

## IMPACTO AMBIENTAL Y ROLADO DE CULTIVOS DE COBERTURA EN PRODUCCIÓN DE SOJA BAJO SIEMBRA DIRECTA

TOMÁS BAIGORRIA\*<sup>1</sup>; CRISTIAN ALVAREZ<sup>2</sup>; CRISTIAN CAZORLA<sup>1</sup>; PABLO BELLUCCINI<sup>1</sup>; BETHANIA AIMETTA<sup>1</sup>; VANESA PEGORARO<sup>1</sup>; MONICA BOCCOLINI<sup>1</sup>; BELÉN CONDE<sup>1</sup>; VALERIA FAGGIOLI<sup>1</sup>; JIMENA ORTIZ<sup>1</sup>; DANIEL TUESCA<sup>3</sup>

Recibido: 4/2/2019

Recibido con revisiones: 1/8/20198

Aceptado: 3/8/2019

### RESUMEN

La masiva adopción del sistema de siembra directa y la utilización de cultivares de soja tolerantes a glifosato, generó una alta dependencia de herbicidas de amplio espectro para el control de malezas. El incremento en los costos de los herbicidas y la creciente concientización sobre cuestiones ambientales, impulsa la necesidad de encontrar alternativas de manejo de malezas que reduzcan el uso del control químico. Los cultivos de cobertura (CC) constituyen una práctica con potencial para reducir el uso de herbicidas en postemergencia de soja y a su vez minimizar el impacto ambiental. Los objetivos de este trabajo fueron: evaluar el efecto de diferentes CC, métodos de secado y programas de control químico de malezas sobre la dinámica del agua, impacto ambiental y el rendimiento del cultivo de soja. Se estudiaron tres CC, dos métodos de secado (químico vs mecánico) y dos programas de control de malezas en un Argiudol típico. Se evaluó el agua útil (AU) del suelo, la productividad del cultivo de soja y el coeficiente de impacto ambiental (EIQ). Al momento de secado los CC tuvieron un 35% menos de AU, mientras que a la siembra de la soja el contenido de AU fue un 16% mayor respecto del barbecho sin CC. Por la inclusión de CC y el secado mediante el rolado el valor de EIQ se redujo más de un 70% respecto del barbecho sin reducir el rendimiento de soja. Este sistema permitiría un uso más sustentable de los recursos naturales y además sería una opción promisoriosa en áreas con restricciones en la aplicación de herbicidas (agricultura orgánica y zonas periurbanas).

**Palabras claves:** Barbecho, agua útil, malezas, método de secado.

## ENVIRONMENTAL IMPACT AND COVER CROP ROLLER CRIMPER IN NO-TILL SOYBEAN PRODUCTION

### ABSTRACT

The massive adoption of no tillage sowing system and the use of soybean cultivars tolerant to glyphosate caused dependence on herbicides with total weed control spectrum (e.g.: glyphosate). The increase in costs of herbicides and a greater awareness on environmental issues, lead to search for alternatives to reduce the use of weed chemical control. Cover crops (CC) constitute a practice to reduce the use of post-emergence herbicides in soybean, minimizing environmental impact. The objective of this work was to evaluate the effect of CC termination methods and chemical weed control programs on water dynamics, environmental impact and soybean crop yield. Three species, two different termination methods (chemical vs. mechanical) and two weed control programs were studied on a typical Argiudoll. Soil available water (AW), environmental impact quotient (EIQ) and soybean productivity were measured. At termination CC moment, AW was 35% lower in CC than in fallow, while at sowing soybean AU was 16 % upper in CC treatments. CC and roller crimper decreased EIQ values more than 70 % without affected soybean yield. CC could allow a more sustainable use of natural resources and could also be a promising option in areas with restrictions to herbicide application, such us organic agriculture and peri-urban areas.

**Key words:** Fallow, available water, weeds, termination method.

1 EEA INTA Marcos Juárez

2 Agencia de Extensión Rural INTA General Pico

3 Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Zavalla, Santa Fe

\* Autor de contacto: baigorria.tomas@inta.gob.ar

## INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción agrícola de la Argentina los cultivos de oleaginosas ocupan un lugar muy importante. Entre estos cultivos se destaca la soja por su importancia, tanto en superficie implantada como en producción. Los cultivares de soja (*Glycine max* L. Merr) tolerantes a glifosato constituyen aproximadamente el 100% del total de la superficie sembrada con este cultivo en Argentina (Argenbio, 2017). En la región sudeste de la provincia de Córdoba el 95% de la superficie cultivada con soja, se implanta en siembra directa (AAPRESID, 2012). Ambas tecnologías han generado una alta dependencia de herbicidas de amplio espectro (ej: glifosato) para el control de malezas. Así, en los últimos 10 años se ha verificado un incremento significativo en las dosis y frecuencias de aplicaciones de herbicidas en los sistemas agrícolas y mixtos agrícolas. La principal causa de esto puede correlacionarse con la aparición de tolerancia y resistencia de ciertas malezas al glifosato (Rainero, 2008). El incremento en los costos de los herbicidas y la necesidad de disminuir el impacto ambiental de los agroquímicos, impulsa la necesidad de encontrar alternativas de manejo de malezas que reduzcan el uso del control químico.

Los cultivos de cobertura (CC) cumplen con diversas funciones, entre ellas, protección física del suelo a la radiación solar, viento y lluvia; control de malezas (Damrosch, 1998; Fernández *et al.*, 2007), mayor aporte de carbono orgánico (Álvarez *et al.*, 2005), captura de nutrientes móviles (nitrógeno y azufre) a través de su biomasa, aumento de la eficiencia del uso de agua, depresión de napas freáticas y control de plagas y enfermedades. Los CC ejercen a través de la biomasa un control en la población de malezas, limitando su emergencia (Scianca *et al.*, 2006) por interferencia en recursos como luz y temperatura (Teasdale & Mohler, 1993), además modifican la diversidad y frecuencia de las mismas (Fernández *et al.*, 2007).

Experimentos realizados con diferentes niveles de residuo de centeno (*Secale cereale* L.) y Vicia (*Vicia villosa* Roth), en superficie muestran que el mismo debe estar presente en cantidades cercanas a los 8.000 kg ha<sup>-1</sup> para suprimir eficaz-

mente poblaciones de malezas anuales (Teasdale & Mohler, 2000). Los CC constituyen una práctica con potencial para, reducir el uso de herbicidas en postemergencia de soja (Reddy, 2003), sin embargo, debe considerarse que la incorporación de CC en sistemas semiáridos-subhúmedos puede representar un riesgo debido al uso consuntivo del agua por parte de los mismos. Al respecto, Unger & Vigil (1998) hallaron que los CC disminuyen el agua en el suelo en su etapa de crecimiento y conservan agua cuando finalizan su ciclo y se encuentran como residuos sobre la superficie del suelo. Estos autores manifiestan que en regiones húmedas y subhúmedas los CC en general permiten recargar el perfil de suelo con agua de las precipitaciones, pero en regiones semiáridas los CC a menudo disminuyen los rendimientos de los cultivos subsecuentes.

