



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

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

Modalidad: Proyecto

**EFFECTO DE UN CULTIVO DE COBERTURA, SEMBRADO
DURANTE LA COSECHA DE MANÍ, SOBRE EL AGUA DEL SUELO,
EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE UN CULTIVO DE SOJA**

Alumno: Girardi Daiana Melisa

DNI: 36.187.779

Director: Giayetto Oscar

Codirector: Morla Federico D.

Río Cuarto – Córdoba

Octubre de 2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Efecto de un cultivo de cobertura, sembrado durante la cosecha de maní, sobre el agua del suelo, el crecimiento y desarrollo de un cultivo de soja.

Autor: Girardi, Daiana Melisa

DNI:36.187.779

Director: Giayetto, Oscar

Co-Director: Morla, FedericoD.

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

CHOLAKY, Carmen

ROSSO, M. Belen

GIAYETTO, Oscar

Fecha de Presentación: _____ / _____ / _____.

Aprobado por Secretaria Académica: _____ / _____ / _____.

Secretario Académico

Agradecimientos

La carrera universitaria no sólo requiere de estudio y esfuerzo propio, requiere de muchos aspectos para poder llevarse a cabo. Y entre ellos se destaca el apoyo de las personas que te rodean. Por esta razón quiero mediante este texto brindar mi cariño y agradecimiento a aquellas personas que me acompañaron siempre y que también hicieron posible que hoy pueda recibirme.

A mis padres por brindarme la posibilidad de estudiar, por su amor, por ser mi guía y sostén en la vida, por enseñarme a no bajar los brazos nunca.

A mi hermana por ser la persona que me acompañó incondicionalmente durante todos estos años, por tenderme siempre una mano, por estar siempre presente.

A mi cuñado, por los momentos compartidos, por su predisposición para ayudarme e integrarme con mis futuras actividades.

A mis amigas de toda la vida por tantos años de amistad, por su cariño, por su apoyo en cada cosa que emprendo, por estar en cada instante de mi vida.

A los amigos y amigas que me dio la universidad, por ser mis compañeros de estudio, por aguantarme en clases, por cada momento vivido en la facultad. Gracias por ser mis compañeros y sobre todo, mis amigos.

A todas las personas que forman parte de mi vida y han contribuido a formarme académicamente y como persona.

A mi director, por su predisposición y paciencia, por permitirme realizar mi trabajo final en esta temática.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto por darme la oportunidad de formarme como profesional y como persona.

Índice General

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Descripción general del ensayo experimental	6
Observaciones y Determinaciones	6
<i>Del Clima:</i>	6
<i>Del Cultivo de Cobertura:</i>	6
<i>Del Suelo:</i>	7
<i>Del Cultivo de soja:</i>	8
Análisis estadísticos	10
RESULTADOS	11
<i>Condiciones agroclimáticas durante el estudio:</i>	11
<i>Cultivo de Cobertura:</i>	13
<i>Condiciones edáficas:</i>	14
<i>Cultivo de Soja:</i>	15
DISCUSIÓN	21
<i>Del clima:</i>	21
<i>Del cultivo de cobertura:</i>	21
<i>Del Suelo:</i>	22
<i>Del cultivo de soja:</i>	23
CONCLUSIÓN	28
BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXOS	34

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Fenología del cultivo de soja.	15
Cuadro 2. Eficiencia en el uso del agua para la producción de biomasa aérea total (EUAB) y del rendimiento de granos (EUAG) en ambos tratamientos.	18
Cuadro 3. Componentes indirectos del rendimiento del cultivo de soja en los dos tratamientos.	18

Índice de Figuras

Figura 1. Precipitaciones medias normales (período 1974-1993) y las registradas durante el presente estudio (2013/14).	11
Figura 2. Temperaturas máximas, mínimas y medias normales (período 1974-1993) y de ciclo 2013/14.	12
Figura 3. Dinámica de la cobertura del suelo y de la biomasa producida y acumulada por el cultivo de centeno.	13
Figura 4. Dinámica de la lámina de agua del suelo (0-100 cm) en cada tratamiento. CC contenido de agua a capacidad de campo y PMP contenido de agua a punto de marchitez permanente.	14
Figura 5. Curvas de consumo acumulado de agua por el cultivo de soja en ambos tratamientos.	16
Figura 6. Biomasa aérea total del cultivo de soja producida en ambos tratamientos de cobertura del suelo.	17
Figura 7. Número de granos por superficie (a) y peso individual del grano (b) de soja en ambos tratamientos.	19
Figura 8. Rendimiento en granos de soja para ambos tratamientos (CC y SC).	20

RESUMEN

El proceso de intensificación de la agricultura y la falta de aplicación de buenas prácticas agrícolas conducen a consecuencias negativas como el deterioro de los suelos. Esta problemática se ve agravada por la sucesión de cultivos estivales con escaso aporte de residuos de los cultivos. Una de las alternativas para contrarrestar los efectos negativos de este tipo de producción es la incorporación de cultivos que aporten cobertura al suelo durante el barbecho invernal, favoreciendo así la salud del mismo. De este modo, en la siguiente investigación se planteó realizar un cultivo de cobertura (CC) durante el arrancado de maní para mejorar la estructura y el funcionamiento del suelo para la posterior siembra de soja, evaluando el impacto del mismo en el rendimiento final. Para esto se realizó un ensayo en un lote cercano a la ciudad de Río Cuarto, con dos tratamientos: un testigo sin cultivo de cobertura y otro con centeno; en los cuales se realizaron las siguientes determinaciones: (i) porcentaje de cobertura del suelo por parte del CC y producción de biomasa del mismo, (ii) humedad edáfica a lo largo del CC y del cultivo de soja, (iii) biomasa del cultivo de soja, (iv) eficiencias en el uso del agua (EUA) para biomasa y para granos, y (v) rendimiento final del cultivo de soja. En este ensayo se pudo lograr una muy buena cobertura del suelo por parte del centeno a través de su biomasa, la cual si bien redujo la humedad edáfica al momento de la siembra, estos efectos se revirtieron a los pocos días después de la siembra de soja, manteniéndose siempre mayor la humedad en el perfil perteneciente al tratamiento CC. Es por este motivo que la biomasa del cultivo de soja también fue superior en toda su evolución en el tratamiento con centeno, lo mismo se observó con las EUA para biomasa total y para granos. En cuanto al rendimiento final del cultivo de soja, si bien las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas, se obtuvieron 3107 kg ha⁻¹ en el tratamiento CC versus 2874 Kg ha⁻¹ en el tratamiento SC, es decir el rendimiento obtenido con un cultivo de cobertura como antecesor generó mayores rendimientos de soja que el testigo. Por lo que se puede concluir que para las condiciones edafoclimáticas del ensayo y de la campaña 2013/2014 es factible realizar un CC como antecesor de un cultivo de soja, sin afectar el rendimiento de la misma.

Palabras claves: *Cultivo de cobertura- centeno- soja- rendimiento- eficiencia en el uso del agua.*

SUMMARY

The intensification process of the agriculture and the lack of application of good agricultural practices lead to negative consequences as soil deterioration. This problem is aggravated by the succession of summer crops with little input from crop residues. One of the alternatives to offset the negative effects of this type of production is the incorporation of crops to provide soil cover during the winter fallow, thus improving the soil's health. Thus, the following investigation aims at the analysis of a cover crop (CC) during the removal of peanuts to improve the structure and operation of the soil for subsequent sowing of soybean, evaluating its impact on the final yield. For this, a trial was conducted in a lot near the city of Rio Cuarto, with two treatments: a control without cover crop and another one with rye. In these treatments the following determinations were carried out: (i) percentage of ground cover by the CC and biomass production thereof, (ii) soil moisture along the CC and soybean, (iii) soybean crop biomass, (iv) water use efficiencies for biomass and grains, and (v) final soybean yield. In this work it was possible to achieve a very good coverage of the soil on the part of the rye across its biomass, which though it reduced soil moisture at sowing time, these effects were reversed a few days after the soybean sowing, being always higher the dampness in the profile belonging to the treatment CC. This is the reason why the soybean crop biomass was also higher in all its evolution in the treatment with rye. The same was observed with the EUA for total biomass and grains. As for the final yield of the soybean crop, although differences between treatments were not statistically significant, they were obtained 3107 kg ha^{-1} in the CC treatment and 2874 kg ha^{-1} in the treatment SC, that is to say, the yield obtained with a cover crop as predecessor generates major performances of soybean yields than the control one. So it can be concluded that for the climatic, the soil of the test and the 2013/2014 campaign conditions is feasible to carry out a CC as predecessor of soybean crop without affecting the performance of it.

Keywords: cover crops - yield rye – soybean – water use efficiency.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.), debido a sus particulares requerimientos, se ha extendido en áreas con suelos sueltos, de alto contenido de arena y limo, bien provistos de nutrientes y con suficiente cantidad de agua, que facilitan el desarrollo de sus vainas (Pedelini, 2014).

La falta de buenas prácticas agrícolas en un proceso de intensificación de la agricultura (tales como ausencia de rotaciones, extracción de nutrientes sin reposición, entre otras), junto con las características edafológicas mencionadas anteriormente, traen aparejadas consecuencias negativas como el deterioro físico y químico del suelo (Bonadeo *et al.*, 2003; Uberto *et al.*, 2002), la disminución del contenido de materia orgánica (Cisneros *et al.*, 1998), mayor susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica, y un aumento de la incidencia de enfermedades (Giayetto, 2006).

Estas limitaciones se ven agravadas cuando al cultivo de maní le sucede otro de soja, debido a los prolongados períodos de barbecho invernal y a la escasa cantidad de residuos del cultivo, aún bajo siembra directa, lo que incrementa el riesgo de erosión y degradación de los suelos (Meriles *et al.*, 2009).

Para lograr una producción sustentable, se deben resolver los problemas mencionados mediante prácticas de manejo como la correcta elección del lote, rotación de cultivos, sistemas de labranza apropiados, control de erosión, y la inclusión de cultivos de cobertura (CC), entre otras (Giayetto, 2006).

