

Especialización en Cultivos de Granos
Escuela para Graduados de la Facultad de Agronomía.
Universidad de Buenos Aires

Alumno: Ing. Agr. Sergio Néstor Rillo

**CULTIVOS DE COBERTURA PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DEL
SUELO EN ROTACIONES CON ALTA FRECUENCIA DE SOJA**

Tutores académicos: Ing. Agr. M. Sc. Cristian Álvarez
(UE y DT Gral. Pico INTA Anguil)
Ing. Agr. Elke Noellemeyer
(Fac. Agronomía, UNLPam)

ÍNDICE

Resumen	5
Antecedentes	6
Objetivos específicos	10
Materiales y métodos	
1 Descripción del ambiente de trabajo	10
2 Tratamientos	13
3 Labores culturales	14
4 Mediciones	15
4.1 a En el suelo al inicio de la experiencia	16
4.1 b En el suelo durante el desarrollo de la experiencia	
I- Densidad aparente (DA), porosidad total (PT) y porosidad de aireación (PA)	16
II- Carbono orgánico total (COT) y Carbono orgánico particulado (COP)	16
III- Infiltración	17
4.2 Humedad edáfica	17
4.3 Consumo de agua, costo hídrico de los CC	17
4.4 En el Cultivo de cobertura	
4.4 a. Eficiencia de Barbecho (EB) y variación del agua útil	17
4.4 b. Producción de materia seca por hectárea (MS kg ha ⁻¹)	18
4.4 c. Eficiencia de uso del agua en el sistema (EUA)	18
4.4 d. Determinaciones del Nitrógeno Absorbido por la MS aérea	18
4.5 En el cultivo de soja	18
4.6 Biomasa residual del cultivo de cobertura	19
4.7 Evaluaciones económicas	19
Resultado y discusión	
1. Efecto de los CC sobre propiedades del suelo	20
1 a) Densidad aparente (DA), Porosidad total (PT) y Porosidad de aireación (PA) al 1° año de establecidos los CC	20
1.b) Densidad aparente, Porosidad total y Porosidad de aireación al 5° año de	

establecidos los CC	21
1.c) Carbono orgánico total (COT) al 1° año de los CC	23
1.d) Carbono orgánico total (COT) y Carbono orgánico particulado (COP) evaluados al 5° año de los CC.	24
1.e) Infiltración	28
2. En los Cultivos de Cobertura	
2. a) Producción de materia seca (MS kg ha ⁻¹)	29
2. b) Concentración (%) y contenido (Kg ha ⁻¹) de nitrógeno (N) y carbono (C) en la MS	31
3. Dinámica del agua útil en el suelo	
3. a) Consumo y eficiencia de uso	33
3. b) Variación del agua útil al secado de los CC y a la siembra de soja	36
4. Rendimiento del cultivo de soja	39
5. Evaluación de la biomasa residual de los cultivos de cobertura, correspondiente al 1° año del desarrollo del trabajo	41
6. Evaluaciones económicas	44
Conclusiones	45
Bibliografía	46
Anexos	
Abreviaturas	53

Agradecimientos:

- A mis tutores academicos; Ing. Agr. M. Sc. Cristián Álvarez e Ing. Agr. Elke Noellemeyer, por la confianza, generosa tutoría, apoyo sincero y todo lo brindado en este largo proceso. Las palabras no alcanzan.
- A Ing. Agr. M.Sc. Dr. Alberto Quiroga.
- Al director y vicedirector de la Escuela MC y ML Inchausti (UNLP) Médicos veterinarios Ricardo Cabassi y Héctor Pérez. A Walter Didier (Escuela MC y ML Inchausti). Al Gerente y Subgerente de la Cooperativa Agrícola Ganadera de Dudignac, señores Miguel Amengual y Martín Longarini. A Longarini Hnos. y Gabriel Utelli (Empresas de contratistas rurales). Por la valiosa colaboración y paciencia en el desarrollo de este trabajo.
- A los docentes y compañeros de curso del año 2005 de la Especialización de Cultivos de granos.
- A los evaluadores Dr. Miguel A. Taboada e Ing. Agr. Guillermo Bernaudo por sus aportes para mejorar la presentación del trabajo
- A mi familia
- A todos mi más cálido, profundo y eterno agradecimiento.

CULTIVOS DE COBERTURA PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DEL SUELO EN ROTACIONES CON ALTA FRECUENCIA DE SOJA

RESUMEN

En la región pampeana los sistemas agrícolas han consolidado su participación en el uso de la tierra respecto a los ganaderos. Se considera que en el 80% de la superficie agrícola de la región se realiza soja sin rotación de cultivos (SAGP y A, 2008). La preponderancia de los cultivos de verano, y específicamente de la soja, en los sistemas productivos también prolonga el tiempo que los lotes quedan sin cobertura entre el lapso de dos secuencias de siembra de cultivos de verano. Una manera de mitigar la disminución del aporte de residuos ya sea en forma de rastrojo o proveniente de raíces sería lograr, una adecuada cobertura del suelo, utilizando especies gramíneas de crecimiento invernal como cultivo de cobertura (CC) en el prolongado tiempo que media entre las siembras de cultivos de verano. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de producción de materia seca (MS) de avena y raigrás utilizados como CC y las consecuencias sobre el rendimiento de soja, y propiedades edáficas asociadas al carbono en un suelo Hapludol éntico del Centro oeste de la provincia de Buenos Aires durante cinco campañas agrícolas en una secuencia con alta frecuencia de soja.

La producción de MS fue en promedio, para avena y raigrás de 7.186 y de 5.895 kg ha⁻¹, respectivamente, sin afectar al rendimiento del cultivo de soja. La cantidad de nitrógeno (N) capturado en la MS varió entre 148 a 37 kg ha⁻¹ en avena y entre 145 a 30 kg ha⁻¹ en raigrás. La captura de carbono por parte de estas especies invernales utilizadas como CC varió entre 4.987 a 1.666 kg ha⁻¹. La mayor producción de MS, captura de N y de C se registró el primer año de evaluación y la menor producción en el año 2008. En todos los años evaluados el agua disponible al momento de suspensión del crecimiento de los CC fue menor que el tratamiento testigo. El agua disponible promedio al secado de los CC fue menor en 33 y 75 mm ha⁻¹ para

avena y raigrás, respectivamente, comparado con el testigo. En tanto que al momento de la siembra de soja fue de 17 mm ha⁻¹ en avena y de 51 mm ha⁻¹ en raigrás. Avena tuvo mayor eficiencia de uso del agua (24 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹) que raigrás (18 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹). El tiempo para degradar el 50 % de la MS de los CC fue de 95 y 99 días para avena y raigrás, respectivamente. Mientras que a los 277 días del secado de los CC solamente se encontraba sobre la superficie del suelo el 11% de la MS total producida. Los contenidos de carbono orgánico particulado (COP), fueron significativamente mayores en el espesor 0-20 cm, encontrándose mayor acción de los CC principalmente en el espesor superficial inicial de 0-5 cm del suelo (p>0,05). La infiltración básica (IB) fue significativamente superior en los tratamientos con CC respecto al testigo (70%) en el 5^{to} año de evaluación, sin evidenciarse diferencias significativas entre CC (p<0,05). La densidad aparente (DA) fue significativamente menor en los tratamientos con CC.

A través de los resultados obtenidos durante estos 5 años, muy distintos climáticamente, se concluye que los CC podrían ser tecnologías de manejo de bajo costo con potencialidad de mitigar los efectos adversos que generaría la alta frecuencia de soja en suelos de textura franco-arenosa. Afectando positivamente las propiedades relacionadas con el C, COP, DA, PT e IB, sin producir cambios negativos sobre el cultivo de renta (soja).

ANTECEDENTES

La actividad agrícola en la región pampeana, orientada fundamentalmente a la producción de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] , maíz (*Zea mays* L.), trigo, (*Triticum aestivum* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) ha experimentado profundas transformaciones a partir de la década del noventa, no solo en cuanto a su expansión en superficie en detrimento de la superficie con pasturas, sino también a través de un aumento de su productividad debido a un mayor uso de tecnologías (Satorre, 2005). Se considera que en el 80% de

la superficie agrícola de la región se realiza soja sin rotación de cultivos (SAGP y A, 2008).

En la zona de subhúmeda donde se inserta el Partido de 9 de Julio, ubicado en el Centro Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, sobre un total de 423.000 ha, de acuerdo a datos del INTA 9 de Julio correspondientes a la campaña agrícola 2009, se realiza agricultura en 208.412 ha., de las cuales 124.301 ha corresponden a soja de primera siembra, representando el 59,65 % del área sembrada, y el resto integrada por maíz en un (18,0%), trigo (10,0%), cebada (7%), girasol (3,4%) y sorgo (2,0%). Las pasturas cultivadas ocupan una superficie de 35.600 ha y las naturales 110.876 ha.

Este esquema productivo podría ocasionar efectos adversos sobre la sostenibilidad de los sistemas debido a que el predominio del cultivo de soja aportaría un mayor grado de vulnerabilidad por la baja relación C/N y los escasos aportes de rastrojos respecto al maíz. Probablemente uno de los grandes desafíos agronómicos actuales sea el de encontrar rotaciones de cultivos y sistemas de labranzas que mantengan o aumenten las reservas de carbono orgánico del suelo (Andriulo et al., 2008). Una manera de mitigar los efectos adversos de las secuencias agrícolas dominadas por soja sería la utilización de las gramíneas de crecimiento invernal como CC.

Los CC se definen como aquellos que crecen específicamente para mantener el suelo cubierto, protegiéndolo de la erosión, evitando la pérdida de nutrientes por lavado y escurrimiento y, en caso de ser leguminosa, incorporando N al sistema (Reeves y Touchton, 1991). Se diferencian de una pastura o de un verdeo invernal porque no son de renta directa y se desarrollan dentro de un sistema de siembra de cultivos anuales, entre el periodo de cosecha y siembra de los cultivos de verano. La biomasa producida, luego de la suspensión del crecimiento con herbicidas, queda sobre la superficie brindando protección al suelo impactando directamente sobre variables relacionadas a los procesos de pérdida del suelo. Los CC han contribuido al crecimiento de la Siembra Directa (SD) en países como

Brasil y Paraguay, y han colaborado junto con una adecuada rotación de los cultivos a la sostenibilidad de la producción agrícola (Calegari et al., 1993). Las gramíneas invernales usadas en climas con inviernos templados como avena, raigrás, trigo, centeno, entre otras, se adaptan para su utilización como CC. El uso de la técnica está agrónomicamente limitado por la ventana de tiempo para producir MS, por la temperatura invernal y por la disponibilidad de agua de la estación de crecimiento (Mansoer et al., 1997; Smith et al., 1987). El principal problema de ésta práctica es el uso del agua debido a que, si no existe recarga del perfil durante el período de barbecho posterior al CC, podría transformarse en una limitante para el cultivo principal (Stute y Posner, 1995; Corak et al., 1991). En este sentido Rufo (2003) sostiene que, la decisión de finalizar el crecimiento de los CC debe adaptarse a dos premisas fundamentales; (i) lograr una acumulación de biomasa que garantice cobertura y aportes de C y, (ii) ajustarse a las precipitaciones de la región con la finalidad de garantizar la recarga del perfil.

Cordone y Hansen (1986) en ensayos realizados entre 1982 y 1986 en INTA Pergamino (Bs.As.) obtuvieron producciones de 5367 kg ha⁻¹ en avena y de 3685 kg ha⁻¹ en vicia utilizados como CC en una secuencia maíz-soja, sin disminuir el rendimiento de soja. Fernández et al. (2008, 2005) determinaron que los CC pueden realizar un significativo aporte al balance de C en los sistemas agrícolas continuos, mientras que el costo hídrico para los cultivos de verano fue de 30 a 60 mm ha⁻¹. Álvarez et al. (2006 y 2005), encontraron aportes superficiales de MS entre 917 y 11397 kg ha⁻¹ con diferentes momentos de secado del CC. Asimismo, a pesar de haberse observado un costo hídrico, el rendimiento de soja no fue afectado. Scianca et al. (2006) y Carfagno et al. (2008) también comprobaron que los CC aportaron altos volúmenes de biomasa mejorando la cobertura superficial del suelo, sin afectar el rendimiento del cultivo de soja. Muller et al., (2008) demostraron que los rastrojos de los CC disminuían las pérdidas de suelo, registrándose en los tratamientos con coberturas de raigrás y avena, menores pérdidas de

suelo respecto al testigo sin cobertura, ajustándose a una regresión lineal. Similares resultados fueron presentados por Restovich et al. (2006).

La infiltración es la entrada del agua al suelo y está definida por la geometría del espacio poroso estructural que debe ser estable, sin tortuosidad y vertical a la superficie del suelo. La porosidad estructural es una propiedad dinámica del suelo que resulta muy sensible a diversos factores exógenos como las fases de humedecimiento y secado, al manejo del suelo asociado a los sistemas de cultivos y sus efectos sobre el sistema radicular, la biota del suelo y al aporte y acumulación de los residuos (Taboada y Micucci, 2008).

La infiltración básica integra las variables física del suelo (DA, PT) y brinda información sobre la salud del sistema poroso del suelo, por lo que es empleada como un parámetro de indicador de calidad del suelo.

Restovich et al. (2008) comprobaron que la determinación de la biomasa aérea y la concentración de N, son indicadores válidos para conocer la capacidad de captación de nitratos potencialmente lixiviables, encontrando 97 y 70 kg ha⁻¹ de N en la biomasa aérea de avena y raigrás, respectivamente. La residualidad de la MS de los CC luego de la cosecha del cultivo de verano depende de las condiciones ambientales (humedad y temperatura) que se establezcan posteriormente. Ronconi et al. (2008) determinaron en raigrás una biomasa residual del 3,21% a los 200 días de suspendido el crecimiento del mismo.