Dependiendo de las necesidades de manejo del cultivo, los CC suelen secarse con cierta antelación a la siembra del próximo cultivo. Scianca (2010), Fernández *et al.*, (2007) y Álvarez *et al.*, (2006), han encontrado rendimientos de cultivos de maíz y soja, iguales o mayores en aquellos tratamientos que incluían CC como antecesores. Mientras que Álvarez *et al.*, (2006) no encontraron diferencias en el rendimiento de soja establecida sobre CC secados en distintos momentos.

El secado de los CC aplicando un herbicida es la práctica más común para los productores de la región pampeana y extra pampeana. Existe otra alternativa menos riesgosa para el medio ambiente y en general poco utilizada que es el secado mecánico de los CC mediante la utilización de un rolo. El rolado permite que el residuo del CC se deposite uniformemente sobre la superficie del suelo, mejorando así la supresión de malezas (Creamer *et al.*, 1996; Teasdale, 1996) y la conservación de la humedad del suelo (Morse, 1993). Las diferentes especies que pueden utilizarse como CC difieren en cuanto a la susceptibilidad al secado mecánico, el cual depende de su estado fenológico. Así, en gramíneas el período más recomendado para el secado es durante la antesis ya que en esta etapa se minimizan los riesgos de rebrote (Mirsky *et al.*, 2009). En vicia villosa, los resultados más consistentes se encontraron cuando el secado utilizando el rolo se realizó

al estado de floración con vainas pequeñas visibles (estadío 6-7 según la escala fenológica propuesta por Mischler *et al.*, 2010).

El sistema CC y secado mecánico permite disminuir la utilización de herbicidas y por consiguiente reducir el impacto ambiental comparado a un manejo tradicional. Una de las formas de cuantificar el impacto ambiental de diferentes plaguicidas o diferentes programas de manejo de adversidades es a través del coeficiente de impacto ambiental (Environmental Impact Quotient, EIQ) propuesto por Kovach *et al.*, (1992). Si bien la utilización de cultivos de cobertura y su secado utilizando una labor mecánica como el rolo son herramientas muy difundidas en los sistemas de siembra directa de agricultura orgánica de EE.UU (Mischler *et al.*, 2010; Curran *et al.*, 2010) en Argentina es escasa la información. De acuerdo a lo planteado, los objetivos de este trabajo fueron: evaluar el efecto del tipo de CC [centeno, triticale (*x Tritico secale* Wittm. ex A. Camus) y vicia], método de secado (mecánico y químico) y programas de control químico de malezas sobre la dinámica del agua, impacto ambiental y el rendimiento del cultivo de soja.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del experimento y diseño experimental

El experimento se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Marcos Juárez, Córdoba (32°42'44.65''S, 62°05'46.07''O). Sobre un suelo clasificado como Argiudol típico, perteneciente a la serie Marcos Juárez, que posee capacidad de uso 1, cuyas características se presentan en la **Tabla 1**. Es un suelo oscuro, profundo y bien drenado de lomas casi planas, desarrollado sobre un sedimento loésico de textura franco limosa, constituyendo un típico repre-

sentante de los suelos buenos del área con una amplia aptitud para cultivos, forrajes y pasturas, aunque presentan una ligera limitación climática, especialmente en el sector oeste y noroeste (INTA, 1978). El clima es templado húmedo, con una temperatura media anual de 17,6°C y precipitaciones que se han incrementado en los últimos años con un promedio anual de 900 a 1000 mm (Andreucci *et al.*, 2016). El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones, donde la parcela principal (18 m x 12 m) correspondió a las diferentes especies utilizadas como CC: Centeno, Triticale y Vicia. Las subparcelas (6 m x 12 m) fueron tres diferentes tratamientos, combinando métodos de secado de los CC y diferentes estrategias de control químico de malezas en soja, siendo ellos: secado mediante el rolado (R), secado con herbicida (H) y secado con herbicida más un herbicida residual (HM). Paralelamente a cada repetición se agregó una parcela principal testigo, barbecho sin CC (B) con dos programas de manejo de malezas, con glifosato solo (BH) y con herbicidas residuales (BHM) (**Tabla 2**).

Previo al inicio del experimento el 19 de junio de 2014 se realizó una aplicación de glifosato (74.7%) a una dosis de 1.5 kg p.f. ha<sup>-1</sup> en todas las parcelas. Los CC se sembraron sin fertilización el 24 de junio de 2014 sobre un lote en el cual el cultivo antecesor había sido soja. El distanciamiento entre surcos fue de 17,5 cm y la densidad de siembra de centeno y triticale fue de 30 y 50 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, mientras que en vicia fue de 15 kg ha<sup>-1</sup>. Tanto el rolado como la aplicación del herbicida para secar el centeno y el triticale se realizaron en antesis (anteras amarillas visibles en 50% de las espigas, 6.5 en la escala fenológica de Zadoks) (Zadoks *et al.*, 1974). Para el se-

**Tabla 1.** Características edáficas (0-20 cm de profundidad) del suelo donde se realizó el experimento. Limo + arcilla (L+A), carbono orgánico del suelo (COS), nitrógeno total (N), fósforo disponible (P), pH y conductividad eléctrica.

**Table 1.** Soil properties (0-20 cm depth) of the experimental site. Silt+clay contents (L+A), organic soil carbon (COS), total nitrogen (N), available phosphorus (P), pH and electrical conductivity.

L+A (g kg <sup>-1</sup> )	COS (g kg <sup>-1</sup> )	N total (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	pH 1:2,5 agua	CE (dS m <sup>-1</sup> )
927,0	14,4	1,2	27,0	6,2	0,08

**Tabla 2.** Cultivos de cobertura, métodos de secado y manejo químico de malezas en el cultivo de soja.**Table 2.** Cover crops, termination methods and chemical weed management in soybean crop.

Antecesor	Método de secado	Control de malezas en soja	Identificación del tratamiento
Triticale	Rolo	Sin Herbicida	TR
	Herbicida	Glifosato <sup>(*)</sup>	TH
		S-metolaclor	THM
Centeno	Rolo	Sin Herbicida	CR
	Herbicida	Glifosato	CH
		S-metolaclor	CHM
Vicia villosa	Rolo	Sin Herbicida	VR
	Herbicida	Glifosato + 2,4 D	VH
		S-metolaclor	VHM
Barbecho	-	Glifosato	BH
	-	S-metolaclor	BHM

\*Aplicación de glifosato (74.7%) a una dosis de 1.5 kg p.f. ha<sup>-1</sup> para secar el triticale y centeno mientras que en vicia se aplicó glifosato (74.7%) a una dosis de 1.5 kg p.f. ha<sup>-1</sup> combinado con 0,5 l p.f. ha<sup>-1</sup> de 2,4 D (Sal dimetilamina del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético 30%).