Un cultivo de cobertura entre dos cultivos primavero-estivales de cosecha, constituye una buena herramienta para conservar niveles de cobertura y favorecer diferentes aspectos relacionados con la salud del suelo, siendo una alternativa sustentable y compatible con los sistemas actuales de producción (Lal *et al.*, 2007). Los CC son cultivos que se siembran entre dos cultivos de verano y no se incorporan al suelo, ni se pastorean o cosechan (Ruffo y Parsons, 2004), sino que suelen secarse (mediante aplicación de herbicidas) con cierta anticipación a la siembra del cultivo posterior (Scianca, 2010). El momento en el cual se realiza el secado del CC debe decidirse teniendo en cuenta dos aspectos: lograr una acumulación de biomasa que asegure una buena cobertura y aporte de carbono, y ajustarse a las precipitaciones de cada región para que se pueda recargar el perfil con las lluvias de primavera (Ruffo, 2003). Así, los residuos de los CC quedan en superficie protegiendo el suelo y liberando los nutrientes contenidos en la biomasa vegetal como resultado de procesos de degradación de la misma (Ruffo, 2004).

Si bien el rol tradicional de los CC ha sido la prevención de la erosión del suelo, diferentes autores han descripto otras funciones, como (i) la fijación de carbono atmosférico, con el consecuente aumento del contenido de MO del suelo (Wander y Traina, 1996); (ii) el aumento de la infiltración del agua de lluvia y su almacenaje en el perfil del suelo dada por una menor pérdida de agua por escurrimiento superficial y percolación profunda (Hoyt *et al.*, 2004); (iii) una mayor eficiencia en el uso del agua (EUA), en años con precipitaciones bajas durante el barbecho y en suelos de baja capacidad de retención de agua; o (iv) cuando las precipitaciones exceden el contenido relativo de agua (CRA) y una parte del agua se pierde por percolación profunda (Fernandez *et al.*, 2005; Duarte, 2002); y (v) una disminución de la pérdida de nutrientes móviles como N y S, por la retención en su biomasa, minimizando la lixiviación que ocurriría sin presencia del cultivo, principalmente durante barbechos largos (Fernandez *et al.*, 2005) y aumentando la disponibilidad de N para los cultivos de cobertura (Restovich *et al.*, 2012).

En ese sentido, Reicosky y Archer (2005) mencionan que el N incorporado al suelo proveniente de biomasa es más eficientemente utilizado por las plantas que el N derivado de fertilizantes; aunque existe incertidumbre acerca de la sincronización entre la mineralización y la absorción por parte de la planta. Además, el CC puede contribuir al control de malezas ya que modifica las condiciones ambientales para la emergencia y crecimiento de las mismas (Kruk *et al.*, 2006); estimular la actividad microbiana, así como deprimir la napa freática para mejorar la transitabilidad (Acosta-Martínez *et al.*, 2007; Unger y Vigil, 1998).

Como se mencionó anteriormente, para poder lograr un sistema de producción sustentable, se debe mejorar el balance de carbono. En este sentido, la incorporación de rastrojos a través de CC favorece este balance como así también la conservación de la MO, lo que contribuye a mejorar la estructura del suelo, permitiendo mantener una porosidad estable, controlando la susceptibilidad a la compactación y, por ende, facilitando la entrada del agua al suelo a través de los poros de conducción (Ruffo, 2003; Ding *et al.*, 2005).

En Argentina la producción de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) en la campaña 2011-2012 superó los 40 millones de toneladas (SIIA, 2013). La expansión de la frontera agrícola y el reemplazo de la superficie destinada a otras actividades por la agricultura, fueron las principales causas del aumento de la producción de soja en nuestro país, llegando aproximadamente a 18 millones de hectáreas sembradas en esa campaña. En Córdoba para esa misma campaña, los valores de producción y de superficie sembrada fueron alrededor de 9,8 millones de toneladas y 5 millones de hectáreas, respectivamente (SIIA, 2013).

Los rendimientos durante las últimas campañas se han mantenido en aumento, encontrándose como valor promedio 2281 kg ha⁻¹ a nivel país y 2014 kg ha⁻¹ en la provincia de Córdoba (SIIA, 2013), según la disponibilidad de recursos. Estos aumentos en la productividad están ligados a un mayor Índice de Cosecha (IC) del cultivo, lo que provocó que disminuyera la reposición de carbono y nutrientes al suelo (Satorre, 2003; Scianca, 2010).

El agua es el principal factor limitante del rendimiento, debido a que la agricultura extensiva en nuestro país se realiza principalmente en condiciones de secano, estando así la productividad de los cultivos ligada a las variaciones en la ocurrencia de precipitaciones y a la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos. Por esta razón, la disminución de las brechas de rendimiento de la soja en Argentina se basa principalmente en el manejo del agua (Salvagiotti, 2009).

El crecimiento de los cultivos, en particular la soja, se reduce cuando el contenido hídrico del suelo disminuye por debajo del 50% del agua útil (Andrade y Sadras, 2000). El estrés hídrico influye sobre el crecimiento y el desarrollo, afectando tanto la floración como fructificación, disminuyendo el número y peso de los granos, con la consecuente disminución del rendimiento (Brown *et al.*, 1985). Además, si hay deficiencia hídrica durante el desarrollo y maduración del grano, se producen semillas livianas, con una pobre emergencia a campo y una reducción de su vigor.

Algunos estudios muestran que la inclusión de CC en rotaciones bajo siembra directa generan una menor pérdida de agua por escurrimiento superficial y percolación profunda, lo que permite mejorar la infiltración del agua de lluvia y el almacenaje en el perfil del suelo y se ve reflejado en un mayor rendimiento en años secos (Hoyt *et al.*, 2004). A su vez, Fernández *et al.* (2008) encontraron que a la siembra del cultivo estival, el barbecho con alto nivel de residuo presentó menor temperatura en los primeros 5 centímetros del suelo, reduciendo las pérdidas de agua por evaporación.

Haciendo referencia a esto, Fernández *et al.* (2007) y Scianca (2010) encontraron que en los tratamientos que incluían CC como antecesores, los rendimientos de maíz y soja fueron iguales o mayores respecto de los testigos sin CC. Mientras que Álvarez *et al.* (2006) no encontraron diferencias en el rendimiento de soja sembrada sobre CC secados en diferentes momentos en Hapludoles típicos del noroeste bonaerense.

Se ha comprobado también en Haplustoles de la región semiárida y subhúmeda pampeana, que en suelos de baja capacidad hídrica durante barbechos largos, en años con precipitaciones normales los CC aumentaron la EUA de los cultivos de cosecha respecto del testigo (sin CC) (Duarte, 2002; Fernández *et al.*, 2005). Asimismo se considera que el consumo

hídrico de los CC durante el invierno podría interferir en la oferta normal de agua para el cultivo sucesor, pudiendo afectar de este modo su implantación e incluso, comprometer su rendimiento (Duarte, 2002; Scianca *et al.*, 2008). Sin embargo, en la pampa semiárida hay estudios que aseguran que el impacto del CC en el almacenaje de agua no es relevante y que no afectaría disminuyendo el rendimiento del cultivo de cosecha posterior. (Fernandez *et al.*, 2010)

Al incluir un CC, se produce una disminución del contenido de agua útil para el cultivo de verano de entre 30 y 100 mm. Esta reducción del contenido hídrico del perfil del suelo se denomina «costo hídrico» (Fernández *et al.*, 2007). Al respecto, Unger y Vigil (1998) encontraron que los CC disminuyen el agua del suelo en su etapa de crecimiento y conservan agua cuando finalizan su ciclo y permanecen como residuos sobre la superficie del suelo. De esta forma, los autores concluyeron que en regiones húmedas y subhúmedas los CC, en general, permiten la recarga del perfil del suelo con las precipitaciones; mientras que en regiones semiáridas los CC a menudo disminuyen los rendimientos de los cultivos subsiguientes.

La mayoría de las especies utilizadas como CC pertenecen a las familias de gramíneas y leguminosas; siendo más recomendable utilizar una gramínea antes de un cultivo de soja. Las gramíneas que más se utilizan son centeno, trigo, cebada, avena, triticale y raigrás (Ruffo y Parsons, 2004).

El centeno es una buena elección en la región semiárida pampeana ya que aporta un elevado nivel de biomasa, haciendo un consumo de humedad del suelo relativamente bajo respecto a otras gramíneas como la avena; y produce un residuo más duradero en el tiempo que el de otras especies. Además, por ser una gramínea y tener otro sistema radical, genera un patrón de galerías en el suelo que incrementa la macroporosidad. Esto, junto al aumento de cobertura en el suelo, permite una mayor infiltración de agua en el perfil (Carfagno, 2008).

Por otra parte, el centeno puede capturar N del suelo potencialmente lixiviable y acumular parte de éste en su biomasa (Smith *et al.*, 1987). También se encontró que el mismo inhibe la germinación de semillas de malezas debido a un efecto alelopático que se produce al descomponerse el residuo (Hoyt *et al.*, 2004).

En base a lo enunciado anteriormente y teniendo en cuenta la importancia de hacer un uso eficiente del agua, principal factor limitante del rendimiento de los cultivos en esta región, el presente trabajo evaluará el impacto de incluir centeno (*Secale cereale* (L.) M. Bieb.) como CC luego del cultivo de maní, sobre el rendimiento del cultivo de soja posterior, y cómo esa cobertura afecta la captura y eficiencia de uso del agua.

OBJETIVO

Evaluar el efecto de un cultivo de cobertura sembrado en las operaciones de cosecha de maní, sobre la humedad del suelo y su influencia sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de un cultivo de soja posterior.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el efecto del cultivo de cobertura sobre:

- la humedad del perfil del suelo a lo largo del ciclo del centeno (CC) y de la soja (cultivo posterior);
- la biomasa aérea del cultivo de soja a lo largo de su ciclo;
- el consumo y eficiencia de uso del agua, y el rendimiento y sus componentes de la soja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general del ensayo experimental

El presente ensayo se realizó durante la campaña 2013/14, en un lote de producción ubicado en la zona de Río Cuarto (33°08'15" Latitud Sur y 64°13'20" Longitud Oeste). El suelo de dicho lote es un Haplustol típico de textura franco arenosa fina que presentó valores de 2,03% de MO, 29,98 ppm de P y un pH de 6,53 a una profundidad de 0-20 cm al momento de comenzar el ensayo. Allí se sembró centeno con una máquina fertilizadora al voleo de platos o de discos sobre un cultivo de maní el 14/04/2013, cinco días antes del inicio de las operaciones de arrancado. La densidad del CC fue de aproximadamente 40 kg ha⁻¹.

En este lote se instalaron dos tratamientos, con y sin cultivo de cobertura (Con y sin CC) y en este último se realizó el secado con la aplicación 900 gr de Roundup ultra max®. Se definieron dos estaciones de muestreo de 40 x 40 m para cada tratamiento, dispuestas en un diseño experimental completamente aleatorizado con tres repeticiones por tratamiento. La aplicación del herbicida se hizo el 24 de Septiembre de 2013, en la fase de desarrollo Z5.9 del centeno, según la escala decimal propuesta por Zadoks *et al.* (1974). Luego se sembró una variedad de soja de GM IV (DM 4712) en siembra directa, el 23 de Octubre de 2013 a la cual se le aplicaron 70 kg ha⁻¹ de Súper Fosfato Simple, sin diferenciar tratamientos establecidos.

