

## AGUA DISPONIBLE EN MONOCULTIVO DE SOJA CON CULTIVOS DE COBERTURA Y BARBECHOS REDUCIDOS EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA Y SUBHÚMEDA PAMPEANA

PATRICIA FABIANA CARFAGNO<sup>1\*</sup>; MAXIMILIANO JOAQUÍN EIZA<sup>1</sup>; ALBERTO QUIROGA<sup>2</sup>; FRANCISCO BABINEC<sup>2</sup>; CELIO CHAGAS<sup>3</sup> & ROBERTO MICHELENA<sup>1</sup>

Recibido: 30-07-12

Recibido con revisiones: 31-01-13

Aceptado: 01-02-13

### RESUMEN

En ambientes subhúmedos y semiáridos el principal factor de pérdida de agua desde la superficie del suelo es la evaporación. Este proceso puede ser reducido utilizando cultivos de cobertura (CC) que al aumentar la transpiración, reasignan el agua potencialmente evaporada al flujo transpiratorio de las plantas. El objetivo de este trabajo fue estudiar la dinámica del agua bajo los sistemas de cultivo (SC) de soja continua con CC y barbechos de duración reducida. Se estudiaron cuatro CC y tres momentos de secado en un Hapludol y en un Haplustol, evaluando la lámina de agua disponible (LAD) durante dos años. Para el Hapludol, en general, la LAD a la siembra de soja fue mayor o igual en los SC con CC que bajo monocultivo de soja. En el Haplustol sólo en el SC con CC centeno secado tardío la LAD fue mayor al sistema de soja continua. Se concluye que la dinámica hídrica bajo monocultivo de soja es afectada por la inclusión de CC, siendo el centeno la especie mejor adaptada a estos ambientes.

**Palabras clave.** Lámina de agua disponible; eficiencia de barbecho, eficiencia en el uso del agua, suelos Hapludoles y Haplustoles.

### WATER AVAILABILITY IN SOYBEAN MONOCULTURE, WITH COVER CROPS AND REDUCED FALLOW IN THE SUBHUMID AND SEMIARID PAMPEAN REGION

### ABSTRACT

In subhumid and semiarid environments, the main factor affecting water loss from the soil surface is evaporation. This process can be reduced by using cover crops (CC) that increase transpiration and potentially reallocate evaporated water to plant transpiration. The aim of this work was to study the water dynamics under cropping systems (SC) with continuous soybean in two soil great groups, four CC and three fallow lengths. We studied four CC and three drying times under two soils, a Haplustol and a Hapludol, evaluating the available water depth (LAD) for two years. For the Hapludol, in general, the LAD at soybean planting rotated with CC was greater than or equal to the SC under continuous soybean. In the Haplustol, the LAD at soybean planting was greater only in the SC with the late-dried CC rye when compared to the continuous soybeans SC. We conclude that the water dynamics under continuous soybean is affected by the inclusion of CC, where rye is the best species adapted to these environments.

**Key words.** Water use efficiency; fallow efficiency; soil water.

<sup>1</sup> Instituto de Suelos, CIRN INTA Castelar. De los Reseros y Las Cabañas s/n (1686) Hurlingham, Buenos Aires. Argentina;

<sup>2</sup> EEA Guillermo Covas. Anguil. La Pampa;

<sup>3</sup> FAUBA.

\* Autor de contacto: pcarfagno@cniia.inta.gov.ar. Teléfono: +54-11-46211448 int 157.

## INTRODUCCIÓN

En la Argentina el área cultivada de soja se incrementó de 7 a 19 millones de hectáreas, entre 1998 y 2011 (SIIA, 2012), con el consecuente desplazamiento de la frontera agrícola hacia la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. En dicha región las precipitaciones (PP) limitan la productividad (Díaz-Zorita *et al.*, 2002). El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) informó que se espera una disminución de la disponibilidad de agua en muchas regiones áridas y semiáridas debido al cambio climático.

El principal factor de pérdida de agua desde la superficie del suelo en zonas planas es la evaporación, estimándose que, en condiciones de clima semiárido, entre el 50 y 75% de la PP anual podría retornar a la atmósfera (Bennie & Hensley, 2000). La evaporación puede reducirse con coberturas vivas como cultivos de cobertura (CC), que al aumentar la transpiración, reasignan el agua potencialmente evaporada al flujo transpiratorio de las plantas (Lu *et al.*, 2000). En este sentido, Clark *et al.* (2007) monitorearon la humedad en maíz con centeno y vicia como CC, con dos secados (temprano y tardío). A la siembra del maíz, el barbecho tradicional sin CC (BT) presentó menor humedad que el suelo con CC y un barbecho corto. Stipesevic & Kladvik (2005) observaron que las rotaciones con CC fueron eficientes en conservar el agua superficial, debido a la reducción de la evaporación. Asimismo, Islam *et al.* (2006) concluyeron que el secado temprano no afecta la disponibilidad de agua para el cultivo de cosecha. Contrariamente, Nielsen & Vigil (2005) indicaron que la disponibilidad de agua en el suelo a la siembra de trigo fue menor con CC antecesores. Los autores concluyeron que el alto costo hídrico del SC que incluyó CC impactó sobre el rendimiento de trigo.

En ambientes subhúmedos y semiáridos es necesario elegir especies que se adapten a la dinámica hídrica (Tanaka *et al.*, 2002). La eficiencia con que un cultivo produce materia seca (MS) por unidad de agua consumida, se conoce como eficiencia en el uso del agua (EUA) (Dardanelli *et al.*, 2003). Una alternativa para aumentar la EUA en los meses del invierno, y con planteos productivos de cultivos estivales, es la inclusión de CC que aprovechan el agua que se perdería por evaporación (Gil *et al.*, 2010). La EUA varía entre especies dependiendo de la profundidad efectiva de raíces, las condiciones físicas del suelo, el nivel de cobertura y las condiciones climáticas (Quiroga *et al.*, 2010). Baigorria & Cazorla (2010) comprobaron que la misma especie en condiciones climáticas contrastantes presentó diferente EUA.

En la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana los suelos bajo la secuencia soja-soja pasan entre cinco a ocho meses sin cultivo bajo un período de barbecho invernal con el objetivo de almacenar y conservar agua para el próximo cultivo de verano. La eficiencia con que el agua de las PP queda almacenada en el perfil del suelo durante el barbecho (*i.e.* Eficiencia de Barbecho), depende de la capacidad de retención hídrica del suelo, de la profundidad de los perfiles, del sistema de labranza, de los niveles de residuos en superficie y de las PP ocurridas en dicho período (Zeljko-vich *et al.*, 1992; Lampurlanes *et al.*, 2002; Quiroga *et al.*, 2005; Moret *et al.*, 2006). En este sentido, Fernández *et al.* (2008) mostraron que en Haplustoles de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana, los barbechos con altos niveles de residuos fueron más eficientes en conservar el agua edáfica. Anteriormente, Baumhardt & Jones (2002) y Bono *et al.* (2006) informaron sobre el efecto positivo de los residuos de cobertura en la conservación del agua del suelo al reducir las pérdidas por evaporación. La duración del barbecho es otro factor que incide en el agua acumulada; en este sentido Quiroga *et al.* (2005) evaluaron el efecto de tres períodos de barbecho (corto: 10, medio: 40 y largo: 70 días) sobre el agua útil a la siembra de verdeos de invierno (barbecho estival) y a la siembra de girasol (barbecho invernal), en Hapludoles y Haplustoles. Los resultados señalaron que el barbecho estival de mayor duración presentó contenidos significativamente mayores de agua útil. Mientras que, el contenido de agua útil en los barbechos invernales de los Hapludoles no mostró diferencias significativas.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la dinámica del agua bajo SC de soja continua con CC secados en diferentes momentos generando barbechos de distinta duración.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en dos ensayos cuyos suelos poseen textura superficial franco arenosa. El sitio 1, Hapludol Entico, descrito *in situ* según Soil Taxonomy, está ubicado en 30 de Agosto, al oeste de Buenos Aires (36° 8' 50,9" S – 62° 21' 51,9" O; Región Subhúmeda Pampeana) con una PP promedio anual histórica de 931 mm, durante 2007 y 2008. El sitio 2, Haplustol Entico, descrito *in situ* según Soil Taxonomy, está ubicado en Dorila, al NE de La Pampa (35° 49' 28,8" S – 63° 43' 46" O Región Semiárida Pampeana) con una PP promedio anual histórica de 827 mm, durante 2007. En 2008 la humedad en el suelo no fue suficiente para sembrar los CC y, por lo cual, no se repitió la experiencia en el sitio 2.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de los sitios experimentales.  
Table 1. Soil physical and chemical properties at the experimental sites.