Considerando todos los antecedentes descriptos, se presentan como hipótesis que;

- i- Los CC son una alternativa de manejo que contribuyen a mitigar los efectos negativos de la falta de rotación o alta frecuencia de soja.
- ii- La inclusión de CC permitirá mejorar el balance de carbono y mejorar la cobertura superficial de suelos con alta susceptibilidad a erosionarse.
- iii- El efecto de los CC favorece la conservación del espacio poroso, la infiltración de agua, el reciclado de nutrientes y la conservación de la humedad del suelo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de producción de materia seca (MS) de avena y raigrás utilizados como CC, y las consecuencias sobre el rendimiento de soja y propiedades edáficas asociadas al carbono en un suelo Hapludol éntico del Centro oeste de la provincia de Buenos Aires.

Objetivos específicos:

1. Determinar la incidencia de incluir CC sobre el contenido de agua disponible del suelo, y su costo hídrico para el cultivo de renta.
2. Comparar la producción y la captación de nitrógeno y carbono de la biomasa aérea de avena y raigrás utilizados como CC.
3. Evaluar el efecto de los CC sobre el carbono orgánico total (COT) y el carbono orgánico particulado (COP) y las propiedades físicas del suelo tales como la infiltración y la densidad aparente.
3. Determinar el efecto de los CC sobre el rendimiento de soja y su incidencia en el costo de producción

MATERIALES Y MÉTODOS

1 - Descripción del ambiente de trabajo

El estudio se llevó a cabo durante las campañas agrícolas 2005 al 2009 en un lote de producción perteneciente a la Escuela de Ganadería y Agricultura M.C. y M.L. Inchausti -Universidad de Agronomía y Veterinaria – La Plata, (S 35°35'38,0'' - W 60°33'46,5''), en Valdés (partido de 25 de Mayo, provincia de Buenos Aires, Argentina). El lote provenía de diez años en agricultura continua con soja de 1°, de los cuales los últimos cuatro fueron realizados en SD.

El suelo fue clasificado como Hapludol éntico perteneciente a la serie Norumbega, originado a partir de materiales eólicos arenosos con un perfil pobremente desarrollado y de textura franca- arenosa (INTA, 1993).

El clima del lugar se caracterizó como subhúmedo, con una precipitación media de 1060 mm, (serie histórica 1961 – 2009). Presenta un período lluvioso que abarca los meses primavera/estivales, y uno seco que comprende los meses invernales. La temperatura media anual es de 16,4 °C, con un período medio libre de heladas de 240 días, siendo el número de días con heladas alrededor de 25. Los vientos predominantes son del sector Nor-Este (NE), y en las épocas de sequía los del Sud-Oeste (SO) y del cuadrante Norte, con velocidades medias de 10 a 17 Km hora⁻¹.

Según la clasificación de Papadakis (1952), la zona tiene un coeficiente de humedad que corresponde al grupo Mesofítico húmedo, es decir que las necesidades de agua son casi como las precipitaciones ocurridas, por lo que el valor es aproximado al índice óptimo de 100 establecido por Thornthwaite (1948). Las precipitaciones se registraron en un pluviómetro ubicado a 2000 metros del sitio experimental, además se midió el nivel de la napa de agua con la instalación de un freatómetro. Los registros de evapotranspiración corresponden a la estación meteorológica de la EEA INTA Pergamino.

En la Figura 1 se presentan los registros de evapotranspiración (EVT) y las precipitaciones en mm mensuales para cada campaña y en la Figura 2 el promedio de los 5 años evaluados. En la Figura 3 se representa el promedio anual del nivel de la napa freática.

Figura 1. Precipitaciones y Evapotranspiración (mm) mensuales correspondiente a cada año. a) 2005, b) 2006, c) 2007, d) 2008 y e) 2009.

Figura1a) año 2005

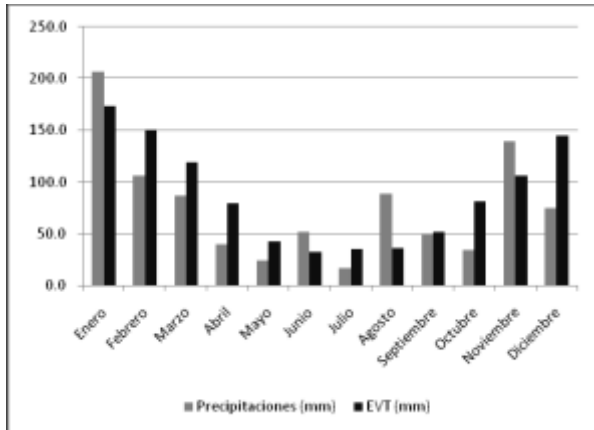


Figura1b) año 2006

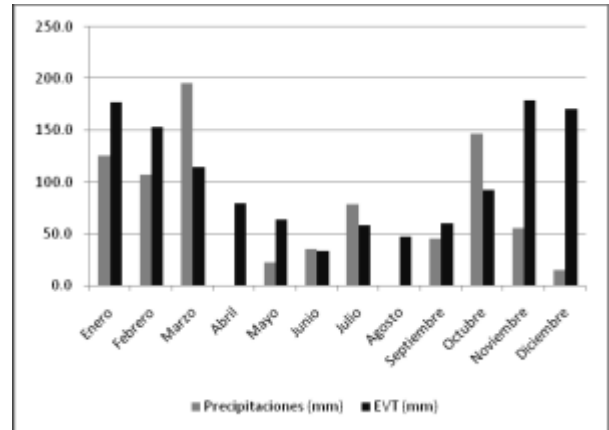


Figura1c) año 2007

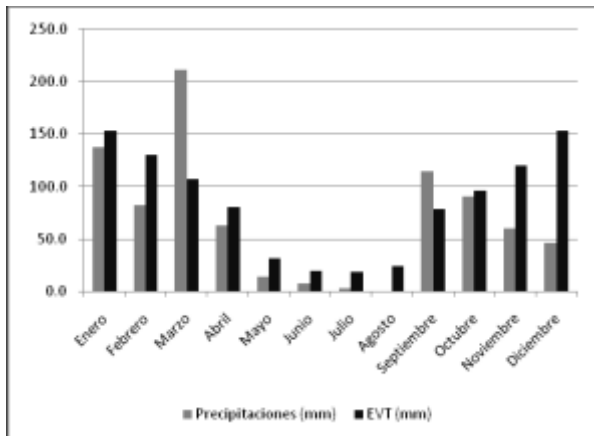


Figura1e) año 2009

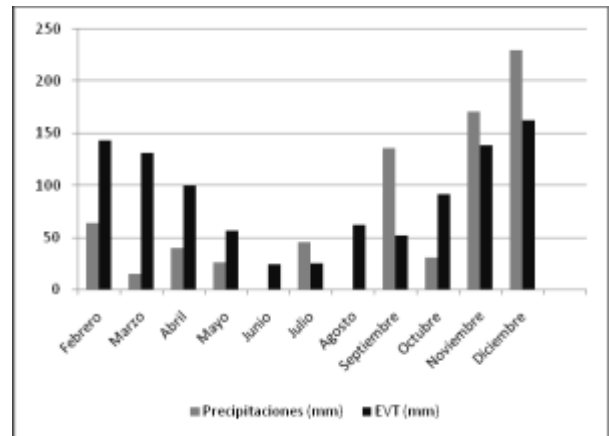


Figura 1d) año 2008

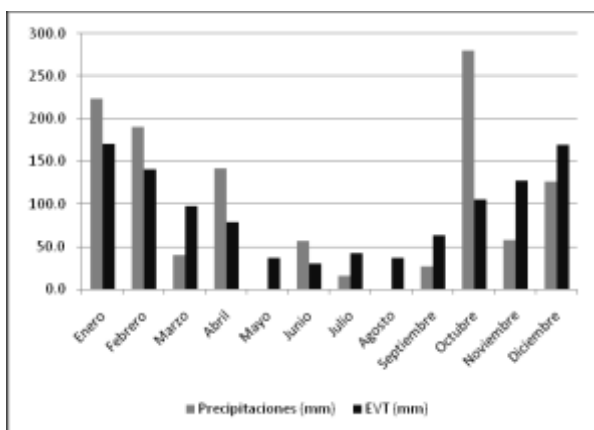


Figura 2. Precipitaciones y Evapotranspiración (mm) mensuales promedio de todas las campañas

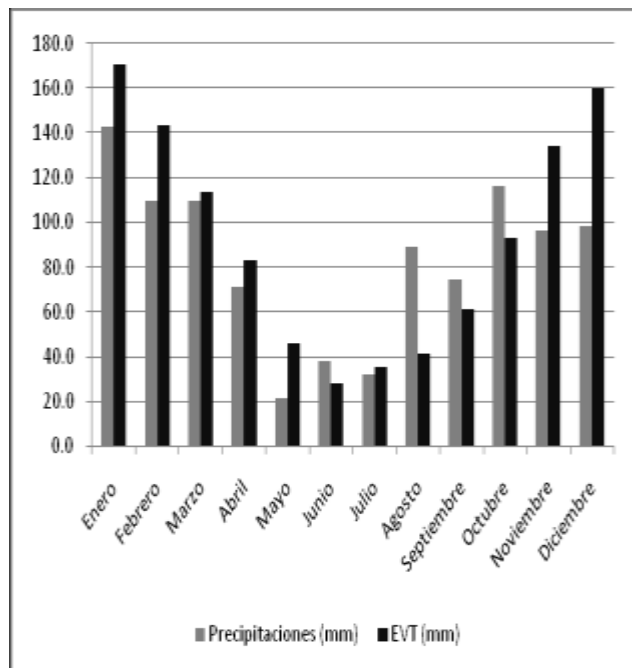
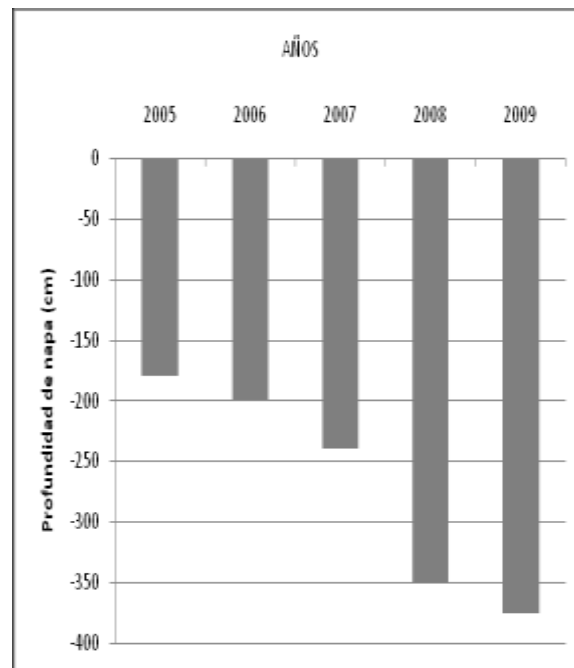


Figura 3. Nivel de profundidad de la napa freática de los años 2005, 06, 07, 08 y 09.



2 - Tratamientos

Se utilizaron dos cereales de invierno como CC, avena (*Avena sativa* CV Calén) y raigrás anual (*Lolium multiflorum*, CV Barturbo) y un testigo sin cultivo que se mantuvo libre de vegetación con aplicación de herbicida. En el testigo se dejó una fracción sin aplicación de herbicida con el propósito de evaluar la producción de MS de la vegetación espontánea.

La siembra se realizó en franjas de catorce metros de ancho por trescientos metros de largo sobre las cuales, una vez cotejada la emergencia y uniformidad de las plántulas, se identificaron y se marcaron las parcelas experimentales de ocho metros de largo por ocho metros de ancho (64m²). Todos los cultivos fueron sembrados en SD. El espaciamiento entre líneas de siembra fue de 0,21 m y se empleó una máquina provista con cuchillas turbo que realizó una adecuada remoción en la línea de siembra. La suspensión del crecimiento de los CC en el primer año de la experiencia (2005), se realizó en dos momentos; en emergencia de inflorescencia (M₁) y en

madurez fisiológica (M_2). En las campañas de 2006 al 2009 los CC fueron suspendidos en M_1 . Se contó con tres repeticiones por cada tratamiento y especie utilizada para M_1 , en todos los años evaluados. La siembra de los CC se realizó entre el 15 al 20 de abril de cada año y las fechas de secado fueron el 7 de Octubre y el 7 de Noviembre de 2005 para M_1 y M_2 , respectivamente. Para el resto de las campañas la fecha de secado fue el 8 de Octubre.

El cultivo de soja fue sembrado con la misma máquina que se utilizó para sembrar los CC, y la fecha de siembra fue entre el 20 y 30 de Noviembre, empleándose la variedad DM 3700 a un espaciamiento entre líneas de siembra de 0,42 m y una densidad de 48 plantas por m^2 .

3. Labores Culturales

3.1 En los cultivos de cobertura

En los CC se realizó una aplicación de herbicida hormonal 2,4-D (éster isobutílico del ácido 2,4 diclorofenoxiacético, 100% PC, $0,300 \text{ l ha}^{-1}$), en macollaje. Para el secado de los CC se utilizó 3 l ha^{-1} de Glifosato (48% PC, Ácido N- fosfometil glicina), más el agregado de coadyuvantes.

3.2 En el cultivo de soja

Se aplicó en el estado de 5 hojas en cobertura 3 l ha^{-1} de Glifosato (48% PC. Ácido N- fosfometil glicina), más el agregado de coadyuvantes.

Con el propósito de mantener al cultivo con baja población del complejo de chinches y de orugas defoliadoras en la fase de inicio de formación de vainas (R_3), todos los años, se aplicó Endosulfán (hexacloro-endometileno-biciclohepteno.bis oximetileno sulfito 35% PC) más Zetametrina 18% EC ($600 + 50 \text{ cc}$). En los años 2006, 2007 y 2009, en la misma fase de desarrollo del cultivo, se aplicó fungicida (Azoxistrobina + Cyproconazole) + coadyuvante para el control de enfermedades foliares de fin de ciclo.