Observaciones y Determinaciones

Del Clima:

Se registraron los datos diarios de variables meteorológicas durante los ciclos de los cultivos de soja y de centeno en la Estación Meteorológica de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC ubicada en la cercanía del área experimental. Se compararon estos datos con los valores medios normales de la ciudad de Río Cuarto correspondientes al período 1974-1993 (Seiler *et al.*, 1995).

Del Cultivo de Cobertura:

Durante el ciclo del CC se estimó, en seis oportunidades, el porcentaje de cobertura del suelo en ambos tratamientos a través del método del cuadrante y se midió la biomasa aérea total mediante 2 muestras de 0,25 m² en el tratamiento con cultivo de cobertura y sus distintas estaciones de muestreo.

A la siembra de la soja se repitió la medición recogiendo la biomasa remanente sobre el suelo.

Con los datos de biomasa obtenidos a través de los DDS, se calculó la TCC para las distintas etapas del cultivo de centeno.

Del Suelo:

Humedad del suelo:

Durante todo el período de estudio (CC y cultivo de soja), se realizó un muestreo del perfil del suelo hasta 1 m de profundidad para evaluar la disponibilidad hídrica de cada tratamiento, y luego se midió el contenido de agua del suelo regularmente, a intervalos de 15 días, entre la emergencia y la madurez fisiológica del cultivo. Para ello, se tomaron muestras de suelo compuestas por tres repeticiones en cada sitio y tratamiento. Con estos datos se contruyó una curva de evolución del agua disponible durante el ciclo del cultivo.

Para determinar la humedad se utilizó el método gravimétrico, donde la masa de agua surge de la diferencia entre la masa total del suelo húmedo y la masa de suelo secado en estufa, según el siguiente procedimiento:

- 1- Toma de la muestra de suelo cada 20 cm en coincidencia con la medición de densidad aparente (DAP) de la capa correspondiente a ese espesor y hasta el metro de profundidad.
- 2- Pesaje de la muestra húmeda más la tara del recipiente ($PH+T$)
- 3- Secado en estufa a 105 °C hasta peso constante
- 4- Pesado de la muestra seca más la tara del recipiente ($PS+T$)
- 5- Cálculo del contenido de humedad mediante la siguiente ecuación:

$$CGA(g.g^{-1}) = \frac{(PH+T) - (PS+T)}{PS+T}$$

donde:

CGA= 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 de densidad aparente (DAP) de cada capa del suelo, se calculó la humedad volumétrica según la siguiente ecuación:

$$HV = HG \times DAP$$

donde:

HV: Humedad volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

HG: Humedad gravimétrica (g g^{-1})

DAP: Densidad aparente del suelo (g cm^{-3})*

*Para obtener los valores de DAP se utilizó el método del cilindro. Se tomaron muestras de suelo por capas de 20 cm de espesor cada una y hasta el metro de profundidad en diferentes estaciones de muestreo. Luego se registró el peso de la muestra húmeda, posterior secado en estufa hasta peso constante, y pesado de la muestra seca.

$$\text{DAP} = \text{PS}/\text{V}$$

donde:

DAP = densidad aparente de suelo (g cm^3), PS = peso seco del suelo contenido dentro del cilindro (g), y V = volumen del cilindro (cm^3).

La lámina de agua (mm) para cada capa de suelo se obtuvo mediante el producto de la HV ($\text{cm}^3 \text{cm}^3$) y el espesor de la misma (expresado en mm). De la sumatoria de las láminas de agua medidas en cada intervalo se obtuvo el agua del suelo de 0 a 100 cm de profundidad, en los diferentes momentos de medición.

$$\text{LA (mm)} = \text{HV} \times \text{P}$$

donde:

LA= lámina de agua (mm)

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

P= espesor del estrato (mm)

Luego se calculó la lámina de agua útil disponible para las plantas como aquella que se encuentra retenida entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente, constantes hídricas que fueron estimados a través del modelo SPAW Hydraulic Properties Calculator (Saxton y Rawls, 2006).

Del Cultivo de soja:

Durante el ciclo del cultivo se realizaron muestreos regulares a intervalos de 15-20 días en los que se determinó:

Fenología: se registró la etapa fenológica en que se encontraba el cultivo según la clave de Fehr y Caviness (1971).

Evapotranspiración o consumo de agua del cultivo: Con los datos de humedad del suelo se calculó la evapotranspiración de cada tratamiento según la siguiente ecuación:

$$ETc = \Delta H + PP - Esc. - Perc.$$

donde:

ETc= evapotranspiración (mm)

ΔH = variación del contenido de agua en el suelo entre dos mediciones consecutivas (mm)

PP= lluvias (mm)

Esc.= escurrimiento superficial (mm)

Perc= drenaje profundo (mm).*

* en función del análisis del balance hídrico se despreció su importancia para los fines de este trabajo.

El escurrimiento se calculó en base al método de la Curva Número. Con este valor, y con las siguientes fórmulas se obtuvo el valor de lámina de escurrida:

$$S = 1000 / CN - 10 (*)$$

donde:

S= Máxima retención potencial de agua por el terreno (mm).

CN= Valor de la curva número obtenido a partir del grupo hidrológico del suelo, el tipo de cultivo realizado y la cobertura del suelo (Considerándose un valor de CN de 78, para ambos tratamientos).

(*) El valor de S está expresado en pulgadas (que se convirtió a mm).

$$Q = (P - 0,2 * S)^2 / P + 0,8 * S$$

donde:

Q= Lámina escurrida (mm)

P= Precipitaciones (mm)

Mediante la sumatoria de la evapotranspiración de cada período evaluado se calculó la Etc acumulada durante el ciclo del cultivo de soja, la cual se utilizó para el cálculo de EUA en ambos tratamientos.

Biomasa aérea total:

Se tomaron 3 muestras de 1 metro lineal de surco en cada tratamiento y para las distintas estaciones de muestreo. Esta medición se realizó en diferentes momentos del ciclo y las muestras fueron secadas en estufa con circulación forzada de aire hasta peso constante.

En función a la biomasa producida y el rendimiento del cultivo se estimó la eficiencia de uso del agua (EUA) mediante la siguiente ecuación:

$$EUA = \frac{Y}{ETc}$$

donde:

Y: Rendimiento de biomasa o grano del cultivo (kg ha⁻¹)

ETc.: Evapotranspiración acumulada del cultivo (mm)

Rendimientos y sus componentes directos a cosecha:

Se determinaron mediante 10 muestras de 1m² cada una por tratamiento y estación de muestreo.

Análisis estadísticos

Las variables del cultivo se sometieron a ANAVA (análisis de la varianza) y los promedios se compararon según el test de comparaciones múltiples LSD Fisher ($\alpha = 0,05$). Las relaciones simples entre variables del cultivo y factores del suelo y clima se cuantificaron mediante correlaciones y regresiones. Dichos análisis fueron realizados con el programa InfoStat versión 2013. (Di renzo *et al.*, 2011)

RESULTADOS

Condiciones agroclimáticas durante el estudio:

En la figura 1 se observa la distribución de las precipitaciones durante el ciclo agrícola analizado en este trabajo (2013/14) para el cultivo de cobertura (desde abril a octubre de 2013) y el cultivo de soja posterior (desde noviembre/2013 a abril/2014) y valores medios normales de precipitación para estos mismos periodos (Seiler *et al.* 1995).

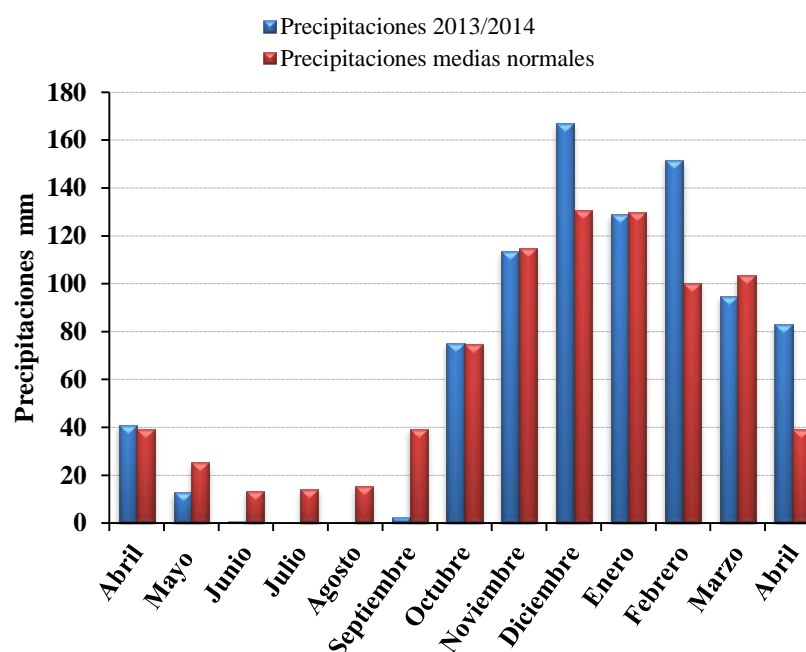


Figura1: Precipitaciones medias normales (período1974-1993) y las registradas durante el presente estudio (2013/14).

Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo de cobertura fueron marcadamente inferiores a los valores medios normales del mismo periodo, sólo los meses de abril y octubre tuvieron lluvias similares a los datos medios de la zona de estudio (40,9 y 75,2 mm, respectivamente); mientras que las precipitaciones de los meses restantes fueron despreciables (≈ 0 mm), a excepción de mayo que registró 13 mm de lluvia. Esto resultó en un aporte de agua por precipitaciones 41% menor a la media del ciclo analizado (131,9 vs 224,4 mm).

Durante el ciclo de la soja, posterior al cultivo de cobertura, en cambio, las precipitaciones ocurridas fueron de 731 mm, excediendo los valores medios normales descriptos por Seiler *et al.*(1995) que, en el mismo período, alcanzan 654 mm. Es decir, que las lluvias ocurridas durante la campaña 2013/14 superaron en un 18% a los valores medios normales. Esta

diferencia se debió principalmente a los mayores milimetrajes ocurridos en los meses de diciembre y febrero, que fueron de 36 y 51 mm, respectivamente. Durante los meses de octubre, noviembre y enero, las precipitaciones se asemejaron a los valores normales y sólo marzo tuvo valores algo inferiores a la media normal (8 mm).

