summary.....	IX
Introducción.....	1
Antecedentes.....	2
Hipótesis.....	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos.....	6
Materiales y métodos.....	7
Condiciones meteorológicas durante el ciclo del cultivo.....	11
Temperatura.....	11
Radiación.....	11
Precipitaciones.....	12
Resultados y discusión.....	14
Variación del contenido hídrico durante el ciclo del cultivo.....	14
Consumo acumulado.....	16
Eficiencia en el uso del agua considerando materia seca.....	18
Eficiencia en el uso del agua considerando el rendimiento en granos.....	22
Componentes del rendimiento y producción de granos.....	24
Conclusiones.....	26
Bibliografía.....	27
Anexos.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura n° 1: Temperaturas máximas, mínimas y medias (°C) decádicas durante el ciclo del cultivo de soja.....	11
Figura n° 2: Radiación incidente (Mj/m ²) promedio por década, durante el ciclo del cultivo de soja.....	12
Figura n° 3: Precipitación (mm) por década durante el ciclo del cultivo de soja.	13
Figura n° 4: Contenido de agua útil en el suelo (mm) en los primeros 100 cm de profundidad, durante el ciclo del cultivo de soja (DDS), en todos los tratamientos.....	14
Figura n° 5: Consumo acumulado de agua útil (mm) en los primeros 100 cm de profundidad, durante el ciclo del cultivo (DDS), en todos los tratamientos.....	16
Figura n° 6: Materia seca total producida en función del agua consumida acumulada en el tratamiento SD-F: Siembra Directa-Fertilizado.....	18
Figura n° 7: Materia seca total producida en función del agua consumida acumulada en el tratamiento SD-NF: Siembra Directa-No Fertilizado.....	18
Figura n° 8: Materia seca total producida en función del agua consumida acumulada en el tratamiento LR-F: Labranza Reducida-Fertilizado.....	19
Figura n° 9: Materia seca total producida en función del agua consumida acumulada en el tratamiento LR-NF: Labranza Reducida-No Fertilizado.....	19
Figura n° 10: Materia seca total producida en función del agua consumida acumulada en el tratamiento LC-F: Labranza Convencional-Fertilizado.....	20
Figura n° 11: Materia seca total producida en función del agua consumida acumulada en el tratamiento LC-NF: Labranza Convencional-No Fertilizado.....	20
Figura n° 12: EUA (kg grano/mm de agua consumida) de los diferentes tratamientos.....	22

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro n° 1: Componentes del rendimiento y producción del cultivo de soja en los distintos tratamientos.....	24
Cuadro n° 2: peso de los granos (g/m^2) en los distintos sistemas de labranza.....	30
Cuadro n° 3: peso de los granos (g/m^2) en los tratamientos con y sin fertilización.....	30
Cuadro n° 4: peso de los granos (g/m^2) en los distintos tratamientos (labranza*fertilización).....	30
Cuadro n° 5: peso de las vainas (g/m^2) en los distintos sistemas de labranza.....	31
Cuadro n° 6: peso de las vainas (g/m^2) en los tratamientos con y sin fertilización.....	31
Cuadro n° 7: peso de las vainas (g/m^2) en los distintos tratamientos (labranza*fertilización).....	31
Cuadro n° 8: peso de mil semillas (g) en los distintos sistemas de labranza.....	31
Cuadro n° 9: peso de mil semillas (g) en los tratamientos con y sin fertilización.....	32
Cuadro n° 10: peso de mil semillas (g) en los distintos tratamientos (labranza*fertilización).....	32
Cuadro n° 11: número de semillas ($semillas/m^2$) en los distintos sistemas de labranza.....	32
Cuadro n° 12: número de semillas ($semillas/m^2$) en los tratamientos con y sin fertilización.....	32
Cuadro n° 13: número de semillas ($semillas/m^2$) en los distintos tratamientos (labranza*fertilización).....	33
Cuadro n° 14: rendimiento (kg/ha) en los distintos sistemas de labranza.....	33
Cuadro n° 15: rendimiento (kg/ha) en los tratamientos con y sin fertilización.....	33
Cuadro n° 16: rendimiento (kg/ha) en los distintos tratamientos (labranza*fertilización).....	34
Cuadro n° 17: fecha de los muestreos a campo y estadio fenológico del cultivo.....	35
Cuadro n° 18: agua útil (mm) durante el ciclo del cultivo de todos los tratamientos.....	36
Cuadro n° 19: consumo acumulado de agua útil (mm) durante el ciclo del cultivo de todos los tratamientos.....	37
Cuadro n° 20: EUA para biomasa aérea (g/mm) en todos los tratamientos.....	38
Cuadro n° 21: EUA respecto a la producción en granos (kg/mm) de todos los tratamientos.....	39

RESUMEN

La experiencia se realizó en el establecimiento “Pozo del Carril”, perteneciente a la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicado en cercanías del paraje La Aguada.

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorizados con dos factores. El factor *labranzas* con tres niveles: siembra directa: sin remoción de suelo (SD), labranza reducida: labranza vertical y disco, con cobertura superior a un 30 % (LR) y labranza convencional: arado de rejas y disco (LC). El otro factor la *fertilización*: parcela fertilizada (F) y parcela no fertilizada (NF). Se realizaron dos repeticiones espaciales por tratamiento.

Se evaluó el contenido de agua útil del suelo (0-100 cm), consumo acumulado de agua y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de soja, en tres sistemas de labranza: siembra directa (SD), labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC); con y sin el agregado de fertilizante fosforado. Luego, a cosecha, se evaluaron los componentes del rendimiento y producción de granos.

La SD acumuló un mayor contenido de agua útil en el perfil (0-100 cm) durante el ciclo del cultivo, respecto de la LR y la LC. Este mayor contenido hídrico no se tradujo en un mayor rendimiento.

Prácticamente no hubo diferencias en el consumo acumulado de agua útil por parte del cultivo entre sistemas de labranza.

La mayor eficiencia en el uso del agua (teniendo en cuenta la producción de granos) se dio en SD. El agregado de fertilizante fosforado mostró resultados variables.

No hubo diferencias significativas en cuanto al rendimiento y sus componentes, entre sistemas de labranza.

PALABRAS CLAVES: Labranza, fertilización, agua útil, eficiencia de uso del agua, soja.

SUMMARY

The experience was carried out in “Pozo del Carril” establishment, belonging to the Faculty of Agronomy and Veterinary at the Nacional University of Rio Cuarto, located near La Aguada spot.

The experimental design used was in complete randomized blocks with two factors. The cultivation factor with three levels: direct sowing: without removing the soil (SD), reduced cultivation: vertical cultivation and disk, with a cover superior to a 30 % (LR) and conventional cultivation: plough share and disk (LC). The other factor fertilization: fertilizing plot (F) and no fertilizing plot (NF). Two spatial repetitions per treatment were executed.

It was evaluated the amount of useful water from the soil (0-100 cm), water accumulated consumption and efficiency in the usage of water in the soybean crop, in three cultivation systems: direct sowing (SD), reduced cultivation (LR) and conventional cultivation (LC); with and without phosphoric fertilizar aggregate. Then, harvest, it was assessed the yield and production of grain components.

The SD accumulated a major content of useful water in the section (0-100 cm) during the crop cycle, with regard to LR and LC. This main water content did not produce a major yield.

Practically, there were not differences in the accumulated consumption of useful water on the part of the crop among cultivation systems.

The main efficiency in the usage of water (taking into account the grain production) was in SD. The phosphoric fertilizar aggregate showed variable results.

There were no meaningful differences as to the yield and its components, among cultivation systems.

KEY WORDS: cultivation, fertilization, useful water, efficiency of the water usage, soybean.

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de soja es de 190 millones de toneladas, con un rendimiento promedio por hectárea de 22 quintales, ocupando una superficie total de 86.3 millones de hectáreas (SAGPyA, 2005).

La producción del MERCOSUR es de 88.17 millones de toneladas, lo que representa el 46.40% del total mundial (SAGPyA, 2005).

En la Argentina el cultivo de soja tuvo un significativo desarrollo a partir de 1970.

La producción, entre la década del '70 y '80 crece veintiocho veces a partir de un bajo valor inicial, entre el '80 y '90 un 178% y desde comienzos del '90 hasta el 2000/01 un 131% (SAGPyA, 2005).

Al analizar los factores de este alto crecimiento en la producción surge que los cambios en la superficie sembrada entre períodos fueron sucesivamente de: 2095%, 142% y 102%. A su vez, la variación entre ciclos en el rendimiento fue: 30%, 16% y 12% (SAGPyA, 2005).

En forma paralela a este desarrollo del cultivo, a partir de medidas de política económica sectorial que favorecían agregarle valor al producto con impuestos diferenciales, y aprovechando el aumento del consumo mundial de aceites vegetales durante los '90, se desarrolló un eficiente complejo agroindustrial oleaginoso. Esto le permitió a la Argentina ser actualmente el primer exportador mundial de aceite y de harina de soja (SAGPyA, 2005).

En la actualidad, la superficie sembrada del cultivo a nivel nacional supera las 16 millones de hectáreas, concentrándose gran parte de esta área en la región pampeana (más del 80 %). Por su parte la producción nacional de la campaña 2005/06 alcanzó las 40.500.000 toneladas, registrándose un aumento del 6 % con respecto a la obtenida en la inmediata anterior (SAGPyA, 2005).

En la provincia de Córdoba la superficie de siembra para la misma campaña (2005/06) fue de 4.343.718 hectáreas, con un rendimiento promedio de 2600 kg/ha y una producción de 11.123.165 toneladas (SAGPyA, 2005).

ANTECEDENTES

La región de la llanura ondulada del sur de la provincia de Córdoba pertenecía a un inmenso latifundio ganadero hasta mediados del siglo XX, cuando se produce una gran subdivisión de la tierra con la colonización del sector y la incorporación de la agricultura invernada (trigo, lino, avena y centeno). Posteriormente, se incorpora el maíz que paulatinamente desplazó a los cultivos de invierno, en la década del '60 se introduce el girasol y en la del '70 la soja (Cantú, 1998).

A medida que el cultivo de soja se fue expandiendo, reemplazó a otros como el maíz, sorgo y girasol, convirtiéndose en un monocultivo anual o en doble cultivo después del trigo. Inicialmente, la expansión se realizó con sistemas de labranzas convencionales, que dejaban el suelo descubierto y refinado. La combinación de monocultivo y labranzas tradicionales aceleró la degradación física y química del suelo e incrementó las pérdidas por erosión. Posteriormente, el desarrollo de este cultivo fue acompañado por la utilización de técnicas conservacionistas como labranza mínima y siembra directa (Marelli, 1997).