4- Mediciones

4.1 a En el Suelo al inicio de la experiencia

El sitio experimental se caracterizó mediante un análisis químico completo del espesor 0-20 cm del suelo. (Tabla 1), además mediante la realización de una calicata hasta el 120 cm de profundidad se determinó, para cada horizonte del perfil la DA y las constantes hídricas de Capacidad de campo (CDC) y punto de marchitez permanente (PMP).

Tabla 1. Análisis químico del suelo para el espesor 0-20 cm.

M.O. (%)	pH	Nt (%)	N-N03 ppm	P ppm	S-So4 ppm	K ppm	Mg ppm	Ca ppm	Zn ppm	Mn ppm	Cu ppm	Fe ppm	B ppm
2,46	5,43	123	12,26	8,06	6,63	401	161	1369	1,46	15,06	0,81	95,4	1,17

Para la determinación de DA se utilizó el método del cilindro (Burke et al., 1986) y de las mismas muestras se obtuvieron las constantes hídricas de CDC y PMP. Las metodologías empleadas para las determinaciones fueron, olla extractora de presión 0,33 atmosfera y placa extractora de presión a 15 atmosfera para CDC y PMP, respectivamente. Las determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio de Gestión Ambiental de Suelos y Agua de la EEA INTA Pergamino (Tabla 2).

Tabla 2. Densidad aparente (DA), capacidad de campo (CDC) y punto de marchitez permanente (PMP) para los espesores 0-20, 20-40,40-60, 60-80,80-100 y 100-120 del suelo.

Espesor de suelo cm	DA Gr.cm ⁻³	CDC %	PMP %
0-20	1,34	28	13
20-40	1,34	24	11
40-60	1,37	24	10
60-80	1,37	24	10
80-100	1,37	24	10
100-120 +	1,35	24	10

4.1 b En el Suelo durante el desarrollo de la experiencia

I- Densidad aparente (DA), porosidad total (PT) y porosidad de aireación (PA)

Se realizaron muestreos de suelo de 0 a 20 cm, a cada 5 cm de espesor (0-5; 5-10; 10-15 y 15-20) con cilindros de acero de volumen conocido. En el primer año en post cosecha del cultivo de soja sobre el tratamiento de avena y el testigo, y en el último año, sobre el tratamiento de avena, raigrás y testigo. Por cálculo a partir de la DA se evaluó la PT (1) y la PA (2).

$$1- \text{ Porosidad total (PT): } 1 - \frac{DA}{DP}$$

DA: densidad aparente y DP: densidad de partícula: 2,65 gr/cc

$$2- \text{ Porosidad de aireación (PA): } PT - HV$$

HV: humedad volumétrica: $HG * DA$, donde HG: humedad gravimétrica

II- Carbono orgánico total (COT) y Carbono orgánico particulado (COP)

Los contenidos de carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico particulado (COP) se determinaron en muestras de los espesores 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm del suelo. En el primer año, en post cosecha del cultivo de soja se evaluó el COT del testigo y de avena. En el último año se evaluó COT y COP en el testigo, avena y raigrás. Los contenidos de COT y COP se compararon entre tratamientos considerando la masa de suelo de cada espesor.

Las determinaciones de COT se realizaron por el método de combustión húmeda (Walkley y Black, 1934), y el COP fue determinado por el método de fraccionamiento granulométrico, considerando el carbono de la fracción de agregados entre 100- 2000 μm (Cambardella y Elliot, 1982). Las determinaciones fueron realizadas en el laboratorio de Gestión ambiental de suelos y agua de la EEA.INTA Pergamino.

III- Infiltración

La tasa de infiltración básica se evaluó en tres momentos: (i) en el primer año, luego del secado de los CC y antes de la siembra de soja; (ii) en post cosecha del cultivo de soja y, (iii) en el último año luego del secado de los CC y antes de la siembra del cultivo de soja. Se empleó el permeámetro de disco. (Gil, R 2006).

4.2 Humedad edáfica

Los contenidos hídricos (humedad gravimétrica, HG) se evaluaron anualmente en los diferentes tratamientos a la siembra y a la suspensión del crecimiento de los CC y en el cultivo de soja a la siembra y en la cosecha, en intervalos de profundidad de 20 cm y hasta los 200 cm de profundidad del perfil. El peso HG se lo multiplicó por la DA para obtener el valor de humedad volumétrica (HV), el cual se multiplicó por la profundidad de suelo explorado para obtener el contenido hídrico en milímetros de lámina.

4.3 Consumo de agua, costo hídrico de los CC

A partir de las determinaciones iniciales del contenido hídrico del perfil del suelo a la siembra de los CC más las precipitaciones ocurridas durante el desarrollo, menos el contenido hídrico al momento del secado, se calculó el uso del agua aparente o uso consuntivo (UCap). El costo hídrico de los CC se definió por la diferencia entre los contenidos hídricos del testigo menos el contenido hídrico del suelo en los momentos de secado de los CC y a la siembra del cultivo de soja.

4.4 En el Cultivo de cobertura

4.4. a. Eficiencia de Barbecho (EB) y variación del agua disponible.

La eficiencia de barbecho (EB) y la variación del agua disponible al momento de la siembra del cultivo de soja se calcularon utilizando las siguientes fórmulas.

EB: (Humedad final – humedad inicial) + EVT del período de barbecho/ precipitaciones del período.

$\Delta AU: 100-(ADF/ADI *100)$

4. 4 b. Producción de materia seca por hectárea (MS kg ha⁻¹)

La producción de MS aérea anual de cada CC y de la vegetación del testigo se realizó cortando el material vegetal de 1 m² de superficie al ras del suelo con cuchillo en el momento de secado de los CC. Las muestras frescas se pesaron y se llevaron a estufa a 65 °C hasta peso constante para obtener el valor de producción de MS por hectárea (MS kg ha⁻¹).

4.4 c. Eficiencia de uso del agua en el sistema (EUA)

La EUA de los CC se calculó realizando el cociente entre la MS producida y el uso de agua consumida por avena y raigrás, obteniendo de esta manera la relación de eficiencia mm de agua consumidos por kilogramos de MS producida (EUA = kg ms producida⁻¹ mm de agua).

4. 4 d. Determinaciones del Nitrógeno Absorbido por la MS aérea

En el material seco de cada tratamiento se determinó el porcentaje de nitrógeno total (N) (método de Kjeldahl) y, por cálculo relacionando la producción de MS por hectárea con la concentración de N, se obtuvo el total de N absorbido por la biomasa aérea de cada CC (Kg ha⁻¹).

4.5 En el Cultivo de Soja

La producción de granos de soja (kg ha⁻¹), se determinó recolectando manualmente las plantas a de una superficie de 1,26 m² y su posterior trilla en una máquina de trilla estacionaria. Luego de limpiar y zarandear los granos se pesaron y se corrigió su peso a humedad de recibo de comercialización (13,5 por ciento de humedad en granos).

Se evaluaron los componentes de rendimiento de peso y número de granos.

4.6 Biomasa residual del cultivo de cobertura

En el primer año se evaluó la tasa de descomposición y la biomasa residual de la MS de cada CC. Se recolectó una superficie de 1,26 m² de MS remanente de avena y raigrás, en tres momentos: a los 100, 180 y 277 posteriores al secado. Cada muestra se pesó y luego se llevó a estufa a 65 °C hasta peso constante para determinación de MS. Relacionando la MS inicial y el tiempo transcurrido se obtuvo la tasa de descomposición media, los datos resultantes se ajustaron con el modelo exponencial negativo propuesto por Álvarez et al. (1991).

$$R = R_0 - e^{-kt}$$

Donde:

R = rastrojo remanente

R₀ = rastrojo inicial

K = pendiente: fracción de material descompuesto por unidad de tiempo

t = tiempo

4.7 Evaluaciones Económicas

Se empleó la metodología del Margen Bruto para comparar el costo de producción y rentabilidad de cada tratamiento.

Análisis de datos

Los resultados se analizaron por ANOVA y la comparación entre medias mediante el test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$), utilizándose para ello el software Infostat (2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Efecto de los CC sobre las propiedades del Suelo

1.a) Densidad aparente (DA), Porosidad total (PT) y Porosidad de aireación (PA) al 1° año de establecidos los Cultivos de cobertura

Analizando los resultados de DA para el espesor 0-20 cm (Tabla 3), no se encontraron diferencias significativas entre el testigo y la inclusión de avena como CC, en consecuencia por ser variables asociadas a la DA, no se detectaron efectos sobre la PT, PA.

Tabla 3. Valores medios del testigo y el CC de avena de las variables densidad aparente (DA), porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA) y humedad H, para el espesor 0-20 cm del suelo correspondiente al 1° año de establecidos los CC. Tratamientos, testigo (T), Avena (A).

Espesor de suelo (cm)	Tratamientos	DA	PT	PA	H
0 - 20		(gr cm ⁻³)	(%)	(%)	(mm)
	T	1,34	49,50	28,50	11,44
	A	1,34	49,50	28,60	11,94

Letras distintas indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher. ($p \leq 0,05$)

Asimismo no hubo diferencias significativas cuando el análisis se realizó fraccionando cada 5 cm de espesor (Tabla 4), notándose una disminución de la DA en el espesor superficial.

Tabla 4. Valores medios del testigo y el CC de avena de las variables densidad aparente (DA), porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA) y humedad H, para los espesores 0-5; 5-10; 10-15 y 15-20 cm del al 1° año de establecidos los CC. Tratamientos, testigo (T), Avena (A).

Espesor de suelo	Tratamientos	DA	PT	PA	H
cm		(gr cm ⁻³)	(%)	(%)	(mm)
0 - 5	A	1,25 a	52,92 a	31,92 a	12 a
	T	1,25 a	52,73 a	31,73 a	11 a
5 - 10	A	1,36 a	48,58 a	27,58 a	12 a
	T	1,34 a	49,93 a	28,43 a	12 a
10 - 15	A	1,38 a	48,12 a	27,12 a	12 a
	T	1,41 a	46,79 a	25,79 a	12 a
15 - 20	A	1,36 a	48,77 a	27,77 a	12 a
	T	1,35 a	49,06 a	28,06 a	11 a

Letras distintas indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher. ($p \leq 0,05$)

1.b) Densidad aparente (DA), Porosidad total (PT) y Porosidad de aireación (PA) al 5° año de establecidos los Cultivos de cobertura

En el espesor 0-20 cm se determinó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la DA de avena y raigrás respecto al testigo (Tabla 5). Por ser variables asociadas a la DA, la PT y PA de avena y raigrás también se diferenciaron del testigo ($p < 0,05$).

La DA se relaciona inversamente con la porosidad del suelo, definiendo la propiedad de almacenar agua y aire de un suelo. A mayor DA menor porosidad, consecuentemente, aumentos en la DA implica mayor compactación de los suelos, con efectos en los parámetros físicos, biológicos y químicos. La disminución del espacio poroso determina reducciones en el diámetro y discontinuidad de los canales de los poros que se evidencian en disminuciones en la infiltración (Taboada et al., 2008).

Los CC, contribuyeron a aumentar la PT y PA que se vió reflejada en un mayor contenido hídrico (H: $p \leq 0,05$) en el espesor 0-20 cm (Tabla 5).

Tabla 5. Valores medios del testigo, avena y raigrás de las variables densidad aparente (DA), porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA) y humedad H, para el espesor 0-20 cm del suelo al 5° año de establecidos los CC. Tratamientos, testigo (T), Avena (A) y Raigrás (R).

Espesor de suelo	Tratamientos	DA	PT	PA	H
cm		(gr cm^{-3})	(%)	(%)	(mm)
0-20	T	1,37 b	48,44 b	27,44 b	11,56c
	A	1,30 a	50,88 a	29,88 a	12,50 b
	R	1,31 a	50,46 a	29,46 a	13,88 a

Letras distintas indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher. ($p \leq 0,05$)

Analizando las variables cada 5 cm de espesor de suelo (Tabla 6), los valores de DA variaron entre 1,17 a 1,40. Independientemente del manejo, éstos fueron menores en el espesor 0-5 cm. En los primeros 5 cm, raigrás presentó una disminución significativa ($p \leq 0,05$) respecto al testigo y en términos porcentuales la mejora fue del 10,0; 8,6; 13,8 y del 20,7% para la

DA, PT, PA y humedad, respectivamente. Avena no presentó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) respecto al testigo, sin embargo se evidenciaron mejoras en la DA, PT y PA y humedad del 8,3; 6,5; 10,6 y del 9.8%, respectivamente.

Tabla 6. Valores medios del testigo, avena y raigrás de las variables densidad aparente (DA), porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA) y humedad H, para los espesores 0-5; 5-10; 10-15 y 15-20 cm del suelo al 5° año de establecidos los CC. Tratamientos, testigo (T), avena (A) y raigrás (R).

Espesor de suelo	Tratamientos	DA	PT	PA	H
cm		g cm^{-3}	%	%	mm
0 - 5	A	1,20 ab	54,53 ab	33,53 ab	12,75 ab
	R	1,17 b	55,77 a	34,77 a	14,50 a
	T	1,30 a	50,98 b	29,98 b	11,50 b
5 - 10	A	1,36 a	48,85 a	27,85 a	12,75 ab
	R	1,36 a	48,62 a	27,62 a	13,75 a
	T	1,40 a	47,17 a	26,17 a	11,50 b
10 - 15	A	1,31 a	50,49 a	29,49 a	13,50 a
	R	1,35 a	49,15 a	28,15 a	12,00 ab
	T	1,39 a	47,73 a	26,73 a	11,75 b
15 - 20	A	1,33 a	49,63 a	28,63 a	12,50 a
	R	1,37 a	48,29 a	27,29 a	13,75 a
	T	1,38 a	47,88 a	26,88 a	11,50 a

Letras distintas en sentido vertical para cada variable indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher. ($p \leq 0,05$).

Además, la PT y PA no presentaron valores críticos en ningunas de las profundidades, alcanzándose en el espesor superficial niveles superiores al resto. Al respecto la bibliografía establece que valores cercanos al 50% serían adecuados para PT, en tanto que el crecimiento de las raíces se limitaría con menos del 10% del espacio poroso lleno de aire (Taboada y Micucci, 2002).