Analizando las precipitaciones totales de la campaña 2013/14 se puede observar un milimetraje de 788 mm, mientras que los valores medios normales para Río Cuarto son de 801 mm, es decir, que hubo una precipitación inferior a la media de 13 mm.

En la figura 2, se presentan los datos térmicos registrados durante el ciclo 2013/14, diferenciados en valores máximos, mínimos y medios, y su comparación con los promedios normales.

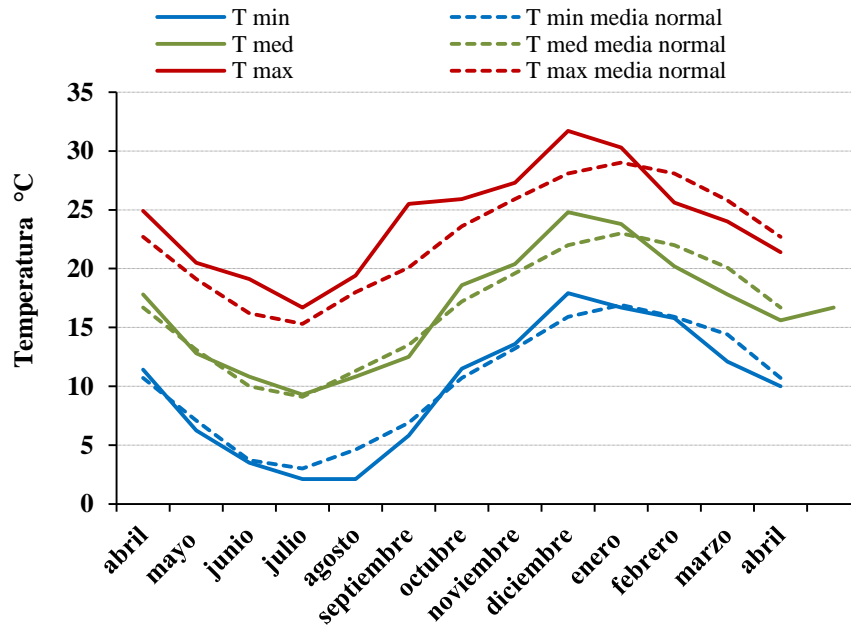


Figura 2: Temperaturas máximas, mínimas y medias normales (período 1974-1993) y de ciclo 2013/14.

Las temperaturas (mínimas, máximas y medias) ocurridas durante la campaña 2013/14 siguieron, en general, las mismas tendencias que las temperaturas medias normales.

Las temperaturas máximas desde abril hasta enero inclusive, superaron las temperaturas máximas normales, siendo las mayores diferencias en septiembre y diciembre con 5,4 y 3,6°C, respectivamente. En cambio, durante los meses de febrero, marzo y abril, las

mismas fueron inferiores a los valores medios normales (diferencias de -2,5; -1,8 y -1,3°C; respectivamente).

Las temperaturas medias ajustaron muy bien a los valores normales, resaltando el dato del mes de diciembre superior respecto a la serie histórica (diferencia de 2,8°C) y los meses de febrero, marzo y abril que fueron un poco inferiores a la misma (diferencias de -1,8; -2,3 y -1,1°C; respectivamente).

Las temperaturas mínimas de la campaña 2013/14, al igual que las temperaturas medias concordaron, en líneas generales, con las medias de la serie histórica, excepto diciembre con dos grados por encima de la temperatura mínima media normal, y agosto y marzo con 2,5 y 2,3°C, respectivamente, por debajo de la media normal.

En la campaña 2013/14 la temperatura máxima absoluta se registró el 25 de diciembre de 2013 con 40,8°C, y la mínima absoluta el 22 de julio de 2013 con -6,1°C.

Cultivo de Cobertura:

La figura 3 muestra la acumulación de biomasa aérea producida por el cultivo de centeno en el transcurso de su ciclo y el porcentaje de cobertura del suelo que se fue generando a medida que avanzaba su desarrollo fenológico durante 2013.

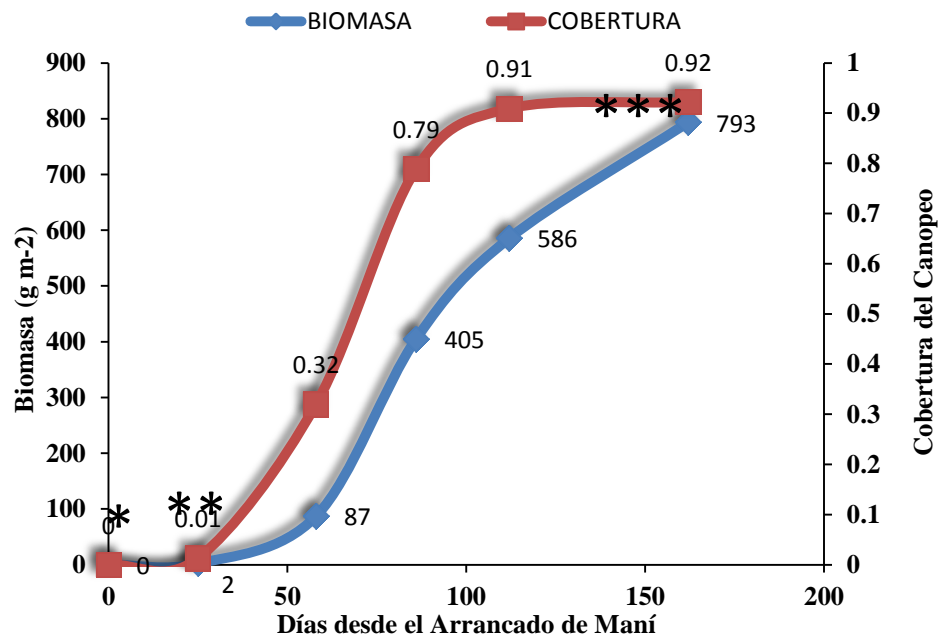


Figura 3: Dinámica de la cobertura del suelo y de la biomasa producida y acumulada por el cultivo de centeno. *: Fecha de arrancado del maní (15/04/2013); **: Fecha de descapotado del maní (10/05/2013); ***: Fecha de inicio de floración del centeno (03/09/2013).

Entre la siembra y los 25 posteriores (DDS), la cobertura experimentó cambios mínimos. Durante el período siguiente se produjo un marcado aumento de la cobertura del canopeo, cuyos valores máximos se alcanzaron a los 112 DDS (91%), sin cambios importantes a partir de ese momento y hasta alcanzar el valor final (92%) a los 162 DDS, previo al secado del CC.

La biomasa tuvo una dinámica similar. Al inicio del ciclo, tanto la biomasa acumulada como la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) fueron muy bajas ($0,08 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$). A los 58 DDS la TCC del centeno comenzó a incrementar dando como resultado una mayor biomasa aérea acumulada. Al igual que el porcentaje de cobertura, entre los 58 y 86 DDS se observó la máxima TCC con un valor de $11 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$; y luego la biomasa del centeno continuó aumentando pero a una tasa decreciente hasta el valor máximo a los 162 días, cuando se realizó el secado del CC. Así, la producción de materia seca aérea acumulada del centeno fue de 7934 kg ha^{-1} , con un 92% de cobertura al finalizar el ciclo del cultivo.

Condiciones edáficas:

Humedad del suelo:

La dinámica del contenido de agua del suelo registrada hasta el metro de profundidad para ambos tratamientos (CC y SC) se presenta en la figura 4.

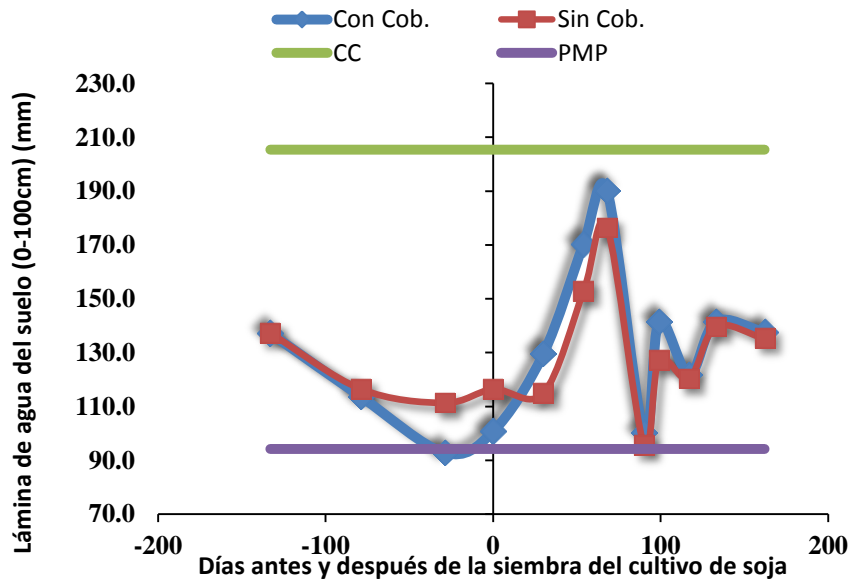


Figura 4: Dinámica de la lámina de agua del suelo (0-100 cm) en cada tratamiento. CC contenido de agua a capacidad de campo y PMP contenido de agua a punto de marchitez permanente.

Desde el principio de las mediciones realizadas, ambos tratamientos mantuvieron contenidos de humedad similares. Luego se fue generando una diferencia de lámina de agua a favor del tratamiento sin CC, que se hizo máxima 29 días antes de la siembra de soja (con 17 mm menos en el tratamiento con CC) encontrándose el mismo cercano del PMP. Este momento coincidió con el secado del cultivo de cobertura.

Posteriormente, la diferencia comenzó a disminuir, aunque al momento de la siembra de soja, todavía era de 15 mm menos en el tratamiento CC respecto al testigo, es decir un 16% menos de agua a la siembra de la soja. Desde los 30 DDS (de soja) la situación se invierte, con una diferencia a favor del tratamiento con CC; la que se mantiene hasta los 68 DDS, con un valor promedio de 15,3 mm. Entre los 68 y 90 DDS se produjo una caída abrupta en el contenido de humedad edáfica de los dos tratamientos, quedando ambos muy cerca del PMP. En la etapa posterior 90 a 162 DDS, ambos tratamientos se recuperaron con una diferencia pequeña a favor de la situación con CC.

Cultivo de Soja:

Fenología:

El cuadro 1 muestra los estadios fenológicos del cultivo de soja y su momento de ocurrencia en DDS, identificados mediante observación de la morfología externa de la planta y siguiendo la clave desarrollada por Fehr y Caviness (1971).