| Horizontes                          | Sitio 1 |       |       |        | Sitio 2 |       |       |        |
|-------------------------------------|---------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|--------|
|                                     | A       | AC    | C     | CK     | A       | AC    | C     | CK     |
| Espesor (cm)                        | 0-30    | 30-60 | 60-90 | 90-120 | 0-20    | 20-35 | 35-70 | 70-100 |
| Clase Textural                      | FA      | FA    | FA    | FA     | FA      | FA    | FA    | FA     |
|                                     | %       |       |       |        | %       |       |       |        |
| Arcilla <2                          | 15,7    | 10,3  | 12,3  | 13,5   | 11,3    | 10,9  | 9,6   | 7,3    |
| Limo fino 2-20 $\mu\text{m}$        | 10,9    | 10,9  | 6,8   | 7,5    | 17,5    | 9,3   | 11,9  | 9,1    |
| Limo total 2-50 $\mu\text{m}$       | 28,1    | 26,4  | 20,0  | 19,7   | 33,0    | 25,0  | 31,3  | 26,3   |
| Arena muy fina 50-74 $\mu\text{m}$  | 10,7    | 11,4  | 12,1  | 14,5   | 15,0    | 15,5  | 16,5  | 15,3   |
| Arena muy fina 74-100 $\mu\text{m}$ | 12,5    | 14,2  | 16,1  | 15,0   | 15,2    | 17,1  | 23,6  | 22,5   |
| Arena fina 100-250 $\mu\text{m}$    | 24,7    | 28,8  | 31,2  | 29,0   | 15,8    | 17,5  | 20,9  | 21,3   |
| Arena media 250-500 $\mu\text{m}$   | 8,5     | 9,5   | 8,0   | 7,8    | 4,1     | 3,4   | 3,5   | 4,2    |
| Arena gruesa 500-2000 $\mu\text{m}$ | 0,0     | 0,1   | 0,7   | 0,9    | 1,3     | 1,0   | 1,2   | 1,3    |
| Arena total 50-2000 $\mu\text{m}$   | 56,4    | 63,2  | 68,1  | 67,2   | 51,4    | 54,4  | 65,6  | 64,7   |
| pH 1:2,5 agua                       | 5,8     | 6,3   | 6,7   | 7,8    | 5,9     | 5,9   | 6,7   | 8,0    |
| MO (%)                              | 2,1     | 0,6   | 0,3   | 0,1    | 1,7     | 1,1   | 0,7   | 0,5    |
| Na intercambiable (PSI) (%)         | 3,2     | 2,9   | 3,1   | 8,9    | 6,6     | 4,1   | 3,3   | 7,8    |
| cc (0,33 bar) ( $\text{g g}^{-1}$ ) | 21,6    | 20,4  | 15,6  | 14,1   | 21,3    | 17,8  | 17,5  | 16,0   |
| pmp (15 bar) ( $\text{g g}^{-1}$ )  | 8,9     | 7,5   | 6,5   | 6,1    | 6,2     | 5,9   | 5,4   | 5      |

FA: franco arenoso; cc: capacidad de campo; pmp: punto de marchitez permanente.  
FA: Sandy loam; cc: field capacity; pmp: wilting point

Los ensayos poseen estructura factorial 4 x 3, con cuatro niveles de CC: 1) Centeno (*Secale cereale* L. var. Quehué), 2) Avena (*Avena sativa* L. var. Aurora), 3) Raigrás (*Lolium multiflorum* L. var. Estanzuela), bajo SD, después de la cosecha de la soja y 4) un barbecho tradicional (BT); y tres niveles de secado: 1) secado temprano (julio), 2) secado intermedio (agosto) y 3) secado tardío (septiembre), aplicando herbicida (Glifosato). Cada secado dio origen a barbechos de distinta duración. De esta manera, luego del secado temprano comenzó el barbecho largo (BL) de julio hasta la siembra de soja en octubre; luego del secado intermedio comenzó el barbecho medio (BM) de agosto a octubre y una vez realizado el secado tardío comenzó el barbecho corto (BC) de septiembre a octubre.

Las densidades de siembra fueron de 50, 55 y 25  $\text{kg ha}^{-1}$ , para centeno, avena y raigrás, respectivamente. El diseño fue en bloques divididos con tres repeticiones y franjas de 8 x 30 m para el factor CC y de 10 x 32 m para el factor secado. El factor secado no se aplicó de manera aleatoria, ya que los secados se realizaron con pulverizadora motora cruzando al factor CC. Esto hace que las pruebas sobre dicho efecto sean sesgadas, no así sobre la interacción CC x Secado (Stroup, 1989; Johnson et al., 1983). Para cada sitio se determinaron o estimaron los parámetros citados a continuación:

1) *Humedad edáfica*: se determinó con el método gravimétrico a la siembra, en cada secado y a la siembra de soja, en los intervalos de profundidad: 0-10, 10-20, 20-30, 30-60, 60-90, 90-120 y 120-150 cm (sitio 1), y 0-15, 15-30, 30-60, 60-90

y 90-120 cm (sitio 2). En cada espesor se tomaron 5 muestras individuales con barreno de 2 cm de diámetro.

2) *Lámina de agua disponible (LAD)*: constituye la lámina retenida entre la humedad actual y el punto de marchitez permanente (pmp) que fue determinado en laboratorio en ollas de presión. La LAD fue calculada por medio de la ecuación [1] en cada intervalo de muestreo:

$$LADs = \sum_{i=1}^n pi * \left[ (\Theta g - \Theta pmp) * \frac{dap}{dagua} \right] i \quad [1]$$

LAD: lámina disponible (mm)  $\Theta g$ : humedad gravimétrica (g);  $dap$ : densidad aparente del suelo ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $dagua$ : densidad del agua ( $\text{cm}^3$ ); s: suelo; p: espesor (mm); i: capa; n: número de capas.

3) *Eficiencia de Barbecho (EB)*: fue calculada con la ecuación [2] de Mathews y Army (1960):

$$EB = \frac{LADf - LADi}{PPb} * 100 \quad [2]$$

EB: eficiencia de barbecho (%); LADf: Lámina de agua disponible al final del barbecho (mm); LADi: Lámina de agua disponible al inicio del barbecho (mm); PPb: Precipitaciones ocurridas durante el período de barbecho (mm).

4) *Evapotranspiración (ET)*: El agua consumida (ET) se calculó a partir de la diferencia en el almacenaje de agua ( $LADi - LADf$ ): en el perfil de suelo y de las PP, aplicando la ecuación [3]. Este método asume escurrimiento cero (López & Arrúe, 1997), como así también ausencia de percolación profunda.

$$ET = (LADi - LADf) + PP \quad [3]$$

*ET*: evapotranspiración (mm); *LADf*: lámina de agua disponible al finalizar el período de crecimiento de los CC (mm); *LADi*: lámina de agua disponible a la siembra de los CC (mm); *PP*: precipitaciones (mm).

5) *Eficiencia en el uso del agua (EUA)*: las EUA se obtuvieron aplicando la ecuación [4] (Soriano, 1983). La materia seca (MS) se determinó en los distintos momentos de secado de los CC, realizando 3 cortes del material vegetal de 0,25 m<sup>2</sup> en cada unidad experimental. Dichos cortes se secaron en estufa a 60 °C, hasta peso constante, hallando los kg ha<sup>-1</sup> de MS del CC producidos.

$$EUA = \frac{MS}{ET} \quad [4]$$

*EUA*: eficiencia en el uso del agua (kg ha<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>); *MS*: materia seca (kg ha<sup>-1</sup>).

Las PP se contabilizaron con pluviometría local en ambos sitios. Las PP históricas y la ETP se extrajeron de la estación

meteorológica automática de la Escuela Agropecuaria de 30 de Agosto para sitio 1 y de la estación meteorológica automática *in situ* para el sitio 2.

Las variables fueron evaluadas estadísticamente con Modelos Mixtos, con efectos fijos de CC y secado, y aleatorios de repetición, usando PROC MIXED (SAS Institute, 1997).

## RESULTADOS

### Análisis de variables meteorológicas

En la Figura 1 se muestran las PP diarias en 2007 y 2008 y las acumuladas previo a la siembra de CC; en el período invernal: CC + barbecho; y posterior a la siembra de soja y la evapotranspiración potencial (ETP, mm) diaria, para el Sitio 1. En los años evaluados la PP anual fue menor al promedio histórico (931 mm) y se manifestó una marcada variación interanual e interestacional. La distribución de las PP se concentró en el período septiembre-abril, y coincidió con la descripción de Díaz Zorita *et al.* (2002) para esta región.

En la Figura 2 se muestran las PP diarias ocurridas en 2007 y acumuladas previo a la siembra de CC; en el período invernal: CC + barbecho; y posterior a la siembra de soja, y la ETP diaria (mm), para el Sitio 2. Las PP ocurridas en este año fueron de 619 mm, y estuvieron por debajo del promedio histórico de 827,1 mm anuales.