En la actualidad está muy difundido, principalmente en la región sojera núcleo, el doble cultivo trigo-soja de segunda. El atraso en la fecha de siembra produce plantas más chicas (Baigorri *et al.* citado por Andrade y Cirilo, 2000); por lo que es muy común que no se alcance la cobertura plena del suelo por parte del cultivo. Por otro lado, se desplaza el período reproductivo del cultivo hacia momentos de menor radiación y temperatura, por lo tanto, el potencial de rendimiento en grano disminuye (Andrade y Cirilo 2000).

Entre las principales variables climáticas que afectan el crecimiento y rendimiento final de los cultivos se destacan, entre otras, la radiación solar, la temperatura y la humedad del suelo. Sin embargo, en sistemas de secano, la humedad edáfica es la principal variable y por lo tanto en la mayoría de los años es la principal limitante en la determinación del rendimiento (Andrade *et al.*, 1996; Dale, 1995; Waggoner y Cassel, 1993). En condiciones de secano el régimen hídrico condiciona la fecha de siembra y el momento más oportuno para ubicar el período de llenado de granos (Baigorri, 2000).

La tecnología agrícola ha contribuido a incrementar el rendimiento potencial de los cultivos pero actualmente el mismo es, en ocasiones, severamente reducido por el déficit de humedad del suelo. Además, a medida que la cantidad y frecuencia de las precipitaciones decrecen, adquiere importancia la necesidad de almacenar agua en el suelo para el uso de las plantas durante el ciclo del cultivo. El estrés hídrico es, normalmente, más severo en regiones áridas y semiáridas, sin embargo, puede llegar a ocurrir en regiones húmedas y subhúmedas debido a sequías estacionales, baja capacidad de infiltración y/o almacenaje de agua del suelo, o a la imposibilidad de las raíces de crecer o proliferar dentro de las zonas del suelo húmedo (Dale, 1995).

El consumo o necesidad de agua del cultivo de soja depende de la demanda atmosférica (relacionada con la radiación incidente, temperatura, humedad relativa del aire y viento), de la duración del ciclo del cultivo (a medida que la planta de soja alarga su ciclo, aumenta la cantidad total de agua consumida) y del área foliar desarrollada (a medida que ésta aumenta, también lo hace linealmente el consumo de agua del cultivo). Para la región sojera núcleo las necesidades de agua de los cultivos de soja de primera y segunda varían de 450 a 600 mm y de 300 a 500 mm, respectivamente (Andriani, 2003).

El conocimiento de los requerimientos de agua es útil para decidir prácticas de manejo que permitan lograr la mayor coincidencia entre la oferta natural de agua y la demanda del cultivo (Della Maggiora *et al.*, 2000).

Los rendimientos de soja están relacionados negativamente con la ocurrencia de déficits hídricos durante los estadios reproductivos del cultivo. En estos momentos, los componentes del rendimiento se ven afectados por una sequía. Si ésta se produce desde inicio de floración hasta comienzo de llenado de granos (R1 – R5) se afectan, principalmente, los procesos de generación de frutos. Si se produce en el período de crecimiento de granos (R5 – R7), el componente afectado es el peso de los granos, redundando todo esto en una reducción del rendimiento potencial del cultivo (Kantolic *et al.*, 1995).

El período más crítico para el cultivo de soja es la etapa de comienzo del llenado de granos (R5). Déficit hídricos severos pueden producir mermas de producción de más del 40 %, ya que no hay posibilidad de compensación de ningún componente del rendimiento (Andriani, 2003).

En condiciones de secano es muy frecuente que no sean satisfechas las necesidades de agua del cultivo. En éstas condiciones, la disponibilidad de agua para el cultivo depende de las precipitaciones, del desarrollo o expansión del sistema radical y de la capacidad de almacenamiento del suelo (Andriani, 1997).

La biomasa producida por unidad de agua evapotranspirada expresa la eficiencia con la cual un órgano o un cultivo fija carbono en relación con el agua que consume y se define como eficiencia en el uso del agua (EUA) (Sinclair *et al.*, 1984).

El cultivo de soja, en relación a otros cultivos, es menos eficiente en el uso del agua debido, principalmente, a la baja eficiencia fotosintética que posee y a la mayor concentración energética en los granos (Andrade citado por Della Maggiora *et al.* 2000).

La fertilización aumenta la EUA, incrementándose la capacidad fotosintética del cultivo, lo que produce un mayor crecimiento en períodos tempranos del mismo debido a una mayor eficiencia en el uso de la radiación (Caviglia y Sadras, 2001).

Por su parte, Andriani (2003) establece que para aumentar la EUA se tienen que desarrollar técnicas tendientes a mejorar la captura y retención del agua de lluvia; entre ellas,

barbechos oportunos, siembras tempranas, control de malezas y rápida cobertura del suelo como herramientas para disminuir las pérdidas por evaporación.

La cobertura con rastrojos aumenta la disponibilidad hídrica del suelo por reducir el encostramiento superficial con lo que se aumenta la infiltración (Cassel *et al.*, 1995). En este sentido, Quiroga *et al.* (1998) establecieron para un rango de coberturas entre 10 a 95 %, que el contenido de agua del suelo (0-20 cm) aumentaba a razón de 0,2 mm por cada punto de incremento de cobertura.

Núñez Vazquez *et al.* (1996) informan que luego de once años de labranzas continuas en la EEA INTA Manfredi la disponibilidad de agua fue más elevada en los sistemas de labranza con mayor cobertura de residuos como consecuencia de un menor escurrimiento y evaporación y una mayor infiltración.

Bajo labranzas conservacionistas se produce un incremento en los poros de transmisión a través del desarrollo de bioporos; esto incrementa las tasas de infiltración y percolación profunda, respecto del laboreo convencional (Shipitalo *et al.*, 2000 y Golabi *et al.*, 1995).

En Proyecto Fertilizar INTA (2005) encontraron un mayor rendimiento en los tratamientos con fertilización fosforada; esto se debería al efecto que produce el fósforo sobre la formación de área foliar y la cantidad de radiación capturada.

En el área de la EEA INTA San Pedro, en suelos con contenidos menores a 10 ppm de P, no encontraron respuesta a la fertilización en soja, con dosis de hasta 60 kg/ha de P₂O₅. A su vez determinaron que, en lotes con menos de 10 ppm al momento de la siembra del trigo, el P aplicado al trigo tiene efecto sobre el cultivo de soja sembrado a continuación (Ammu y Gonzalez, 1985)

Bodrero (1985), Bodrero y Racca (1981) no encontraron respuestas al agregado de diferentes dosis de P en suelos de Oliveros, con contenidos superiores a 15 ppm de P.

En suelos del centro de la provincia de Santa Fe, con niveles de entre 4 y 18 ppm de P, encontraron respuesta de tipo lineal cuando el contenido de P inicial fue menor a 10 ppm, para valores entre 10 y 15 la respuesta fue de tipo cuadrática, y por encima de 15 ppm no se obtuvo respuesta al agregado de P (Gambaudo y Fontanetto, 1996).

En la última década, se observó en la región pampeana un importante incremento de la siembra directa en los diferentes cultivos agrícolas. Este cambio en el sistema de producción, asociado a cultivares de mayor potencial genético y al uso de transgénicos, permitió un aumento constante de los rendimientos medios además de incorporar a la producción agrícola tierras que eran exclusivamente ganaderas (Gerster *et al.*, 2002).

Para la realización de sistemas sustentables, con participación de soja, deben establecerse rotaciones en las que alterne con cultivos como sorgo, maíz y pasturas. Dichos sistemas deben contemplar laboreos conservacionistas. En esas condiciones, se evita la

degradación del suelo, se hace un uso más eficiente del agua y se obtienen mayores y más estables rendimientos (Marelli, 1997).

HIPÓTESIS

- El contenido de agua del suelo, especialmente en el período reproductivo, influye marcadamente en la producción potencial del cultivo de soja. Los diferentes laboreos y la fertilización condicionan esa disponibilidad hídrica afectando el crecimiento del cultivo y su rendimiento final.

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el contenido de agua del suelo, consumo por el cultivo y la eficiencia de uso del agua en el cultivo de soja bajo distintas labranzas, con y sin fertilizante fosforado, y su relación con el rendimiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el contenido de agua útil (0-100 cm de suelo) bajo diferentes sistemas de labranza y fertilización fosforada.
- Cuantificar el consumo acumulado de agua útil.
- Determinar la eficiencia en el uso del agua.
- Evaluar los componentes del rendimiento y la producción del cultivo de soja bajo distintos sistemas de labranzas con y sin fertilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área donde se desarrolló la experiencia se caracteriza por presentar un relieve complejo moderadamente ondulado, determinando un conjunto de lomadas cuya longitud oscila entre los 3000 y 6000 metros, con un gradiente del 2 al 3 %. Localmente se presentan pendientes más cortas pero de mayor gradiente (Becker, 2001).

El sitio experimental se encuentra ubicado en el establecimiento “Pozo del Carril”, perteneciente a la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicado en cercanías del paraje La Aguada. El mismo presenta un suelo clasificado como Hapludol típico, franco arenoso muy fino, sobre el cual desde 1994 se está desarrollando un programa de investigación interdisciplinario tendiente a desarrollar alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sustentable. La secuencia de cultivos desde el inicio del programa fue la siguiente: campaña 1994/95 maíz, campaña 1995/96 maíz, 1996/97 girasol, 1997/98 maíz, 1998/99 girasol, 1999/2000 maíz, 2000/01 girasol, 2001/02 maíz y campaña 2002/03 maíz.

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorizados con dos factores bajo estudio. El factor *labranzas* con tres niveles: siembra directa (SD): sin remoción de suelo, labranza reducida (LR): labranza vertical y disco, con cobertura superior a un 30 %, y labranza convencional (LC): arado de rejas y disco. El otro factor la *fertilización*: parcela fertilizada (F) y parcela no fertilizada (NF). Se realizaron dos repeticiones por tratamiento.

Los laboreos que se realizaron en los tres sistemas de labranza son:

- LC: arado de rejas + rastra de discos de tiro excéntrico, efectuado el 18/12/2003.
- LR: arado cincel + rastra de discos de tiro excéntrico, efectuado el 18/12/2003.
- SD: en noviembre del mismo año se realizó el barbecho químico con 2.5 l*ha^{-1} de glifosato 48 %.

Previo a la siembra de la soja, en los tres sistemas de labranza se realizó una aplicación de glifosato (48 %) en dosis de 2 l*ha^{-1} , con el objetivo de eliminar las malezas presentes.

La siembra fue realizada el 23/12/2003 con una sembradora Bertini de grano grueso, en líneas a 35 cm y con 16 semillas por metro lineal. La variedad de soja empleada fue Don Mario 4800 RG (resistente a glifosato). La cosecha (R8) se realizó el 26/04/04.