Cuadro 1: Fenología del cultivo de soja.

Días desde la siembra	Etapas de desarrollo	Descripción
0	S	Siembra
30	V8	8 hojas totalmente desarrolladas
54	R2	Plena floración
68	R3	Comienzo de fructificación
90	R5	Comienzo de llenado de granos
100	R5-R6	Llenado de granos
117	R6	Máximo tamaño de semilla
140	R6-R7	Comienzo de madurez
149	R8	Plena madurez

El ciclo del cultivo se extendió durante 149 días. La etapa de emergencia se alcanzó a los 3 días, posterior a ello comenzaron a desplegarse las hojas, proceso que se extendió hasta aproximadamente los 100 días, aunque poco antes de los 54 DDS comenzó la fase reproductiva.

Ésta tuvo una duración de 100 días hasta alcanzar la madurez fisiológica. No se detectaron modificaciones de la fenología del cultivo que se pudieran adjudicar a los tratamientos evaluados.

Consumo de agua del cultivo:

En la figura 5 se muestra el consumo de agua acumulado de la soja cultivada con y sin CC como antecesor, a través de los días después de siembra.

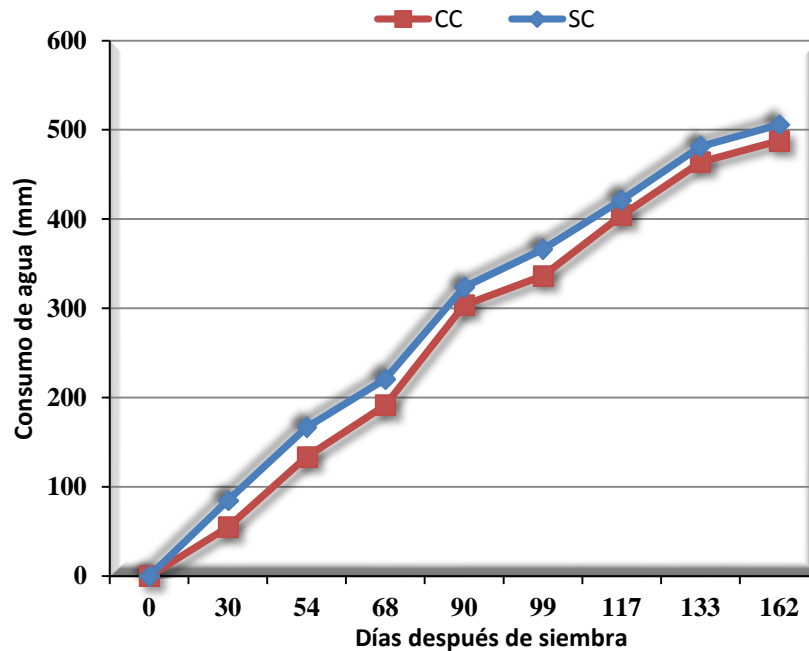


Figura 5: Curvas de consumo acumulado de agua por el cultivo de soja en ambos tratamientos.

El consumo de agua fue similar en ambos tratamientos con una leve diferencia a favor de la situación testigo (SC) cuyo valor acumulado durante todo el ciclo de la soja alcanzó 506 mm respecto a los 487 mm del tratamiento CC. Cabe destacar que si bien la diferencia de ETc entre los tratamientos presenta un valor de 30 mm a los 30 DDS, esta disparidad fue disminuyendo hasta ser sólo un 3,7% superior en el testigo.

Biomasa aérea total:

En la figura 6 se pueden apreciar los datos de materia seca aérea de soja producida en cada tratamiento, testigo (SC) y con cultivo de cobertura (CC).

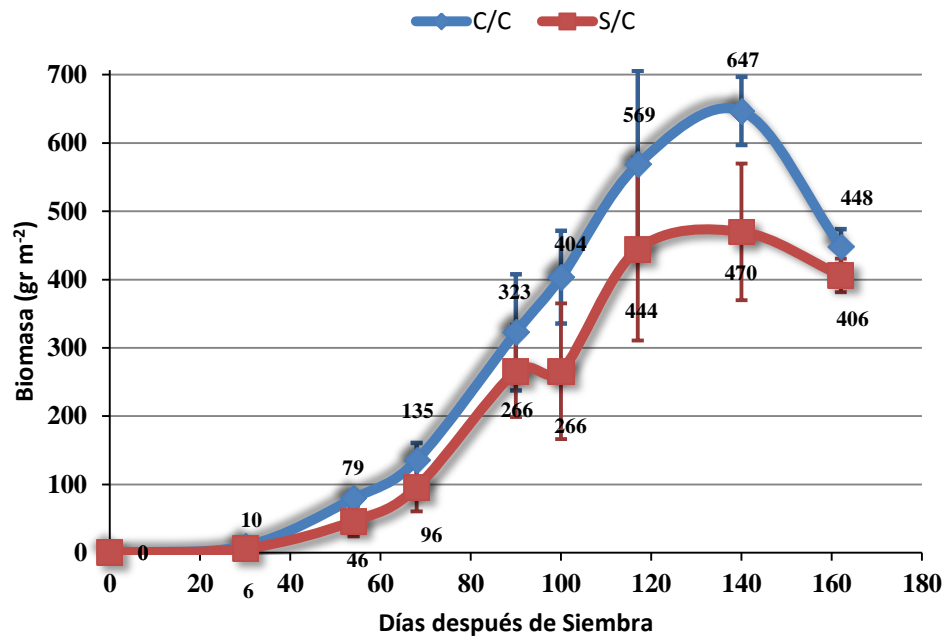


Figura 6: Biomasa aérea total del cultivo de soja producida en ambos tratamiento de cobertura del suelo. Barras verticales= desvío estándar de la media.

Durante los primeros 30 días no se produjeron diferencias en la biomasa producida entre tratamientos. Desde allí, los valores de biomasa de soja siempre fueron mayores en el tratamiento con cultivo de cobertura. Estas diferencias, tuvieron distintas magnitudes a lo largo del ciclo del cultivo, pero fueron en aumento hasta los 140 DDS, cuando se produjo la mayor diferencia con casi 38% a favor del tratamiento con CC. A la vez se puede ver que a los 100 DDS la biomasa en el tratamiento sin cultivo de cobertura (SC) prácticamente fue igual al dato de los 90 DDS, mientras que en el tratamiento CC entre esos dos muestreos hubo un incremento del 24%. Al final del ciclo los valores de biomasa fueron más cercanos, difiriendo sólo en un 10%.

Eficiencia en el uso del agua:

La EUA es un indicador de la utilización de este recurso limitante del rendimiento en condiciones de secano, especialmente en ambientes subhúmedos (Eiza *et al.*, 2009). El cuadro 2 presenta los valores de dicho indicador para ambos tratamientos calculados para la biomasa aérea total y el rendimiento de granos.

Cuadro 2: Eficiencia en el uso del agua para la producción de biomasa aérea total (EUA_B) y del rendimiento de granos (EUA_G) en ambos tratamientos.

Eficiencias	CC	SC
EUA _B (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	9,19	8,00
EUA _G (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	6,37	5,68

Ambas EUA fueron mayores en el tratamiento con cultivo de cobertura (CC), con valores de EUA_B un 15% mayor que el testigo y 12% en el caso de la EUA_G.

Rendimiento en granos:

Componentes indirectos:

El cuadro 3 presenta los valores medios de los componentes indirectos del rendimiento de ambos tratamientos.

Cuadro 3: Componentes indirectos del rendimiento del cultivo de soja en los dos tratamientos

Componente	CC	SC	p (> 0.05)
Altura de planta, cm	71,5	72,7	0,5955
Nº plantas m ⁻²	13,9	14,5	0,5306
Nº ramas planta ⁻¹	3,6	2,9	0,0415
Nº nudos m ⁻²	394,1	346,0	0,0242
Nº vainas planta ⁻¹	60,9	53,0	0,0949
Nº granos vaina ⁻¹	2,4	2,4	0,7282

Analizando los componentes indirectos del rendimiento se observa que el número de ramas por planta y de nudos m⁻² presentó diferencias estadísticas significativas, siendo ambos mayores en el tratamiento con CC (22 y 14%, respectivamente) respecto al testigo.

Componentes directos:

Los datos de número de granos por metro cuadrado y peso de mil granos se presentan en la figura 7 y los de rendimiento de soja en la figura 8.

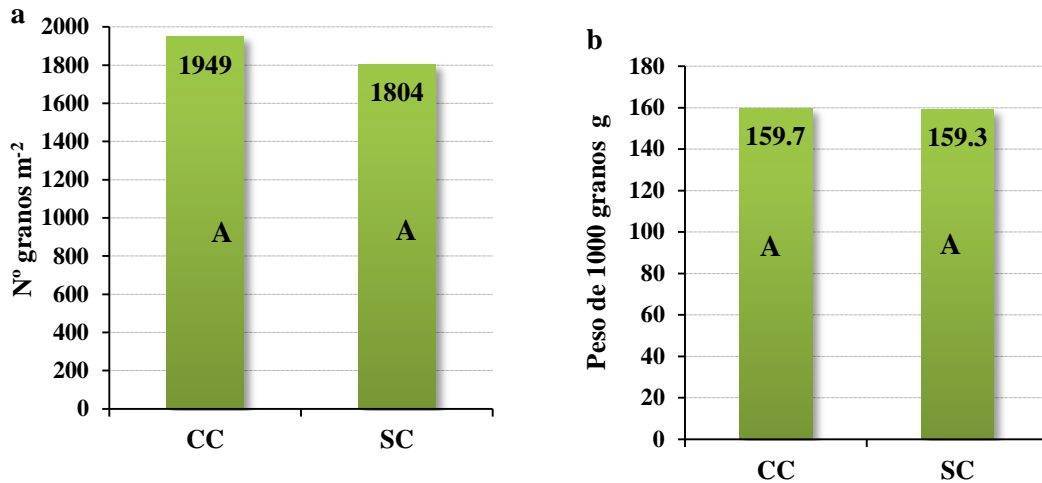


Figura 7: Número de granos por superficie (a) y peso individual del grano (b) de soja en ambos tratamientos.

El número de granos por superficie (Figura 7a) fue mayor en el tratamiento CC con un valor de 1949 granos m⁻² respecto al testigo SC que produjo 1803 granos m⁻², es decir un 8% más de granos a favor del primero. Sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa ($p=0,2298$).

El peso de mil granos (Figura 7b) fue muy similar en ambos tratamientos, no habiendo diferencia significativa ($p=0,8842$) entre ellos.