\*Application of glyphosate (74.7%) at a dose of 1.5 kg f.p. ha<sup>-1</sup> to termination the triticale and rye while in hairy vetch glyphosate (74.7%) was applied at a dose of 1.5 kg f.p. ha<sup>-1</sup> combined with 0.5 l f.p. ha<sup>-1</sup> of 2,4 D (dichlorophenoxyacetic acid dimethylamine salt 30%).

cado con herbicida de centeno y triticale se aplicó glifosato (74.7%) a una dosis de 1.5 kg p.f. ha<sup>-1</sup>.

En vicia los tratamientos de secado se aplicaron cuando su estado fenológico llegó al 100% de floración. Para el secado con herbicida de la vicia se aplicó glifosato (74.7%) a una dosis de 1.5 kg p.f. ha<sup>-1</sup> combinado con 0,5 l p.f. ha<sup>-1</sup> de 2,4 D (Sal dimetilamina del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético 30%). Ocho días posterior al secado con herbicida de centeno, triticale y vicia, a la mitad de la parcela se le aplicó un herbicida residual (S-Metolacloro al 96%) a una dosis de 1 l p.f. ha<sup>-1</sup>.

Además de la aplicación inicial en todas las parcelas, en BH se aplicó glifosato (74.7%) nuevamente el 25 de octubre y el 13 de diciembre de 2014 a una dosis de 1.5 kg p.f. ha<sup>-1</sup> y 2 kg p.f.

ha<sup>-1</sup> respectivamente. Mientras que en BHM a la aplicación inicial de glifosato se le agregó Met-sulfuron Metil al 60% en dosis de 5 gr p.f. ha<sup>-1</sup>, el 25 de Octubre se aplicó glifosato (74.7%) a una dosis de 1.5 kg p.f. ha<sup>-1</sup> combinado con S-Metolacloro (96%) a razón de 1 l p.f. ha<sup>-1</sup> y el 30 de enero de 2015 se aplicó glifosato (74.7%) a una dosis de 1.5 kg p.f. ha<sup>-1</sup> con soja en R3 (Inicio de formación de vainas) Fehr *et al.*, (1971).

Las aplicaciones de herbicidas para secar los CC se realizaron con mochila de presión constante, mientras que el control mecánico se realizó utilizando un rolo de 2 m de ancho de labor y un diámetro de 0.40 m. El mismo posee cuchillas sin filo dispuestas en forma recta y en su interior se agrega agua para alcanzar un peso de 880 kg. Posterior al secado todas las parcelas, incluidas

**Tabla 3.** Fechas de secado de los diferentes CC y precipitaciones ocurridas.**Table 3.** Cover crops termination dates and rainfall.

Antecesor	Fecha de secado CC	Periodo (Días)		Precipitaciones acumuladas (mm)		
		Siembra-Secado CC	Secado CC-Siembra Soja	Siembra-Secado CC	Secado CC-Siembra Soja	Siembra Soja-Cosecha Soja
Centeno	17/10/2014	113	49	108	151	619
Triticale	31/10/2014	127	36	108	151	
Vicia	18/11/2014	144	18	174	81	

las del tratamiento testigo, se sembraron con soja (LDC 4.7) sin fertilizar el 6 de diciembre de 2014 en siembra directa, empleando una densidad de 30 semillas m<sup>-2</sup> a una distancia entre hileras de 42 cm. Las fechas de secado de los diferentes CC y las precipitaciones ocurridas se detallan en la **Tabla 3**.

### Mediciones realizadas

Para establecer la producción de materia seca (kg ha<sup>-1</sup>) al momento de secado para centeno y triticale, se realizaron muestreos de biomasa aérea cortando las plantas de un metro lineal, al ras del suelo en los surcos centrales de las parcelas, mientras que en el cultivo de vicia el muestreo se realizó con un marco de 0.125 m<sup>2</sup>. Las muestras de biomasa se secaron en estufa con ventilación forzada a 60 °C hasta peso constante. A los 40 días después de la aplicación de los tratamientos de secado se cosecharon tres muestras de biomasa aérea de 0.125 m<sup>2</sup> de cada parcela para estimar la eficacia de los métodos de secado mediante el rebrote en las gramíneas o el remanente en la vicia, expresando los resultados como materia seca en (kg ha<sup>-1</sup>). Las muestras se secaron en estufa con ventilación forzada a 60 °C hasta peso constante.

La humedad del suelo se determinó gravimétricamente en los tratamientos CR, CH, TR, TH, VR, VH, y BH en cuatro momentos: a la siembra del CC, al momento del secado, a la siembra y a la cosecha del cultivo de soja. Posteriormente se calculó el contenido de agua útil (AU) de los intervalos de 0-60 y 0-150 cm de profundidad considerando la densidad aparente y las constantes hídricas (PMP y CC) para cada estrato.

Se calculó el uso consuntivo (UC) en el estrato 0-150 cm mediante la ecuación [1]:

$$UC = \left( \frac{AU_{siembra\ CC} + precipitaciones}{durante\ el\ ciclo} \right) - AU_{secado\ CC}$$

Se calculó además la eficiencia de uso del agua (EUA) de los CC medida como (kg MS mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>), mediante el cociente entre la materia seca aérea (kg ha<sup>-1</sup>) del CC y el UC (mm) de los mismos (López & Arrué, 1997).

Se calculó la eficiencia de barbecho (EB) mediante la ecuación [2] de Mathews & Army, (1960).

$$EB = \frac{(AU_{final\ barbecho} - AU_{inicio\ barbecho})}{Precipitaciones\ durante\ el\ barbecho} * 100$$

El costo hídrico (mm) se calculó como la diferencia de agua útil (0-150 cm) en el suelo en los diferentes tratamientos al momento de secado de los CC en relación al tratamiento testigo (BH) (Fernández *et al.*, 2008).

La producción de granos del cultivo de soja (rendimiento, kg ha<sup>-1</sup>) se determinó cosechando una superficie de 3,12 m<sup>2</sup> por parcela en el estadio de madurez fisiológica.