A la siembra se aplicaron 50 kg de fosfato monoamónico (MAP), en las parcelas fertilizadas (F) de los distintos sistemas de labranza.

Se efectuaron dos aplicaciones post-emergentes de glifosato (48%) el 10/01/2004 y el 11/02/2004, ambas con una dosis de 2.5 l*ha⁻¹.

Debido a la presencia de orugas medidoras (*Rachiplusia nu*) se procedió al control químico de las mismas con 150 cc*ha⁻¹ de cipermetrina, aplicación realizada en la segunda quincena del mes de febrero.

En el establecimiento donde se realizó el ensayo se encuentra instalada una estación meteorológica automática LI-COR (LI-1200) Lincoln, Nebraska USA, a partir de la cual se recolectaron diariamente datos de precipitación, temperatura del aire y radiación global.

En el ensayo se realizaron las siguientes evaluaciones:

A nivel del cultivo:

- Etapas fenológicas: según clave de Fehr y Caviness (1977) (Anexo).
- Componentes del rendimiento: A cosecha se tomaron 5 muestras de 2 m² cada una por tratamiento y repetición y se cuantificaron las siguientes variables:
 - Peso de semillas
 - Peso de vainas
 - Número de semillas
 - Peso de 1000 semillas: (5 sub-muestras de 200 granos cada una).
- Rendimiento (kg*ha⁻¹) a partir de las muestras indicadas anteriormente.

A nivel de suelo:

- Se realizaron tomas de muestras con barreno manual cada 12 a 15 días (desde la siembra hasta la madurez fisiológica del cultivo) para determinar el contenido hídrico del suelo, en los primeros 100 cm a intervalos de 10 cm.
- En el laboratorio se determinó el contenido de agua del suelo mediante método gravimétrico. Para ello, las muestras extraídas con anterioridad en el campo, fueron colocadas en recipientes de aluminio registrando su peso húmedo. Posteriormente fueron secadas en estufa a 105 °C hasta peso constante. Luego se calculó la humedad gravimétrica (g*g⁻¹) para cada intervalo de medición (10 cm).

$$HG = \frac{(PH - T) - (PS - T)}{PS}$$

donde:

HG: contenido gravimétrico de agua (g*g⁻¹)

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)

- Con los datos de humedad gravimétrica y densidad aparente del suelo (DAP) de cada horizonte del suelo se calculó la humedad volumétrica según la siguiente ecuación:

$$\mathbf{HV = HG \times DAP}$$

donde:

HV= humedad volumétrica ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

HG= humedad gravimétrica ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

DAP= densidad aparente del suelo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

- La lámina de agua total (mm) para cada capa de suelo se obtuvo mediante el producto de la HV (cm^3 de agua/ cm^3 de suelo) y el espesor de la misma (expresado en mm). Luego se calculó la lámina de agua útil para las plantas, como aquella que se encuentra retenida entre -0.03 MPa y -1.5 MPa (Esposito, 2002). De la sumatoria de la lámina de agua útil de cada intervalo de medición se obtuvo el agua útil del suelo de 0 a 100 cm de profundidad.
- Cálculo del consumo acumulado de agua útil en el suelo:

$$\mathbf{CAU = +/- VA + Pr + R - E - Pe}$$

donde:

CAU: consumo acumulado de agua útil (mm)

VA = variación en el contenido hídrico entre dos muestreos sucesivos (mm)

Pr = precipitación (mm)

R = riego (mm)

E = escurrimiento (mm)

Pe = percolación (mm)

Los datos de precipitación fueron registrados en el establecimiento; riego no se empleó ya que el cultivo se realizó en secano; la percolación fue desestimada (debido a que no se obtuvieron valores de agua en el suelo mayores a -0.03 Mpa); y el escurrimiento se determinó por la Curva Número*.

*Cálculo del escurrimiento por el método de la Curva Número (CN):

1. Selección del grupo hidrológico de suelo: grupo hidrológico B; el mismo presenta un grado de infiltración moderado, suelos moderadamente profundos, sin barreras físicas importantes, materiales más finos que arenas.
2. Selección del uso y manejo de los suelos: cultivo en surcos rectos.
3. Valor de la CN teniendo en cuenta grupos hidrológicos, uso y manejo de la tierra para una condición promedio de humedad antecedente (AMC II): CN= 78.
4. Valor de S (máxima retención potencial de agua por el terreno) teniendo en cuenta el valor de CN anterior: S= 70.5
5. Cálculo del escurrimiento (Q):

$$Q = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{(P - 0.2 * S) + S}$$

donde:

Q: volumen de agua escurrida (mm)

P: precipitación del período (mm)

El cálculo de la Eficiencia de Uso del Agua (EUA) de cada tratamiento se efectuó a través de:

1. La pendiente de la recta de regresión entre la biomasa aérea acumulada ($g \cdot m^{-2}$) y el agua útil consumida durante el ciclo del cultivo (mm), (Sinclair *et al.*, 1984). Los datos de biomasa aérea total acumulada fueron tomados de Costatino (2005).
2. La relación entre el rendimiento en granos ($kg \cdot ha^{-1}$) y la cantidad de agua consumida (mm) (Gardner *et al.*, 1985), mediante la siguiente ecuación:

$$EUA = \frac{\text{Rendimiento (kg/ha)}}{\text{Consumo de agua (mm)}}$$

Los resultados obtenidos fueron procesados mediante A.N.A.V.A. y separación de medias según el test de Duncan al 5 % de probabilidad, utilizando el programa INFOSTAT.

CONDICIONES METEOROLÓGICAS DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO

Temperatura

La figura N° 1 muestra la evolución de la temperatura máxima, mínima y media durante el ciclo del cultivo. En la misma se observa que el período más cálido fue el mes de enero, con un pico de temperatura máxima en la primera década de 35.9 °C. Luego, la temperatura descendió a medida que avanzó el ciclo, con un importante ascenso en la tercera década de marzo.

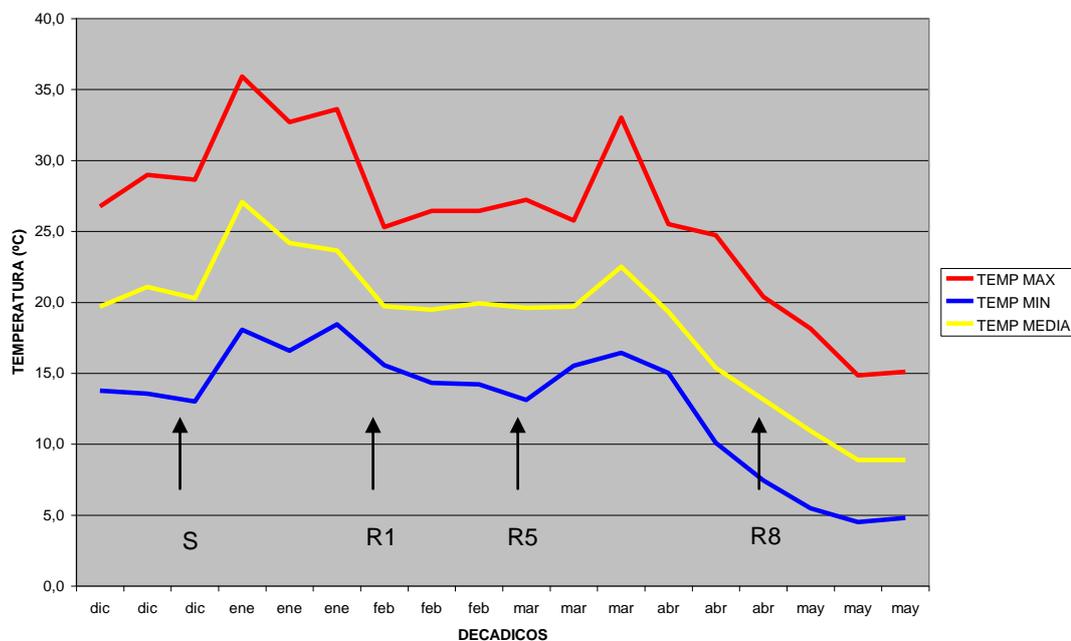


Figura N° 1: Temperaturas máximas, mínimas y medias (°C) decádicas durante el ciclo del cultivo de soja 2003/04. **Referencias:** **S:** siembra, **R1:** comienzo de floración, **R5:** comienzo de llenado de granos, **R8:** plena madurez del cultivo.

Radiación

La figura N° 2 muestra la evolución de la radiación durante el ciclo de crecimiento del cultivo. Durante el mes de diciembre y gran parte de enero el cultivo recibió la máxima

radiación del ciclo y comenzó a disminuir paulatinamente; a partir de abril los valores cayeron por debajo de 15 Mjoules.

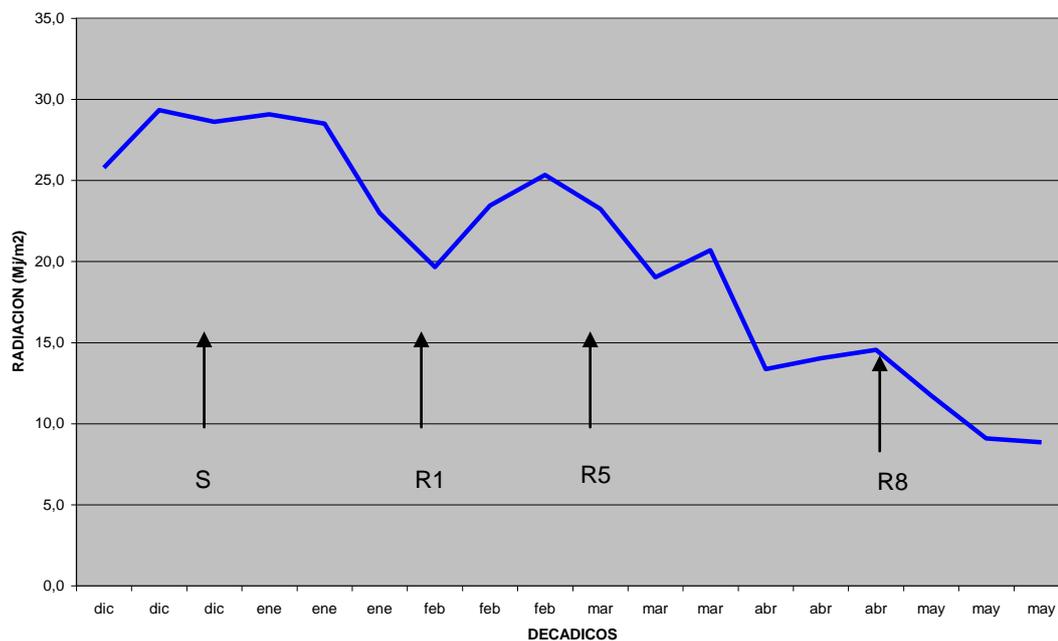


Figura N° 2: Radiación incidente ($Mj \cdot m^{-2}$) promedio por década, durante el ciclo del cultivo de soja 2003/04. **Referencias:** **S:** siembra, **R1:** comienzo de floración, **R5:** comienzo de llenado de granos, **R8:** plena madurez del cultivo.