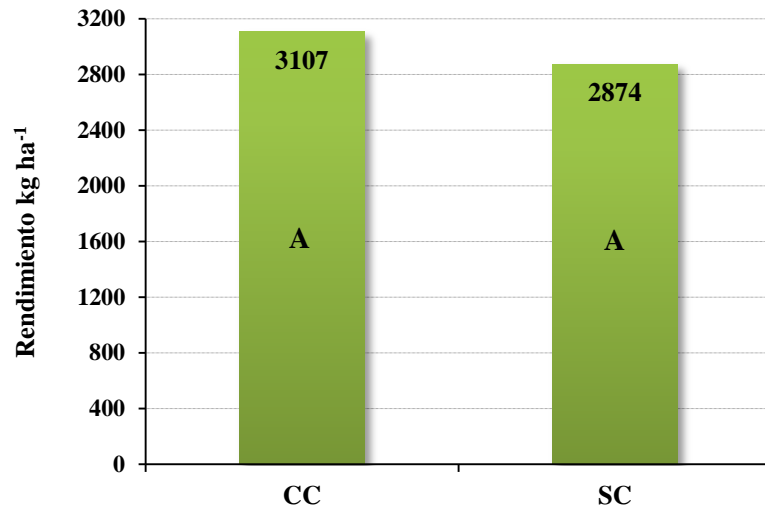


Figura 8: Rendimiento en granos de soja para ambos tratamientos (CC y SC).

Por su parte, el rendimiento en granos de la soja (Figura 8) fue un 8% mayor en la situación con cultivo de cobertura, logrando 3107kg ha⁻¹, mientras que el testigo obtuvo 2874kg ha⁻¹, diferencia que no fue estadísticamente significativa ($p=0,2547$).

DISCUSIÓN

Del clima:

Las precipitaciones durante la campaña 2013/2014 fueron de 788 mm frente a los valores medios normales de 801 mm, es decir hubo 13 mm de diferencia. Los valores de la campaña 2013/2014 coinciden con Seiler *et al.* (1995), quienes encontraron el valor mencionado anteriormente como precipitación media anual normal y valores extremos mínimos de 451 mm en 1988 y máximos de 1195 mm en 1984, para la serie 1974-1993 (Figura 1).

Los menores valores de precipitaciones ocurrieron en los meses de junio, julio y agosto, concentrándose el mayor milimetraje en los meses de verano. Estos resultados son esperables ya que la región se caracteriza por un marcado régimen monzónico de precipitaciones, con el 80% de las precipitaciones en los meses más cálidos del año y con déficits puntuales en verano e invierno (Seiler *et al.*, 1995).

Si bien hay meses en que los milimetrajes no se ajustan perfectamente a los valores medios normales, éstos se encuentran dentro del rango de variabilidad de los valores normales para la zona.

En cuanto a las temperaturas, las máximas, mínimas y medias normales coinciden con las propuestas como valores medios normales por Seiler *et al.* (1995). Siendo la temperatura media del año 16,6°C durante la campaña 2013/2014, mientras que la temperatura media normal anual de 16,5°C (Figura 2).

Del cultivo de cobertura:

La producción de MS aérea acumulada del centeno fue de 7934 kg ha⁻¹, alcanzando el 92% de cobertura al finalizar el ciclo del cultivo. Si bien se obtuvo un buen nivel de cobertura, recién alrededor de los 112 DDS se logró un 90% (Figura 3). La tardanza en generar una buena cobertura del suelo con centeno pudo haberse debido a la baja humedad en el perfil, ya que como se mencionó anteriormente, las precipitaciones durante el ciclo del CC (162 días) fueron 76 mm inferiores a los valores medios normales para ese período (Seiler *et al.*, 1995), que por sí mismo, se caracteriza por tener un período de bajas precipitaciones durante el invierno.

De este modo la producción de biomasa del cultivo se vio posiblemente influenciada por el menor aporte de agua de lluvias. Además, la fecha de siembra temprana del centeno (15 de abril) hace que el mismo limite su crecimiento y desarrollo debido a que las condiciones no son las óptimas, esto explica en parte la tardanza en generar cobertura en el suelo (Slafer *et al.*, 2003).

Del Suelo:

Humedad edáfica:

Al principio la humedad edáfica fue similar en ambos tratamientos. Esto sucede aproximadamente hasta 50 días antes del secado (Figura 4). Es decir que hasta ese momento el cultivo de cobertura no realizó grandes extracciones de agua que generen diferencias entre tratamientos. A partir de ese momento, durante los primeros días de agosto se comienza a observar una diferencia a favor del testigo. Esto se debe a que por ausencia de vegetación, la evapotranspiración sólo se compone de la evaporación del suelo, mientras que en el tratamiento CC la evapotranspiración es mayor ya que se compone de la evaporación directa del suelo y de la transpiración del cultivo (Baigorria y Cazorla, 2010). Sumado a que en esta época (Junio Julio, Agosto y Septiembre) las precipitaciones fueron muy inferiores a los valores medios normales (Figura 1).

La mayor diferencia encontrada a favor del tratamiento SC al momento del secado del CC (30 días antes de la siembra de soja) fue cuando el tratamiento CC obtuvo valores de humedad por debajo del PMP. Esto puede ser producto de una fecha tardía de secado del centeno, ya que el mismo se realizó en el estado Z5.9 (Escala de Zadocks) siendo que el momento óptimo de secado es entre macollaje y encañazón (Alvarez *et al.*, 2006). Haciendo referencia a esto, Alvarez *et al.* (2006) encontraron que esos fueron los momentos de secado del cultivo de cobertura que permitieron encontrar la mayor oferta hídrica en el suelo al momento de la siembra de soja, al igual que el testigo. Otros autores como Restovich *et al.* (2008) demostraron que la interrupción del ciclo de crecimiento de los CC justo antes de la etapa reproductiva sería un buen momento para el manejo del agua, dejando tiempo suficiente para la recarga del perfil. Además, a medida que se retrasa el secado se produce mayor aporte de biomasa pero se incrementa el consumo de agua del centeno, pudiendo afectar el contenido de agua a la siembra del cultivo de cosecha, tal como señalan Barraco *et al.* (2012).

El cultivo de cosecha comienza con una menor humedad edáfica a la siembra en el tratamiento con centeno respecto al testigo, pero esta diferencia de humedad en contraposición a lo encontrado por Baigorria y Cazorla (2010), no afectó la implantación del cultivo de cosecha.

Esta disminución en el contenido de agua de 16 mm es el “costo hídrico” del tratamiento (Fernandez *et al.*, 2007) que se debe al consumo de agua del centeno, que como comprobaron Unger y Vigil (1998), produce una disminución de agua en el suelo durante su crecimiento pero, al finalizar su ciclo conserva agua. Esto último se comprueba analizando el gráfico 4, ya que poco antes de los 30 DDS del cultivo de soja se observa que la situación se invierte, siendo el contenido hídrico del tratamiento CC el que supera al testigo, generándose la

mayor diferencia a los 54 DDS. Esta inversión de los contenidos de agua en el suelo estarían asociados a una menor pérdida de agua por evaporación directa del suelo, escurrimiento y percolación profunda según Hoyt *et al.* (2004).

El incremento de la infiltración podría estar explicado por el grado de cobertura del suelo que no permite el impacto directo de las gotas sobre el suelo desnudo, evitando la formación de sellos (Fernandez *et al.*, 2007). Además la degradación de la biomasa del centeno colabora con el mejoramiento de la estructura del suelo, aumentando la porosidad y por ende incrementando la infiltración, debido a que el centeno posee raíces capaces de atravesar capas compactas y generar porosidad estable (Ruffo, 2003; Ding *et al.*, 2005).

Además, está comprobado que la presencia de cobertura en la superficie del suelo hace que haya una menor temperatura en los primeros centímetros del suelo respecto a la situación sin residuos, lo que disminuye las pérdidas por evaporación (Fernández *et al.*, 2008)

La diferencia de humedad a favor del tratamiento con centeno se mantuvo a lo largo del ciclo del cultivo de soja, de modo que las precipitaciones permitieron recargar el perfil del suelo, contrarrestando el costo hídrico a la siembra (Unger y Vigil, 1998).

En este sentido, el material vegetal aportado por el centeno genera una protección del suelo, permitiendo reducir la evaporación durante el ciclo del cultivo de cobertura y durante el ciclo del cultivo de soja cuando la misma aún no cerró surcos, redireccionando el agua disponible hacia el flujo transpiratorio del cultivo (Lu *et al.*, 2000). Además, tal como mencionan Baigorria y Cazorla (2010), esta MS aérea acumulada incrementa la captación de agua debido a una mayor infiltración en el perfil al reducir el impacto de las gotas de lluvia en el suelo.

Del cultivo de soja:

Evapotranspiración del cultivo y EUA:

La evapotranspiración inicial fue mayor en el cultivo de soja correspondiente al tratamiento testigo (SC), comenzando con 30 mm más que el tratamiento CC a los 30 DDS (Figura 5). Cabe destacar que la soja sembrada sobre el tratamiento CC, comenzó con una disponibilidad de agua menor a la siembra, lo cual explicaría la mayor diferencia de evapotranspiración al comenzar el cultivo. Si bien, el consumo de agua fue mayor durante todo el ciclo del cultivo para el tratamiento SC, las diferencias, a partir de este punto fueron menores.

Analizando los valores de humedad del suelo a lo largo del ciclo del cultivo (exceptuando el momento de siembra), éstos siempre fueron mayores en el tratamiento CC, por

lo que se puede deducir que existió un efecto compensatorio en el consumo de agua de la soja por parte del CC como protector del agua del suelo respecto al tratamiento SC.

A la vez, evaluando los datos de evapotranspiración del cultivo y los de humedad edáfica, se puede inferir que el tratamiento SC tuvo relativamente una mayor evaporación desde el suelo debido a la exposición de la superficie del suelo al ambiente ya que no poseía ningún tipo de cobertura debido a la labranza realizada en el cultivo antecesor (maíz).

Las EUA de soja para rendimiento en grano encontradas en ambos tratamientos (EUAcc: 6,37; EUAsc: 5,68) se encuentran dentro del rango obtenido por Alvarez *et al.* (2006) (Cuadro 2), quienes observaron que la EUA varió entre 5 y 8,4 Kg grano mm^{-1} de agua para los diferentes tratamientos en diversas campañas, pudiéndose observar una tendencia a ser mayor la EUA con centeno como antecesor (Cuadro 2).