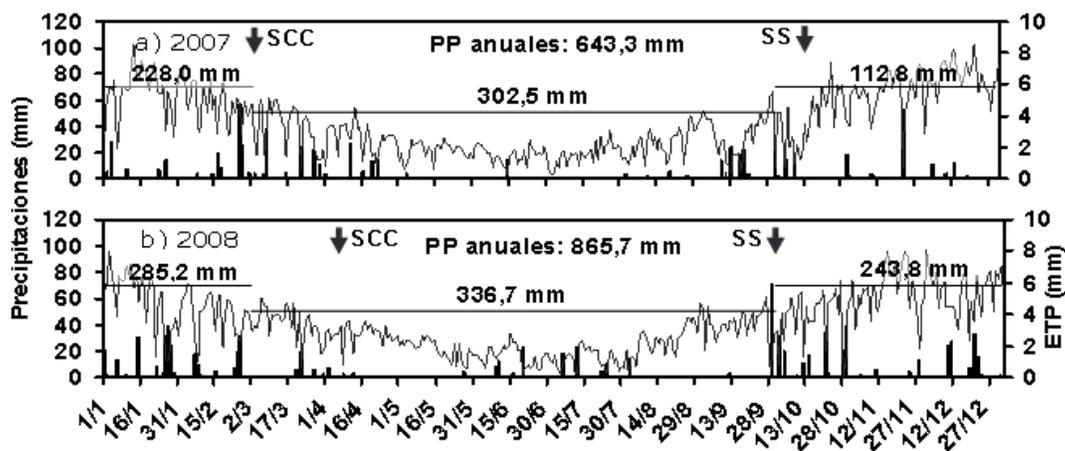


Figura 1. Precipitaciones diarias para 2007 (a) y 2008 (b), en el sitio 1. La curva continua representa la ETP. Las líneas horizontales muestran la PP acumulada por períodos. La flecha SCC indica la siembra de los CC. La flecha SS: indica la siembra de soja.

Figure 1. Daily rainfall during 2007 (a) and 2008 (b), at site 1. The continuous curve represents the ETP. Horizontal lines show the cumulative periods PP. The SCC arrow indicate the CC seeding moment. The SS arrow indicates the soybean seeding moment.

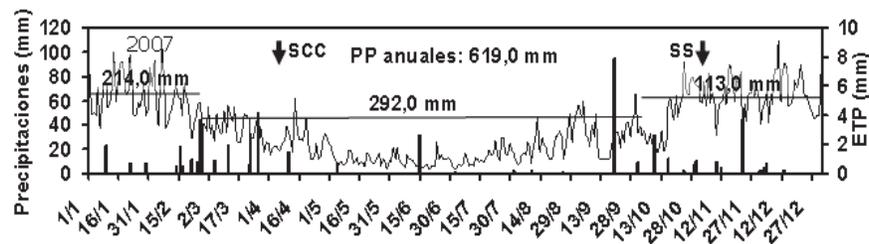


Figura 2. Precipitaciones diarias en el sitio 2. La curva continua representa la ETP. Las líneas horizontales muestran la PP acumulada por períodos. La flecha SCC indica la siembra de los CC, La flecha SS: indica la siembra de soja.

Figure 2. Daily rainfall during 2007 (a) and 2008 (b), at site 2. The continuous curve represents the ETP. Horizontal lines show the cumulative periods PP. The SCC arrow indicates CC seeding moment. The SS arrow indicates soybean seeding moment.

### Dinámica del agua del suelo

*LAD desde la siembra de los CC hasta la siembra de soja en el Sitio 1, año 2007*

En la Figura 3 (a, b, c, d, e y f) se muestra la LAD desde la siembra de los CC, en los tres momentos de secado temprano, intermedio y tardío, hasta la siembra de la soja en el espesor del perfil a 30 y 150 cm de profundidad. Al momento del secado temprano, la LAD bajo el BT fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) a la del centeno a 30 cm (Fig. 3a) y a la de la avena hasta 150 cm (Fig. 3b). Los perfiles de suelo bajo BL (82 días) con CC antecesores se recargaron con las lluvias de primavera mostrando a la siembra de soja 12 mm más de LAD promedio respecto del BT (Fig. 3b), no obstante no fueron diferencias significativas.

Al momento del secado intermedio, después de 133 días de crecimiento, el consumo de los CC promedio fue de 200 mm (Fig. 6c) por lo cual presentaron una LAD menor ( $P < 0,05$ ) al BT en los primeros 30 cm (Fig. 3c). Con las lluvias de primavera los suelos bajo BM (63 días) con residuos de CC en superficie aumentaron la humedad (Figs. 3 c y d). A la siembra de soja los SC con CC y BM con residuos de centeno, avena y raigrás presentaron mayor LAD a 30 cm ( $P < 0,05$ ) que el monocultivo de soja con BT de 216 días (Fig. 3c), encontrándose en el SC soja-centeno-BM-soja la mayor diferencia (11,7 mm de agua disponible) con el monocultivo de soja. En 150 cm de profundidad se puede observar que las LAD bajo los SC estudiados, no presentaron diferencias significativas (Fig. 3d).

Los CC que crecieron hasta septiembre (secado tardío) consumieron agua por 196 días, mostrando una marcada disminución del perfil con respecto a la LAD del BT en superficie, especialmente hasta el comienzo de las lluvias de

primavera, momento en el cual comenzó la recarga. Aunque los CC estaban en pleno desarrollo, a mediados de septiembre, el agua disponible del suelo bajo CC igualó al agua disponible bajo el BT en el monocultivo de soja (Fig. 3e). A la siembra de soja los SC: soja -CC-BM (20 días)-soja presentaron LAD significativamente mayor (11 mm promedio) ( $P < 0,05$ ) que el monocultivo de soja a 30 cm (Fig. 3e), mientras que no se registraron diferencias entre tratamientos a 150 cm (Fig. 3f)

*LAD desde la siembra de los CC hasta la siembra de soja en el Sitio 1, año 2008*

La Figura 4 (a, b, c, d, e y f) muestra la LAD desde la siembra de los CC, en los tres momentos de secado temprano, intermedio y tardío, hasta la siembra de la soja a 30 y 150 cm de profundidad. En el secado temprano, a la siembra de soja, el SC soja-centeno-BL (82 días)-soja presentó LAD mayor ( $P < 0,05$ ) con una diferencia de 9,7 mm, con respecto al monocultivo de soja con un BT (183 días) a 30 cm de profundidad (Fig. 4a).

A fines de agosto, al realizar el secado intermedio, la LAD del BT fue mayor ( $P < 0,05$ ) a la de avena y centeno a 30 y 150 cm de profundidad (Fig. 4 c y d). Luego los BM con residuos de CC en superficie se recargaron con las lluvias de primavera. El centeno produjo 7880 kg MS/ha, y fue significativamente mayor a la MS de avena y raigrás (4147 y 1920 kg MS/ha) respectivamente, por lo cual fue más eficiente en la conservación del agua del suelo y a la siembra de soja el SC soja-centeno-BM-soja presentó una LAD significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) al monocultivo de soja (Fig. 4 c y d).