Precipitación

La figura N° 3 muestra la acumulación y distribución de precipitaciones durante la estación de crecimiento del cultivo. Las lluvias más abundantes ocurrieron durante la primera década de diciembre y enero con 147 y 160 mm respectivamente. Cabe destacar que las precipitaciones sumaron 841 mm., mientras que lo normal para el mismo período en una serie de 10 años es 555 mm.

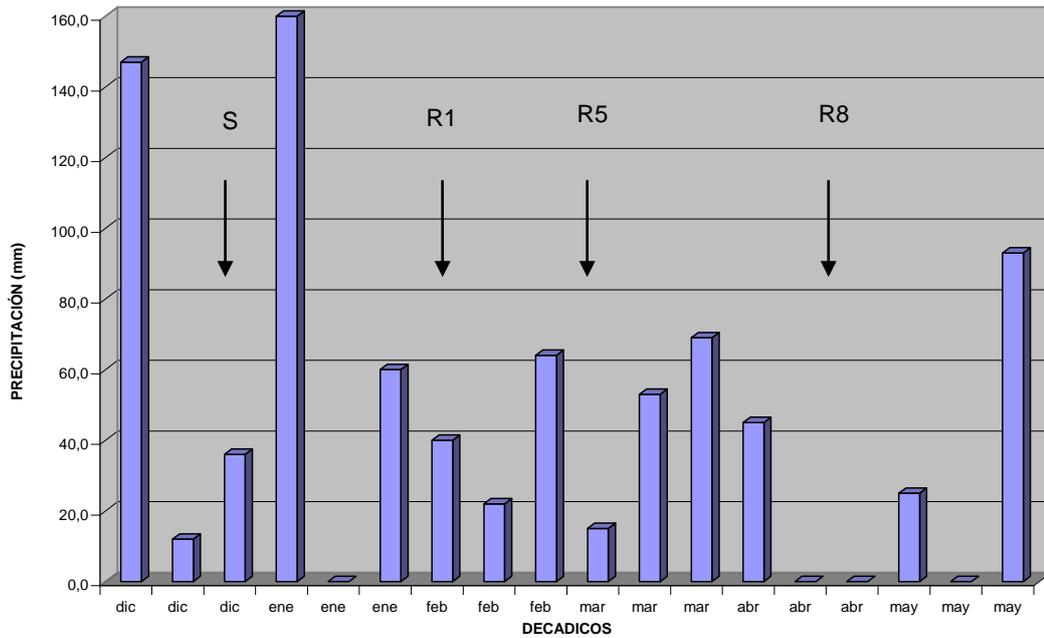


Figura N° 3: Precipitación (mm) por década durante el ciclo del cultivo de soja 2003/04.
Referencias: **S:** siembra, **R1:** comienzo de floración, **R5:** comienzo de llenado de granos, **R8:** plena madurez del cultivo.

Es importante destacar también la condición particular que se dio ese año, como las dos granizadas ocurridas durante el ciclo del cultivo. La primera ocurrida el 09/01/2004, cuando el cultivo se encontraba en el estadio vegetativo V1/V2 y la otra en R4/R5 la segunda quincena de febrero. Los valores de defoliación fueron del 40-50 % (datos no mostrados) en ambos eventos y uniformes para todos los tratamientos. Las plantas tuvieron una recuperación en el primer evento. La segunda granizada provocó mayor daño evidenciado por los bajos rendimientos obtenidos, debido a la menor capacidad de compensación por parte del cultivo en las etapas reproductivas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación del contenido hídrico durante el ciclo del cultivo

La figura N° 4 muestra el contenido de agua útil en el suelo (0-100 cm) durante el ciclo del cultivo. En éste se observa que hasta la mitad del ciclo, aproximadamente a los 57 días después de la siembra (DDS), el agua útil no fue limitante para las plantas y estuvo entre 63 y 118 mm, éste período coincide con una baja demanda del cultivo y las mayores precipitaciones. Por el contrario, la otra mitad (desde los 57 DDS en adelante, cultivo en R3), donde la demanda se hace mayor por parte del cultivo, el contenido de agua útil en el suelo comenzó a disminuir considerablemente hasta el final del ciclo, donde se observa una leve recuperación.

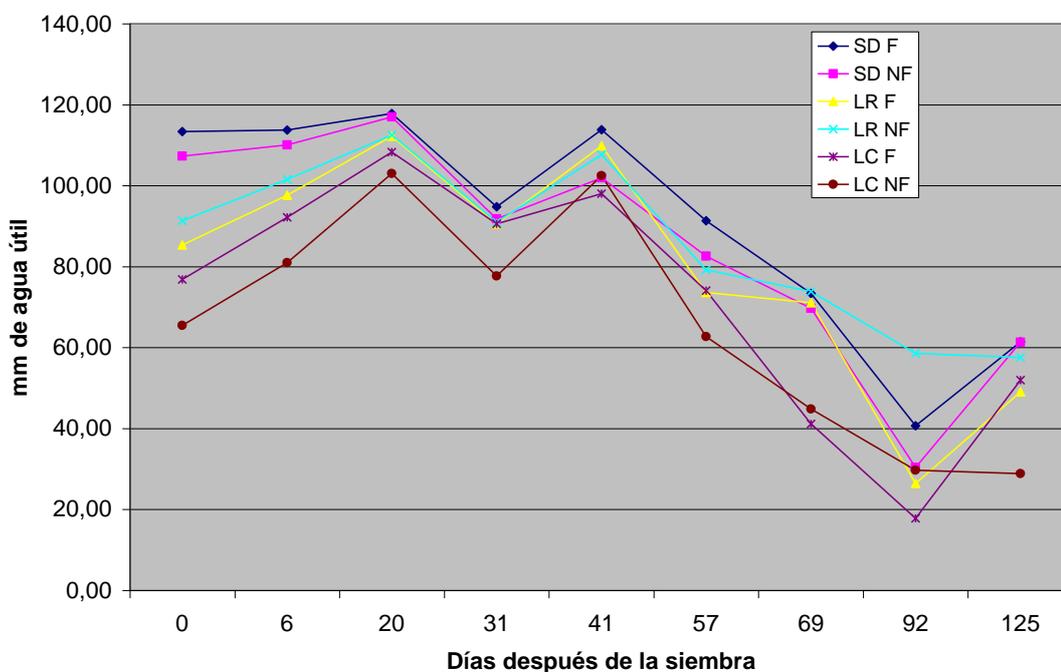


Figura N° 4: Contenido de agua útil en el suelo (mm) en los primeros 100 cm de profundidad, durante el ciclo del cultivo de soja (DDS), en todos los tratamientos.

Hasta los 40 días después de la siembra (DDS) se observa una diferencia entre tratamientos. Aquellos bajo siembra directa (SD) superan a los de labranza convencional (LC), con una situación intermedia para los de labranza reducida (LR). Este efecto se debería a la cobertura que ejercen los rastrojos, reduciendo las pérdidas por evaporación directa del

suelo, importante en los primeros estadios del cultivo. En este sentido, Núñez Vazquez *et al.*, (1996), luego de once años de labranzas continuas en la EEA INTA Manfredi, concluyeron que la disponibilidad de agua fue más elevada en los sistemas de labranza con mayor cobertura de residuos, como consecuencia de un menor escurrimiento y evaporación, y una mayor infiltración. Luego de los 40 DDS cuando se logra la cobertura del suelo por parte de la soja (datos no mostrados) esas diferencias son menos marcadas, si bien el tratamiento LC sigue, durante todo el ciclo del cultivo, con menor contenido de agua útil.

En un estudio en el mismo sitio y año Oviedo (2005), observó menores valores de agua útil en el suelo (0-100 cm) evaluando los mismos tratamientos pero con pastoreo previo de los residuos en superficie. Esta diferencia muestra la importancia de la cobertura de los rastrojos en la conservación del agua en el suelo. Marelli (1997) sostiene que, en general, en suelos descubiertos (LC), luego de una precipitación, la infiltración de agua es rápidamente limitada por el encostramiento superficial, y las cubiertas de residuos en sistemas de siembra conservacionistas son muy efectivas para evitar dicho encostramiento y mantener un elevado nivel de infiltración, permitiendo un mayor porcentaje de agua almacenada en el perfil, sumado a los efectos de reducción de la evaporación y escurrimiento.

Por otro lado, Shipitalo *et al.* (2000) y Golabi *et al.* (1995) encontraron, en labranzas conservacionistas, un incremento en los poros de transmisión a nivel superficial del suelo a través del desarrollo de bioporos, lo cual contribuye a mayores tasas de infiltración y percolación profunda, en comparación con el laboreo convencional.

Consumo acumulado de agua útil

La figura N° 5 muestra el consumo acumulado de agua útil durante la estación de crecimiento del cultivo, para los distintos tratamientos. Al finalizar el ciclo del cultivo se observan valores de consumo acumulado de 260.98 a 288.09 mm. Para la región sojera núcleo, las necesidades de agua de los cultivos de soja de primera y segunda varían de 450 a 600 mm y de 300 a 500 mm respectivamente. Las variaciones en dichas cantidades dependen de la demanda atmosférica, la duración del ciclo del cultivo y del área foliar desarrollada por el mismo (Andriani, 2003).

En los primeros estadios se observa un mayor consumo acumulado en los tratamientos laboreados, valores medios para los de laboreo reducido y valores de consumo menores para los tratamientos bajo SD. Esto se debe a que los tratamientos convencionales presentan probablemente mayores valores de evaporación directa desde el suelo ante la falta de cobertura. Si bien esta tendencia se mantiene, al culminar el ciclo las diferencias son mínimas (entre 260,88 mm y 288,09 mm se ubicaron todos los tratamientos).

