

INCLUSIÓN DE CULTIVOS DE COBERTURA EN MONOCULTIVO DE SOJA: UN PASO HACIA EL MEJOR APROVECHAMIENTO DEL AGUA PLUVIAL

Maximiliano J. Eiza¹; P. F. Carfagno¹; A. Quiroga² y R. O. Michelena¹

¹Instituto de Suelos, INTA Castelar. De Los Reseros y Las Cabañas s/n. (1712) Castelar, Buenos Aires, Argentina.

²EEA INTA Anguil. Anguil, La Pampa, Argentina

e_mail: mjeiza@cnia.inta.gov.ar

RESUMEN

Los cultivos de cobertura (CC) mejoran el manejo de los recursos hídricos, ya que condicionan las tasas de captación, escurrimientos, infiltración y evaporación. El objetivo fue estudiar cómo los CC invernales afectan al agua disponible y cómo puede ser modificada por el momento de secado. En la región Subhúmeda se implantaron tres CC invernales y se secaron en tres momentos, comparándose con el barbecho tradicional. Los CC provocaron una significativa disminución de humedad del suelo, aunque la biomasa generada condicionó la protección del suelo ante precipitaciones de primavera. En general, el agua disponible para la implantación de soja no se vio afectada. El barbecho tradicional también perdió agua acumulada de las lluvias de otoño por evaporación directa y fue menos eficiente en aprovechar las lluvias de primavera, razón por la cual los contenidos hídricos a la siembra de soja fueron hasta 30 mm menores que los observados para los CC.

Palabras clave: región subhúmeda, gestión del agua, eficiencia de barbecho, cultivos de cobertura.

ABSTRACT

Cover crops (CC) improve the management of the hydric resources, because it determine the pick up, runoff, infiltration and evaporation rates. The objective of this work was to study how winter CC affect soil water availability and how this can be altered by the moment of death of CC. In Sub-humid region it were seeding three winter CC and this were death in three moment, comparing the effect with traditional fallow. The CC reduce significantly soil water, but this it caused the soil surface protection against spring rains by producing biomass. In general, soil water availability for soybean seeding was not affected. Traditional fallow lost the water accumulated from autumn rains by direct evaporation and it was less efficient to catch sprig rains, because of this soil water at soybean seeding was until 30 mm less that observed for CC.

Keywords: Sub-humid region, pluvial water management, fallow efficiency.

INTRODUCCIÓN

El suelo y el agua son los recursos agrícolas más valiosos. Sin embargo, en la mayoría de las veces la tasa de explotación es excesiva y tiende a su degradación. La intervención humana en el manejo del agua ha conducido a graves consecuencias tanto ecológicas como socioeconómicas. Considerando que el agua es una parte integral del paisaje, su protección debería estar conectada con la protección del mismo. La vegetación y la presencia de agua en los ecosistemas determinan la distribución de energía solar que ingresa al suelo y tienen una influencia significativa tanto sobre la distribución de la temperatura en la superficie terrestre como sobre el ciclo mismo del agua. En este sentido, el manejo de la distribución de los recursos hídricos y la vegetación son los factores que tienen mas influencia sobre el ciclo del agua (Pokorný y Rejšková, 2008).

En ambientes subhúmedos, la disponibilidad de agua del suelo es el principal recurso limitante, por lo que es necesario elegir especies que se adapten a la dinámica hídrica de esos ambientes (Tanaka *et al.*, 2002). En estos ambientes, el principal factor de pérdida de agua es la evaporación, estimándose que entre el 50 y 75 % de la precipitación anual retorna a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo (Bennie y Hensley, 2000). Tradicionalmente el objetivo de los barbechos era la conservación del agua en el suelo para el cultivo de grano siguiente en la rotación. En este sentido, Baumhardt y Jones (2002) señalaron que la producción de grano en la rotación trigo-sorgo estuvo relacionada al agua almacenada durante el barbecho previo a la siembra de los cultivos. Sin embargo Huang *et al.* (2003) concluyeron que los barbechos tuvieron baja eficiencia en el almacenamiento de agua en el suelo, y que en ese período aumentó el riesgo a la erosión. Lampurlanes *et al.* (2002) señalaron que la conservación del agua durante el barbecho varía según el tipo de suelo, la capacidad de retención hídrica del mismo, el sistema de labranza y la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones. Estos y otros factores como la cantidad de residuos en superficie determinan la eficiencia con que el agua de las precipitaciones queda almacenada en el perfil de suelo (i.e. eficiencia de barbecho) (Quiroga *et al.*, 1996).