Estos resultados son similares a los obtenidos por Álvarez et al. (2008) quienes no encontraron diferencias significativa en la DA entre momentos de

secado en Triticale (*Triticum aestivum* x *Secale cereale*) y el testigo a iguales profundidades, pero si entre los primeros 5 cm respecto del resto de las profundidades evaluadas.

En este trabajo se observaron tendencias positivas del uso de CC en la reducción de la DA, principalmente en los primeros 5 cm, debido a los efectos acumulados de la biomasa aérea y la conservación de rastrojos en superficie.

1. c) Carbono Orgánico Total (COT) al 1° año de los Cultivos de cobertura

Cuando se monitoreó las concentraciones (%) y contenidos del COT (Mg ha^{-1}) al 1° año de la secuencia CC – Soja, no se comprobaron cambios significativos por la inclusión de los CC, tanto en 0- 20 cm de profundidad, como en cada intervalo de 5 cm (Tablas 7 y 8).

Tabla 7. Valores medios de la variable carbono orgánico total (COT) en porcentaje (%) y en masa ha^{-1} (Mg ha^{-1}) para la profundidad 0-20 cm, evaluado sobre avena y testigo al 1° año de permanencia de los CC. Tratamientos, testigo (T), avena (A).

Prof. cm	Tratamientos	COT	
		(%)	(Mg ha^{-1})
0 - 20	T	1,61 a	43,20 a
	A	1,63 a	43,60 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher. ($p \leq 0,05$)

Las concentraciones de COT variaron entre valores máximos de 1,97; 1,87% y mínimos de 1,43; 1,45% para avena y testigo, respectivamente, observándose los valores máximo en los primeros 5 cm del perfil y los valores mínimos en el espesor 15-20 cm.

Tabla 8. Valores medios de la variable carbono orgánico total (COT) en porcentaje (%) y en masa ha⁻¹ (Mg ha⁻¹) para los espesores de suelo 0-5; 5-10; 10-15 y 15-20 cm, evaluado sobre avena y testigo al 1° año de permanencia de los CC. Tratamientos, testigo (T), avena (A).

Prof.	Tratamientos.	COT	COT
cm		(%)	(Mg ha ⁻¹)
0 - 5	A	1,97 a	12,1 a
	T	1,87 a	11,6 a
5 - 10	A	1,54 a	10,5 a
	T	1,64 a	10,9 a
10 - 15	A	1,52 a	10,4 a
	T	1,51 a	10,5 a
15 - 20	A	1,43 a	9,6 a
	T	1,45 a	9,6 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$)

1.d) Carbono Orgánico Total (COT) y Carbono Orgánico Particulado (COP) evaluados al 5° año de los Cultivos de cobertura.

En el análisis estadístico de los datos finales, después de 5 años con CC, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los contenidos del COT en el espesor 0-20 cm de suelo entre los tratamientos CC y el testigo (Tabla 9). Estos resultados coinciden con los encontrados por Cosentino et al. (2008), quienes registraron diferencias significativas entre los tratamientos con CC y el testigo ($p \leq 0,01$) cuando analizaron los contenidos de COT hasta los 15 cm de profundidad en una rotación en SD de Soja – Maíz – Trigo/ Soja 2°, con 3 años de vicia y 1 de avena como CC, indicando que el incremento del C por la utilización de los CC fue del 11,25%. Mientras que Álvarez et al. (2008) no reportaron cambios significativos entre el tratamiento testigo y CC en el COT cuando lo analizaron en capas de 5 cm hasta los 20 cm de profundidad. Indicando además que, independientemente de los tratamientos, el perfil superficial se distinguió de los profundos por tener mayor concentración de COT.

Tabla 9: Valores medios de las variables carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico particulado (COP) (% y Mg ha⁻¹) para el espesor de suelo 0-20 cm, evaluadas sobre avena, raigrás y testigo, al 5 año de permanencia de los CC.

Espesor de suelo (cm)	Tratamiento	COT (%)	COT (Mg ha ⁻¹)	COP (%)	COP (Mg ha ⁻¹)
0 - 20	A	1,45 a	38,41 a	0,156 a	0,99 a
	R	1,55 a	39,70 a	0,130 a	0,81 a
	T	1,28 b	34,71 b	0,077 b	0,50 b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher. ($p \leq 0,05$)

La fracción lábil del C está constituida por restos vegetales, animales y hongos en diferentes grados de descomposición y un tamaño de partícula de entre 100 μm y 2000 μm (Cambardella y Elliot, 1992). Esta fracción que representa un rápido reciclado dado a que es el material orgánico más joven y activo del suelo, se le llama carbono orgánico joven o particulado (COP), compuesto por partículas de mayor tamaño que el humus y libre de la matriz mineral. El seguimiento de la variación del contenido del COP en el tiempo, podría dar indicios tempranos de los efectos producidos por las prácticas de manejo adoptadas por los agricultores (Quiroga et al., 1996; Studdert et al., 2008; Galantini et al., 2008). Los incrementos del C en superficie del suelo afectan la dinámica de las fracciones del COP y COT (Álvarez & Steinbach, 2006). Quiroga et al. (2005 y 2008) establecieron que los CC producen aumentos de las fracciones del COP, independiente de la textura de los suelos. En cambio, Galantini et al. (2008), observaron en suelos no labreados, que la acumulación del COP en superficie fue mayor en suelos con alta proporciones de material fino y, por debajo de los 5 cm no se apreciaron diferencias en la acumulación de COP.

En este trabajo se observó que el COP mostró sensibilidad a la práctica de manejo puesto que, luego de 5 años consecutivos, los tratamientos con CC presentaron mayor concentración (%) y contenido (Mg ha⁻¹) respecto al testigo. El resultado de este parámetro demuestra la importancia que tuvieron los aportes anuales y consecutivos de MS aérea y radicular de las gramíneas para producir ganancias en los contenidos del COP, ya que las

concentraciones y contenidos del COP de avena y raigrás en el espesor 0-20 cm del suelo fueron significativamente diferentes del testigo. Estos resultados coinciden con lo establecido por Campbell et al. (1999) que el incremento de la fracción COP está en relación directa con los aportes anuales de los residuos o rastrojos de los cultivos.

En la tabla 10 se detallan los contenidos de COT y COP para los espesores de 0-5; 5-10; 10-15 y 15-20 cm de suelo, con la finalidad de ofrecer una mejor visualización de la distribución en el perfil del suelo.

Tabla 10. Valores medios de las variables carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico particulado (COP), en porcentaje (%) y contenido (Mg ha^{-1}) para los espesores de 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm de suelo, evaluadas sobre avena, raigrás y testigo, al 5 año de permanencia de los CC.

Espesor de suelo (cm)	Tratamientos	COT (%)	COT (Mg ha^{-1})	COP (%)	COP (Mg ha^{-1})
0 - 5	A	1,89 a	11,31 a	0,28 ab	1,64 ab
	R	2,14 a	12,43 a	0,37 b	2,22 b
	T	1,91 a	12,36 a	0,20 a	1,29 a
5 - 10	A	1,50 a	10,12 a	0,13 a	0,90 a
	R	1,54 a	10,39 a	0,07 b	0,45 b
	T	1,39 a	9,70 a	0,05 b	0,33 b
10 - 15	A	1,30 a	8,50 a	0,12 a	0,78 a
	R	1,44 a	9,55 a	0,05 b	0,33 b
	T	1,34 a	9,16 a	0,03 b	0,19 b
15 - 20	A	1,10 a	7,25 a	0,10 a	0,66 a
	R	1,08 a	7,33 a	0,03 b	0,22 b
	T	1,15 a	7,85 a	0,03 b	0,20 b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher. ($p \leq 0,05$)

Las concentraciones de COP en el espesor 0-5 cm de raigrás y avena fueron del 0,37 y 0,28 %, respectivamente, mientras que en el testigo fue del 0,20 %, diferenciándose raigrás del testigo ($p \leq 0,05$). En tanto que en los espesores 5-10, 10-15 y 20-15 avena se diferencio del raigrás y del testigo.

Esta captación de COP en los primeros 5 cm del perfil concuerdan con los encontrados por Scianca et al. (2006), quienes reportaron una relación positiva entre el aporte de la biomasa aérea de los CC y el COP ($R^2: 0,67$), en una secuencia agrícola girasol-CC y maíz. Además, estos resultados son semejantes a los registrados por Eiza et al. (2008) por la rotación con una pastura.

En el presente trabajo, se evidenció en raigrás una mayor concentración del COP en superficie, con un brusco descenso hacia las capas más profundas del perfil, demostrando una fuerte contribución radicular en el espesor superficial que se diluye a partir de los 10 cm de profundidad. Asimismo, en avena también se comprobó mayor proporción de COP en el espesor 0-5 cm. Sin embargo, es importante destacar que avena posiblemente tenga una mayor contribución en los espesores más profundos en comparación al raigrás debido a la mayor participación de raíces explorando en profundidad. Las relaciones determinadas de las concentraciones de COP/COT entre el testigo, raigrás y avena en el espesor 0-5 cm fueron del 0,105; 0,173 y 0,148 %, respectivamente, definiendo a ese espesor como una zona de alta acumulación de COP debido a los aportes de biomasa de los CC (Figura 4).

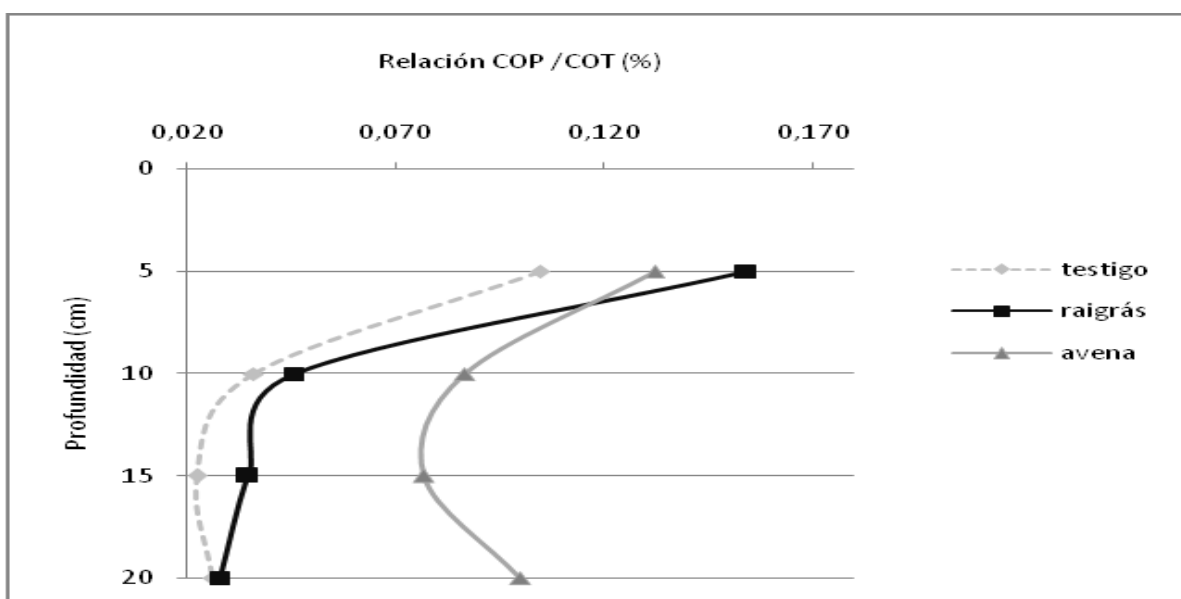


Figura 4. Relación entre COP / COT (%) del testigo y los cultivos de cobertura de avena y raigrás, para los espesores 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm del suelo al 5° año de la secuencia CC-soja

1. e) Infiltración

Cuando la infiltración básica se evaluó luego del secado de los CC durante el primer año del trabajo no se encontró diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre el testigo y los CC, sin embargo la tendencia con presencia de CC avena y raigrás fue mayor que el testigo (Tabla 11).

Tabla 11. Infiltración (mm h^{-1}). Medida i) en el 1° año luego del secado de los CC, ii) en post cosecha del cultivo de soja y iii) al 5° año luego del secado de los CC. Tratamientos, testigo (T), Avena (A) y Raigrás (R).

Tratamientos	Infiltración (mm hora^{-1})					
	Momento de evaluación					
	En el 1° año, en post secado de los CC	Diferencia respecto al testigo (%)	En el 1° año, en post cosecha del cultivo de soja	Diferencia respecto al testigo (%)	En el 5° año, en post secado de los CC	Diferencia respecto al testigo (%)
T	78,7 a		28,8 b		20,96 b	
A	92,6 a	15,0	44,0 a	34,54	66,79 a	68,61
R	88,0 a	10,5	41,50 a	30,60	74,00 a	71,67

Test LSD Fisher Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

En la evaluación realizada en post cosecha de soja, los CC se diferenciaron significativamente del testigo ($p \leq 0,05$). En términos porcentuales la infiltración de los CC fue un 33 % mayor que el testigo.

En la última evaluación realizada al 5° año, la infiltración de los CC fue significativamente mayor ($p \leq 0,05$). Claramente se aprecia una reducción del 70% en la infiltración del tratamiento testigo respecto al promedio de los tratamientos con CC de avena y raigrás. Quiroga et al. (2008) han abordado los problemas en la captación del agua (infiltración, escurrimiento) a partir de la reducción de la macroporosidad como consecuencia de la degradación física de los suelos. Asimismo, la pérdida de agregados de mayor tamaño está directamente influenciada por el manejo del suelo (Taboada, 2008). Los resultados obtenidos al 5 año coinciden con los de Sasal y Andriulo (2005), quienes observaron que el ingreso del agua en superficie está en relación con la macroporosidad comprendida entre 60 y 300 mm de diámetro. Además, Sasal (2003), encontró menor infiltración en SD en una rotación con

mayor proporción de soja, atribuyéndoselo a una mayor disposición horizontal de los macroporos del espesor superficial producto del nuevo ordenamiento horizontal de agregados producido por el tránsito de las máquinas y el bajo volumen de rastrojo de soja.