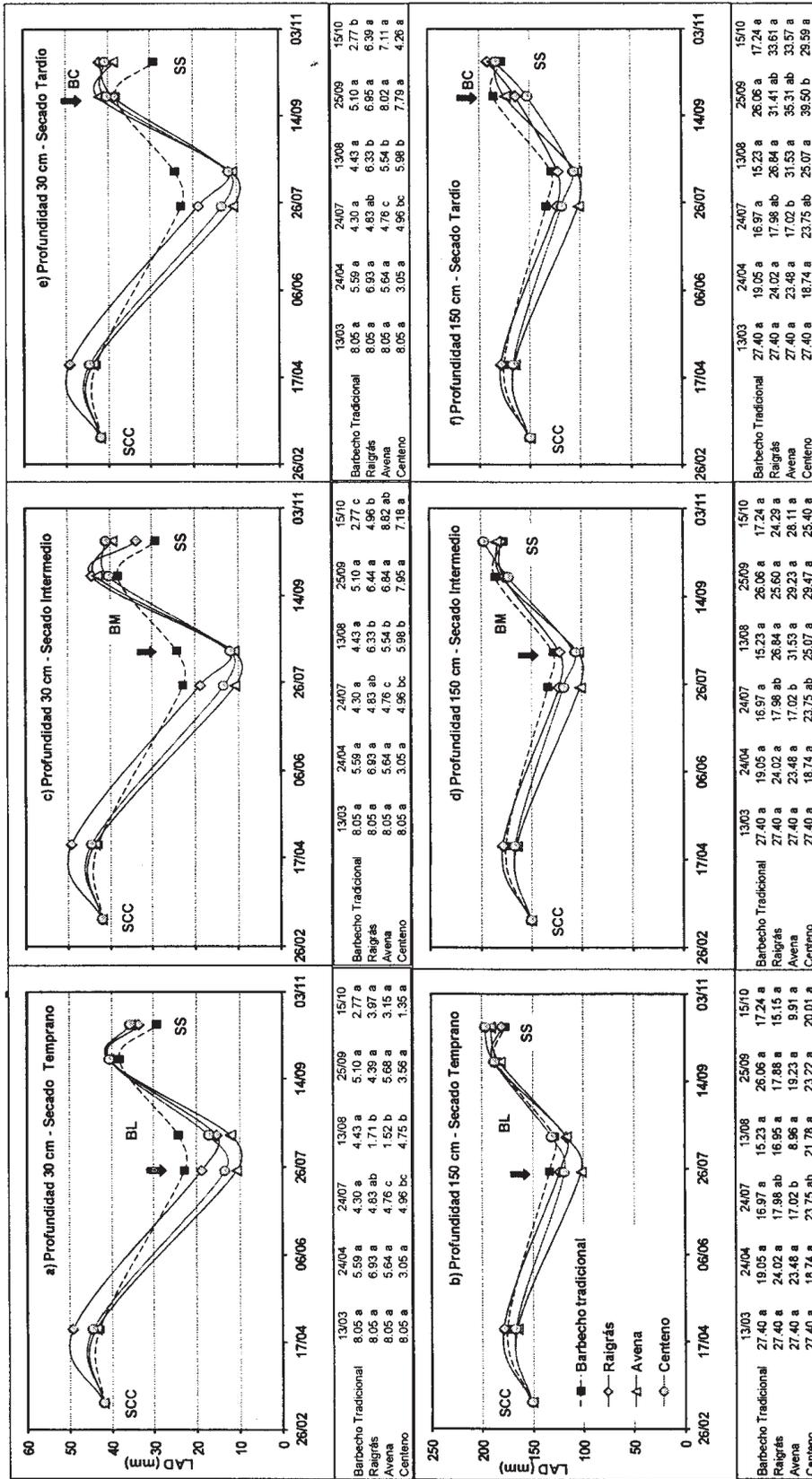


Figura 3. Lámina de agua disponible (LAD) correspondiente al sitio 1 (2007), acumulada bajo CC a 30 cm (a, c y e) y a 150 cm (b, d y f) de profundidad, para los secados de temprano (a y b), intermedio (c y d), y tardío (e y f); y en el barbecho largo (BL) medio (BM) y corto (BC), en el período siembra CC (SCC) – siembra de soja (SS). Las flechas indican el momento de secado. Las tablas que acompañan a cada figura contienen el error estándar de la media y las diferencias estadísticas (P= 0,05).

Figure 3. Soil available water content (LAD) in site 1(2007) to a 30 (a, c and e) and 150 cm- (b, d and f) depth, dried early (and b), intermediate (c and d) and late (e and f); from CC seeding to soybean seeding. The arrows indicate the killingmoments.

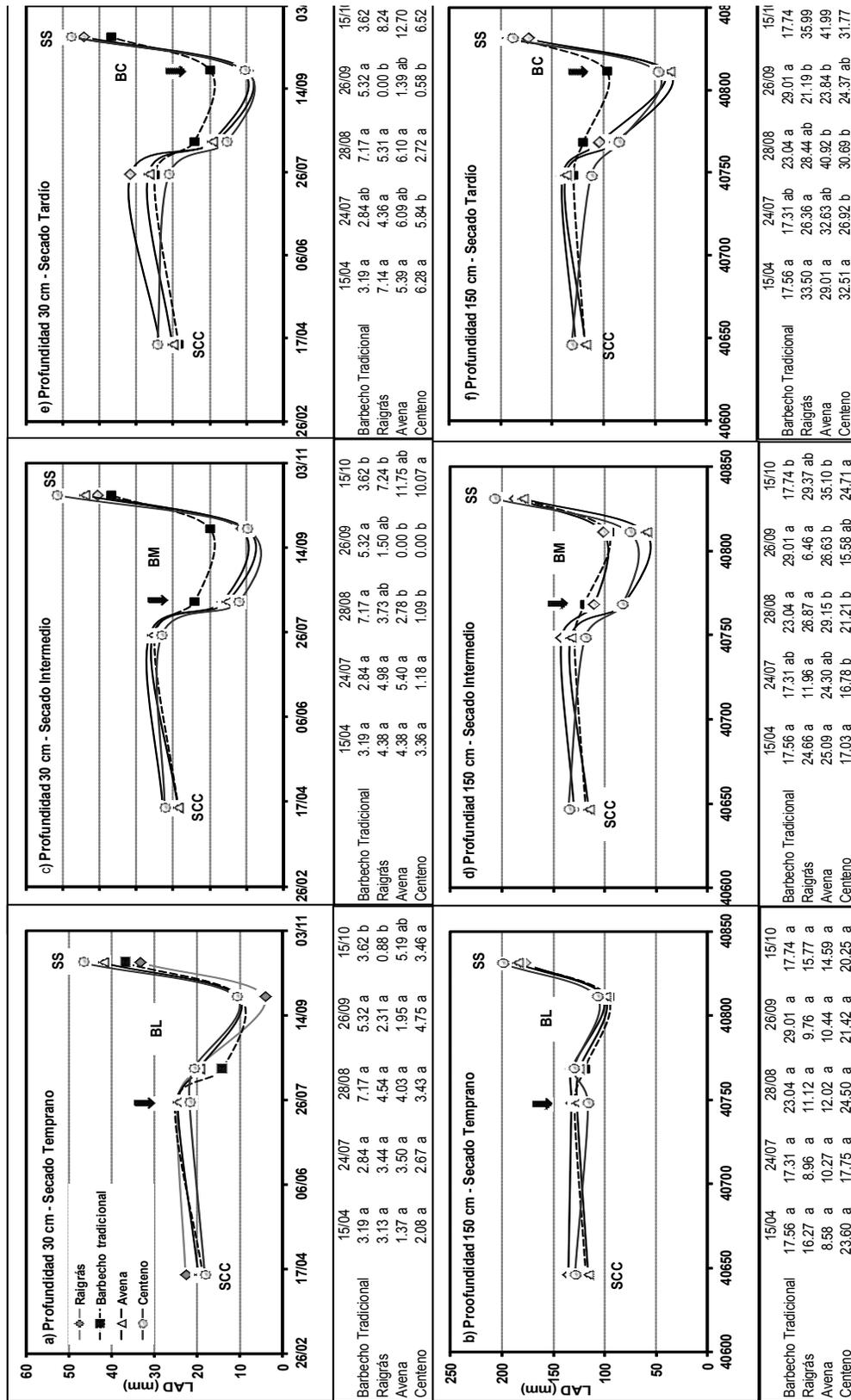


Figura 4. Lámina de agua disponible (LAD) correspondiente al sitio 1 (2008) acumulada bajo CC a 30 cm (a, c y e) y a 150 cm (b, d y f) de profundidad, para los secados de temprano (a y b), intermedio (c y d), y tardío (e y f); y en el barbecho largo (BL), medio (BM) y corto (BC), en el período siembra CC (SCC) – siembra de soja (SS). Las flechas indican el momento de secado. Las tablas que acompañan a cada figura contienen el error estándar de la media y las diferencias estadísticas (P= 0,05).

Figure 4. Soil available water content (LAD) in site 1(2007), to a 30 (a, c and e) and 150 cm (b, d and f) depth, dried early (a and b), intermediate (c and d) and late (e and f); from CC seeding tosoybean seeding. The arrows indicate the CC killing moment.

Al momento del secado tardío las LAD a 30 cm bajo CC luego de 165 días de consumo se encontraban por debajo de la LAD en pmp (12,5 mm) (Fig. 4e). Los 128 mm de PP recargaron los perfiles, lo que evidenció una mayor eficiencia en el almacenaje de agua en superficie de los SC con CC y BC (20 días), mostrando una LAD mayor ( $P < 0,05$ ) al monocultivo de soja con BT de 183 días (Fig. 4e). En el análisis de 150 cm de profundidad no se registraron diferencias significativas entre SC.

*LAD desde la siembra de los CC hasta la siembra de soja en el Sitio 2, año 2007*

En la Figura 5 (a, b, c, d e y f) se muestra la LAD desde la siembra de los CC, en los tres momentos de secado temprano, intermedio y tardío; hasta la siembra de la soja a 30 y 120 cm de profundidad. En los primeros 30 cm de profundidad (Fig. 5a) al realizarse el secado temprano el centeno se encontraba más desarrollado (2451 kg MS/ha, datos no mostrados), por lo cual, presentó una LAD menor ( $P < 0,05$ ) que la observada para raigrás, avena (1143 y 633 kg MS/ha, datos no mostrados) y BT. Durante el período de lluvias (septiembre) se observó que el suelo bajo residuos de centeno fue más eficiente en la captación del agua de lluvia ya que presentó LAD significativamente mayor al BT (Fig. 5a). Finalmente el volumen de MS desarrollada no fue suficiente para compensar el consumo generado por la elevada demanda evaporativa. Como resultado, a la siembra de soja el costo hídrico del centeno fue de 27 mm (Fig. 5b) en 120 cm de profundidad.

Al momento del secado intermedio la LAD del BT fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) a la de los CC (Fig. 5c y d). Las lluvias de primavera recargaron los perfiles y a la siembra de soja, el BM con residuos de centeno (5619 kg MS/ha, datos no mostrados), presentó una LAD similar a la del BT a 30 cm (Fig. 5c). Por el contrario, los BM con residuos de raigrás y avena que produjeron bajos niveles de cobertura (1159 y 1939 kg MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente, datos no mostrados), presentaron LAD significativamente menor ( $P < 0,05$ ) al BT (Fig. 5c).

Cuando los CC se dejaron crecer hasta septiembre, el cultivo que presentó mayor consumo y generó MS significativamente mayor fue el centeno (7971 kg MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente, datos no mostrados) respecto de la producción de avena y raigrás (4021 y 1990 MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente, datos no mostrados). Luego del secado tardío, el suelo pasó 20 días en BC con residuos de CC en superfi-

cie disminuyendo la pérdida de agua por evaporación. A la siembra de soja, la LAD bajo BC con residuos de centeno fue significativamente mayor (15 mm) con respecto al monocultivo de soja y a la avena y raigrás a 30 cm de profundidad. Asimismo no se registraron diferencias estadísticas entre las LAD bajo BT (207 días) y las LAD del suelo bajo residuos de CC avena y centeno a 120 cm de profundidad (Fig. 5f).