En este sentido, resultados de Fernández y Quiroga (2008) indicaron que la transferencia del agua pluvial durante el barbecho al período de los cultivos

de cosecha estuvo relacionada con los niveles de cobertura de residuos, tanto en barbechos invernales como estivales en Haplustoles de la Región Semiárida Pampeana. Los sistemas de producción que se basan en un cultivo por año generan tiempos de barbecho largos, en los que aumenta la probabilidad de tener pérdidas de suelo y nutrientes por erosión. Los cultivos de cobertura (CC) se definen como cultivos que crecen para cubrir el suelo en ese periodo improductivo, con el fin de protegerlo de la erosión y de la pérdida de nutrientes por lavado y por escurrimiento (Reeves, 1994) acortando el período de barbecho. Con respecto al período de tiempo que ocupan los barbechos, estudios de Quiroga *et al.*, (2005) evaluaron tres longitudes de barbecho en Hapludoles de la Región Subhúmeda Pampeana, demostrando que la longitud del barbecho invernal no afectó los contenidos de agua almacena al final de los mismos.

Los CC pueden incorporarse al sistema productivo formando parte de nuevos sistemas de cultivo (SC). El concepto de SC dinámico se define como una estrategia de largo plazo para el manejo sostenible del sistema suelo-cultivo que es implementado por los productores a través de las decisiones anuales, que responden a condiciones agronómicas, económicas y de ambiente cambiante (Tanaka *et al.*, 2002; Merrill *et al.*, 2007). En este sentido, el uso continuado del suelo permite un mejor aprovechamiento de las precipitaciones y la protección de la erosión y al mismo tiempo se realiza una diversificación de especies.

Los CC afectan a la dinámica hídrica a través de su impacto sobre el suelo y sobre la interfase suelo/atmósfera, donde la precipitación es particionada en infiltración, almacenaje y escurrimiento. Cabe mencionar que las interacciones entre las precipitaciones, la superficie del suelo y la cobertura del mismo, son determinantes de la relación infiltración/escurrimiento (I/E), de la erosión y de la captación del agua de lluvia (Michelena *et al.*, 2000). El desarrollo radical es uno de los factores más importantes en la captación del agua pluvial, al incidir sobre la relación transpiración/evaporación, determinando una mayor o menor eficiencia del uso del agua (EUA) edáfica (Amir *et al.*, 1991). La EUA es un parámetro muy importante que define la productividad de los cultivos, y su uso es especialmente útil en ambientes de oferta hídrica limitante, estando muy influenciado por factores que afectan la transpiración y la asimilación a nivel de las hojas, las plantas y los

cultivos (Cayci *et al.*, 2009). La biomasa producida por los CC puede alterar significativamente las tasas de evaporación y transpiración entre cada evento de precipitación (Dabney, 1998). Los CC han demostrado proteger la calidad del agua a través de la reducción de nutrientes, pesticidas o sedimentos de los suelos bajo agricultura (Unger y Vigil, 1998; Dabney *et al.*, 2001).

En regiones subhúmedas y semiáridas es muy importante considerar la influencia del cultivo antecesor y el manejo del agua previo a la siembra, ya que es usual que las precipitaciones no cubran los requerimientos de los cultivos. Por esta razón, en una rotación es muy importante considerar la “secuencia de usos consuntivos” (Quiroga *et al.*, 2008).

El objetivo de este trabajo fue estudiar la forma en que los cultivos de cobertura invernales afectan la dinámica del agua edáfica y la cantidad de agua disponible para el siguiente cultivo de verano y cómo puede ser modificada manejando el momento de secado de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre 2007 y 2009 se realizó un ensayo en Treinta de Agosto (Oeste de Buenos Aires, Región Subhúmeda Pampeana), sobre un suelo del Gran grupo de los Hapludoles (Figura 1 y Tabla1). El ensayo posee una estructura factorial 4 x 3, con cuatro niveles de SC: 1) Centeno (*Secale cereale* L. var. Quehué), 2) Avena (*Avena sativa* L. var. Aurora), 3) Raigrás (*Lolium multiflorum* L. var. Estanzuela), implantados todos bajo SD, inmediatamente después de la cosecha de soja de cada año y 4) un barbecho invernal (testigo); y tres niveles de momentos de secado de cada SC: 1) primer secado o barbecho largo (julio), 2) segundo secado o barbecho medio (agosto) y 3) tercer secado o barbecho corto (septiembre), empleando en los tres casos herbicida (Glifosato). Las densidades de siembra fueron 50, 55 y 25 Kg ha⁻¹, para centeno, avena y raigrás, respectivamente. Se empleó un diseño 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 momento de secado. El factor secado no se aplica de manera aleatoria cruzando al factor CC, ya que los secados se realizan con pulverizadora motora. Además, todo este diseño se encuentra replicado en el mismo sitio y fertilizado (F) con 100 Kg ha⁻¹ de urea.