Los resultados son coincidentes con lo reportado por Álvarez et al. (2005 y 2008), quienes determinaron efectos significativos en la infiltración básica atribuibles a la incorporación de gramíneas anuales como CC luego de 2 y 4 años en secuencias de alta frecuencia de soja, indicando una relación directa entre el aporte de rastrojos de los CC y la infiltración del suelo.

Se reconoce que las coberturas con residuos de cosechas o bien las que se establecen con vegetación viva tienen alta eficacia para mitigar la susceptibilidad de ruptura de los agregados por el impacto de las gotas de lluvia y el posterior proceso de dispersión de partículas y oclusión de los macroporos, además de favorecer la biota contribuyendo a la generación de bioporos estables y profundos sobre esa porción del perfil (Álvarez et al., 2008).

2 - Cultivos de Cobertura

2. a) Producción de materia seca (MS kg ha⁻¹)

En la tabla 12 se presentan las producciones de MS de avena y raigrás y de las malezas crecidas en el testigo. La MS de avena varió entre 12776 y 4529 kg ha⁻¹ mientras que la de raigrás entre 11551 y 3230 kg ha⁻¹. En los años 2005, 2006 y 2009 no hubo diferencias productivas ($p \leq 0,05$) entre avena y raigrás, mientras que en los años 2007 y 2008 avena se diferenció significativamente de raigrás.

Por otra parte, en el análisis del año 2005, único año que se prolongó el desarrollo de los CC hasta madurez fisiológica, se denota en avena una acumulación extraordinaria de MS ha⁻¹ (21805 kg MS ha⁻¹) con diferencias significativas ($p \leq 0,05$), mientras que raigrás fue sensiblemente menor (13175 kg MS ha⁻¹).

Tabla 12. Producción de MS (kg ha^{-1}) de cada tratamiento según año de evaluación. Tratamientos, testigo (T), avena (A) y raigrás (R).

Año de Evaluación					
Tratamientos	2005	2006	2007	2008	2009
T	1160 c	2462 b	542 c	1699 c	1116 b
A	12776 b	7575 a	6382 a	4529 a	4668 a
R	11551 b	7122 a	4112 b	3230 b	3460 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher. ($p \leq 0,05$)

Se observó una disminución en la producción de MS de avena y raigrás con el transcurso de los años. Probablemente esta disminución esté asociada a la oferta hídrica y a las condiciones de fertilidad del sitio experimental, tal lo sugerido por Restovich et al. (2008). En este estudio en el año inicial se contó con disponibilidad de agua próxima a la capacidad de campo que junto a las favorables precipitaciones otoño-inverno-primaverales (272 mm), además de una capa freática que fluctuó entre los 130 cm a 160 cm de profundidad (Figura 3) condujeron a una producción extremadamente voluminosa de MS. En el ciclo 2008 las precipitaciones otoño-inverno-primaverales fueron muy restrictivas, 34 % inferiores a las del ciclo 2005 con el agravante que en el mes de la siembra de los CC no se registraron precipitaciones.

La producción media de los 5 años fue de 7186 y 5895 kg ha^{-1} para avena y raigrás, respectivamente (Tabla 13), y la avena se distinguió significativamente del raigrás en la producción de MS. ($p \leq 0,05$). Los valores hallados coinciden con los resultados reportados por Ronconi et al. (2008), Scianca et al. (2006 y 2008), y Quiroga et al. (2008).

Tabla 13. Producción promedio de MS (kg ha^{-1}), concentración (%) y contenido absorbido de Nitrógeno y de Carbono (kg ha^{-1}) de la biomasa aérea por tratamiento del periodo 2005 – 2009. Tratamientos, testigo (T), avena (A) y raigrás (R).

Tratamientos	Materia Seca (kg ha^{-1})	Nitrógeno (%) de la Materia seca	Nitrógeno(kg ha^{-1}) de la Materia seca	Carbono (kg ha^{-1}) de la Materia seca
T	1396 c	2,02 a	25,15 b	---
A	7186 a	1,11 b	79,98 a	2946 a
R	5895 b	1,35 b	79,51 a	2416 b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

2.b) Concentración (%) y contenido (Kg ha^{-1}) de Nitrógeno (N) y Carbono (C) en la materia seca (MS).

Del análisis de las concentraciones (%) y contenidos de nitrógeno (kg ha^{-1}) absorbidos por la biomasa de los CC y de las malezas del testigo (Tabla 14) se observa que la concentración de N en la biomasa aérea de las malezas desarrolladas en el testigo fue significativamente mayor ($p \leq 0,05$) que la de avena y raigrás, pero la absorción total de N por hectárea fue mayor en los CC.

Tabla 14. Concentración de nitrógeno en la biomasa aérea (%) y contenido de nitrógeno absorbido (kg ha^{-1}) de cada tratamiento según año de evaluación. Tratamientos, testigo (T), avena (A) y raigrás (R).

Tratamientos	Año de Evaluación									
	2005		2006		2007		2008		2009	
	(%)	(kg ha^{-1})	(%)	(kg ha^{-1})	(%)	(kg ha^{-1})	(%)	(kg ha^{-1})	(%)	(kg ha^{-1})
T	2,49 a	29,00 b	1,31ab	32,00 b	2,72a	14,30 b	1,91 a	32,33 b	1,65 a	17,8 b
A	1,16 b	148 a	0,96 b	73 a	1,36a	84,00 a	0,83 b	37,70 a	1,22 b	57,0 a
R	1,25 b	145 a	1,47 a	105 a	1,74a	69,30 a	0,95 b	30,33 b	1,35 a b	47,3 ab

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Los contenidos de N fueron inversamente proporcionales a la concentración de la biomasa aérea, lo cual surge del cálculo directo entre concentración y

cantidad de MS lograda por cada tratamiento. En el primer año del ensayo, en los tratamientos M_2 , se comprobó una menor concentración de N en la biomasa aérea en avena y raigrás (0,61%, datos no mostrados) comparado con los tratamientos M_1 , lo cual se podría atribuir a un efecto de dilución del N a medida que se fue generando mayor biomasa (Restovich et al., 2008). En promedio el N absorbido por avena y raigrás no fue diferente (79 a 80 kg de N ha^{-1}). La mayor absorción de N se logró en el 1° año de evaluación con 148 y 145 kg N ha^{-1} para avena y raigrás, respectivamente, coincidente con la mayor producción, mientras que la menor absorción se produjo en el 4° año (2008) en correspondencia con la menor producción de MS producto de una escasa oferta hídrica ambiental.

Los valores de N absorbidos son coincidentes con resultados de Fernández et al. (2005), Quiroga et al. (2005) y Bróker et al. (2003). Estos resultados resaltan la importancia en la captura de N durante el largo período de barbecho que tiene lugar entre cultivos de verano (marzo-octubre), dado que de no establecer los CC en ese periodo, el N podría lixiviarse a horizontes más profundos, quedando fuera de la zona de exploración radicular de los cultivos de verano.

En este estudio no se analizó la concentración del C capturado por la biomasa aérea de cada CC. El mismo se realizó por calculo considerando la producción promedio de MS aérea (Tabla 13) y asumiendo una concentración de C en la MS del 41% (Restovich et al., 2008). La captura de C fue de 2946 y 2416 kg ha^{-1} año en avena y raigrás, respectivamente. Los datos demuestran la contribución que realizan las gramíneas invernales empleadas como CC al capturar el C atmosférico en sistemas agrícolas dominados por el cultivo de soja. El crecimiento y desarrollo de los microorganismos inducido por la presencia de rastrojo o material vegetal implica una retención temporaria de C y otros elementos como N, P, S y Ca Morón (2003) establece que la liberación de N de rastrojos de alta calidad es muy rápida, tal es el caso del trébol blanco, que liberó cerca del 80 % del N

en un período de dos meses. Por otra parte, el rastrojo del sorgo presentó una evolución de N totalmente opuesta. Informa además que la relación C/N inicial o el contenido inicial de N de los diferentes rastrojos pueden ser buenos predictores de las velocidades de liberación de N pudiéndose sincronizar en el tiempo la oferta de N desde el suelo y la demanda del nutriente por parte de los cultivos. Restovich et al. (2008) señalan que si el propósito de los CC fuese absorber N mineral de la solución del suelo para evitar la lixiviación y que luego de la suspensión del desarrollo, se libere para el cultivo de renta siguiente, se debería sincronizar el manejo de acuerdo a las necesidades y demanda de N por parte del cultivo de renta.

En los análisis de suelo (0-20 cm) realizados a los 60 días de suspensión del desarrollo de los CC, que coincidió con el inicio del periodo crítico del cultivo de soja, se evaluó una disponibilidad de 19, 23 y 16 kg ha⁻¹ de N y 20, 19 y 19 kg ha⁻¹ de S para los tratamientos testigo, avena y raigrás, respectivamente sin detectarse diferencias significativas (p≤0,05) entre los tratamientos. Tabla 15

Tabla 15. Contenido de N y S (Kg ha⁻¹) a los 60 días de suspensión de los CC en el espesor 0-20 cm del suelo.

Tratamiento	N (kg ha ⁻¹)	S (kg ha ⁻¹)
Testigo	19.06 ab	20.93 a
Avena	23.19 a	19.54 a
Raigrás	16.33 ab	19.53 a

Test LSD (p≤ 0,05). Letras distintas indican diferencias significativas

3. Dinámica del agua disponible en el suelo

3.a) Consumo y eficiencia de uso.

Al momento del secado de los CC los contenidos de agua disponible de avena y raigrás fueron inferiores al testigo en 4 años (2005 al 2008), y en un solo año (2009) el contenido hídrico de avena fue levemente superior al testigo. Las diferencias en el período 2005 – 2008 del contenido hídrico al momento de secado de los CC variaron entre 24 a 104 mm⁻¹ entre los CC y

el testigo. En cambio en el año 2009 el cultivo de avena registró mayor contenido de agua (+ 20 mm) mientras que el balance para el raigrás fue neutro.

Cuando se realizó la siembra de soja se apreció una mejora en el contenido hídrico del perfil de los CC respecto al testigo, producto de las precipitaciones ocurridas en la fase de barbecho que repusieron, parcialmente el agua consumida por los CC. El costo hídrico de los CC al momento de la siembra de soja fue de 9 a 55 y 10 a 107 mm ha⁻¹ para avena y raigrás, respectivamente. En el año 2008 se registró el mayor déficit y en el año 2009, el menor (Tabla 16).

Tabla 16. Contenido de agua disponible al secado de los CC (AD_{scc}) y agua disponible a la siembra de soja (AD_{ss}) en mm hasta los 200 cm, MS (kg ha⁻¹), uso consuntivo de los CC (UC_{cc}) (mm), eficiencia de uso de agua de los CC (EU_{Acc}) (kg MS mm⁻¹ agua), diferencia en el contenido de agua de avena, raigrás y testigo al momento del secado de los CC y a la siembra del cultivo de soja, para las campañas 2005 a 2009 en (% y mm). Tratamientos (Trat.), testigo (T), avena (A) y raigrás (R).

Año	Trat.	AD _{scc}	MS	UC _{cc}	EU _{Acc}	AD _{ss}	Diferencia de agua con el testigo			
							secado CC		siembra soja	
							mm	%	mm	%
2005	T	310 a				312 a				
	A	252 ab	12.776 a	300	42	303 ab	-58	-19	-9	-2,88
	R	217 b	11.551 b	334	34	267 b	-93	-30	-45	-14,4
2006	T	281 a				413 a				
	A	241 b	7.515	338	22	386 ab	-40	-14,50	-27	-6,53
	R	183 c	7.122	370	19	357 b	-98	-35	-56	-13,55
2007	T	236 a				272 a				
	A	190 a	6.382 a	299	21	223 b	-46	-19,50	-49	-18,0
	R	166 b	4.112 b	306	14	217 b	-70	-29,70	-55	-20,0
2008	T	142 a				179 a				
	A	118 b	4.529 a	305	15	124 b	-24	-17	-55	-30,70
	R	38 c	3.230 b	385	8.5	72 c	-104	-73	-107	-59,77
2009	T	36				112				
	A	55	4.668	248	19	132	+19	+53	+20	+17,85
	R	36	3.460	254	14	102	---		-10	-8,92

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

El uso consuntivo de agua varió entre 300 a 248 mm en avena y de 385 a 254 mm en raigrás. Además se apreció un mayor uso de agua en raigrás respecto a avena que no se correspondió con mayor producción de MS. Quiroga et al. (2009) determinaron diferencias al momento del secado de los CC del orden de 30 a 100 mm⁻¹ ha⁻¹ en un perfil de 0-140 cm y en 3 sitios experimentales, durante 5 años de evaluación en centeno y raigrás, respectivamente.

Las eficiencias de uso de agua (EUA) oscilaron entre 42 a 15 kg MS mm⁻¹ en avena y de 34 a 8,5 kg MS mm⁻¹ en raigrás y, fueron mayores en el primer año, en tanto que las eficiencias menores coincidieron con el año más seco. Avena siempre expresó valores altos en la EUA. Estas EUA son coincidentes con lo reportado por Scianca et al. (2008) quienes evaluaron eficiencias del orden de 36 a 21 y de 33 a 14 en kg MS mm⁻¹ con usos de agua de 208 a 337 mm y de 196 a 318 mm en avena y raigrás, respectivamente. Además son coincidentes con las EUA obtenidas por Eiza et al. (2010) quienes determinaron eficiencia para avena de 27,5 a 22,8 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ y de 16 a 12 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ para raigrás.

Considerando la relación uso del agua, producción de MS y las eficiencias obtenidas se desprende que para la región y para las fechas de siembras que se utilizaron, en términos medios avena sería más eficiente en el uso del recurso agua que el raigrás (Tabla 17).