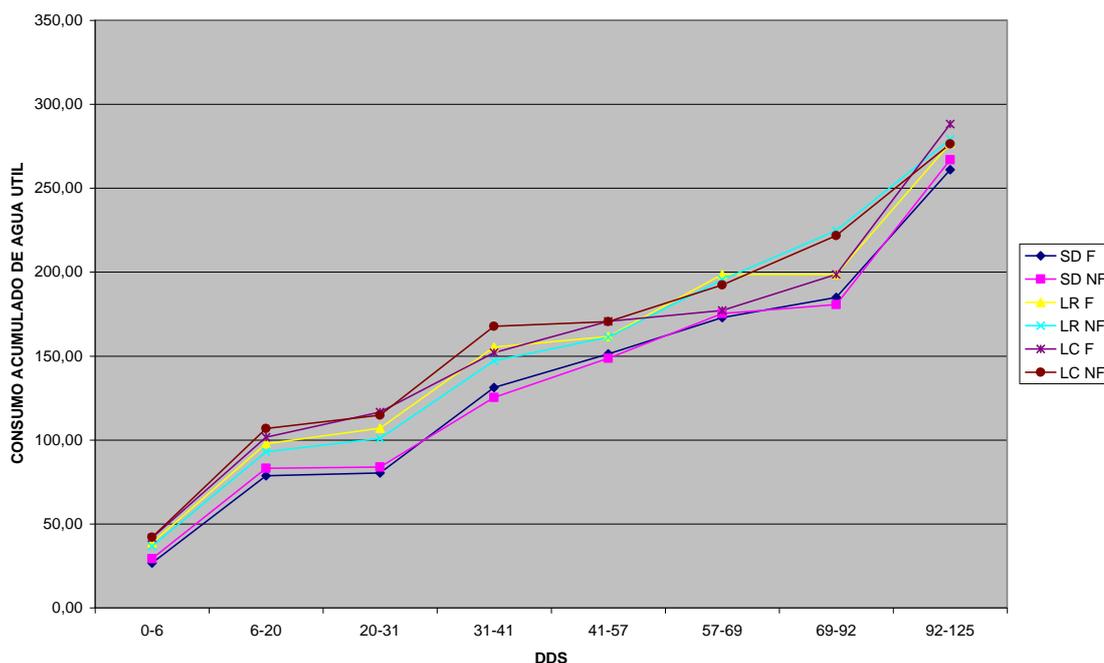


Figura N° 5: Consumo acumulado de agua útil (mm) en los primeros 100 cm de profundidad, durante el ciclo del cultivo (DDS), en todos los tratamientos.

Oviedo (2005), en un estudio similar pero con pastoreo previo de los rastrojos, encontró valores de hasta 304 mm. Estos valores son superiores, posiblemente, debido a la mayor evaporación directa, que se produce por estar el suelo totalmente descubierto, debido

al consumo de los rastrojos por parte de los animales. En este sentido, Baigorri (2000) afirma que es fundamental mejorar la eficiencia de captación del agua de lluvia y reducir la evapotranspiración, a través de medidas como la realización de barbechos químicos largos, mantenimiento de abundante rastrojo en cobertura y otras que tiendan a mejorar esta variable.

Eficiencia de uso del agua (EUA) considerando materia seca (MS)

La eficiencia de uso del agua (EUA) surge de la relación entre la cantidad de agua usada por unidad de materia seca producida, como la pendiente (b) de la recta de regresión lineal. En las figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11 se muestra esta relación para todos los tratamientos en estudio. De la misma surge un buen grado de ajuste entre ambas variables ($R^2 > 0.71$).

En las figuras 6 y 7 se observan los valores de EUA para los tratamientos de SD con y sin el agregado de fertilizante fosforado. El tratamiento fertilizado tuvo mayor EUA que su par sin fertilizante, $2.92 \text{ g MS} \cdot \text{mm}^{-1}$ y $2.19 \text{ g MS} \cdot \text{mm}^{-1}$ respectivamente.

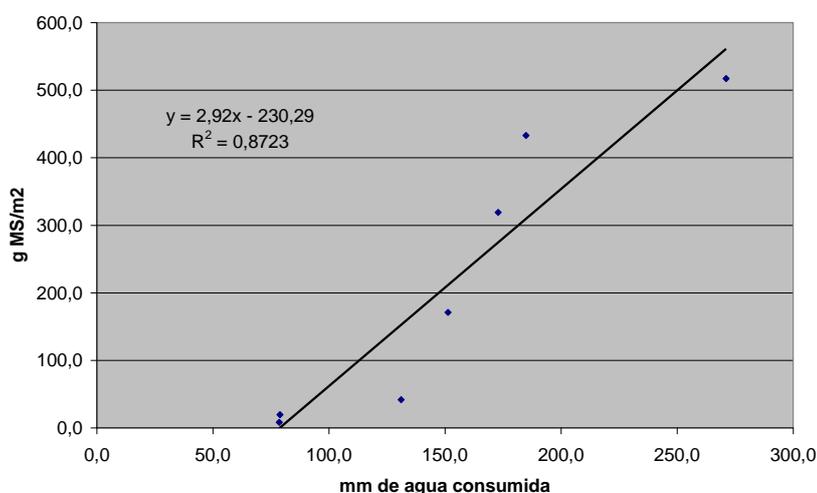


Figura N° 6: Materia seca total producida en función del agua útil consumida acumulada en el tratamiento Siembra Directa-Fertilizado.

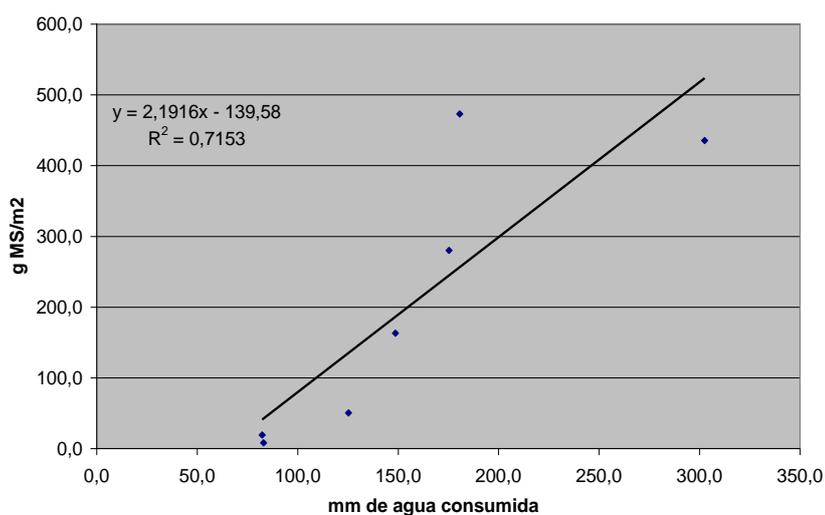


Figura N° 7: Materia seca total producida en función del agua útil consumida acumulada en el tratamiento Siembra Directa-No Fertilizado.

Las figuras 8 y 9 muestran la EUA en LR. El tratamiento fertilizado (3.25 g MS*mm⁻¹) supera al no fertilizado (2.97 g MS*mm⁻¹).

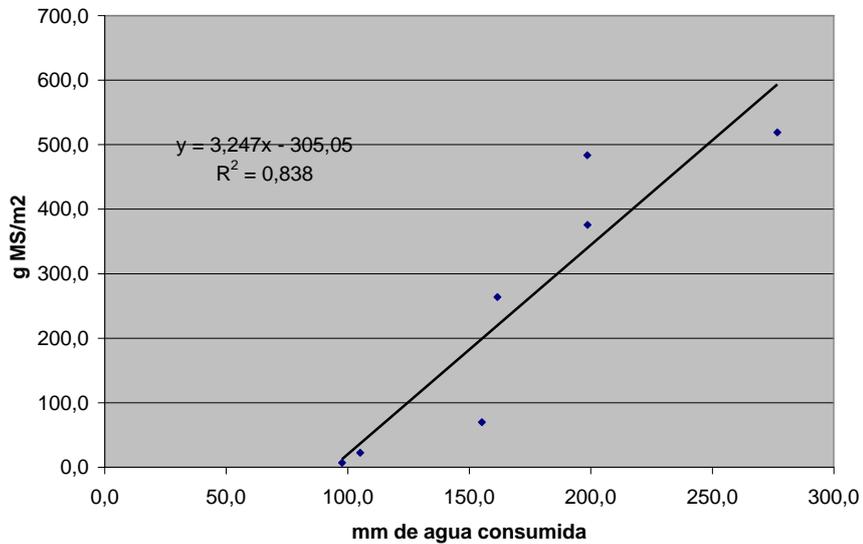


Figura N° 8: Materia seca total producida en función del agua útil consumida acumulada en el tratamiento Labranza Reducida-Fertilizado.

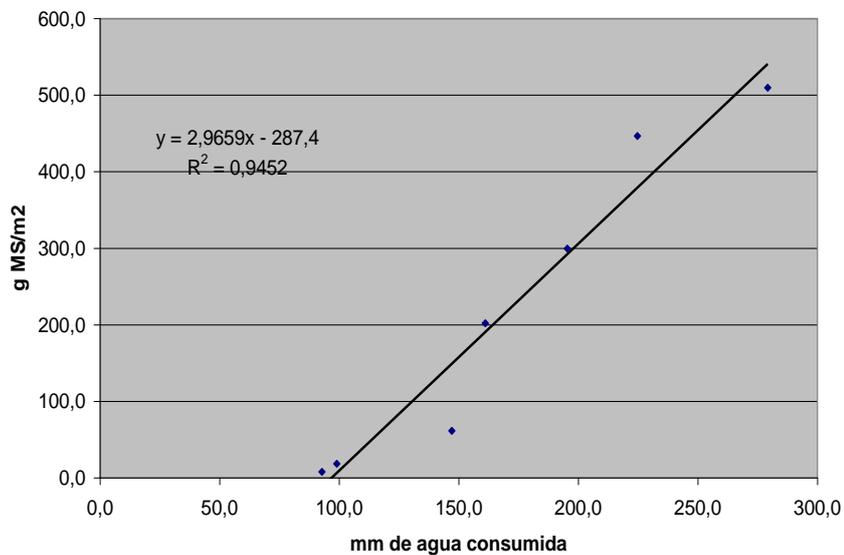


Figura N° 9: Materia seca total producida en función del agua útil consumida acumulada en el tratamiento Labranza Reducida-No Fertilizado.

En las figuras 10 y 11 se observan los valores de EUA para los tratamientos de LC. El tratamiento fertilizado tiene una EUA de 2.76 g MS*mm⁻¹, superado por el tratamiento no fertilizado cuya EUA es de 3.29 g MS*mm⁻¹.