### Consumo y eficiencia en el uso de agua del CC

La Figura 6 muestra la ET (a, c y e) y la EUA (b, d y f) desde la siembra de los CC hasta el secado temprano, intermedio y tardío en el sitio 1 (2007). Hasta el secado temprano la ET de la avena se diferenció estadísticamente ( $P < 0,05$ ) del centeno, raigrás y del BT quienes no se diferenciaron entre sí. En el BT el 100% del agua perdida corresponde a evaporación, ya que se realizó control químico de malezas (Fig. 6a). Asimismo, durante este período la avena y el centeno fueron los CC más eficientes en el uso del agua ya que produjeron en promedio 19 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> de agua evapotranspirada, presentando diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) con el raigrás (5 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) (Fig. 6b).

En el secado intermedio el raigrás evapotranspiró 188 mm y no se diferenció de los 203 mm evapotranspirados por el centeno, sin embargo, el centeno presentó EUA significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) ya que produjo 16 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> mientras que el raigrás produjo 5 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Fig. 6c y d).

En la Figura 7 se muestra la ET (a, c y e) y la EUA (b, d y f) desde la siembra de los CC hasta el secado temprano, intermedio y tardío en el sitio 1 (2008). En este período no se realizó control químico de las malezas por lo cual se determinó la EUA en el BT. En el secado temprano la ET del centeno y del raigrás fue de 126 y 116 mm, respectivamente. Sin embargo, el centeno fue significativamente más eficiente para producir MS ( $P < 0,05$ ) ya que su EUA fue de 32 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, mientras que la de raigrás fue de 15 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Fig. 7a y b).

En el secado tardío, si bien el raigrás no se diferenció estadísticamente de la avena ni del centeno en los mm de agua evapotranspirados (225, 226 y 222 mm, respectivamente), éste sólo produjo 22 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, mientras que la avena y el centeno fueron más eficientes en el uso del agua ya que produjeron 38 y 46 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente (Fig. 7e y f).

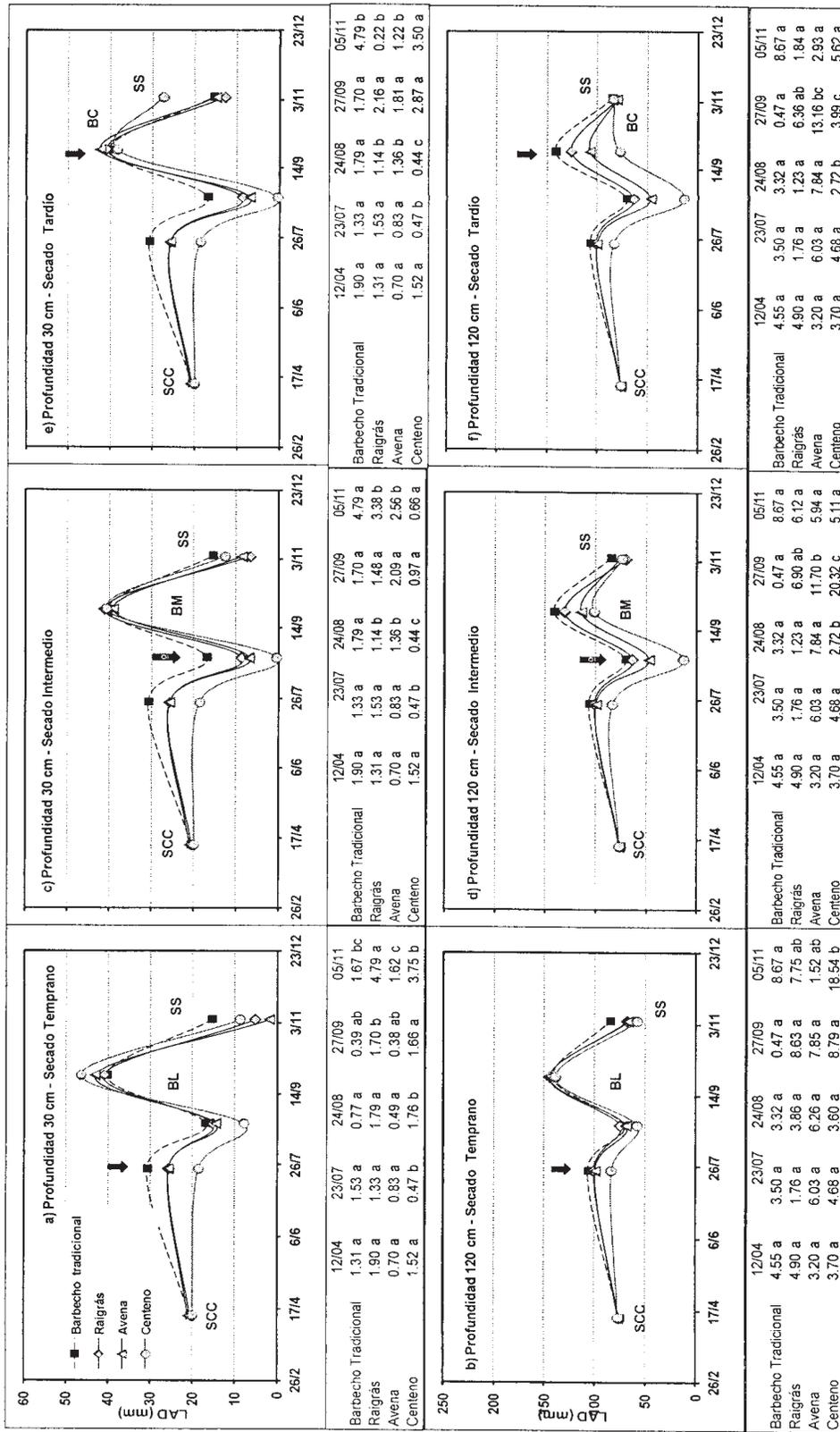


Figura 5. Lámina de agua disponible (LAD) correspondiente al sitio 2 (2007), acumulada bajo CC a 30 cm (a, c y e) y a 150 cm (b, d y f) de profundidad, para los secados temprano (a y b), intermedio (c y d), y tardío (e y f); y en el barbecho largo (BL), medio (BM) y corto (BC), en el período siembra CC (SCC) – siembra de soja (SS). Las flechas indican el momento de secado de los CC. Las tablas que acompañan a cada figura contienen el error estándar de la media y las diferencias estadísticas (P= 0,05).

Figure 5. Soil available water content (LAD) in site 2 (2007), to a 30 (a, c and e) and 150 cm (b, d and f) depth, dried early (a and b), intermediate (c and d) and late (e and f); from CC seeding to soybean seeding. The arrows indicate the killing moment.

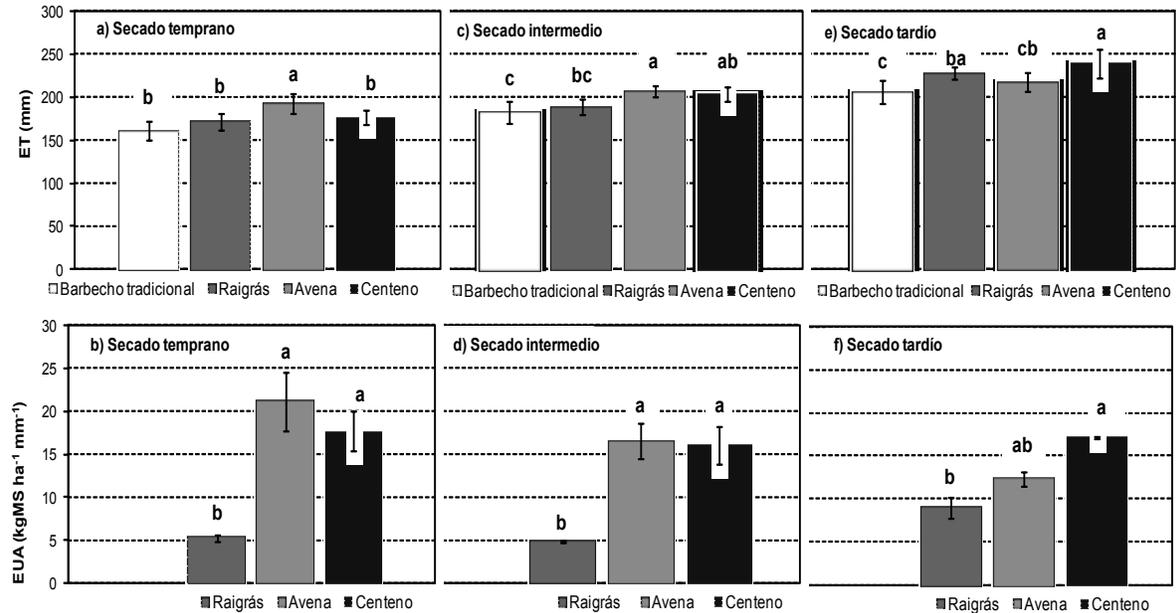


Figura 6. Evapotranspiración (ET) (a, c y e) y eficiencia en el uso del agua (EUA) (b, d y f) desde la siembra de los CC hasta el secado temprano, intermedio y tardío, respectivamente, en el sitio 1 (2007). Las líneas indican el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos.