Para el cálculo del Índice de Impacto Ambiental (EIQ) se utilizó el método propuesto por Kovach *et al.*, (1992) y se calculó el EIQ de campo según la fórmula [3]:

$$EIQ\ de\ campo = EIQ * \% \text{ ingrediente activo} * Dosis * N^{\circ} \text{ de aplicaciones}$$

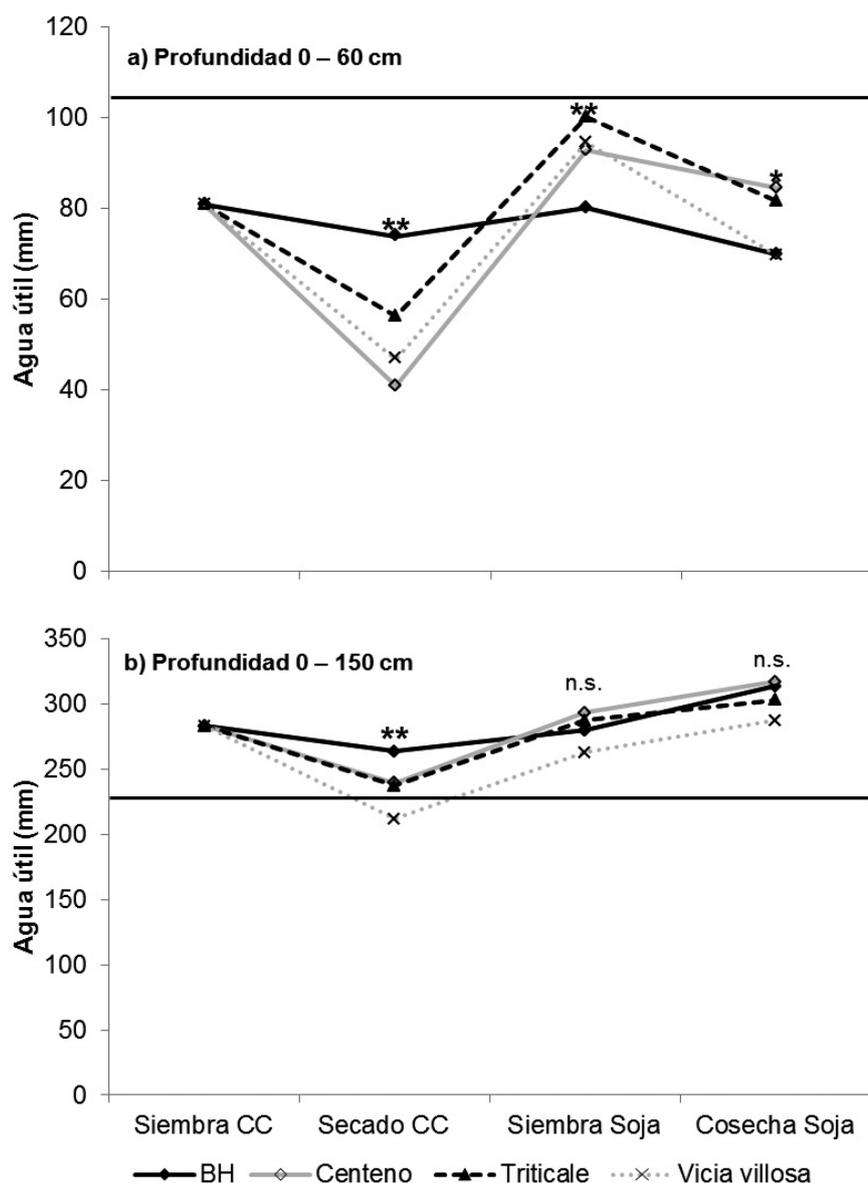
Para el análisis estadístico se utilizaron modelos lineales mixtos, teniendo en cuenta el diseño en parcelas divididas para las variables MS, UC, EUA y CH. Mientras que para el resto de las variables (AU, EB y rendimiento de soja), debido al interés de incluir al barbecho en las comparación y el mismo no poseer los mismos métodos de secado que el resto de los CC, se usan para el análisis como tratamientos a las combinaciones de CC, métodos de secado y al barbecho.

En todos los casos donde existieron efectos significativos se compararon las medias con el test LSD de Fisher (p < 0.05).

No se realizó análisis de varianzas para la variable EIQ (no se estima el desvío estándar).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la variable AU del suelo, los métodos de secado no se diferenciaron significativamente (p > 0,05). Por ello, en la **Figura 1 a y b** se muestra el contenido de AU en el período desde la siembra de los CC hasta la cosecha de la soja, comparado con BH. Esto es importante ya que por ejemplo aún en el tratamiento VR donde a los 40 días posteriores al rolado se verificó la pre-



**Figura 1.** Agua útil acumulada a 60 cm (a) y a 150 cm (b) de profundidad para barbecho con glifosato (BH), centeno, triticale y vicia villosa en los diferentes momentos de muestreo. Línea continua perpendicular al eje "Y" indican lámina de agua disponible a capacidad de campo. \* y \*\* representan diferencias significativas del test LSD  $P=0,05$  y  $0,01$  respectivamente y n.s. indica ausencia de diferencias.

**Figure 1:** Soil water availability at 60 cm depth (a) and 150 cm depth (b) in fallow with glyphosate (BH), rye, triticale and hairy vetch at the different moments.

The solid line perpendicular to the "y-axis" represents the level of water at field holding capacity. Asterisks \* or \*\* indicate statistically significant differences at  $p<0.05$  and  $0.001$ , respectively, according to the LSD test; "n.s." indicates not significant differences.

sencia de biomasa verde del cultivo de vicia, esto no generó una diferencia significativa en el contenido de AU al momento de la siembra de la soja. En las determinaciones realizadas al momento de secado, el AU fue significativamente menor ( $p<0,05$ ) en los tratamientos con CC respecto de BH a 60 cm. Sin embargo a la siembra de la soja los CC tienen valores significativamente mayores de AU en triticale y vicia respecto de BH. Desde el momento de secado de los CC hasta la siembra de la soja el incremento promedio del AU en 0–60 cm en BH fue del 7,15% mientras que en los CC fue del 101,54 %. Estos resultados indican que las precipitaciones primaverales logran recargar el perfil en los CC en mayor proporción que en BH mejorando así la oferta

hídrica a la siembra de la soja lo que coincide con los resultados obtenidos por Fernández *et al.*, (2012). Considerando que la duración del barbecho en BH fue de 167 días, la inclusión de CC reduce el período de barbecho un 79% y mejora la oferta hídrica tanto al momento de la siembra como a la cosecha de la soja. Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Carfagno *et al.*, (2015) y Fernández *et al.*, (2012).

Al analizar el AU de la profundidad 0-150 cm esta variable salvo en el tratamiento con el cultivo de vicia al momento de secado donde el contenido de AU fue significativamente menor a BH ( $p<0,05$ ), siempre se mantuvo en todos los tratamientos por encima del 100% de agua dis-

ponible. A su vez el AU siguió aumentando desde el momento de secado de los CC hasta la cosecha de la soja, esto implica una ventaja adicional del uso de los CC ya que permitiría encadenar la rotación con otro cultivo de siembra temprana (mediados de Abril), con excelente disponibilidad hídrica bajo las condiciones de estudio y ambientes similares.