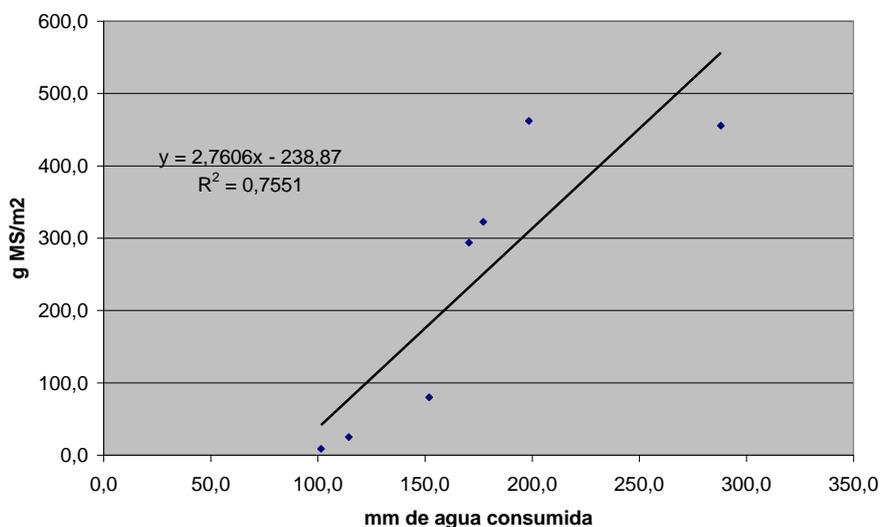


Figura N° 10: Materia seca total producida en función del agua útil consumida acumulada en el tratamiento Labranza Convencional-Fertilizado.

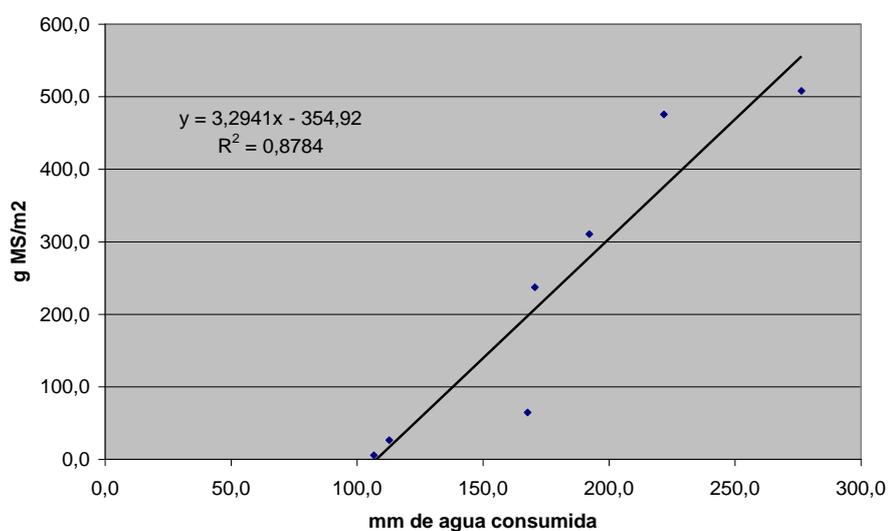


Figura N° 11: Materia seca total producida en función del agua útil consumida acumulada en el tratamiento Labranza Convencional-No Fertilizado.

Las diferencias entre sistemas de labranza son mínimas. Los valores de EUA (promediando la parcela fertilizada y sin fertilizar) son de 2.6, 3.1 y 3 para la SD, LR y LC, respectivamente. Aquí se puede suponer que la cantidad excesiva de agua enmascaró posibles efectos debido a los sistemas de laboreo.

En los tratamientos fertilizados la EUA es superior a los tratamientos no fertilizados, con excepción del tratamiento LC-NF que superó a su par fertilizado, incluso presentó el valor más alto de EUA.

La mayor EUA en los tratamientos fertilizados coincide con lo indicado por Caviglia y Sadras (2001), quienes demostraron que la fertilización aumenta la EUA, incrementándose la capacidad fotosintética del cultivo, lo que produce un mayor crecimiento en períodos tempranos del mismo debido a una mayor eficiencia en el uso de la radiación.

Para aumentar la EUA en la producción de un cultivo se tendrán que desarrollar técnicas que mejoren la eficiencia en la captura y retención del agua de lluvia. Pero además, mejorar el manejo de los factores que afectan la partición del agua perdida entre evaporación y transpiración para incrementar la fracción de agua usada por la planta. Estas prácticas van a depender de las condiciones locales pero involucran barbechos oportunos, siembras tempranas, control de malezas y rápida cobertura del suelo como herramientas para disminuir las pérdidas por evaporación (Andriani, 2003).

Eficiencia de uso del agua considerando el rendimiento en granos

La figura N° 12 muestra la EUA del cultivo de soja, considerando el rendimiento en granos en los diferentes sistemas de labranza (ver anexo cuadro 21). Los valores son similares a los citados por Della Maggiore *et al.* (2000); quienes indican valores de EUA entre 5-6 y 11 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para el cultivo de soja.

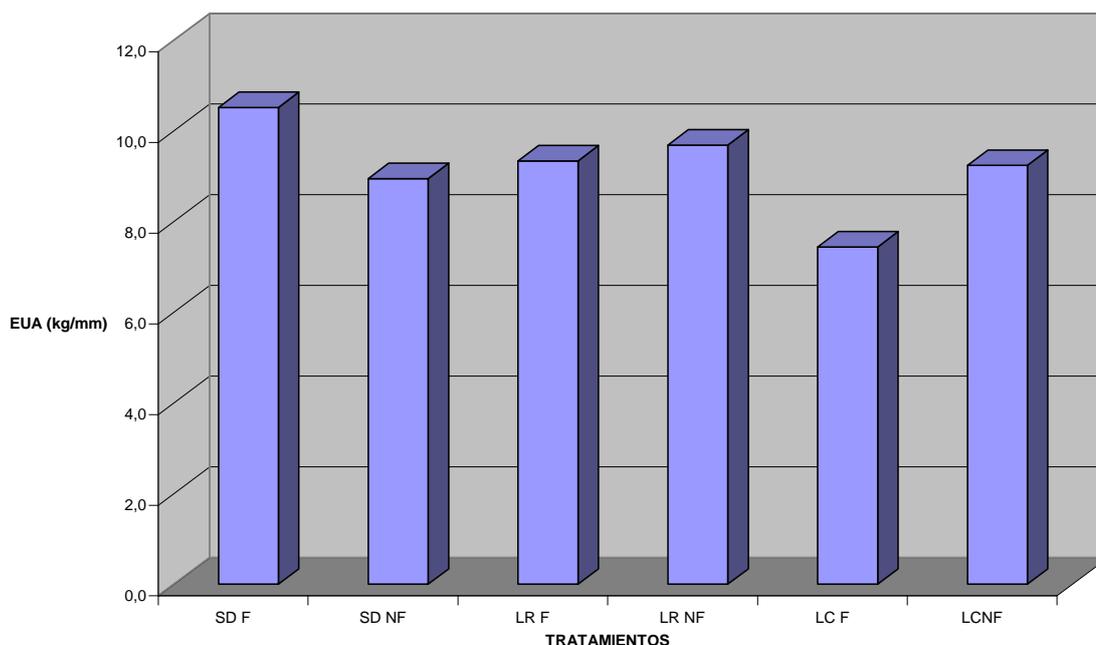


Figura N° 12: EUA (kg grano/mm de agua útil consumida) de los diferentes tratamientos.

Se observa una mayor EUA en el tratamiento SD F (10.5 kg ha⁻¹ mm⁻¹), en un nivel inferior se encuentran LR NF, LR F, LC NF, y SD NF (con 9.7, 9.3, 9.2 y 8.9 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente), y la más baja (7.4 kg ha⁻¹ mm⁻¹) se da en el tratamiento LC F. Esto se puede deber, posiblemente, al mayor contenido hídrico que presentó la parcela SD F desde el inicio del período reproductivo (40 DDS). Alrededor de R5 (69 DDS), el período más crítico en la determinación del rendimiento del cultivo, la SD y LR presentaban valores de agua útil muy superiores a los de LC. El comienzo del llenado de granos (R5) es el período más crítico para el cultivo de soja, porque no sólo depende de su historia previa, sino que el estrés produce la reducción simultánea del número de vainas, del número de semillas por vaina y del peso de las semillas, sin la posibilidad de compensación de algún componente del rendimiento. Deficiencias hídricas severas pueden producir pérdidas de rinde del 40 % o más (Andriani, 2003).

Las prácticas conservacionistas (SD o LR) mejoran la condición física superficial del suelo e incrementan la capacidad de infiltración comparativamente con los suelos

intensamente laboreados, en consecuencia el agua disponible para la transpiración del cultivo será mayor que en los sistemas de laboreo tradicionales, lo que contribuiría de forma directa al incremento del rendimiento en dichos sistemas de labranza (Marelli, 1997).

En cuanto a la fertilización, se observan resultados variables. En SD el tratamiento fertilizado presentó valores de EUA mayores que su par no fertilizado. Por su parte en la LR y LC se observa una mayor EUA en los tratamientos sin fertilizante.

Componentes del rendimiento y producción de granos

En el cuadro n° 1 se muestran los componentes del rendimiento y producción de soja bajo distintos sistemas de labranza, con y sin fertilización.

Cuadro N° 1: Componentes del rendimiento y producción del cultivo de soja en los distintos tratamientos.

Tratamiento	Peso de granos (g*m⁻²)	Peso de vainas (g*m⁻²)	Peso de mil semillas (g)	Número de Semillas*m⁻²	Rendimiento (kg*ha⁻¹)
SD F	274,5	107,5	171,4	1603,2	2745
SD NF	238,9	93,7	176,4	1359,6	2389
LR F	258,4	107,6	161,3	1604,0	2584
LR NF	270,5	110,9	163,7	1642,7	2705
LC F	214,3	99,8	141,5	1514,4	2143
LC NF	255,3	106,0	156,1	1635,9	2553

Referencias: **SD F:** Siembra directa fertilizado, **SD NF:** Siembra directa no fertilizado, **LR F:** Labranza reducida fertilizado, **LR NF:** Labranza reducida no fertilizado, **LC F:** Labranza convencional fertilizado, **LC NF:** Labranza convencional no fertilizado.

Después de analizar estadísticamente cada una de las variables, se observa que no se registraron diferencias significativas entre tratamientos en ningún caso. A pesar que los tratamientos con residuos en superficie generaron una mayor acumulación de agua en el perfil, no se tradujo en el resultado final (mayor rendimiento). Esto, muy probablemente se deba a las condiciones particulares del ciclo agrícola, entre ellas, dos granizadas que recibió el cultivo durante su ciclo, factor que pudo haber “emparejado u homogeneizado” el cultivo de soja en todas las parcelas. De esta manera no se pueden percibir los efectos benéficos que pudo haber tenido la mayor acumulación de agua útil en las parcelas bajo labranza conservacionista (SD o LR) respecto de las parcelas bajo labranza convencional. De todos modos, analizando el factor labranzas en forma independiente, se registran pequeñas diferencias de rendimiento a favor de las labranzas con menor remoción de suelo (SD y LR); y analizando la interacción labranza-fertilización, SD F y LR NF son sensiblemente mayores al resto, superando a la LC en 200 y 600 kg al tratamiento sin fertilizante y fertilizado, respectivamente.