Tabla 17. Valores medios de contenido de agua disponible (0-20cm) al secado de los CC (AU_{scc}) y agua disponible a la siembra de soja (AU_{ss}) en mm hasta los 200 cm, materia seca (MS kg ha⁻¹), uso consuntivo de los CC (UC_{cc}) (mm), eficiencia de uso de agua de los CC (EU_{Acc}) (kg MS mm⁻¹ agua), diferencia en el contenido de agua de avena, raigrás y testigo al momento del secado de los CC y a la siembra del cultivo de soja, para las campañas 2005 a 2009 en (% y mm). Tratamientos (Trat.), testigo (T), avena (A) y raigrás (R).

Trat.	AD _{scc}	MS	UC _{cc}	EU _{Acc}	AD _{ss}	Diferencia de agua con el testigo			
						secado CC		siembra soja	
						mm	%	mm	%
T	211 a				260 a				
A	178 ab	7186 a	298 a	24 a	243 ab	-33 a	-15	-17 a	- 6,5
R	136 b	5896 b	330 b	18 a	209 b	-75 b	-36	- 51 b	-19,6

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

En el análisis global, promedio de todas las campañas, se determinó un menor contenido hídrico de las coberturas respecto al testigo al momento del secado (Tabla 17), siendo el raigrás el de menor disponibilidad hídrica con diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) respecto del testigo. El gasto hídrico de los CC fue de 33 y 75 mm ha⁻¹ para avena y raigrás, respectivamente. Al momento de la siembra de soja las diferencias se redujeron a 17 y 51 mm ha⁻¹ para avena y raigrás, respectivamente. En términos porcentuales las diferencias en el contenido de agua disponible al momento de la siembra de soja se redujeron del 15 al 6,50 % cuando la cobertura fue avena y del 36 al 19,6% cuando la cobertura fue raigrás.

3. b) Variación del agua disponible al secado de los CC y a la siembra de soja

La fase de barbecho en la agricultura de secano tiene especial relevancia al permitir la captación y almacenaje del agua de las precipitaciones. En este trabajo las evaluaciones de las eficiencias de barbecho (EB) en el periodo comprendido entre el secado de los CC y la siembra de soja posterior fueron bajas. También fueron bajas las eficiencias evaluadas sobre el testigo. (Datos no mostrados). Cabe aclarar que los CC tuvieron, en promedio, 45 días de barbecho mientras que el testigo tuvo una larga fase de barbecho

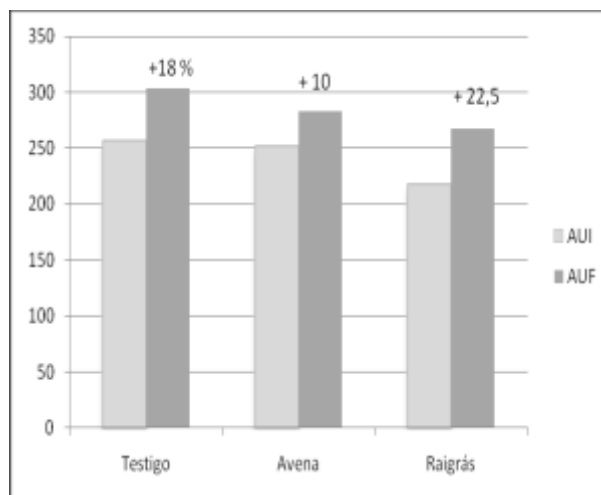
que promedió los 155 días. Las bajas EB registradas en este trabajo coinciden con las reportadas por Álvarez et al. (2003) quienes determinaron una EB del 11.4% en un Hapludol típico en el noroeste de Buenos Aires. Fernández et al. (2006) también registraron bajas EB a través de una climosecuencia con un gradiente de 800 a 650 mm en la región semiárida pampeana (RSP), estableciendo una relación negativa entre la EB y los contenidos hídricos al inicio de la fase de barbecho y una influencia positiva con los altos niveles de cobertura de los residuos de cosecha. En tanto que Basanta et al. (2008) registraron eficiencia hídrica negativa sobre un suelo de textura franco limosa en la región central de Córdoba

En términos relativos raigrás fue el de mayor EB, avena alcanzó el 95 % de eficiencia respecto al raigrás y el testigo solamente el 55%. Dadas las bajas EB se consideró graficar las variaciones de agua disponible (ΔAD) ocurridas durante la fase de barbecho de los CC y el testigo (Figura 5). En el año 2009 avena al momento de la siembra presentó más agua que el testigo, el resto de los años los CC presentaron menor agua disponible que el testigo. Claramente se aprecia que los CC en la fase de barbecho tuvieron la capacidad de captar el agua de las precipitaciones y recomponer parcialmente el agua consumida en el proceso de evapotranspiración durante su desarrollo (Miranda et al., 2012). Se aprecia en el año 2008, la gran demanda ambiental que generó mayor evaporación del perfil del suelo del testigo dando en consecuencia una ΔAD negativa luego de la fase de barbecho, mientras que en los CC a pesar del corto periodo la ΔAD fue positiva. En el análisis del promedio de la ΔAD (Figura 5f) se aprecia que el testigo siempre tuvo menor ΔAD que los CC, siendo raigrás el de mayor ΔAD , dado que fue el que más consumo de agua realizó.

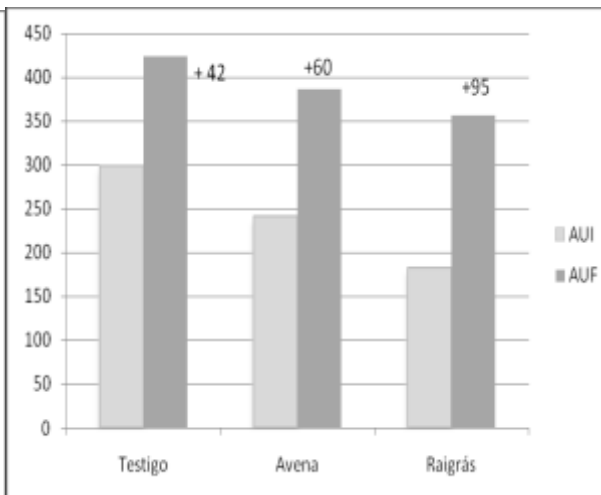
En este trabajo, las ΔAD fueron positivas, exceptuando el tratamiento testigo en el año 2008, en contraste con las evaluadas por Basanta et al. (2008) quienes sobre un suelo de textura franco limosa en monocultura sojera, determinaron ΔAD negativas. Por otro lado, Fernández et al. (2005)

reportaron disminuciones de 30 a 100 mm en el contenido final de agua disponible al momento del secado de los CC.

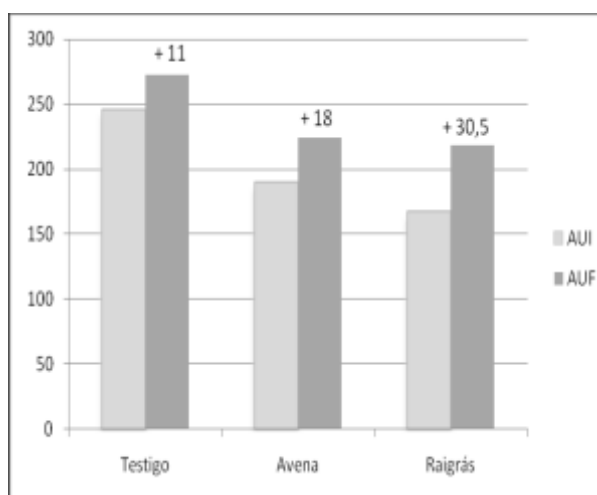
a) 2005



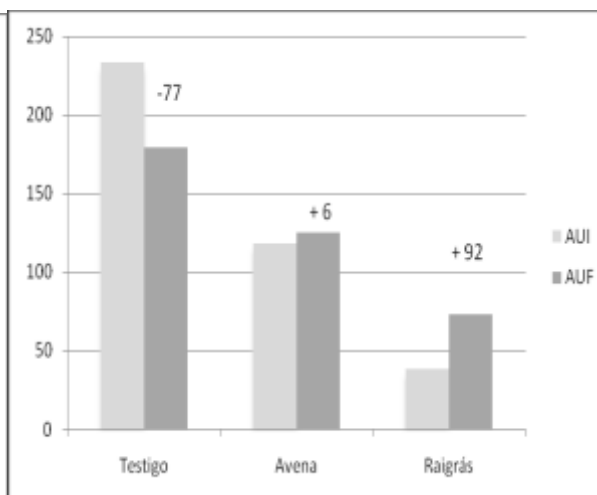
b) 2006



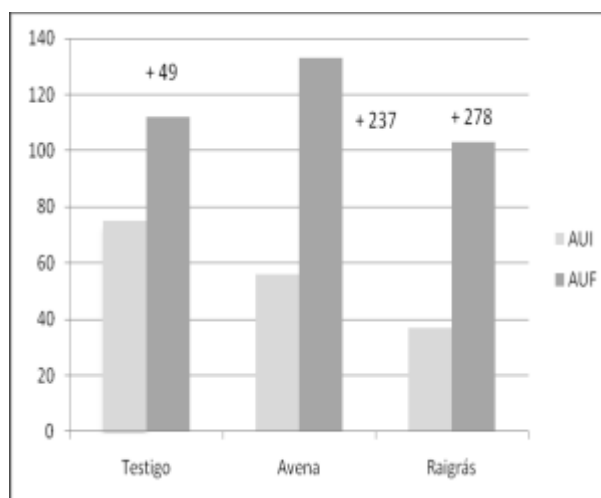
c) 2007



d) 2008



e)2009



f) Promedio de todas los años

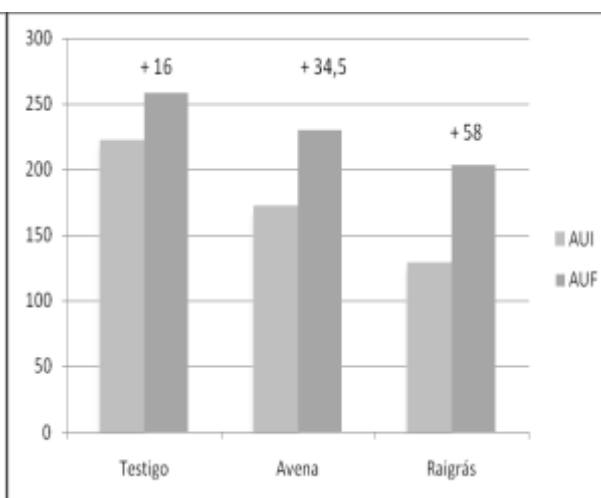


Figura 5. Agua disponible inicial y final del período de barbecho para el testigo, avena y raigrás para los años a) 2005, b) 2006, c)2007, d)2008, e)2009 y f) promedio de todas las campañas

Los CC tienen la capacidad de utilizar el agua almacenada en el perfil del suelo para generar biomasa, capturando C atmosférico y N del suelo, mejorando la infiltración de las precipitaciones y el reciclado de nutrientes. Sin embargo, de acuerdo a Andriulo y Cordone (1998), habría que prestar debidos cuidados al UC que realicen los CC. La fase más sensible es ajustar el momento de suspensión del desarrollo de las coberturas para captar y reponer el agua del perfil con las precipitaciones primaverales con la finalidad de no someter a riesgos extraordinarios al cultivo estival. En este trabajo, la interrupción de los CC en momentos previos a la floración ha permitido una recarga adecuada del perfil.

4. Rendimiento del cultivo de soja

El rendimiento promedio de soja de las 5 campañas evaluadas no evidenció diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con CC como antecesor respecto al testigo. (Figura 6). Se registraron diferencias significativas en el rendimiento de soja entre años, ocurriendo los mayores rendimientos en el 2006, 2007 y 2009 y el menor rendimiento en el año 2008.

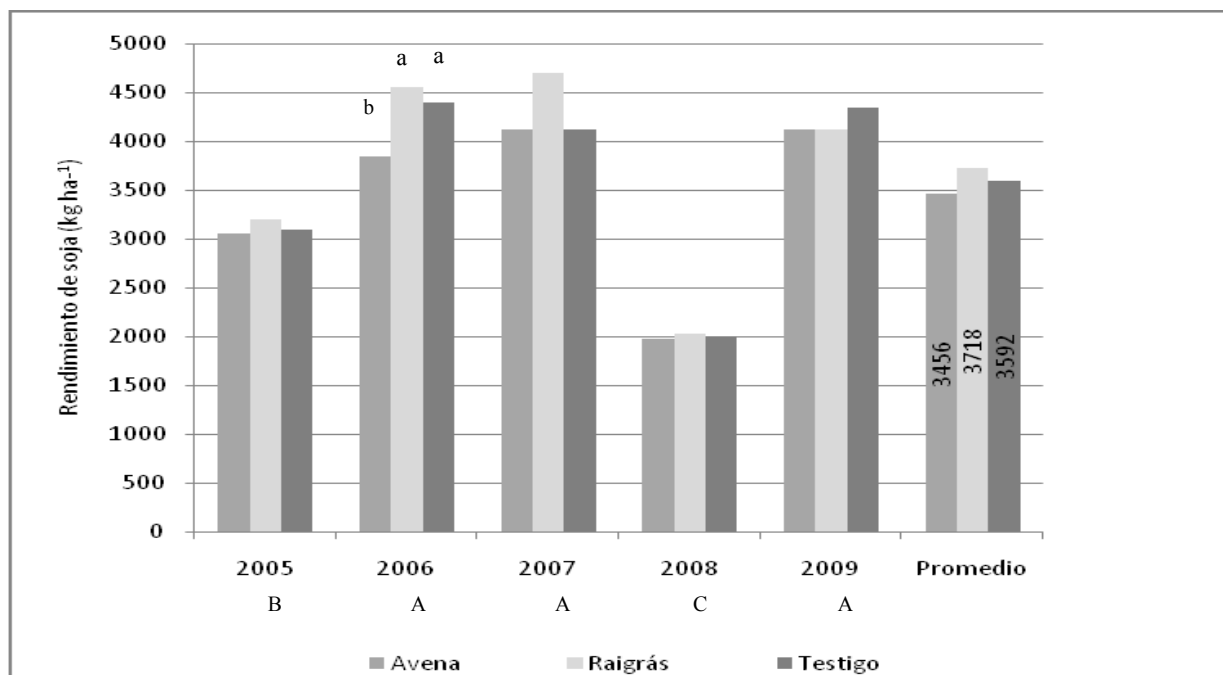


Figura 6. Rendimiento del cultivo de soja (kg ha^{-1}), para las campañas 2005,2006, 2007,2008 y 2009 y rendimiento promedio para todos los años evaluados. Letras distintas minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos en el mismo año ($p \leq 0,05$). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas entre años ($p \leq 0,05$)

En el análisis anual, en el año 2005, cuando el desarrollo de los CC fue suspendido al final de la fase vegetativa (M_1) no se comprobaron diferencias significativas entre avena y raigrás ni entre estos y el testigo. Cuando la suspensión de las gramíneas fue en madurez fisiológica (M_2), el rendimiento de soja proveniente de avena fue significativamente menor que raigrás en M_2 y del testigo, raigrás y avena en M_1 . Álvarez et al. (2006) en cambio, no encontraron diferencias significativas entre los rendimientos de soja con CC de triticale secado en madurez fisiológica respecto a cuando fue secado en macollaje y en encañazón, ni con el testigo. En el año 2006, soja con antecesor avena fue significativamente menor que el testigo ($p \leq 0,05$), el resto de los años el rendimiento no expresó diferencias significativas ($p \leq 0,05$). En cambio el rendimiento de soja cuando el antecesor fue raigrás no se diferenció en ninguno de los años, siendo el rendimiento igual o levemente superior al testigo. Estos resultados coinciden con los reportados por Capurro et al. (2007, 2008 y 2010), Álvarez et al. (2006 y 2008), Scianca et al. (2008, y 2010).