En los tratamientos con CC, la mejora en la oferta hídrica a partir de la siembra de la soja hasta la cosecha, puede estar explicada por un incremento de la tasa de infiltración del suelo (Folorunso *et al.*, 1992), a su vez los residuos en la superficie disminuyen la temperatura del mismo (Fernandez *et al.*, 2006, 2008.) minimizando de esta manera las pérdidas por evaporación (Clark *et al.*, 2007).

En cuanto a la producción de materia seca al momento de secado solo se midió en la parcela principal correspondiente a las diferentes especies utilizadas como CC, donde se determinaron diferencias no significativas ( $p > 0,05$ ) entre especies (**Tabla 4**). Estos valores de materia seca son mayores que los obtenidos por Fernández *et al.*, (2012) sobre Haplustoles énticos en la región semiárida, con producciones de materia seca de centeno sin fertilizar de 4548 a 7666 kg ha<sup>-1</sup> y periodos de crecimiento de 125 y 160 días respectivamente. Por su parte, Álvarez & Scianca (2006) en trabajos realizados con triticale sobre Hapludoles típicos en General Villegas obtuvieron como promedio de 3 campañas, entre 3181 y 4921 kg ha<sup>-1</sup> de biomasa, secando el cultivo de cobertura en macollaje y fines de encañazón

respectivamente. En experimentos donde se utilizó vicia se midieron producciones de materia seca de 3000 a 8000 kg ha<sup>-1</sup> (Capurro *et al.*, 2012; Vansolini *et al.*, 2012; Baigorria *et al.*, 2011). En el presente estudio, a pesar de que los CC fueron sembrados en forma tardía (junio) los niveles de producción de materia seca superaron en todos los casos los 8000 kg ha<sup>-1</sup>.

Al analizar la biomasa vegetal viva remanente 40 días luego de la aplicación de los tratamientos de secado no se observaron rebrotes en los cultivos de gramíneas mientras que en vicia se registraron 2814 kg ha<sup>-1</sup> de materia seca solo en el tratamiento rolado. Algunos investigadores reportan mejores controles cuando el secado de la vicia mediante el uso de rolo se realizó en estadios más avanzados de madurez (comienzo de formación de vainas) (Mischler *et al.*, 2010; Ashford & Reeves, 2003; Creamer & Dabney, 2002).

Por otra parte, no se observaron diferencias significativas en el UC entre métodos de secado ( $p > 0,05$ ). Sin embargo, el UC del cultivo de vicia mostró un incremento significativo ( $p < 0,05$ ) del 87,7% respecto al de las gramíneas las cuales tuvieron un UC promedio de 130 mm (**Tabla 4**). Scianca, (2010) trabajando con centeno en la región semiárida pampeana, encontró un valor menor, mientras que en la misma zona y el mismo cultivo, Fernández *et al.*, (2007) obtuvieron un valor mayor de UC. Bertolla *et al.*, (2012) y Baigorria & Cazorla (2010) en experiencias sobre en Argiudoles típicos de Marcos Juárez obtuvieron valores de UC en triticale entre 92 a 305 mm, en centeno de 41 a 249 mm y en *Vicia*

**Tabla 4.** Valores medios  $\pm$  error estándar de producción de materia seca (MS), uso consuntivo de agua (UC) eficiencia de uso agua (EUA) y costo hídrico (CH) de centeno, triticale y vicia villosa.

**Table 4.** Mean values  $\pm$  standard error of dry matter production, water use consumption, water use efficiency and hidric cost of rye, triticale and hairy vetch.

Antecesor	MS	UC	EUA	CH
	kg ha <sup>-1</sup>	mm	kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	mm
Centeno	8423,8 $\pm$ 501,1 A	129,0 $\pm$ 8,6 B	65,1 $\pm$ 1,9 A	19,0 $\pm$ 14,5 B
Triticale	8041,1 $\pm$ 454,3 A	132,7 $\pm$ 4,6 B	61,3 $\pm$ 3,6 A	24,4 $\pm$ 7,7 B
Vicia	9024,8 $\pm$ 268,6 A	245,2 $\pm$ 8,3 A	37,1 $\pm$ 2,0 B	50,0 $\pm$ 11,0 A

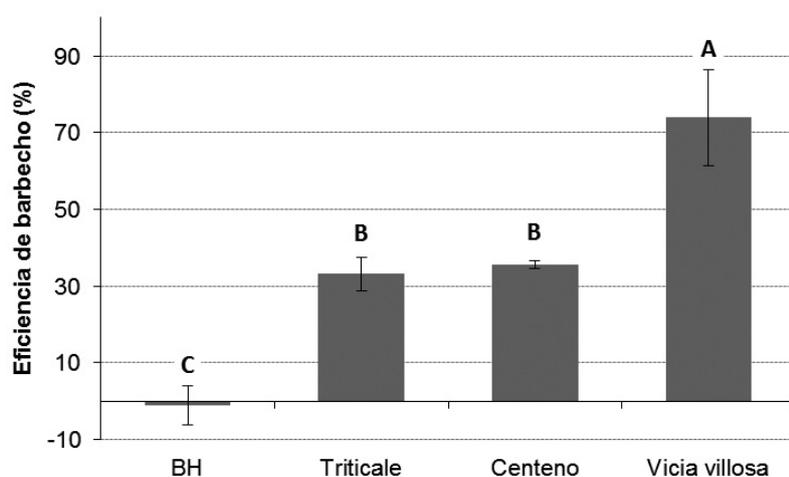
Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre especies.  
Different letters in column indicate significant differences ( $p < 0,05$ ) between cover crops.

*villosa* de 248 a 253 mm. De esta información se desprende la importancia que tiene el agua útil a la siembra de los CC y las precipitaciones que ocurren hasta el secado de los mismos, ya que constituye la oferta hídrica para cubrir el UC de los mismos, sin comprometer la disponibilidad de agua al cultivo siguiente.

La eficiencia en el uso de agua (EUA) promedio de las gramíneas fue de 63 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, un 71,1% mayor que el valor registrado en vicia (**Tabla 4**). En trabajos realizados en Marcos Juárez sobre Argiudoles típicos en CC sin fertilizar, se obtuvieron valores menores de EUA en triticale y centeno mientras que en Vicia se encontraron valores similares (Bertolla *et al.*, 2012; Baigorria & Cazorla 2010). El periodo de crecimiento en vicia (144 días) fue 31 y 17 días más prolongado que en centeno y triticale, respectivamente (**Tabla 3**). Esto puede asociarse con un incremento significativo ( $p < 0,05$ ) del 56,7% en el costo hídrico respecto del promedio de las gramíneas. Del total de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de las gramíneas, el 71,8% ocurrió veinticinco días antes del secado (Octubre). Esto permitió la recarga de los perfiles resultando en costos hídricos menores a 30 mm lo cual coincide con resultados de Bertolla *et al.*, (2012) quien reporta costos hídricos cercanos a los 40 mm en centeno, triticale y vicia.