También se puede observar una tendencia a mejorar la EUA para biomasa en el tratamiento CC, ya que éste presenta un valor de 9, 2 Kg MS mm^{-1} de agua mientras que para el tratamiento testigo se obtuvo un valor de 8,0 Kg MS mm^{-1} de agua. Comparándola con datos obtenidos por Alvarez *et al.* (2006), la EUA para la soja proveniente de centeno es mayor que la lograda con avena (5, 1 - 7,6 Kg MS mm^{-1} de agua) y con raigrás como cultivo de cobertura (5,4 – 8, 3 Kg MS mm^{-1} de agua). Esto podría ser debido a que el centeno tiene un consumo de humedad del suelo relativamente bajo respecto a otras gramíneas como avena, generando un residuo con mayor cantidad de biomasa y más duradero en el tiempo que el de otras especies (Carfagno, 2008).

La mayor EUA para el tratamiento CC, tanto para biomasa como para el rendimiento en grano se puede deber principalmente a una mayor partición de la evapotranspiración del cultivo hacia la transpiración del mismo en detrimento de la evaporación directa del suelo debido a una mayor protección por el mayor nivel de cobertura. Esto coincide con lo que encontraron Bonvecchi y Cabrera (2010) en otras condiciones edafoclimáticas (Lujan, Bs As).

Además, tal como señalan Anselmi y Feresin (2012) un suelo con escasa cobertura disminuye no sólo la eficiencia del barbecho sino también la EUA con la consiguiente pérdida de rinde y renta económica, tendencias que fueron observadas en el presente trabajo.

Biomasa aérea total:

La producción de biomasa en condiciones de no-estrés está determinada por la cantidad de recursos capturados por la planta, tales como agua, nutrientes y radiación y la eficiencia con que éstos son convertidos en el producto final (Hunt *et al.*, 1990; Montheith, 1977).

Si bien el cultivo de soja sembrado sobre el centeno tuvo menor humedad a la siembra que el testigo sin cobertura, se puede observar que este “costo hídrico” no tuvo implicancias ya que durante los primeros 30 días no hubieron diferencias en la biomasa aérea entre tratamientos.

Durante todo el ciclo del cultivo, la biomasa aérea fue mayor en el tratamiento con centeno, encontrándose la mayor diferencia los 140 días después de siembra con un 38% más de biomasa (Figura 6). Esto puede deberse a la mayor humedad edáfica que contenía el perfil del suelo de este tratamiento respecto al testigo ya que tal como lo marcó Hoyt (2004) los CC mejoran la infiltración del agua de lluvia y el almacenaje en el perfil debido a un menor escurrimiento y una disminución de la percolación profunda. Además como se discutió anteriormente, existe una menor evaporación del suelo.

Tal como se apreció en la figura 6, de los 90 a los 100 DDS en el tratamiento SC la biomasa se mantuvo con valores similares mientras que sí hubieron aumentos en este lapso para el cultivo de soja planteado sobre centeno. Esto puede deberse a que en el período anterior a los 90 días se tuvieron bajas precipitaciones junto a elevadas temperaturas, lo que permite inferir acerca de un mayor estrés del cultivo de soja en el tratamiento SC frente a una sequía, lo que hace que tenga una menor capacidad de recuperación frente al aumento de precipitaciones que ocurrieron entre los 90 y 100 DDS.

Al finalizar el ciclo del cultivo de soja, si bien se mantuvo una diferencia del 10% a favor del tratamiento CC, ambas biomosas terminaron con valores relativamente bajos, debido a que en este momento ya ha muerto gran parte de la planta y sólo se encuentran presentes las ramas, las vainas y sus granos.

Rendimientos a cosecha:

El rendimiento del cultivo de soja es el resultado de procesos y cambios que ocurren en las plantas desde la siembra hasta a cosecha. Estos cambios incluyen la generación y aparición de los órganos encargados de capturar y transportar recursos (hojas, tallos y raíces) y de los que conducen a la generación de las semillas (flores, vainas)(Kantolic *et al.*, 2003).

El rendimiento resulta de dos componentes numéricos principales que no son totalmente independientes entre sí. Ellos son el número de granos por unidad de área y el peso unitario de los mismos. El número de granos está determinado por el número de nudos por unidad de área del cultivo, el n° de vainas por nudo y el n° de granos por vaina. A su vez, el n° de nudos está determinado por el n° de plantas, n° de nudos del tallo principal y n° de nudos de las ramificaciones(Kantolic *et al.*, 2003).

El tratamiento con CC obtuvo mayor rendimiento respecto al tratamiento testigo (8% superior), obteniendo 3106 Kg ha⁻¹, aunque esta diferencia no fue significativa estadísticamente (Figura 9). Este valor algo superior en rendimiento, se explica por una tendencia a un mayor número de granos para el tratamiento CC, debido principalmente a una mayor lámina de agua útil en el perfil, lograda por el mejoramiento de la infiltración de agua en el suelo por los efectos de la cobertura de centeno en el suelo. Además la EUA fue mayor para el tratamiento con centeno, lo que determina también un mejor aprovechamiento del agua evapotranspirada para la formación de biomasa y de granos.

La mayoría de los componentes del rendimiento obtuvieron valores similares para ambos tratamientos, excepto para las variables número de ramas/planta y número de nudos por metro cuadrado (crecimiento vegetativo), donde se lograron valores estadísticamente superiores para el tratamiento CC (Cuadro 3). Esto refleja que el centeno planteado como cultivo de cobertura no afectó la implantación y el desarrollo del cultivo de soja, en contraposición a lo que expuso Duarte (2002) y Scianca *et al.* (2008) quienes señalan que el consumo hídrico de los CC durante el invierno puede interferir en la oferta normal de agua del cultivo sucesor pudiendo afectar la implantación del cultivo e incluso comprometer su rendimiento.

En cuanto a los componentes principales del rendimiento, el número de granos si bien fue superior para el tratamiento con centeno, estos valores no generaron una diferencia estadísticamente significativa (Figura 7). El peso de los granos, también fue similar entre tratamientos (Figura 8). El rendimiento, si bien se diferenció numéricamente a favor del tratamiento con centeno, esta diferencia tampoco fue estadísticamente significativa, lo que podría estar explicado por la similitud tanto del número como del peso de los granos entre tratamientos. Esto se corresponde con trabajos similares realizados por Fernandez (2007), Alvarez *et al.* (2006) y Scianca *et al.* (2008) donde encontraron rendimientos de soja en tratamientos con CC como antecesor, iguales a los rendimientos de soja con un tratamiento testigo.

De este modo se puede ver que el impacto del CC en el almacenaje de agua no afectó el rendimiento del cultivo a cosecha (Fernández *et al.*, 2010), ya que si bien, como se mencionó anteriormente, en el momento de la siembra, el tratamiento CC presentaba menor humedad edáfica esto fue revertido posteriormente y se obtuvieron valores de humedad, biomasa y rendimiento mayores para este tratamiento.

Esta diferencia numérica de rendimiento que se logró no llegó a ser lo suficientemente importante para adquirir importancia estadística debido quizás a dos razones principales: la primera es que tal como plantea Hoyt *et al.* (2004) en su investigación, los

mayores rendimientos de los cultivos de cosecha con un CC previo, se observan durante los años secos debido a que generan mayores brechas de almacenaje de agua en el perfil a favor del cultivo de cobertura y por otro lado, el estadio avanzado en el que se realizó el secado del centeno ejerció una gran influencia en el almacenaje de agua en el perfil del suelo, ya que según Álvarez *et al.* (2006) y Restovich *et al.* (2008), el estadio óptimo de secado de un cultivo de cobertura es entre macollaje y encañazón. Además a medida que el centeno avanza en su estado fenológico, genera mayor aporte de biomasa pero se incrementa el consumo de agua del CC , disminuyendo el contenido de agua a la siembra tal como sucedió en este ensayo (Barraco *et al.*, 2012). Y como ya se sabe, el agua es el principal factor limitante del rendimiento por lo que depende de la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos y de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo (Salvaggiotti, 2009).

CONCLUSIÓN

El crecimiento y desarrollo del cultivo de centeno no afectó negativamente el desarrollo y rendimiento final del cultivo de soja sembrado posteriormente. Por el contrario, la presencia del cultivo de cobertura favoreció al almacenaje de agua en el perfil del suelo, manteniendo su humedad incluso en los momentos de mayores valores de evapotranspiración.

A su vez, la presencia de centeno durante el barbecho y de los residuos del mismo durante el ciclo del cultivo de soja, permitieron generar una mayor biomasa del cultivo de soja con una mayor EUA respecto al tratamiento testigo (SC).

Los efectos del cultivo de cobertura sembrado durante el arrancado de maní, fueron positivos sobre el cultivo de soja, ya que si bien no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas, el rendimiento de soja fue mayor en el tratamiento con centeno. Este rendimiento superior está relacionado a un mejor aprovechamiento del agua del suelo y de la lluvia que se refleja en una EUA mayor.

El planteo de la siembra de un cultivo de cobertura como lo es el centeno en lotes provenientes de un cultivo de maní, incrementa los niveles de cobertura superficiales, permitiendo realizar, junto con otras prácticas, una producción más sustentable.