En la Figuras 7 se presentan los componentes de rendimiento de cada tratamiento. Soja con antecesor avena tuvo menor número de granos m^{-2} , diferenciándose significativamente ($p \leq 0,05$) respecto a soja con antecesor raigrás. En el componente peso de 1000 granos avena se distinguió del testigo y raigrás, respectivamente, por mayor peso.

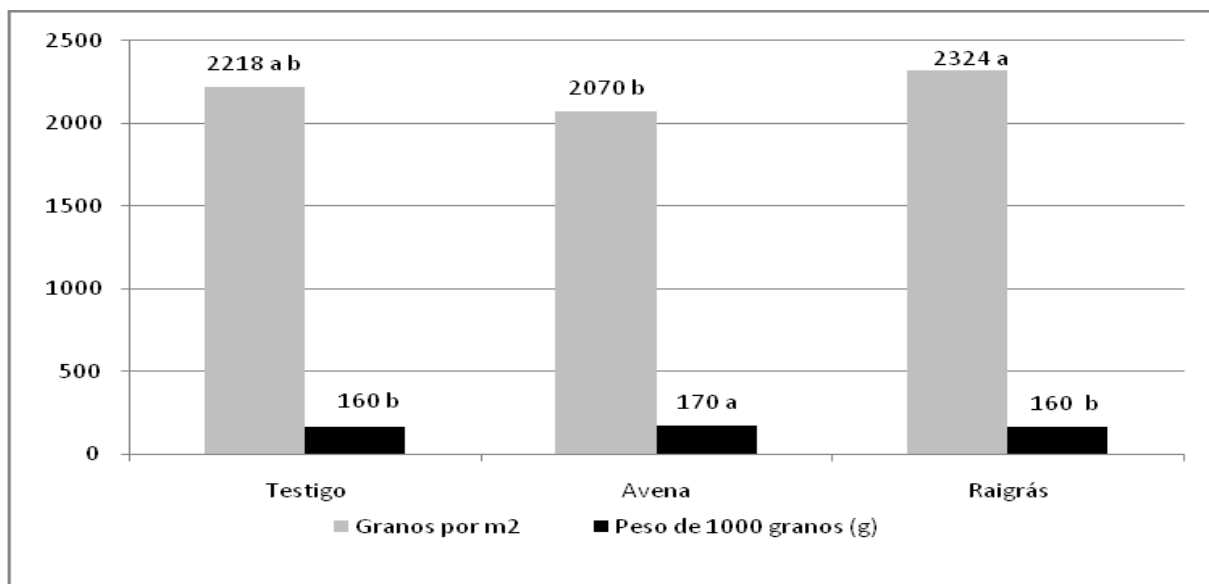


Figura 7. Número de granos m^{-2} y peso de 1000 granos. Promedio campañas 2005 – 2009. Letras distintas minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

5. Evaluación de la biomasa residual de los cultivos de cobertura, correspondiente al 1º año del desarrollo del trabajo

En la Figura 8 se presentan los contenidos de MS remanente y en la Figura 9 el porcentaje relativo (%) respecto al contenido inicial de MS según las evaluaciones realizadas a los 100, 180 y 277 días posteriores al secado de los CC. Se observa una rápida disminución de la MS remanente en los 100 días posteriores al secado. Al momento de la última evaluación, los porcentajes de MS remanente oscilaron entre un 16,5 al 11,0 %. Los tratamientos M₂ de avena y raigrás mantuvieron mayor porcentaje de MS remanente.

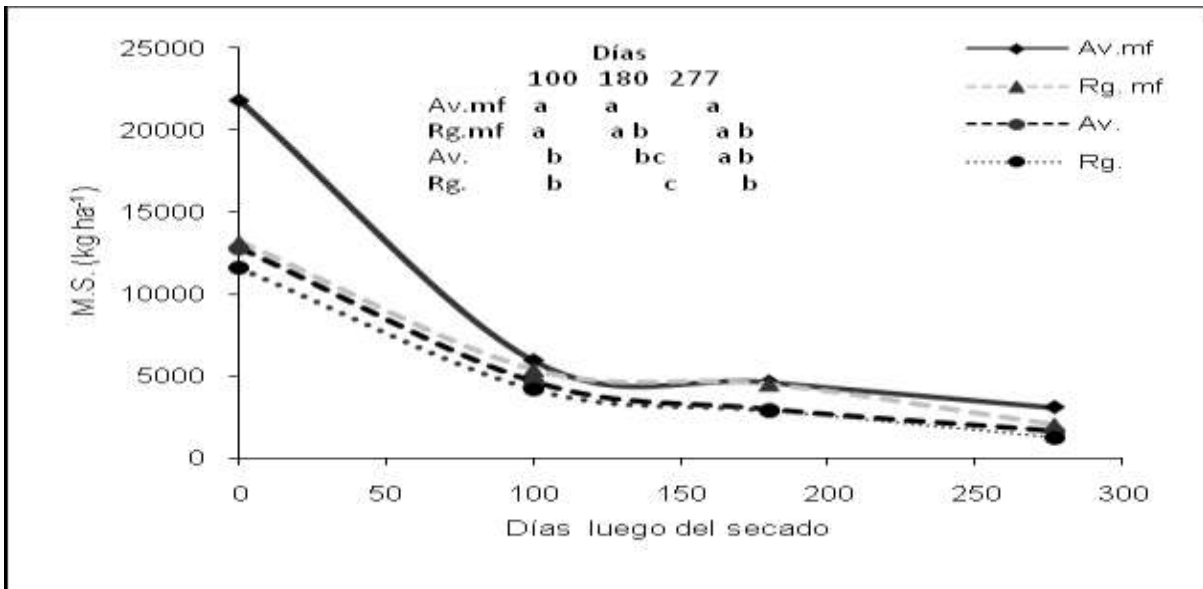


Figura 8. Materia seca de raigrás y avena (kg ha^{-1}), evaluada a los 100, 180 y 277 días después de la suspensión del desarrollo. Medias con una letra común no son significativamente diferentes según momento de evaluación ($p \leq 0,05$).

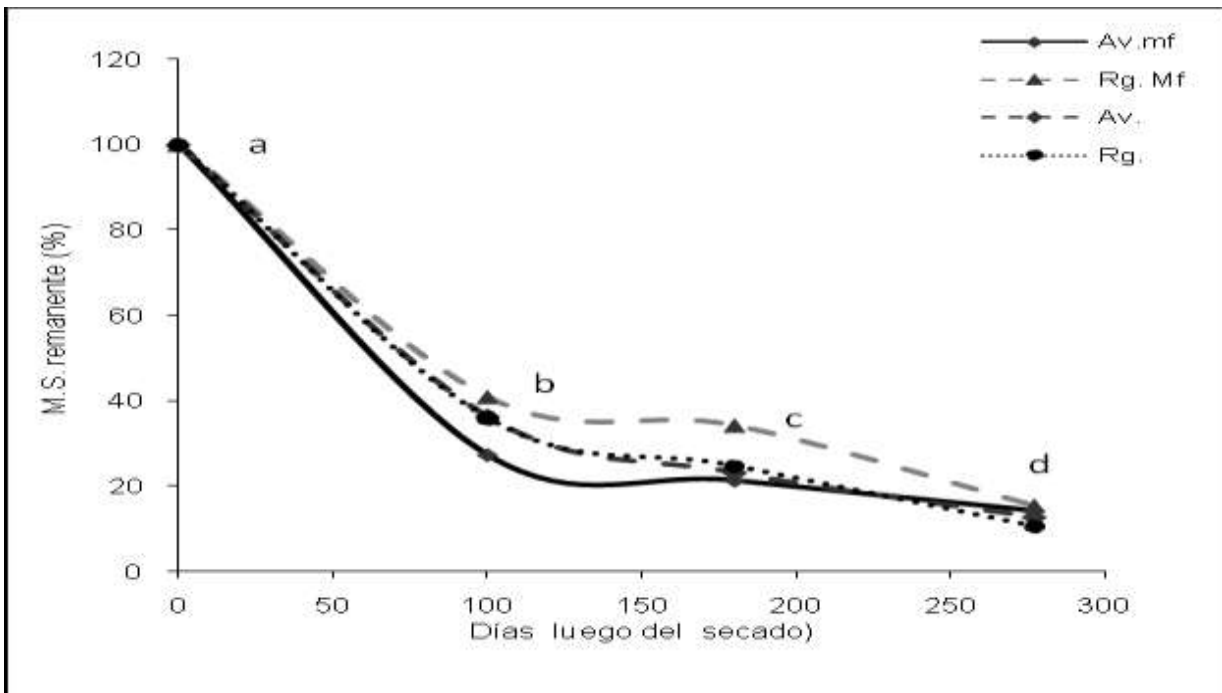


Figura 9. Porcentaje de materia seca remanente (%) de raigrás y avena, evaluada a los 100, 180 y 277 días después de la suspensión del desarrollo. Medias con letra distinta son significativamente diferentes según momento de evaluación ($p \leq 0,05$) para el promedio de materia seca remanente para cada momento evaluado.

La rápida degradación inicial de la MS de los CC se debe atribuir a que normalmente los microorganismos del suelo en las fases iniciales de degradación, utilizan los compuestos fácilmente asimilables, quedando como sustrato para fases posteriores materiales más recalcitrantes como la celulosa y lignina. Aita y Giacomini (2003) determinaron sobre vicia (*Vicia sativa* L.) y avena negra (*Avena strigosa* Schieb) un 30 y 50% de MS remanente, respectivamente a los 182 días del secado. Cuando se asoció un 50% de avena a la mezcla con vicia se mejoró el porcentaje de MS remanente aproximadamente un 10%. Además determinaron una relación lineal entre la liberación inicial de N con la mayor degradación de los residuos, siendo la mayor liberación de N a los 15 días posteriores al secado. La dinámica de descomposición de la biomasa de los CC evaluada en este trabajo guarda similitud con lo hallado por Ronconiet al. (2008) quienes determinaron una rápida degradación de la biomasa residual del raigrás entre los 50 a 100 días posteriores al secado. Los autores atribuyeron esta dinámica a que la biomasa residual del raigrás en las fases iniciales del cultivo de soja está más expuesta a la acción de los factores climáticos (luz, temperatura, lluvias etc.). Luego con el avance del desarrollo de la soja se produce sombreado y un desecamiento del suelo generando un ambiente adverso para los microorganismos descomponedores.

El tiempo necesario para descomponer el 50% de la MS según el modelo exponencial negativo propuesto por Álvarez et al.(1991) fue de 95, 99,90 y 83, días para avena y raigrás, M_1 y M_2 , respectivamente.

6. Evaluaciones económicas

Anualmente, los costos directos de los CC oscilaron entre 1,6 a 2,0 qq soja ha⁻¹ para avena y entre 2,2 a 3,0 qq soja ha⁻¹ para raigrás. Luego, al sumarle la diferencia del margen bruto de la producción de soja del testigo respecto al rendimiento de soja proveniente de cada CC, los costos se incrementan en aproximadamente en 1 quintal. (Tabla 18. Columna Promedio global).

Tabla 18. Margen bruto del cultivo de soja (MB. U\$S ha⁻¹), costo de directo y costo directo total (qq soja ha⁻¹) de cada CC anual y promedio global de las campañas 2005 a 2009

Año	2005		2006		2007		2008		2009		Promedio global		
	M.B	Costo directo (CC)	M.B	Costo directo (CC)	M.B	Costo directo (CC)	M.B	Costo directo (CC)	M.B	Costo directo (CC)	M.B	Costo directo (CC)	Costo directo total (CC)
T	340		500		510		279		800		485		
A	300	2	393	1,7	506	1,9	237	1,6	716	1,3	431	1,7	3,78
R	312	2,6	482	2,8	552	3,1	234	2,2	705	2,3	457	2,6	3,67

Cotización soja: 17,68-17,03-19,24-26,50-26,50. Costo cosecha de soja: 0,08 del rendimiento. Precio semilla de soja: 0,36 U\$S kg. Precio semilla de avena (U\$S kg): 0,24-0,24-0,17-0,21-0,32. Precio semilla de raigrás (U\$S kg): 1,25-1,25-1,49-1,55-1,57. Precio glifosato (U\$S litro): 2,35-2,35-5,56-7,00-2,62. Precio de unidad de trabajo agrícola (U\$S UTA): 19,0-19,0-25,8-35,14-29,25 avena 11; raigrás 50 U\$S/ quintal – Gastos de comercialización: 13, 11 y 6%. Valor del dólar (\$): 3,08-3,10-3,10-3,13-3,76, para las campañas 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009.