Figure 6. Evapotranspiration (ET) (a, c and e) and water use efficiency (EUA) (b, d and f) from seeding to CC killing at early, intermediate and late moments, in site 1 (2007). Vertical bars indicate the standard mean errors. Different letters represent significant statistical differences among treatments ( $P < 0,05$ ).

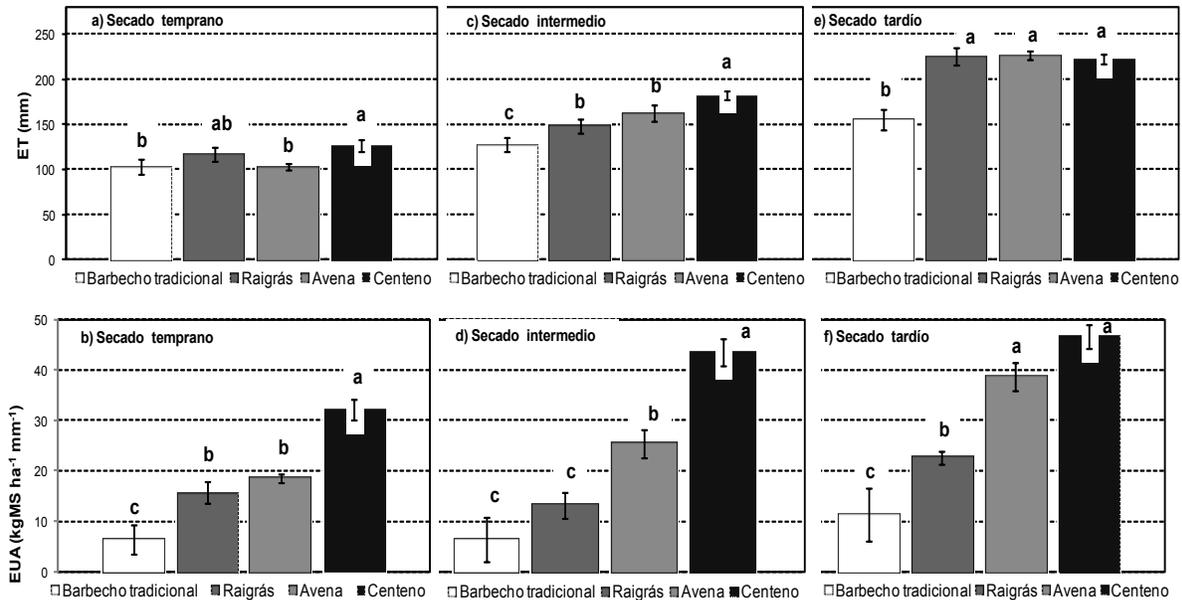


Figura 7. Evapotranspiración (ET) (a, c y e) y eficiencia en el uso del agua (EUA) (b, d y f) desde la siembra de los CC hasta el secado temprano, intermedio y tardío, respectivamente, en el sitio 1 (2008). Las barras indican el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos.

Figure 7. Evapotranspiration (ET) (a, c and e) and water use efficiency (EUA) (b, d and f) from seeding to CC killing at early, intermediate and late moments, in site 1 (2008). Vertical bars indicate the standard mean errors. Different letters represent significant statistical differences among treatments ( $P < 0,05$ ).

En la Figura 8 se muestra la ET (a, c y e) y la EUA (b, d y f) desde la siembra de los CC hasta el secado temprano, intermedio y tardío en el sitio 2 (2007). En las tres fechas de secado, el centeno consumió más agua diferenciándose estadísticamente ( $P < 0,05$ ) de la avena, del raigrás y del BT (Fig. 8 a, c y e). En cuanto a la EUA se observó que el centeno fue significativamente ( $P < 0,05$ ) más eficiente que el raigrás, en el secado intermedio y tardío (Fig. 8 d y f).

**Eficiencia de barbecho**

En la Figura 9 se presentan las EB de los BL (a, d y g), BM (b, e y h) y BC (c, f y i) del sitio 1 (2007 y 2008) y sitio 2 (2007). En el sitio 1 (2007) la EB del BL (3 meses) con los residuos de los CC fue de 34%, significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) a la del BT de 7 meses (7%) (Fig. 9a). La EB del BM (2 meses) bajo residuos avena (40%) y centeno (45%) fueron significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) al BT de 7 meses (7%) (Fig. 9b). A la siembra de soja la EB del BT (7%) fue menor ( $P < 0,05$ ) al BC (20 días) con residuos de raigrás (23%) y centeno (26%) (Fig. 9c).

En el sitio 1 (2008) los resultados obtenidos mostraron que la EB del BL bajo residuos de centeno (40%) fue

significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) a la EB del BT (20%) (Fig. 9d). La EB del BM (2 meses) bajo residuos de CC fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) a la EB del BT (7 meses) (Fig. 9e). La EB del BC (20 días) fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) a la EB del BT, resultando la EB del BC bajo raigrás, centeno y avena del 74%, 78% y 90%, respectivamente, mientras que la del BT fue del 20% (Fig. 9f).

En el sitio 2, los resultados obtenidos mostraron que la EB del BT (7 meses) del 4%, fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) a la EB del BL bajo residuos de los CC (3 meses) que presentaron eficiencias negativas (Fig. 9g). La EB del BM (2 meses) bajo residuos de centeno fue del 31%, diferenciándose estadísticamente ( $P < 0,05$ ) de la EB del BT (4%) y del barbecho medio bajo residuos de raigrás (-4%) (Fig. 9h). En el BC (20 días) la EB bajo residuos de centeno (6%) y bajo BT (4%) fueron significativamente mayores ( $P < 0,05$ ) al BC bajo residuos de avena (-27%) y raigrás (-46%) (Fig. 9i). Las EB registradas fueron variables afectadas por las condiciones climáticas de cada ensayo. Sin embargo, las EB de los BT (7 meses) fueron positivas y mostraron menor variabilidad mientras que a medida que se redujo la duración del barbecho se registraron eficiencias negativas y aumentó la variabilidad (Fig. 9).

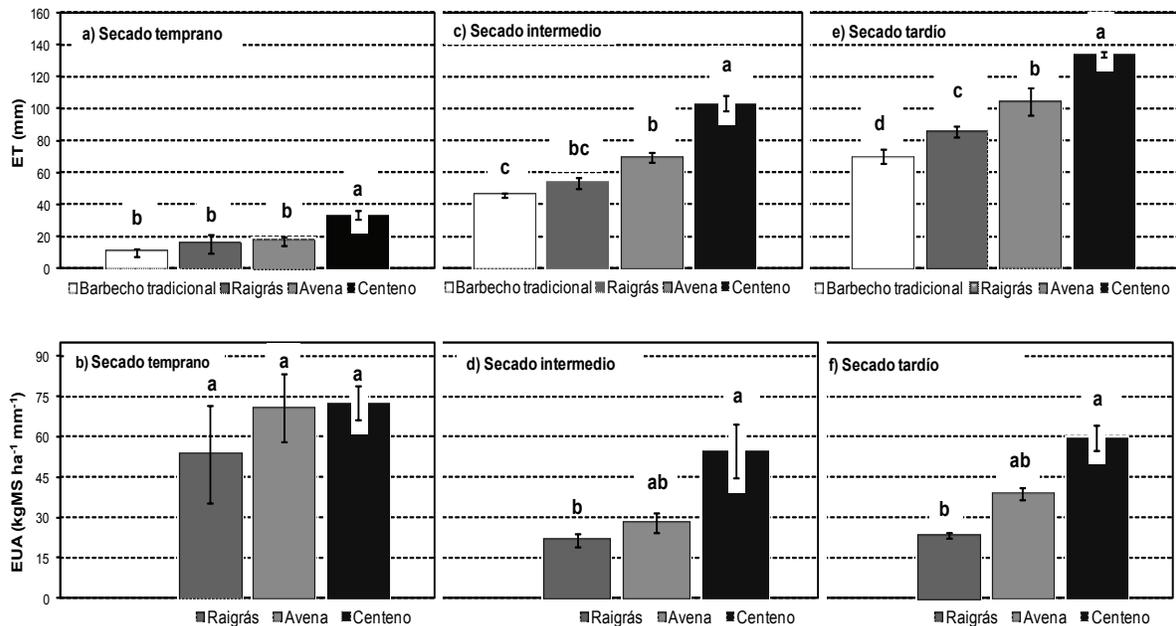


Figura 8. Evapotranspiración (ET) (a, c y e) y eficiencia en el uso del agua (EUA) (b, d y f) desde la siembra de los CC hasta el secado temprano, intermedio y tardío, respectivamente, en el sitio 2 (2007). Las barras indican el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos.

Figure 8 Evapotranspiration (ET) (a, c and e) and water use efficiency (EUA) (b, d and f) from seeding to CC killing at early, intermediate and late moments, in site 2 (2007). Vertical bars indicate the standard mean errors. Different letters represent significant statistical differences among treatments ( $P < 0,05$ ).