Sería de gran importancia seguir analizando este tipo de prácticas a lo largo de los años para ver el comportamiento del cultivo de soja en diferentes condiciones de disponibilidad de agua en el suelo y evaluar otros posibles beneficios de los cultivos de cobertura al sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA-MARTÍNEZ, V., MM. MIKHA y MF.VIGIL 2007 **Microbial communities and enzyme activities in soils under alternative crop rotations compared to wheat-fallow for the Central Great Plains**. App. Soil Ecol. 37: Pp: 41-52.
- ÁLVAREZ, C., C. SCIANCA, M. BARRACO y M. DÍAZ-ZORITA 2006 **Impacto de cereales de cobertura sobre propiedades edáficas y producción de soja**. En: XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de suelos de la región Andina. Salta-Jujuy. 19 a 22 de septiembre de 2006. Pp: 424.
- ANDRADE, F. y V. SADRAS 2000 **Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja**. EEA INTA Balcarce – Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. Cap 4. Pp: 97-169.
- ANSEMI, H. y P. FERESIN 2012 **Efecto de cultivos de cobertura sobre soja en un suelo de La Carlota**. En: <http://inta.gov.ar/documentos/efecto-de-cultivos-de-coberturasobre-soja-en-un-suelo-de-la-carlota.-campana-2011-12> Consultado: 02-02-2015.
- BAIGORRIA, T. y C. CAZORLA 2010 **Eficiencia en el uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura**. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio de 2010.
- BARRACO, M., C. SCIANCA, A. LARDONE, C. ÁLVAREZ y M. DÍAZ ZORITA 2012 **Cereales de invierno como cultivos de cobertura en secuencias continuas de soja**. INTA. EEA Villegas. Memoria técnica 2011-2012. Pp. 48-53.
- BONADEO, E., A. CANTERO, e I. MORENO 2003 **Relación entre la compactación subsuperficial y la resistencia a la penetración de un Hapludol típico con las raíces de maní (Arachishypogaea L.)**. Rev. UNRC 23(1-2): Pp: 23-36.
- BONVECCHI, V.E. y A.E. CABRERA 2010 **Cultivo de cobertura y duración del barbecho en sistemas agrícolas pampeanos**. Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, del 16 al 20 de abril de 2012.
- BROWN, E.A., C.E., CAVINESS y D.A., BROWN 1985 **Response of selectedsoybeancultivarstosoilmoisturedeficit**. Agronomyjournal. V 77. Pp: 274-278.
- CARFAGNO, P. 2008 **Cultivos de Cobertura en Agricultura de Secano en Región Pampeana**. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Instituto de suelos

INTA castelar. URL: <http://www.insuelos.org.ar/informes/CultivoSecano.pdf>.
Consultado: 14-02-2015

- CISNEROS, J.M., C. CHOLAKY, O. GIAYETTO, E. BRICCHI, J. MARCOS y G. CERIONI 1998 **Homogeneidad física, resistencia a la penetración y humedad del suelo en sistemas agrícolas maniseros de Córdoba**. En: Balbuena, R.H., Benez, S.H. y Jorajuría D. (Eds.). Ingeniería Rural y Mecanización Agrícola en el ámbito Latinoamericano. ISBN 950-34-0125-9. Publicado por Editorial de la UNLP. Pp: 120-127.
- DI RENZO, J.A, F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZALES, M. TABLADA y C.W. ROBLEDO 2011 Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: <http://www.infostat.com.ar/>
- DING, G.; X. LIU, S. HERBERT, J. NOVAK, A. DULA, B. XING 2005 **Effect of cover crop management on soil organic matter**. En: Geoderma 130 (3-4): Pp. 229-239.
- DUARTE, G. 2002 **Sistemas de Producción de girasol en la región húmeda de la Argentina**. En: Manual práctico para el cultivo de girasol. Díaz-Zorita y G. A. Duarte Eds. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires (Argentina). Pp: 77-96.
- EIZA. M.J., P.F. CARFAGNO y A. QUIROGA. 2009. **Eficiencia en el uso del agua de distintos cultivos de cobertura en el oeste de la provincia de Buenos Aires**. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio del 2010.
- FEHR, W.R. y C.E. CAVINESS 1977 **Stages of soybean development**. Special Report 80. Iowa State University, Ames, Iowa. Pp: 11
- FERNÁNDEZ, R., A. QUIROGA, E. NOELLEMEYER, D. FUNARO, J. MONTOYA, B. HITZMANN y N. PEINEMANN 2008 **A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow**. Agricultural Water Management. 95: Pp: 1028-1040.
- FERNÁNDEZ, R., A. QUIROGA, F. ARENAS, C. ANTONINI y M. SAKS 2007 **Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos**. Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Publicación Técnica N° 71. EEA INTA Anguil, Argentina. Capítulo V.
- FERNÁNDEZ, R., D. FUNARO y A. QUIROGA 2005 **Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos**. Boletín de divulgación Técnica N° 87. EEA INTA Anguil, Argentina.

- FERNÁNDEZ, R., M. SAKS, J. ARGUELLO, A. QUIROGA, y E. NOELLEMAYER 2010 **Cultivo de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana?** Reunión Técnica SUCS -ISTRO, Colonia, Uruguay. Pp: 11:1-6.
- FERNÁNDEZ, R., N. PEINEMAN, E. NOELLEMAYER y A. QUIROGA 2006 **Efecto de la cobertura sobre la resistencia y la temperatura del suelo en la región semiárida pampeana.** XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Jujuy.
- GIAYETTO, O. 2006 Origen, Historia y Clasificación. Capítulo 1: En: **El cultivo de maní en Córdoba.** En: Fernández E.M. y O. Giayetto Eds. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Argentina. Pp: 127-141.
- HOYT, G; M. WAGGER, C. CROZIER y N. RANELLS 2004 **Soil Facts: Winter annual cover crop.** North Carolina Cooperative Extension Service, North Carolina. Pp: 9-22.
- HUNT, R., J. WARREN WILSON y D.W. HAND 1990 **Integrated analysis of resource capture and utilization.** Annals of Botany. 65, 643 – 648.
- KANTOLIC, A., P. GIMÉNEZ y E. DE LA FUENTE 2003 Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En: **Producción de granos: Bases funcionales para su manejo.** 1^{ra} ed. SATORRE, E., R. BENECH ARNOLD, G. SLAFER, E. DE LA FUENTE, D. MIRALLES, M. OTEGUI y R. SAVIN Eds. Ed. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Bs.As, Arg. Pp: 167- 201.
- KRUK, B., P. INSAUSTI, A. RAZUL y R. BENECH-ARNOLD 2006 **Light and thermal environments as modified by a wheat crop: effects on weed seed germination.** Journal of Applied Ecology, 43. pp. 227–236.
- LAL, R., D.C. REICOSKY, J.D. HANSON 2007 **Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming.** Soil Till. Res. 93: Pp: 1-12.
- LU, Y.C., K.B. WATKINS, J.R. TEASDALE y A.A. ABDUL-BAKI 2000 **Cover crop in sustainable food production.** Food Rev. Int. 16: 121-157.
- MERILES, J.M., S. VARGAS GIL, C. CONFORTO, G. FIGONI, E. LOVERA, G.J. MARCH, C.A. GUZMÁN 2009. **Soil microbial communities under different soybean cropping systems: Characterization of microbial population dynamics, soil microbial activity, microbial biomass, and fatty acid profiles.** Soil Till. Res. 103: Pp: 271-281.

- MONTEITH, J.L. 1977 **Climate and the efficiency of crop production in Britain**. Philosophical transactions of the Royal Society of London B 281: Pp: 277-297
- PEDELLINI, R. 2014. **Maní, guía práctica para su cultivo**. Ediciones INTA. 20p.
- REICOSKY, D y D. ARCHER 2005 **Cuantificación agronómica del aumento de material orgánica del suelo en siembra directa**. En: XIII Congreso AAPRESID. Rosario, Santa Fé, Argentina.
- RESTOVICH, S. B., A.E. ANDRIULO y S.I. PORTELA 2012 **Introduction of cover crops in a maize–soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics**. Field Crops Research, 128: Pp: 62- 70.
- RUFFO, M. y A.T. PARSONS 2004 **Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas**. Informaciones agronómicas del cono sur N° 21. INPOFOS Cono Sur. Buenos Aires, Argentina. Pp: 13-20.
- RUFFO, M.L. 2003 **Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina**. En: XI Congreso Nacional de AAPRESID. Actas. Rosario, 26 al 29 de agosto de 2003. Rosario: AAPRESID, Argentina. Tomo I, Pp: 171-176.
- SALVAGIOTTI, F. 2009 **Manejo de soja de alta producción**. En: Resumen XVIII Congreso AAPRESID “La Era del Ecoprogreso”. Rosario, Argentina. Pp: 57-61
- SATORRE, E. 2003 **Las posibilidades ambientales y tecnológicas de la pradera pampeana para la producción de granos**. En: Bolsa de Cereales de Buenos Aires (ed.). Las ciento y Una «Hacia los 100 millones de toneladas de granos y la exportación de 1 millón de toneladas de carne». Pp 37-37.
- SAXTON, K. E. y W.J. RAWLS 2006 **Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions**. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1569-1578.
- SCIANCA, C. 2010 **Cultivo de cobertura en Molisoles de la región pampera: Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas**. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. Pp: 80.
- SCIANCA, C., C. ÁLVAREZ, M. BARRACO, A. QUIROGA y M. PÉREZ 2008 **Impacto de diferentes coberturas invernales sobre propiedades edáficas, población de malezas y productividad de soja**. En: VII Congreso Nacional de Trigo, V Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño-invernal, I Encuentro del MERCOSUR. Santa rosa, 2 al 4 de julio de 2008. Santa Rosa: INTA – UN La Pampa, Argentina. En Cd.

- SEILER, R., R. FABRICIUS, V. ROTONDO y M. VINOCUR. 1995. Agroclimatología de Río Cuarto – 1974 / 1993. Volumen I. UNRC. p: 41
- SIIA. 2013. Sistema Integrado de Informarción Agropecuaria. En: www.siiia.gov.ar. Consultado: 20/09/2013.
- SLAFER, G., D. MIRALLES, R. SAVIN, E. WHITECHURCH y F. GONZÁLEZ 2003 Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. En: Producción de granos: Bases funcionales para su manejo. 1ra ed. SATORRE, E., R. BENECH ARNOLD, G. SLAFER, E. DE LA FUENTE, D. MIRALLES, M. OTEGUI y R. SAVIN Eds. Ed. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Bs.As, Arg. Pp: 101-163.
- SMITH, M., W. FRYE., y J. VARCO. 1987. **Legume winter cover crops**. En: Stewart, B.A. (Ed.) Advances in soil Science, vol 7. New York: Springer-Verlag. pp. 95-139.)
- UBERTO, M., J.M. CISNEROS, C. VIGNOLO, C. CHOLAKY y R. PEDELINI 2002 **Efecto de rotaciones y labranzas sobre la materia orgánica de un suelo típico del área núcleo manisera**. Actas de la XVII Jornada Nacional de Maní. General Cabrera, Argentina.
- UNGER, P. y M. VIGIL 1998 **Cover crop effects on soil wáter relationships**. Soil and Water Cons. 53: Pp: 200-207.
- WANDER, M.M., y S.J. TRAINA 1996 **Organic fractions from organically and conventionally managed soils: I. Carbon and nitrogen distribution**. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 1081-1087.
- ZADOKS, J., T. CHANG y C. KONZAK 1974A **decimal code for the growth stages of cereals**. Weed Res. 14: pp 415-421.

ANEXOS

Fotografía 1. Centeno en el momento de la operación de cosecha del maní.



Fotografía 2. Cobertura del centeno al momento de cosecha del maní



Fotografía 3. Parcelas de tratamientos con cultivo de cobertura y sin cultivo de cobertura. (05-08-13)



Fotografía 4. Centeno al momento del secado. (24-09-2013)



Fotografía 5. Soja CC y SC en R8.