No se observaron diferencias significativas ante el agregado del fertilizante fosforado. Amma y Gonzalez (1985), trabajando en el área de influencia de la EEA INTA San Pedro, en suelos con contenidos menores a 10 ppm de P y que suelen presentar respuesta a la

fertilización en el cultivo de trigo, no encontraron respuesta a la fertilización en soja, con dosis de hasta 60 kg/ha de P_2O_5 . A su vez determinaron que, en lotes con menos de 10 ppm al momento de la siembra del trigo, el P aplicado al trigo tiene efecto sobre el cultivo de soja sembrado a continuación. Bodrero (1985), Bodrero y Racca (1981) no encontraron respuestas al agregado de diferentes dosis de P en suelos de Oliveros, con contenidos superiores a 15 ppm de P. Gambaudo y Fontanetto (1996), condujeron once experiencias de fertilización fosfatada sobre dos complejos de suelos del centro de la provincia de Santa Fe, con niveles de entre 4 y 18 ppm de P. Encontraron respuesta de tipo lineal cuando el contenido de P inicial fue menor a 10 ppm, para valores entre 10 y 15 la respuesta fue de tipo cuadrática, y por encima de 15 ppm no se obtuvo respuesta al agregado de P.

En siembras de segunda se desplaza el período reproductivo del cultivo hacia momentos de menor radiación y temperatura, por lo tanto, el potencial de rendimiento en grano disminuye (Andrade y Cirilo, 2000). Teniendo en cuenta la fecha de siembra tardía (23/12) y que el cultivo sufrió dos granizadas importantes, los rendimientos observados, fueron muy aceptables. El atraso en la fecha de siembra produce plantas más chicas (Andrade y Cirilo 2000); por lo que es muy común que no se alcance la cobertura plena del suelo por parte del cultivo. Una decisión correcta para lograr estos buenos resultados fue, entonces, la de acercar hileras a 35 cm, factor importante para cerrar el surco anticipadamente y captar la mayor cantidad de radiación posible. La fecha de siembra se postergó hasta el 23/12 por la falta de humedad edáfica. La humedad del suelo es la principal variable que afecta el crecimiento y rendimiento final de los cultivos y por lo tanto en la mayoría de los años es la mayor limitante en la determinación del rendimiento (Andrade *et al.*, 1996; Dale, 1995; Wagger y Cassel, 1993). En este sentido, Baigorri (2000) establece que la acumulación de precipitaciones es el factor climático de mayor influencia sobre la producción de grano en el cultivo de soja, pues en condiciones de secano, el régimen hídrico condiciona la fecha de siembra y determina el momento más seguro para ubicar el período de llenado de granos. Además el régimen hídrico afecta la fenología y condiciona el crecimiento de la planta.

CONCLUSIONES

La SD acumuló un mayor contenido de agua útil en el suelo, respecto de la LC, debido a la mayor cobertura de residuos en superficie. La LR presentó una condición intermedia entre ambas.

El consumo acumulado de agua útil fue similar en todos los tratamientos, aunque en las primeras etapas del cultivo la LC presentó un mayor consumo, debido a una mayor evaporación del suelo, con valores intermedios en LR y menor en las parcelas bajo SD (pero sin diferencias significativas).

Las labranzas conservacionistas (SD y LR) presentaron una mayor eficiencia en el uso del agua (considerando el rendimiento en grano).

No hubo diferencias significativas de rendimiento entre parcelas fertilizadas y sin fertilizar en ningún sistema de labranza. Por su parte, el agregado de fertilizante fosforado sólo mejoró la EUA en la SD.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el rendimiento ni sus componentes.

Las condiciones particulares del ciclo agrícola de este estudio, como la sequía al comienzo y las dos granizadas ocurridas, no permitieron cuantificar diferencias en la producción bajo diferentes sistemas de labranza y fertilización.

Se debería continuar con los estudios en el sitio donde se realizó la experiencia para arribar a conclusiones más acabadas.

BIBLIOGRAFÍA

- AMMA A. Y J. GONZALEZ. 1985. Efecto residual de fertilizante fosfatado-ciclo 1982/85. **Jornada de actualización en soja, Asociación de Ingenieros Agrónomos de la costa norte bonaerense y la EEA INTA San Pedro**. Buenos Aires. Argentina. 2 pp.
- ANDRADE F., A. CIRILO, S. UHART Y M. OTEGUI. 1996. Requerimientos hídricos. **Ecofisiología del cultivo de maíz**. Dekalb Press. p: 121-146.
- ANDRADE F. y A. CIRILO. 2000. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. En: **Bases para el manejo de maíz, el girasol y la soja**. Ed. Andrade, F. H.; Sadras, V. O. Cap 5
- ANDRIANI, J. 1997. **El cultivo de la soja en Argentina**. Ed. Giorda, L.; Baigorri, H. INTA. Cap 7. 448 pags.
- ANDRIANI, J. 2003. Dinámica del agua en el cultivo de soja. **SOJA Actualización 2003**. INTA. Oliveros. p: 24-30.
- BAIGORRI, H. 2000. **Manejo del cultivo de la soja en Argentina**. INTA. Ed: Baigorri, H. y D. Croatto. 96 p.
- BECKER, A. 2001. **Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca representativa de la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina**. Informe Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. 30 p.
- BODRERO M. 1985. **Influencia de la fertilización con N, P, y NP sobre el rendimiento y sus componentes**. Publicación Técnica N° 1. EEA INTA Oliveros. 13 p.
- BODRERO, M. y J. RACCA. 1981. **Influencia de la fertilización con N, P, y NP en soja no nodulada**. Revista de Ciencias Agrarias II: 107-124.
- CANTÚ, M. 1998. **Estudio Geocientífico para la Evaluación ambiental y Ordenación Territorial de una Cuenca Pedemontana. Caso: Cuenca del Arroyo La Colacha, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba**. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. 380 p.
- CASSEL D., C. RACZKOWSKI y H. DENTON. 1995. Tillage effects on corn production and soil physical conditions. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 59: 1436-1443.
- CAVIGLIA O. y V. SADRAS. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. **Field Crops Res.** 69: 259-266.
- COSTATINO, J. 2005. **Efecto de la rotación labranza y fertilización fosfatada sobre la materia seca y el rendimiento en soja**. Trabajo final de grado. FAV-UNRC.

- DALE, R. F. 1995. A weather–soil variable for estimating soil moisture stress and corn yield probabilities. **Agron. J.** 87: 1115-1125.
- DELLA MAGGIORA, A. I., J. M. GARDIOL, y A. I. IRIGOYEN. 2000. Requerimientos hídricos. En: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. **Bases para el manejo de maíz, el girasol y la soja.** Capítulo 6. 443 p.
- ESPOSITO G. 2002. Propiedades hidrofísicas del suelos asociadas a diferentes sistemas de labranza en cultivo de maíz. Tesis. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto.
- FHER, W. R. y C. E. CAVINESS. 1977. Stages of soybean development. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn., Iowa Coop. Ext. **Serv. Spec. Rep.** 80.
- GAMBAUDO, S y H. FONTANETTO. 1996. Respuesta del cultivo de soja al encalado. **Gaceta Agronómica XV** (89): 26-31.
- GARDNER F. P., R. B. PEARCE y R. L. MITCHEL. 1985. **Physiology of crop plants.** Iowa State University Press, Iowa, USA. 327 p.
- GERSTER, G.; S. BACIGALUPPO y M. BODRERO. 2002. **¿Agricultura con laboreo? No podemos volver al pasado....** Soja para mejorar la producción, campaña 2001/02. Vol. 21. Ed. INTA. 127 p.
- GOLABI M., D. RADCLIFFE, W. HARGROVE y E. TOLLNER. 1995. Macropore effect in conventional tillage and no-tillage soils. **J. Soil and Water Cons.** 50 (2): 205-210.
- KANTOLIC, A. G.; P. I. GIMÉNEZ; C. GUTIERREZ HACHARD y J. SARÁCHAGA. 1995. Tolerancia a la sequía durante el período reproductivo. En: **Primer Congreso Nacional de Soja. Segunda Reunión Nacional de oleaginosas.** Ed. AIANBA. Cap. II. 320 p.
- MARELLI, H. 1997. **El cultivo de soja en Argentina.** En: Giorda, L.; Baigorri, H. INTA. Cap 8. 448 p.
- NUÑEZ VAZQUEZ F., H. P. SALAS, O. BACHMEIER, W. ROBLEDO, E. F. LOVERA y A. ROLLAN. 1996. Labranzas en la región central de la provincia de Córdoba. En: Buschiazzo D., J. Panigatti y F. Babinec. **Labranzas en la región semiárida Argentina.** Editorial Extra. INTA Centro Regional San Luis. p: 49-66.
- OVIEDO C. 2005. **Consumo y eficiencia de uso de agua de la soja en distintos sistemas de labranza con y sin fertilización.** Trabajo final de grado. FAV-UNRC.
- PROYECTO FERTLIZAR-INTA. 2001. Soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Cuadernillo de la Jornada de Actualización Técnica para Profesionales “Fertilidad 2001”. pp. 27-28. IMPOFOS (PPI-PPIC). En: www.fertilizar.org.ar/redsoja/resucamp00-01.htm. Consultado: 07/03/2007.

- QUIROGA A., O. ORMEÑO y N. PEINEMANN. 1998. **Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos**. Siembra Directa. Ed. Hemisferio Sur. : 57-63.
- SAGPyA. 2005. Estimaciones agrícolas. En: www.sagpya.gov.ar. Consultado 15/03/2007.
- SHIPITALO M., W. DICK y W. EDWARDS. 2000 Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate chemicals. **Soil & Tillage Research** 53: 167-183.
- SINCLAIR T., C. TANNER y J. BENNETT. 1984. Water-use efficiency in crop production. **BioScience** 34: 36-40.
- WAGGER M. y D. K. CASSEL. 1993. Corn field and water-use efficiency as affected by tillage and irrigation. **Soil Sci. Am. J.** 57: 229-234.

ANEXOS

Análisis estadístico de los componentes del rendimiento

Peso de granos ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)

Cuadro N° 2: peso de los granos ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) en los distintos sistemas de labranza.

<u>Lab</u>	<u>Medias</u>	
LR	264.45	A
SD	256.65	A
LC	234.78	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Duncan.

*Referencias: **Lab:** labranza, **LR:** labranza reducida, **SD:** siembra directa, **LC:** labranza convencional.*

Cuadro N° 3: peso de los granos ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) en los tratamientos con y sin fertilización.

<u>fert</u>	<u>Medias</u>	
NF	254.87	A
F	249.05	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Duncan.