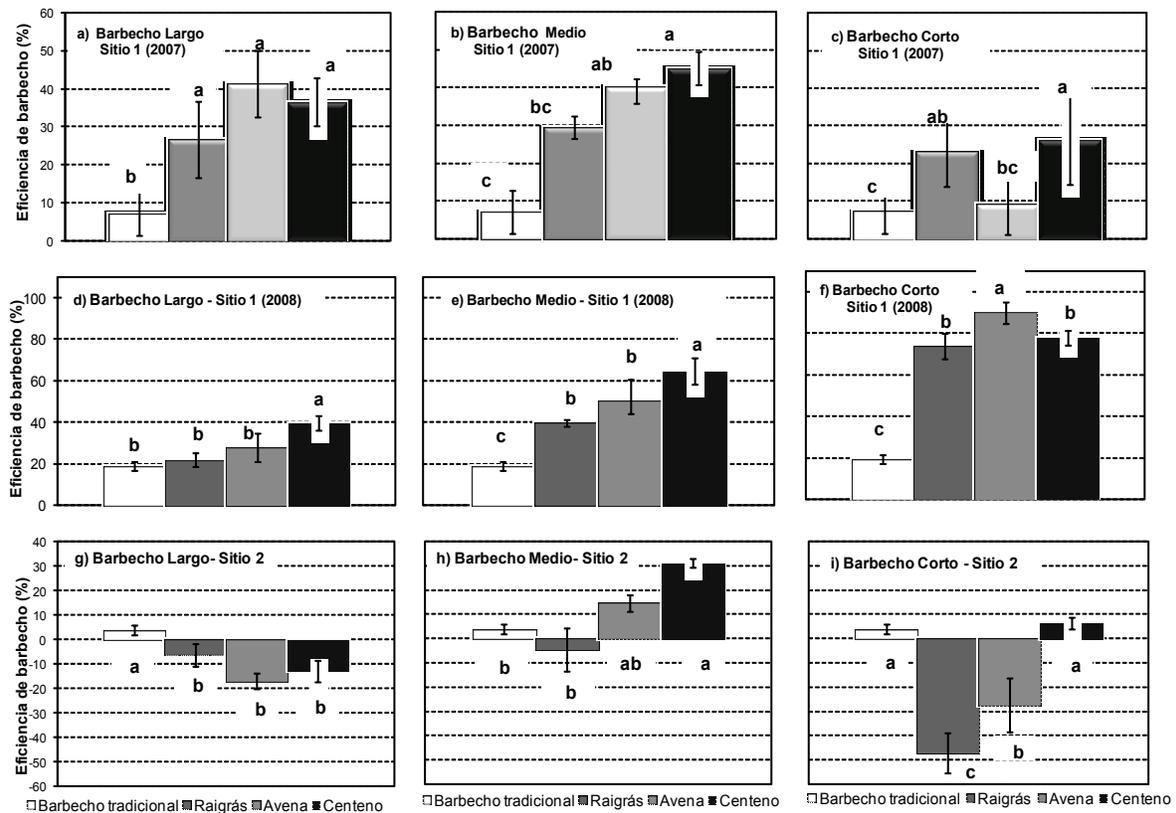


Figura 9. Eficiencia de barbecho (EB) de los barbechos largo (a, d y g), medio (b, e y h) y corto (c, f y i), en los sitios 1 y 2. Las barras indican el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos.

Figure 9. Fallow efficiency (EB) of the long fallow (a, d and g), medium fallow (b, e and h) and short fallow (c, f and i) periods, in sites 1 and 2. The lines indicate the mean standard errors. Different letters represent significant statistical differences among treatments ( $P < 0,05$ ).

La disminución de la duración de barbecho en el Haplustol afectó a la EB encontrándose eficiencias negativas, solo la EB del barbecho medio bajo residuos de centeno fue significativamente mayor al BT mientras que las EB del barbecho medio bajo avena y barbecho corto bajo centeno no se diferenciaron del mismo. Estos barbechos están asociados a mayores volúmenes MS producida por avena y centeno.

## DISCUSIÓN

### Sistema de cultivo: soja-CC-barbecho largo-soja

En el sitio 1 (suelo Hapludol), año 2007, los SC: soja-CC-BL-soja presentaron una LAD 12 mm mayor respecto del monocultivo de soja, en todo el perfil. En el año 2008 a la siembra de la soja, el SC soja-centeno-BL-soja, presentó una LAD 10 mm mayor respecto del SC: soja-raigrás-

BL-soja y del monocultivo de soja. Estos resultados coinciden con los de Clark *et al.* (2007), que encontraron a la siembra del maíz mayor humedad bajo CC, especialmente bajo centeno seco temprano, debido a que los residuos disminuyeron la evaporación superficial. Islam *et al.* (2006) concluyeron que la disponibilidad de agua para el próximo cultivo, en condiciones semiáridas, no fue afectada por la interrupción temprana de los CC.

En el sitio 2 (suelo Haplustol), año 2007, la cobertura generada por el centeno hasta el secado temprano, no logró disminuir la evaporación, principal factor de pérdida de agua en las regiones semiáridas (Bennie y Hensley, 2000). Por lo cual, a la siembra de soja en el SC soja-centeno-BL-soja fue de 6 mm, mientras que en el SC soja-avena-BL-soja fue de 13 mm con respecto al monocultivo considerando 30 cm de profundidad. La influencia del factor cobertura fue analizado por Quiroga *et al.* (2005), quienes evaluaron tres niveles de residuos durante un barbecho estival,

sobre suelos Haplustoles y Hapludoles, concluyendo que niveles bajos de residuos dieron lugar a un menor almacenaje de agua.

En síntesis, en el Hapludol aún en años secos la inclusión de CC no afectó la disponibilidad de agua para la soja siguiente. Contrariamente, en el Haplustol la inclusión de avena y centeno significaron un costo hídrico, con lo cual el agua disponible a la siembra de soja fue menor que en el monocultivo de soja.

#### **Sistema de cultivo: soja-CC-barbecho medio-soja**

Este efecto producido por los CC se evidenció a la siembra de la soja, ya que luego de las lluvias de primavera, los SC con centeno y BM presentaron una LAD 9 mm mayor respecto al monocultivo de soja, en 30 cm de profundidad en el sitio 1 (2007). Asimismo a la siembra de la soja el SC soja-centeno-BM-soja presentó una LAD 20 mm mayor que el monocultivo de soja en el sitio 1 (2008), a 150 cm de profundidad. Esta mayor captación de agua de lluvia fue debida al aumento de la cobertura en superficie que dispó la energía de las gotas del agua de lluvia al impactar sobre el suelo (Folorunso *et al.*, 1992).

En el sitio 2 al momento del secado intermedio el costo hídrico total a 120 cm de profundidad del centeno fue de 57 mm con respecto del BT, siendo el centeno el CC que extrajo humedad a mayor profundidad y produjo mayor volumen de residuos, debido a su mayor capacidad de adaptación a las condiciones semiáridas (Amigone *et al.*, 2005). Similares resultados fueron encontrados por Scianca *et al.* (2006) quienes en un Hapludol Típico evaluaron el efecto de diferentes gramíneas como CC sobre las malezas en un monocultivo de soja, el centeno fue la especie que produjo el mayor volumen de residuos. El efecto de los residuos de cobertura en conservar el agua del suelo fue observado por varios autores (Stipesevic & Kladvko, 2005; Islam *et al.*, 2006). En este sentido, a la siembra de soja el SC soja-centeno-BM-soja y el monocultivo de soja mostraron 7 mm más de LAD que los SC soja-raigrás-BM-soja y soja-avena-BM-soja debido a que los niveles de cobertura generados por el raigrás y la avena fueron bajos.

En síntesis, el SC soja-CC-BM-soja podría ser una alternativa al monocultivo de soja en Hapludoles ya que no afecta la disponibilidad de agua. En Haplustoles solo el centeno logró alcanzar los volúmenes necesarios de cobertura para disminuir la evaporación directa desde la superficie del suelo.

#### **Sistema de cultivo: soja-CC-barbecho corto-soja**

En el sitio 1 (2008) la avena fue el CC que consumió agua a mayor profundidad, llevando la humedad de algunos horizontes por debajo del pmp al momento del secado (datos no mostrados). Sin embargo, a la siembra de soja los CC, incluida la avena, mostraron a 30 cm de profundidad, 10 mm de LAD por sobre la LAD en el monocultivo de soja, por lo cual, septiembre podría ser un momento adecuado para secar los CC, en un Hapludol. En este sentido, Restovich *et al.* (2006) encontraron que el momento adecuado de secado de los CC en un Argiudol Típico, es aquel en el cual la producción de biomasa no resulta tan elevada para secar los horizontes inferiores por debajo del 60% de su capacidad de agua útil.

Scianca *et al.* (2010) en un Haplustol del Este de La Pampa encontraron que la LAD bajo centeno secado en septiembre fue significativamente menor a la LAD bajo BT. Esto fue evidenciado en el sitio 2, ya que al momento de secar los CC el costo hídrico de la avena y el centeno fue de 49 mm. Luego de las PP de primavera, a la siembra de la soja, el SC soja-centeno-BC-soja presentó 12 mm más de agua disponible que el SC soja-avena-BC-soja y el monocultivo de soja, debido a que la cobertura del centeno fue más eficiente en la conservación del agua del suelo (Stipesevic & Kladvko 2005).