Para las tres especies de CC, los métodos de secado no se diferenciaron ( $p > 0,05$ ) en la eficiencia de barbecho, mientras si se observaron dife-

rencias significativas entre antecesores ( $p < 0,05$ ) (**Figura 2**). La tendencia de los datos muestra que a medida que se alarga el periodo (**Tabla 3**), la eficiencia de barbecho disminuyó, aunque los diferentes periodos de barbecho correspondieron a distintos cultivos. De esta manera los valores de EB fueron del 1,14% para BH, 34,4% para gramíneas y el 73,9% para vicia. Lampurlanes *et al.*, (2002) señalan que la conservación del agua durante el barbecho resulta principalmente dependiente del tipo de suelo, sistema de labranza, probabilidad de precipitaciones y capacidad del suelo para almacenar agua, etc. Considerando que el peso relativo de cada factor varía entre sitios, es frecuente observar resultados contrastantes entre experiencias, los cuales dan lugar a controversias sobre el valor del barbecho para la conservación del agua en regiones semiáridas. Estudios previos en la región semiárida pampeana mostraron que las eficiencias de barbecho variaron de acuerdo con el nivel de cobertura del suelo entre -17 a 41%, con mayores valores en suelos con alto nivel de cobertura de residuos (Fernández *et al.*, 2008). La baja eficiencia en la conservación de la humedad ha sido demostrada también por Miranda *et al.*, (2012), este autor atribuyó la mejora en EB con cultivos de cobertura a una mayor infiltración y la capa límite generada por la altura y biomasa de las coberturas. Esto marca el rol que juegan las coberturas en la eficiencia de uso de agua global del sistema de producción, evitando pérdidas de agua en ex-



**Figura 2.** Eficiencia de barbecho (EB) de barbecho con glifosato (BH), triticale, centeno y vicia villosa. Líneas verticales indican el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos.

**Figure 2.** Fallow efficiency (EB) in fallow with glyphosate (BH), rye, triticale and hairy vetch.

Vertical lines represent standard errors.

Different letters indicate significant differences ( $p < 0,05$ ) between treatments.

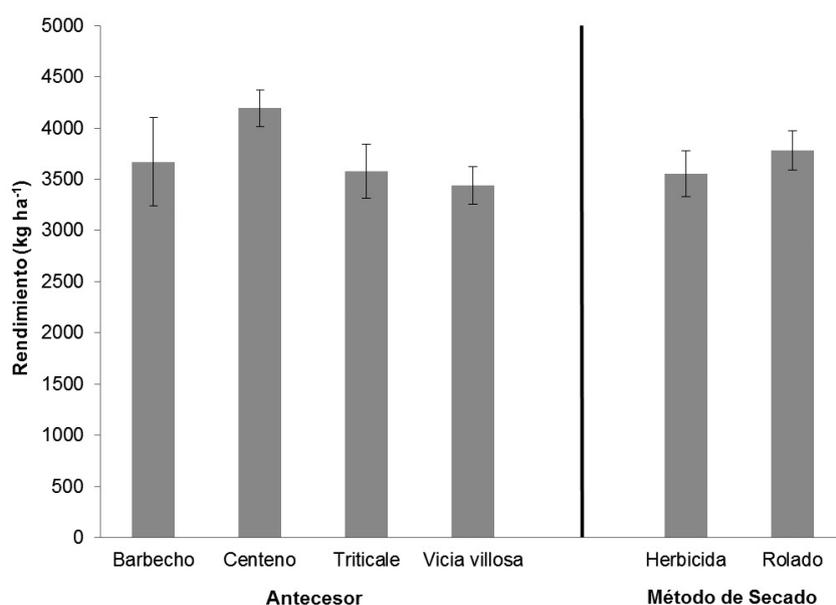
ceso y disminuyendo el riesgo por erosión tanto hídrica como eólica.

Al analizar el rendimiento del cultivo de soja, no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) por utilizar diferentes especies como antecesores (**Figura 3**). Tampoco se observaron diferencias entre los CC y los tratamientos BH y BHM. Si se considera que el período crítico para la determinación del rendimiento del cultivo de soja (final de la floración y llenado de granos) ocurrió a partir de febrero, resulta interesante ver como en los CC, una mejora en los contenidos de agua útil en el suelo a la implantación de soja no se tradujo en una mejora en el rendimiento respecto del tratamiento BH. Según Peltzer (1999), diferencias de 52 mm de agua útil a la siembra de soja entre tratamientos con y sin barbecho se redujeron a 1 mm en plena fructificación (R4), generando rendimientos similares.

Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los métodos de secado (**Figura 3**). Davis (2010) encontró que el método de secado no afectó el rendimiento de la soja utilizando centeno como CC, sin embargo, en vicia fue un 25% menor en el tratamiento rolado que en el secado con herbicida. Estos resultados fueron atribuidos a que el rolado no fue eficiente en el secado de la vicia. En el presente experimento, si bien los valores de biomasa viva remanente ( $2813,6 \text{ kg ha}^{-1}$ ) fueron similares a los

reportados por dichos autores, no se registró una disminución en el rendimiento del cultivo de soja. Esta biomasa viva remanente no afectó la oferta hídrica a la siembra del cultivo estival por lo tanto no interfirió en el posterior desarrollo del mismo.

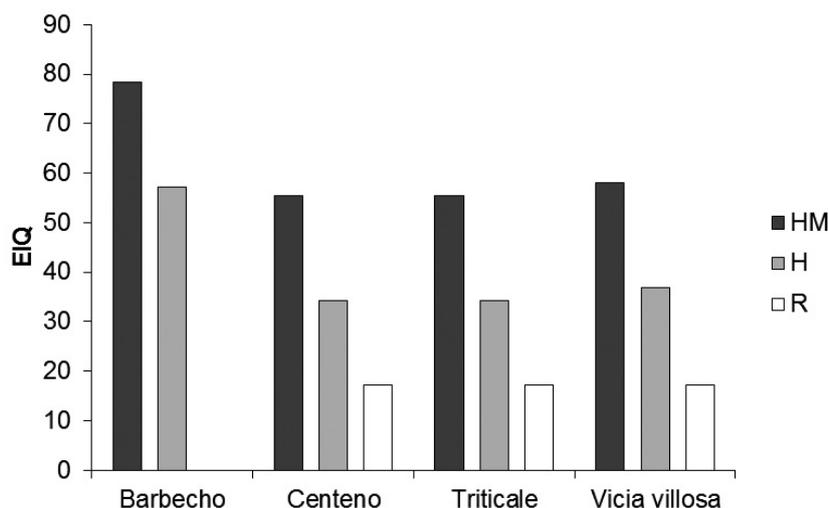
El control de malezas en los tratamientos de barbecho con aplicación de glifosato (BH) y con aplicación de herbicidas residuales (BHM) fue similar. Sin embargo, en ambos tratamientos fue necesaria una aplicación de glifosato en postemergencia de soja para controlar las malezas presente. Por el contrario, en aquellos tratamientos precedidos por CC secados en forma mecánica mediante el rolado de los mismos no fue necesaria una aplicación postemergente de glifosato. Estos resultados indican que la utilización de CC podría, en algunas situaciones, disminuir la cantidad de aplicaciones de herbicidas en los cultivos estivales sin afectar significativamente el rendimiento de los mismos. Mischler *et al.*, (2010), encontraron que los rendimientos de soja con aplicación de herbicidas postemergentes o con centeno como CC antecesor y sin aplicación de herbicidas eran equivalentes o levemente menores. Reddy (2003), señala que el centeno utilizado como antecesor de soja, es una alternativa para eliminar las aplicaciones de herbicidas de presembrado y preemergencia o realizarlas solo en postemergencia en caso de ser necesarias.