*Referencias: **fert:** fertilización. **NF:** no fertilizado, **F:** fertilizado.*

Cuadro N° 4: peso de los granos ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) en los distintos tratamientos (labranza*fertilización).

<u>Lab</u>	<u>fert</u>	<u>Medias</u>	
SD	F	274.45	A
LR	NF	270.50	A
LR	F	258.40	A
LC	NF	255.25	A
SD	NF	238.85	A
LC	F	214.30	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Duncan.

*Referencias: **Lab:** labranza, **fert:** fertilización. **SD F:** siembra directa fertilizado, **LR NF:** labranza reducida no fertilizado, **LR F:** labranza reducida fertilizado, **LC NF:** labranza convencional no fertilizado, **SD NF:** siembra directa no fertilizado, **LC F:** labranza convencional fertilizado.*

Peso de vainas (g*m⁻²)

Cuadro N° 5: peso de las vainas (g*m⁻²) en los distintos sistemas de labranza.

<u>Lab</u>	<u>Medias</u>	
LR	109.20	A
LC	102.88	A
SD	100.55	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05), según test de Duncan.

*Referencias: **Lab:** labranza, **LR:** labranza reducida, **SD:** siembra directa, **LC:** labranza convencional.*

Cuadro N° 6: peso de las vainas (g*m⁻²) en los tratamientos con y sin fertilización.

<u>fert</u>	<u>Medias</u>	
F	104.92	A
NF	103.50	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05), según test de Duncan.

*Referencias: **fert:** fertilización, **NF:** no fertilizado, **F:** fertilizado.*

Cuadro N° 7: peso de las vainas (g*m⁻²) en los distintos tratamientos (labranza*fertilización).

<u>Lab</u>	<u>fert</u>	<u>Medias</u>	
LR	NF	110.85	A
LR	F	107.55	A
SD	F	107.45	A
LC	NF	106.00	A
LC	F	99.75	A
SD	NF	93.65	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05), según test de Duncan.

*Referencias: **Lab:** labranza, **fert:** fertilización, **SD F:** siembra directa fertilizado, **LR NF:** labranza reducida no fertilizado, **LR F:** labranza reducida fertilizado, **LC NF:** labranza convencional no fertilizado, **SD NF:** siembra directa no fertilizado, **LC F:** labranza convencional fertilizado.*

Peso de 1000 semillas (g)

Cuadro N° 8: peso de mil semillas (g) en los distintos sistemas de labranza.

<u>Lab</u>	<u>Medias</u>	
SD	173.88	A
LR	162.48	A
LC	148.80	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05), según test de Duncan.

Referencias: Lab: labranza, LR: labranza reducida, SD: siembra directa, LC: labranza convencional.

Cuadro N° 9: peso de mil semillas (g) en los tratamientos con y sin fertilización.

<u>fert</u>	<u>Medias</u>	
NF	165.38	A
F	158.05	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Duncan.

Referencias: fert: fertilización, NF: no fertilizado, F: fertilizado.

Cuadro N° 10: peso de mil semillas (g) en los distintos tratamientos (labranza*fertilización).

<u>Lab</u>	<u>fert</u>	<u>Medias</u>	
SD	NF	176.40	A
SD	F	171.35	A
LR	NF	163.65	A
LR	F	161.30	A
LC	NF	156.10	A
LC	F	141.50	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Duncan.

Referencias: Lab: labranza, fert: fertilización, SD F: siembra directa fertilizado, LR NF: labranza reducida no fertilizado, LR F: labranza reducida fertilizado, LC NF: labranza convencional no fertilizado, SD NF: siembra directa no fertilizado, LC F: labranza convencional fertilizado.

Número de semillas

Cuadro N° 11: número de semillas (semillas*m⁻²) en los distintos sistemas de labranza.

<u>Lab</u>	<u>Medias</u>	
LR	1623.30	A
LC	1575.10	A
SD	1481.38	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Duncan.

Referencias: Lab: labranza, LR: labranza reducida, SD: siembra directa, LC: labranza convencional.

Cuadro N° 12: número de semillas (semillas*m⁻²) en los tratamientos con y sin fertilización.

<u>fert</u>	<u>Medias</u>	
F	1573.82	A
NF	1546.03	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Duncan.

Referencias: fert: fertilización, NF: no fertilizado, F: fertilizado.

Cuadro N° 13: número de semillas (semillas*m⁻²) en los distintos tratamientos (labranza*fertilización).

<u>Lab</u>	<u>fert</u>	<u>Medias</u>	
LR	NF	1642.65	A
LC	NF	1635.85	A
LR	F	1603.95	A
SD	F	1603.15	A
LC	F	1514.35	A
SD	NF	1359.60	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Duncan.

Referencias: Lab: labranza, fert: fertilización, SD F: siembra directa fertilizado, LR NF: labranza reducida no fertilizado, LR F: labranza reducida fertilizado, LC NF: labranza convencional no fertilizado, SD NF: siembra directa no fertilizado, LC F: labranza convencional fertilizado.

Rendimiento

Cuadro N° 14: rendimiento (kg*ha⁻¹) en los distintos sistemas de labranza.

<u>Lab</u>	<u>Medias</u>	
LR	2644.35	A
SD	2566.38	A
LC	2348.13	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Duncan.

Referencias: Lab: labranza, LR: labranza reducida, SD: siembra directa, LC: labranza convencional.

Cuadro N° 15: rendimiento (kg*ha⁻¹) en los tratamientos con y sin fertilización.

<u>fert</u>	<u>Medias</u>	
NF	2548.67	A
F	2490.57	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Duncan.

Referencias: fert: fertilización, NF: no fertilizado, F: fertilizado.

Cuadro N° 16: rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en los distintos tratamientos (labranza*fertilización).

<u>Lab</u>	<u>fert</u>	<u>Medias</u>	
SD	F	2744.15	A
LR	NF	2704.65	A
LR	F	2584.05	A
LC	NF	2552.75	A
SD	NF	2388.60	A
LC	F	2143.50	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según test de Duncan.

*Referencias: **Lab**: labranza, **fert**: fertilización, **SD F**: siembra directa fertilizado, **LR NF**: labranza reducida no fertilizado, **LR F**: labranza reducida fertilizado, **LC NF**: labranza convencional no fertilizado, **SD NF**: siembra directa no fertilizado, **LC F**: labranza convencional fertilizado.*

Muestreos realizados durante el ciclo del cultivo

Cuadro N° 17: Fechas de los muestreos a campo y estadios fenológicos del cultivo.

Fecha	Etapa	Descripción
23/12/03	S	Siembra del cultivo
29/12/03	VE	Cotiledones sobre la superficie del suelo
12/01/04	V2	Dos nudos. Primer hoja trifoliada totalmente desarrollada
23/01/04	V4	Cuatro nudos. Hojas unifoliadas y tres hojas trifoliadas totalmente desarrolladas
02/02/04	R1	Comienzo de floración. Una flor abierta en cualquier nudo del tallo principal
18/02/04	R3	Comienzo de fructificación. Una vaina de 5 mm de largo en cualquiera de los cuatro nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada
01/03/04	R5	Comienzo de llenado de granos. Semilla de 3 mm de largo en una vaina en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada
24/03/04	R6	Máximo tamaño de semilla. Una vaina contiene una semilla que ocupa toda la cavidad, en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal
26/04/04	R8	Plena madurez. Un 95 % de las vainas han alcanzado su color típico de madurez

Agua útil durante el ciclo del cultivo

Cuadro N° 18: agua útil (mm) durante el ciclo del cultivo de todos los tratamientos.

Fecha	23-dic	29-dic	12-ene	23-ene	02-feb	18-feb	01-mar	24-mar	26-abr
DDS	0	6	20	31	41	57	69	92	125
SD F	113,38	113,72	117,80	94,79	113,80	91,34	73,41	40,69	61,38
SD NF	107,31	110,08	116,99	91,79	101,95	82,59	69,70	30,40	61,30
LR F	85,32	97,66	112,23	90,55	109,84	73,62	71,06	26,38	49,07
LR NF	91,37	101,54	112,54	91,05	107,70	79,17	73,81	58,54	57,56
LC F	76,83	92,16	108,28	90,57	98,03	74,05	41,13	17,81	51,94
LC NF	65,46	81,00	102,97	77,65	102,44	62,68	44,79	29,72	28,86

DDS: días después de la siembra.

Consumo acumulado de agua útil durante el ciclo del cultivo

Cuadro N° 19: consumo acumulado de agua útil (mm) durante el ciclo del cultivo de todos los tratamientos.

	0-6	6-20	20-31	31-41	41-57	57-69	69-92	92-125
SD F	26,74	78,58	80,36	131,14	151,29	172,95	184,88	260,98
SD NF	29,17	83,05	83,80	125,36	148,62	175,31	180,66	266,97
LR F	38,74	97,70	107,03	155,24	161,63	198,66	198,63	276,73
LR NF	36,57	92,82	100,83	147,06	161,15	195,36	224,74	279,18
LC F	41,73	101,55	116,57	151,92	170,56	177,21	198,55	288,09
LCNF	41,94	106,71	114,83	167,69	170,56	192,25	221,82	276,38

EUA considerando la producción de biomasa aérea

Cuadro N° 20: EUA para biomasa aérea (g/mm) en todos los tratamientos.

DDS	SD F		SD NF		LR F		LR NF		LC F		LC NF	
	Agua	MS										
20	78,6	8,3	83,1	7,9	97,7	6,7	92,8	7,8	101,6	8,5	106,7	5,6
31	78,9	19,4	82,3	19,3	105,1	22,5	99,0	18,5	114,5	24,7	112,8	26,4
41	131,1	41,7	125,4	50,3	155,2	69,7	147,1	61,3	151,9	79,8	167,7	64,5
57	151,3	170,9	148,6	163,0	161,6	263,7	161,1	202,0	170,6	293,9	170,6	236,9
69	172,9	318,8	175,3	280,1	198,7	375,7	195,4	299,6	177,2	322,4	192,2	310,5
92	184,9	432,9	180,7	473,0	198,6	483,5	224,7	446,4	198,5	462,2	221,8	475,4
125	261,0	517,1	267,0	435,4	276,7	518,8	279,2	509,7	288,1	455,6	276,4	507,9

EUA considerando la producción de granos

Cuadro N° 21: EUA respecto a la producción en granos (kg/mm) de todos los tratamientos.

Tratamiento	Agua Consumida (mm)	Rendimiento (kg/ha)	EUA (kg/mm)
SD F	260,98	2745	10,5
SD NF	266,97	2389	8,9
LR F	276,73	2584	9,3
LR NF	279,18	2705	9,7
LC F	288,09	2143	7,4
LCNF	276,38	2553	9,2