Conclusiones

Luego de cinco años consecutivos de CC en la secuencia agrícola de soja, se determinaron altas producciones de MS para avena y raigrás, respectivamente, que causaron un costo hídrico bajo para el cultivo de soja y no repercutieron en el rendimiento de éste, sin embargo el costo de realizar esta práctica disminuyó el MB un 6 a 12% la renta anual del sistema.

Esta práctica tuvo un efecto positivo sobre propiedades físicas y químicas del suelo superficial. La DA fue significativamente menor en el espesor 0,20 m del perfil en los CC y las menores densidades se registraron en el espesor inicial 5 cm. La infiltración en los tratamientos con CC fue un 70% mayor que el testigo y sin encontrarse diferencias entre avena y raigrás. Los contenidos de COP fueron significativamente mayores en el espesor 0-20 cm del perfil, encontrándose los mayores contenidos en el espesor inicial de 0-5 cm.

Avena tuvo mayor EUA que raigrás (24 kg MS mm⁻¹ vs. 18 kg MS ha mm⁻¹), experimentando ambos mayor variación del agua respecto al testigo en la fase de barbecho.

En virtud de los resultados obtenidos se concluye que, en el largo plazo, la inclusión sistemática de CC en las secuencias agrícolas dominadas por soja es una práctica agronómica que contribuye a la mejora de la sustentabilidad de los sistemas agrícolas intensivos de la región centro oeste de la provincia de Buenos Aires, con mejoras en las condiciones físicas, en los contenidos de la fracción particulada del carbono orgánico y de la infiltración del agua en el perfil del suelo. Asimismo, la inclusión de CC representa un uso más eficiente del recurso agua, logrando mejoras en la EUA, sin resentir o limitar la producción de granos del cultivo de soja en relación al manejo tradicional y con bajo impacto en el costo directo global de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- Aita, C. & Giacomini, S.J. 2003. Descomposicao e liberacao de nitrogenio de residuos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. R Bras.Ci.Solo.27:601-612.
- Álvarez, C.R y M.A. Taboada. 2008. Indicadores de la fertilidad física del suelo. En Fertilidad Física de los suelos. Cap 6. Pág.155-180. Editorial Facultad de Agronomía. 2° Edición.
- Álvarez, C.; Barraco M.; Díaz Zorita M.; Scianca C. y C. Pecorari. 2005. Uso de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja: Efecto sobre algunas propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos en un Hapludol Típico del Noroeste bonaerense. Boletín de divulgación técnica N° 87. Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiáridas y subhúmeda Pampeana. INTA EEA Anguil Pag.19-23.
- Álvarez, C.; Scianca, C.; Barraco, M y Díaz Zorita, M. 2006. Impacto de cereales de cobertura sobre propiedades edáficas y producción de soja. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (en CD).
- Alvarez, R; O. P. Santanatoglia; G. Brazzola y García. 1991. Descomposición de rastrojo de soja en bolsas de residuos de distinto tamaño de poro. Turrialba 42:279-284.
- Andriulo A. y G. Cordone. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. En Panigatti J.L., Marelli H., Buschiazzo D. y R. Gil (Ed.Siembra directa. INTA. Hemisferio Sur. P.65-96)
- Andriulo, A; Irizar, A; Garcia, L; Hanuch, L y Rimatori, F. 2008. Efecto de los monocultivos de soja y maíz sobre el aporte de carbono y algunas propiedades edáficas luego de 20 años bajo siembra directa. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (en CD).

- Basanta, M.; J. Giubergia; E. Lovera; C. A. Alvarez; E. Martellotto; E. Curto y A. Viglianco. 2008. Manejo del barbecho invernal y su influencia en la disponibilidad hídrica para el cultivo estival en un Haplustol de la Región Central de Córdoba. En ISSN on line 1851-4987. EEA INTA Manfredi.
- Borket, C.M.; Celso de Almeida Gaudencio; José E. Pereira; Leonardo Régis Pereira e Adilson de Oliveria Junior. 2003 Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. *Pesq. Agropec. Brasília* v.38,n,p.143-153.
- Calegari, A.; Mondardo, A.; Bulisani, E.A.; Wildner, L.P.; Costa, M.B.B.; Alcantára, P.B.; Miyasaka, S.; Amado, T.J.C. 1993. Abudadação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, AS-PTA, 2° Ed. 346 p.
- Carfagno P.F.; M.J. Eiza; A. Quiroga y F. Babinec. 2008 Cultivos de cobertura: efecto sobre La dinámica del agua en el suelo. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (en CD).
- Corak, S.J., W.W. Frye and M.S. Smith. 1991. Legume mulch and nitrogen fertilizer effects on soil water and corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1395–1400.
- Cordone, G. y O. Hansen. 1986. Utilización de especies invernales como abonos verdes y/o cobertura para maíz y su efecto residual sobre el cultivo de trigo. *Carpeta de Producción vegetal* N° 80-EEA Pergamino.
- Dardanelli, J.; Panigatti, Marelli, Buschiazzo y R. Gil. 1998. Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranzas. *Siembra Directa*. Instituto de Suelos. INTA. Pág. 107 – 115
- Dardanelli, J.; D. Collino; M. E. Otegui y V. Sadras. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de granos. En cap.16. Pág.377-406. *Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo*. Editorial FAUBA.
- Derpsch, Rolf. 1983. Keynote: Frontiers in conservation tillage and advances in conservation practice. Pág.248-254. En D.E.Stott, D.H.Mohtar and G.C.Steinhardt (Eds.). *Sustaining the Global Farm. Selected papers*

from the 10 th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.

- Doorenbos, J. y Kassan, A.H. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma FAO. 212 p. (Estudio FAO.: riego y drenaje, 33).
- Eiza M.; G.A. Studdert y G.F Domínguez. 2006. Dinámica de la materia orgánica del suelo bajo rotaciones mixtas: I Materia orgánica total. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy (Resumen. en CD).
- Eiza M.; G.A. Studdert y G.F Domínguez. 2006. Dinámica de la materia orgánica del suelo bajo agricultura continua: II Materia orgánica particulada. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy (Resumen. en CD).
- Eiza M.; G.A. Studdert y G.F Domínguez. 2006. Dinámica de la materia orgánica del suelo bajo rotaciones mixtas: II Materia orgánica particulada. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy (Resumen. en CD).
- Fehr, W.R. y Caviness, C.E. 1977. Stages of soybean development, Ames, IA. Iowa State University Special Report 80.11p.
- Fernández R.; Funaro D. 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. Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiáridas y subhúmeda Pampeana. INTA EEA Anguil Pág.25-31.
- Fernández, R.; Peinemann, N.; Noellemeyer, E. y A. Quiroga. 2006. Efecto de la cobertura sobre la eficiencia del barbecho en la región semiárida pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy (Resumen. en CD).

- Fernández, R.; Quiroga, A; Arenas, F; Antonini, C y M, Saks. 2008. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. En Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Pág. 51.58. Publicación Técnica N° 71. ISSN 0325-2132. EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas".
- Franzluebbers A. 2003. Conservation tillage and stratification on soil properties: a summary of the special issue in Soil Tillage Research. ISTRO 16th Conference Brisbane (Australia). En CD.
- Gil, R. 2005. Aspectos generales de las relaciones hídricas en el continuo suelo-planta-atmósfera. En Eficiencia de uso de los recursos. (E. Satorre). Especialización en Producción de Granos. Facultad de Agronomía. UBA.
- Gil, R. 2005. El comportamiento físico-funcional de los suelos. En Eficiencia de uso de los recursos. (E. Satorre). Especialización en Producción de Granos. Facultad de Agronomía.UBA.
- Gil R. 2006. Infiltrómetro. Permeámetro de Disco. Actas XX Congreso Argentino de Ciencias de Suelo: 138.
- Gluck Rachwal, M.F.; R. A. Dedecek; G. Ribas Curcio y D.J.Westphalen.1997. Avaliacao da producao de materia seca radicular de diferentes coberturas de solo, no período de inverno nas entrelinhas de Erva-Mate no municipio de Aurea, RS. EMBRAPA. Comunicado Técnico.Nº27, p.1-8.
- Infostat. 2004. Infostat versión 2004. Grupo Infostat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- INTA. 1993. Carta de suelos de la República Argentina. Instituto de suelos. Área de Investigación en Cartografía de suelos y evaluación de tierras. Hoja 3560 – 32 Del Valle. Escala 1: 50.000.
- Kantolic, A.; P. Gimenez y E.de la Fuente. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja.

En cap.9. Pág. 167-186. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial FAUBA.

- Mansoer, Z., D.W. Reeves, and C.W. Wood. 1997. Suitability of sunn hemp as an alternative late-summer legume cover crop. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:246-253.
- Miranda, W.R.; Scianca, C. Barraco, M.; Álvarez, C. y A.Lardone. 2012. Cultivos de cobertura: Dinámica del agua luego de dos momentos de secado .Actas del XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).
- Miller, T. 2000. Estadios de crecimiento del cultivo de trigo. Publicado en Informaciones Agronómicas del Cono Sur. IPNI. N° 6. Pág. 1-4
- Muller, D.G; M.F. Saluzzio y J.J. De Battista. 2008. Comparación de distintos cultivos de cobertura en suelo Vertisol. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).
- Restovich, S.; A, Andriulo, C. Sasal, A.Irizar, F. Rimatori, M.L.Darder y L.Hanuch. 2006. Absorción de agua y nitrógeno edáfico de diferentes cultivos de cobertura. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).
- Restovich, S.B; A, Andriulo y M.J. Torti. 2008. Destino del nitrógeno edáfico luego de la cosecha del maíz con diferentes cultivos de cobertura utilizados como antecesores bajo siembra directa en la pampa ondulada. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).
- Restovich, S.B; A, Andriulo y C. Améndola. 2008. Definición del momento de secado de diferentes cultivos de cobertura en la secuencia soja-maíz. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).
- Reeves D. W. and J. T. Touchton. 1991. Deep tillage ahead of cover crop planting reduces soil compaction for following crop. Highlights of Agricultural Res. 38:4. Alabama Agric. Exper. Stn., Auburn University, AL.

- Ruffo, M. y Parsons, A. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. INPOFOS Informaciones Agronómicas N° 21. Pág.13-20.
- Ronconi, A. P; P.S. Silvestre, M.F. Saluzzio y J. De Battista.2008. Efectos de cultivo de cobertura con distinta duración de barbecho químico. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).
- Satorre, E.H. Cambios Tecnológicos en la Agricultura Actual. Ciencia hoy, 15:24-31. 2005.
- Santanatoglia, O.J.; R. Alvarez; N. Barbero y M. Russo. 1994. Descomposición de la cobertura de rastrojo y evolución de su contenido de nitrógeno en doble cultivo trigo-soja bajo siembra directa. Ciencia del suelo.12-63:67.
- Scianca, C.; C. Alvarez; M. Barranco; A. M Pérez y Quiroga, A. 2006. Cultivos de cobertura en sistemas orgánicos. Aporte de carbono y dinámica de malezas. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).
- Scianca, C.; C. Alvarez; M. Barranco; A. Quiroga; P. Zalba. 2006. Cultivos de cobertura. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).
- Scianca, C.; C. Álvarez; M. Barranco; A. Quiroga y P. Zalba. 2008. Cultivos de cobertura en un Argiudol típico del Noroeste Bonaerense. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).
- Smith, John B., Weiss, Stephen F., and Ferguson, Gordon J. A Hypertext Writing Environment and Its Cognitive Basis, Proceedings of Hypertext '87, ACM Press, 1987.
- Stute, J.K., and J.L. Posner. 1995. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. Agronomy Journal, 87: 1063–1069.

- Taboada, M.; F. Micucci y C. 2008. Álvarez. Impedancias mecánicas y compactación en suelos agrícolas. En Fertilidad Física de los suelos. Cap 5. Pág.93-153. Editorial Facultad de Agronomía. 2° Edición.
- Taboada M., Álvarez C., Tellería M. 2004. Distribución y abundancia de raíces de maíz en argiudoles pampeanos bajo diferentes sistemas de labranza. XIX Congreso Argentino de Ciencias de Suelo Paraná: 60.
- Quiroga A.; Funaro D.; Fernández R. y E. Noellemeyer. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la Región Pampeana. Ciencia del suelo. N°23 Pág. 79-86.
- Quiroga, A.; M. Saks; R. Fernández y D. Funaro. 2006. Aspectos del manejo de la nutrición de cultivos. En XIV Congreso de AAPRESID. Pág.189-195.
- WWW.sagpya.mecon.gov.ar. Informes producción nacional campañas 1990-2008.

ANEXO

ABREVIATURAS USADAS

Agua disponible:	AD
Avena:	A
capacidad de campo:	CDC
Carbono orgánico del suelo:	COS
Carbono orgánico particulado:	COP
Carbono orgánico:	CO
Carbono:	C
Cultivos de cobertura:	CC
Densidad aparente:	DA
Eficiencia de barbecho:	EB
Eficiencia de uso del agua:	EUA
Materia orgánica:	MOT
Materia seca:	MS
Nitrógeno:	N
Punto de marchitez permanente:	PMP
Raigrás:	R
Siembra Directa:	SD
Testigo:	T
Uso consuntivo:	UC
Abril:	A
Mayo:	M
Junio:	J
Julio:	Jl
Agosto:	A
Septiembre:	S
Octubre:	O
Noviembre:	N
Diciembre:	D
Enero:	E
Febrero:	F
Marzo:	Mz