**Figura 3.** Efecto del antecesor y el método de secado en el rendimiento de soja. Líneas verticales indican el error estándar.

**Figure 3.** Effect of the ancestor and termination method on soybean yield.

Vertical lines represent standard errors.



**Figura 4.** Coeficiente de impacto ambiental (EIQ de campo) en barbecho, centeno, triticale y vicia villosa en HM: con herbicidas residuales, H: secado con herbicida y R: secado mediante el rolado.

**Figure 4.** Environmental impact quotient (Field EIQ) in fallow, rye, triticale and hairy vetch in HM: with residual herbicides, H: termination with herbicide and R: termination by rolling.

Al analizar el impacto ambiental de las distintas alternativas de manejo, los valores de EIQ de campo variaron entre 78,3 y 17,1 (**Figura 4**). En los tratamientos secados con rolo se obtuvieron los valores más bajos con disminuciones aproximadas del 51,1% respecto de los tratamientos secados con herbicidas mientras que fueron del 70% y 78,1% respecto de BH y BHM. En Argentina en el año 2015 los valores de EIQ de campo promedio para soja tolerante a glifosato y soja convencional fueron de 55,4 y 55,8 respectivamente (Brookes & Barfoot, 2017). Estos valores son similares al registrado en el tratamiento BH y pone de manifiesto la importancia de la utilización del rolo para el secado de los CC como una forma de reducir los valores de EIQ de campo. En los tratamientos CC (HM) la disminución del EIQ de campo fue aproximadamente del 1,7% y del 28,1% respecto de BH y BHM, no obstante el secado con herbicida de los CC más la utilización de S-Metolaclo-ro como herbicida residual produce un incremento mayor al 220% del EIQ de campo respecto de los tratamientos rolados.

Stewart *et al.*, (2011) utilizando el EIQ, clasifican el nivel de riesgo ambiental como muy bajo, bajo y medio a los valores de <5, <20, y <45 respectivamente. Por lo tanto, en el experimento, los tratamientos rolados mantuvieron valores de EIQ de campo bajos (<20), en los tratamientos CC (H) los valores fueron medios (<45) mientras que en los CC (HM), BH y BHM los valores fueron superiores a 45. Probablemente el potencial de los CC para reducir el número y las dosis de herbicidas este dado por la producción de ma-

teria seca y la utilización de especies susceptibles al rolado como alternativa para el secado de los mismos. La utilización de CC y el rolado de los mismos, es una estrategia importante para elaborar planes de control de malezas, minimizando de esta manera el impacto ambiental sin afectar el rendimiento del cultivo de soja.

## CONCLUSIONES

La inclusión de CC invernales optimiza la captación de precipitaciones primaverales, de esta manera mejora la oferta hídrica de los primeros 60 cm de suelo para el cultivo de soja.

El secado del CC mediante el rolo es un método eficaz para interrumpir el ciclo de los cultivos de centeno, triticale y vicia.

La utilización de CC y el rolado de los mismos, permiten reducir el número de aplicaciones de herbicidas y el por lo tanto el impacto sobre el medio ambiente, sin afectar el rendimiento del cultivo de soja.

En síntesis, la utilización de CC y el rolado de los mismos, permitirían un uso más sustentable de los recursos naturales y serían una opción promisoría en áreas con restricciones en la aplicación de herbicidas (agricultura orgánica y zonas periurbanas).

Sin embargo, la relevancia de estas prácticas debería sustentarse con trabajos de investigación adicionales que contemplen experimentos de largo plazo con diferentes condiciones climáticas y edáficas.