En síntesis, en el Hapludol el SC soja-CC-BC-soja a la siembra de soja acumuló mayor agua disponible que el monocultivo de soja. Por su parte, en el Haplustol solo el SC soja-centeno-barbecho corto-soja conservó mayor agua disponible para la soja respecto del monocultivo de soja.

#### **ET (consumo) y EUA de los CC**

En el sitio 1 la EUA y la ET para cada especie fueron influenciadas por la variación climática entre años. En 2007 con escasas PP la avena fue el cultivo que presentó mayor ET desde la siembra hasta el secado temprano e intermedio, mientras que en 2008, con mayores PP fue el centeno el que presentó mayor ET. Estos resultados coinciden con los de Baigorria y Cazorra (2010) quienes señalaron que condiciones climáticas contrastantes provocaron respuestas diferentes en la ET y en la EUA de CC sobre un Argiudol Típico. La EUA define la productividad de los cultivos, especialmente en ambientes de oferta hídrica limitante (Cayci *et al.*, 2009). En este sentido, la avena y el centeno fueron más eficientes que el raigrás, debido a que éste presenta menor crecimiento inicial (Amigone *et al.*, 2005).

### Eficiencia de barbechos de distinta duración

Las mayores EB (90%-80%) se encontraron bajo los BC con residuos de avena y centeno, en el sitio 1 (2008), en ambos CC se registraron altas EUA (38 y 46 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente), por lo cual produjeron altos niveles de cobertura. Estos resultados coinciden con los de Fernández *et al.* (2008) quienes mostraron que el nivel de residuos tuvo efecto positivo sobre el almacenamiento de agua durante el barbecho, siendo las mayores diferencias observadas con altos niveles de residuos (10.000 kg MS ha<sup>-1</sup>), en Haplustoles de la planicie arenosa de La Pampa y oeste de Buenos Aires.

Baumhardt y Jones (2002) afirmaron que la cantidad y la intensidad de las PP dominan el almacenamiento de agua durante el barbecho, por sobre los efectos de la cobertura en la disminución de la evaporación. Siguiendo este análisis, en el presente estudio al disminuir los meses de duración del período de barbecho, aumentó la variabilidad de la EB entre sitios incrementándose la dependencia con la PP efectiva. De esta manera, en los tres años de ensayo, la EB de los BT (7 meses) quedó comprendida entre 5 y 20% mientras que la EB de los BL (3 meses) se encontró entre 40 y -18%, la EB de los BM (2 meses) varió de 65 a -5% y la EB de los BC (1 mes) entre 90 y -47%.

### CONCLUSIÓN

En el Hapludol (Región Subhúmeda pampeana), la LAD a la siembra de soja con CC fue mayor o igual que bajo monocultivo de soja. En el Haplustol (Región Semiárida Pampeana) la LAD fue menor o igual con CC que bajo soja continua.

El acortamiento en la duración del barbecho aumentó la variabilidad de la EB. En el Hapludol las EB de los barbechos largos, medios y cortos con residuos de CC, fueron significativamente superiores a la del barbecho tradicional. Por el contrario, en el Haplustol la reducción de la duración de barbecho afectó a la EB encontrándose eficiencias negativas.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto INTA AERN 5654. Los autores agradecen a los encargados de los establecimientos «El Correntino» y «Don Jesús».

### BIBLIOGRAFÍA

- Amigone, M; A Kloster; C Navarro & N Bertram. 2005. Verdeos de alta productividad para optimizar la cadena forrajera. Información para extensión N°96 EEA Marcos Juárez. INTA. pp 30.
- Baigorria, T & C Cazorta. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario Actas en CD.
- Baumhardt, R & O Jones. 2002. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil Till. Res.* 68: 71-82.
- Bennie, A & M Hensley. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *Journal of Hydrology* 241: 124-139.
- Bono, A; E Sá Pereira; N Romano & J Montoya. 2006. Efecto de la longitud del barbecho, momentos y formas de aplicación de P en girasol. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, pp. 609.
- 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.
- Cayci, G; LK Heng; HS Öztürk; D Sürek; C Kütük & M Sağlam. 2009. Crop yield and water use efficiency in semi-arid region of Turkey. *Soil Till Res.* 103: 65-72.
- Dardanelli, J; D Collino; ME Otegui & V Sadras. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. *En: «Producción de cultivos de granos. Bases Funcionales para su manejo»*. Editorial Facultad de Agronomía. Capítulo 16, pp. 377-442.
- Díaz-Zorita, M; GA Duarte & JH Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65: 1-18.
- Fernández, R; A Quiroga; E Noellemeyer; D Funaro; J Montoya; B Hitzman & 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. *Agr. Water Manag.* 95: 1028-1040.
- Folorunso, OA; DE Rolston; T Prichard & DT Louie. 1992. Soil surface strength and infiltration rate affected by winter crops. *Soil Technol.* 5: 189-197
- Gil, R; G Peralta; J Coronel; C Salomón & G Vidal. 2010. Eficiencia de usos del agua en ambientes semiáridos y subhúmedos del Nordeste Argentino. XVIII Congreso Aapresid. Rosario. Actas en CD.
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Islam, N; W Wallender; J Mitchell; S Wicks & R Howitt. 2006. A comprehensive experimental study with mathematical modeling to investigate the effects of cropping practices on water balance variables. *Agricultural Water Management* 82: 129-147.
- Johnson, DE; UN Chaudhuri & ET Kanemasu. 1983. Statistical análisis of line-source sprinkler experiments and other nonrandomized experiments using multivariate methods. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 47: 309-312.

- Lampurlanes, J; P Angás & C Cantero-Martínez. 2002. Tillage effects on water storage fallow and on barley root growth and yield in two contrasting soil of the semi-arid Segarra region Spain. *Soil Till. Res.* 65: 207-220.
- López, MV & JL Arrúe. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region on Spain. *Soil Till. Res.* 44: 35-54.
- Lu, YC; KB Watkins; JR Teasdale & AA Abdul-Baki. 2000. Cover crop in sustainable food production. *Food Rev. Int.* 16: 121-157.
- Mathews, O & T Army. 1960. Moisture storage on fallow wheat land in the great plains. *Soil Sci. Am. Proc* 24: 414- 418.
- Moret, D; JL Arrúe; MV López & R García. 2006. Influence of fallowing practices on soil water and precipitation storage efficiency in semiarid Aragon (NE Spain). *Agricultural Water Management* 82: 161-176.
- Nielsen, DC & MF Vigil. 2005. Legume green fallow effects on soil water content at wheat planting and wheat yield. *Agrom. J.* 97: 684-689.
- Quiroga, A; D Funaro; R Fernández & E Noellemeyer. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la Región Pampeana. *Revista Ciencia del Suelo* 23: 79-86.
- Quiroga, A; M Diez & I Frasier 2010. Aspectos de gestión del agua en sistemas mixtos de producción. XVIII Congreso Aapresid Rosario. Actas en CD.
- Restovich, S; A Andriulo; C Sasal; A Irizar; F Rimatori; M Darder y L Hanuch. 2006. Absorción de agua y nitrógeno edáficos de diferentes cultivos de cobertura. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta. Actas en CD
- SIIA, Sistema Integrado de Información Agropecuaria. 2012. Min de Agríc, Ganadería y Pesca. <http://www.siiia.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura>.
- SAS Institute, SAS/STAT. 1997. Changes and Enhancements through Release 6.12. SAS Institute, Inc. Cary, NC. 1167 pp.
- Scianca, C; C Álvarez, M Barraco, M Pérez & A Quiroga. 2006. Cultivos de cobertura en sistemas orgánicos. Aportes de carbono y dinámicas de malezas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta. Actas en CD.
- Scianca C; C Álvarez, M Barraco & A Quiroga. 2010. Centeno utilizado como cultivos de cobertura en la región de la Pampa Arenosa. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Actas en CD.
- Soriano, A. 1983. El agua y la producción vegetal: consumo y eficiencia. *IDIA, Suplemento* 36: 44-50.
- Stipesevic, B & EJ Kladviko. 2005. Effects of winter wheat cover crop desiccation times on soil moisture, temperature and early maize growth. *Plant Soil Environ.* 51: 255-261.
- Stroup, WW. 1989. Use of Mixed Model Procedure to Analyze Spatially Correlated Data: An Example Applied to a Line-Source Sprinkler Irrigation Experiment. *In: Applications of Mixed Models in Agric and Related Disciplines*, Southern Cooperative. Louisiana Agricultural Experiment Station, Baton Rouge. 343: 104-122.
- Tanaka, DL; JM Krupinsky; MA Liebig; SD Merrill; RE Ries; JR Hendrickson; HA Johnson & JD Hanson. 2002. Dynamic cropping system: An adaptable approach to crop production in the Great Plains. *Agron. J.* 94: 957- 961.
- Zeljko, VJ; LT de Zeljko; OM Hansen & LA Blotta. 1992. Eficiencia hídrica de los barbechos en la rotación trigo-soja-maíz con dos sistemas de labranza, en suelo Argiudol típico serie Pergamino. República Argentina. Informe Técnico N° 266. INTA, Centro Regional Buenos Aires Norte. EEA Pergamino. República Argentina. 17 pp.