## AGRADECIMIENTOS

A D. Villarruel, A. Nievas, J. Pereyra y L. Pereyra (INTA Marcos Juárez), por su constante apoyo en el trabajo de campo. A E. Arce y A. Andreucci (INTA Marcos Juárez) por el suministro de datos climáticos. Al Ingeniero Agrónomo P. Vallone (INTA Marcos Juárez) quien financió la adquisición del rolo. A M. B. Formica (INTA Marcos Juárez) por la ayuda que siempre nos brindada en las traducciones. A la empresa JLS por la ayuda brindada para el diseño del implemento. Al personal del área de mejoramiento genético de trigo y de soja (INTA Marcos Juárez), quienes se brindaron con trabajo de campo e información para el desarrollo de estos ensayos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andreucci A; MB Conde; P Bollatti; R Díaz; B Masiero & E Arce. 2016. Análisis del régimen de precipitaciones y nivel freático en la EEA INTA Marcos Juárez. Período 1948-2015. Actualización publicación técnica N° 1 1980. Las lluvias en Marcos Juárez (Prov. de Córdoba) Régimen pluviométrico-Período 1948-1977. Ediciones Inta. Marcos Juárez, Córdoba, Argentina. Informe digital, PDF. (<https://inta.gob.ar/documentos/analisis-del-regimen-de-precipitaciones-y-nivel-freatico-en-la-eea-inta-marcos-juarez-periodo-1948-2015>).
- AAPRESID. 2012. Argentina tiene casi el 80% de su agricultura en SD. Junio 17, 2012. <http://www.diazdecampo.com/?p=18649>. (Fecha verificación: 06/07/2015).
- Álvarez C; M Barraco; M Díaz-Zorita; C Scianca & 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.
- Álvarez C, C Scianca, M Barraco & M Díaz-Zorita. 2006. Impacto de cereales de cobertura sobre propiedades edáficas y producción de soja. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de suelos de la región Andina. Salta -Jujuy. Pág 424.
- Álvarez C & C Scianca. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la región pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. INTA EEA General Villegas. Día de campo. Jornada Profesional Agrícola. CD
- Argenbio. 2017. Cultivos aprobados y adopción. Disponible en: <http://www.argenbio.org/index.php?action=cultivos&opt=5> (Fecha verificación: 25/10/2018).
- Ashford DL & DW Reeves. 2003. Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crops. *Am. J. Altern. Agric.* 18:37-45.
- Baigorria T & C Cazorla. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACS. Rosario 2010.
- Baigorria T; DT Gomez; CR Cazorla; AV Lardone; M Bojanich; B Aimetta & A Canale. 2011. Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz. Informe de actualización técnica de maíz. EEA Marcos Juárez. no. 19 (jun. 2011).
- Bertolla AM; T Baigorria; DT Gómez; CR Cazorla; M Cagliero; A Lardone; M Bojanich & B Aimetta. 2012. Efecto de la fertilización sobre la eficiencia del uso del agua de especies invernales utilizadas como cultivos de cobertura. En: C Álvarez; A Quiroga; S Diego & M Bodrero (Eds). Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción. 1ª Ed. Pp. 138 - 147. La Pampa, Ediciones INTA.
- Brookes G & P Barfoot. 2017. Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996-2015: Impacts on pesticide use and carbon emissions. *GM Crops & Food*, 8:117-147.
- Capurro J; MJ Dickie; D Ninfi; A Zazzarini; E Tosi & MC Gonzalez. 2012. Gramíneas y leguminosas como cultivos de cobertura para soja. EEA INTA Oliveros. Para mejorar la producción, no. 47 (julio 2012).
- Carfagno PF; MJ Eiza; A Quiroga; F Babinec; C Chagas; & R Michelena. 2015. Agua disponible en monocultivos de soja con cultivos de cobertura y barbechos reducidos en la región semiárida y subhúmeda pampeana. *Cienc. suelo*. 31: 67-81.
- Clark AJ; JJ Meisinger; AM Decker & FR Mulford. 2007. Effects of grass-selective herbicide in a vetch-rye cover crop system on corn grain yield and soil moisture. *Agron. J.* 99: 43-48.
- Creamer NG; MA Bennett; BR Stinner; J Cardina & EE Regnier. 1996. Mechanisms of weed suppression in cover crop-based production systems. *Hortscience* 31:410-413.
- Creamer NG & SM Dabney. 2002. Killing cover crops mechanically: review of recent literature and assessment of new research results. *Am. J. Altern. Agric.* 17:32-40.
- Curran WS; MR Ryan & SB Mirsky. 2010. Cover crop rollers for Northeastern grain production. *Proc. USDA-ARS*. <http://extension.psu.edu/pests/weeds/cover-crop-rollers-for-northeastern-grain-production> (Fecha verificación: 06/07/2015).
- Damrosch B. 1998. The garden primer. Workman Publishing: New York. 673 p.
- Davis A. 2010. Cover-Crop Roller-Crimper Contributes to Weed Management in No-Till Soybean. *Weed Sci.* 58:300-309.

- Fehr WR; CF Caviness; DT Burmood & JS Pennington. 1971. Stage of Development Descriptions for Soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.*, 11: 929-931.
- Fernández R; N Peinemann; E Noellemeyer & 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
- Fernández R; A Quiroga; F Arenas; C Antonini & 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. Cap 5.
- Fernández R; A Quiroga; E Noellemeyer; D Funaro; J Montoya; B Hitzmann & 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. *Agric. Water Manag.* 95: 1028-1040.
- Fernández R; A Quiroga & E Noellemeyer. 2012. Cultivos de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana?. *Cienc. suelo.* 30(2):137-150.
- Folorunso OA; DE Rolston; T Prichard & DT Louie. 1992. Cover crop lower soil surface strength, may improve soil permeability. *California Agriculture*, 46. (6): 26-27.
- INTA. Secretaría de Agricultura y Ganadería de la Nación. 1978. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-17. Marcos Juárez.
- Kovach J; C Petzoldt; J Degni & J Tette. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. *N.Y. Food Life Sci. Bull.* 139:139-146.
- Lampurlanes J; P Angás & C Cantero-Martinez. 2002. Tillage effects on water storage fallow and on barley root growth and yield in two contrasting soil of the semi-arid Segarra region Sapin. *Soil Tillage Res.* 65: 207-220.
- Lopez M & J Arrue. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Tillage Res.* 44: 35-54.
- Mathews, O & T Army. 1960. Moisture storage on fallow wheat land in the great plains. *Soil Sci. Am. Proc.* 24: 414-418.
- Miranda W; C Scianca; M Barraco; C Álvarez & A Lardone. 2012. Cultivos de cobertura: dinámica del agua luego de dos momentos de secado. XIX Congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata.
- Mirsky SB; WS Curran; DA Mortensen; MR Ryan & DL Shumway. 2009. Control of cereal rye with a roller/crimper as influenced by cover crop phenology. *Agron J.* 101:1589-1596.
- Mischler RA; WS Curran; SW Duiker & JA Hyde. 2010. Use of a Rolled-rye Cover Crop for Weed Suppression in No-Till Soybeans. *Weed Sci.* 24:253-261.
- Morse RD. 1993. Components of sustainable production systems for vegetables conserving soil moisture. *Hort Technology* 3:211-214.
- Peltzer HF. 1999. Barbecho químico y siembra directa de soja. Resumen de Trabajos y Conferencias, Mercosoja 9. Rosario, Argentina del 21 al 25 de junio.
- Rainero HP. 2008. Problemática del manejo de malezas en sistemas productivos actuales. Estación Experimental Agropecuaria Manfredi. Boletín de Divulgación Técnica N° 3. Abril 2008.
- Reddy KN. 2003. Impact of Rye Cover Crop and Herbicides on Weeds, Yield, and Net Return in Narrow-Row Transgenic and Conventional Soybean (*Glycine max*). *Weed Technol.* 17:28-35.
- Restovich SB; AE Andriulo & SI Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crop Res.* 128:62-70.
- Scianca C; C Álvarez ; M Barraco ; A Quiroga & P Zalba. 2006. Cultivos de cobertura. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. XX Congreso AACs, Salta.
- Scianca C. 2010. Cultivo de cobertura en Molisoles de la región pampeana: Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 80 Pág.
- Stewart CL; RE Nurse; LL Van Eerd; RJ Vyn & PH Sikkema. 2011. Weed control, environmental impact, and economics of weed management strategies in glyphosate-resistant soybean. *Weed Technol.* 25:535-541.
- Teasdale JR & CL Mohler. 1993. Light transmittance, soil-temperature, and soil-moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.* 85:673-680.
- Teasdale JR. 1996. Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *J. Prod. Agric.* 9:475-479.
- Teasdale JR & CL Mohler. 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sci.* 48:385-392.
- Unger P & M Vigil. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. *J. Soil Water Cons.* 53: 200-207.
- Vansolini JI; J Galantini & R Agamenoni. 2012. Cultivos de cobertura de *Vicia villosa* Roth. en el valle bonaerense del Río Colorado. En: C Álvarez; A Quiroga; S Diego & M Bodrero (Eds). Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción. 1a Ed. Pp. 21 - 28. La Pampa, Ediciones INTA.
- Zadoks JC; TT Chang & CF Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals *Weed Res.*, 14: 415-421.