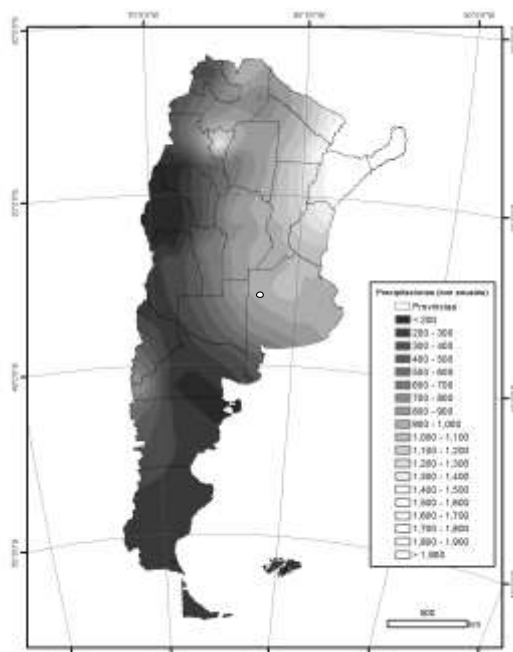


Figura 1. Ubicación del ensayo de CC en Treinta de Agosto.

Tabla 1. Caracterización de los suelos estudiados en Treinta de Agosto.

Profundidad de horizontes (cm)	Localidad de Treinta de Agosto			
	0-30	30-60	60-90	90-120
Clase Textural	FrAren	FrAren	FrAren	FrAren
	%			
Arcilla<2 μm	15.7	10.3	12.3	13.5
Limo fino 2-20 μm	10.9	10.9	6.8	7.5
Limo total 2-50 μm	28.1	26.4	20.0	19.7
Arena muy fina 50-74 μm	10.7	11.4	12.1	14.5
Arena muy fina 74-100 μm	12.5	14.2	16.1	15.0
Arena fina 100-250 μm	24.7	28.0	31.2	19.0
Arena media 250-500 μm	8.5	9.5	8.0	7.8
Arena gruesa 500-2000 μm	0.0	0.1	0.7	0.9
Arena total 50-2000 μm	56.4	63.2	68.1	67.2
MO	2.1	0.6	0.3	0.1
pH 1:2.5 agua	5.8	6.3	6.7	7.8
% Na Intercambianle (PSI)	3.2	2.9	3.1	8.9
Precipitación promedio anual (mm)	931			
Posición geográfica	36° 8' 50,9" S		62° 21' 51,9" O	

Los contenidos de humedad en el suelo se determinaron gravimétricamente cada año a la siembra de los CC, a cada momento del secado de los CC y a la siembra del próximo cultivo de soja, en los intervalos de profundidad: 0-10, 10-20, 20-30, 30-60, 60-90, 90-120 y 120-150 cm. La humedad edáfica se expresó como lámina de agua disponible (mm, LAD) (Ecuación 1). Asimismo, se determinó la producción de materia seca (MS) aérea producida por los CC y por los testigos (malezas) mediante corte y secado en estufa (60 °C). La EUA (kg MS mm⁻¹) y la eficiencia de barbecho (EB mm⁻¹ mm⁻¹) (i.e. almacenaje y conservación del agua de las precipitaciones) se calcularon usando las Ecuaciones 2 y 3:

$$LAD = \frac{\theta g * \delta ap * P}{\delta ap_{agua}} \quad (1)$$

Donde: θg es la humedad gravimétrica ($g\ g^{-1}$), δap es la densidad aparente del suelo ($g\ cm^{-3}$) y P es la profundidad de cada capa del suelo (mm).

$$EUA = \frac{MS}{AAIc - AAFc + PPc} \quad (2)$$

$$EB = \frac{AAFb - AAIb}{PPb} \quad (3)$$

Donde: MS es la producción de MS del período de crecimiento, AAIc y AAFc es el agua acumulada en el suelo al inicio y al final del período de crecimiento, respectivamente, AAFb y AAIb es el agua acumulada en el suelo al final y al inicio del período de barbecho, respectivamente, y PPc y PPb

son las precipitaciones acumuladas en cada período, de crecimiento y de barbecho, respectivamente. (Bennie y Hensley, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestran las precipitaciones ocurridas entre 2007 y 2009 y las precipitaciones acumuladas en cada período (1 de enero-15 de marzo; 16 de marzo-15 de octubre y 16 de octubre-31 de diciembre). Para todos los años evaluados el promedio anual de precipitaciones fue menor al promedio histórico. El promedio de precipitaciones históricas acumuladas entre marzo y octubre fue de 356 mm (datos no mostrados), destacándose que 2009 fue el año de más baja oferta hídrica, especialmente en el período de crecimiento de los CC y de implantación de soja, lo que obligó a realizar una resiembra de este cultivo. Además, se manifestó una marcada variación interanual e interestacional.

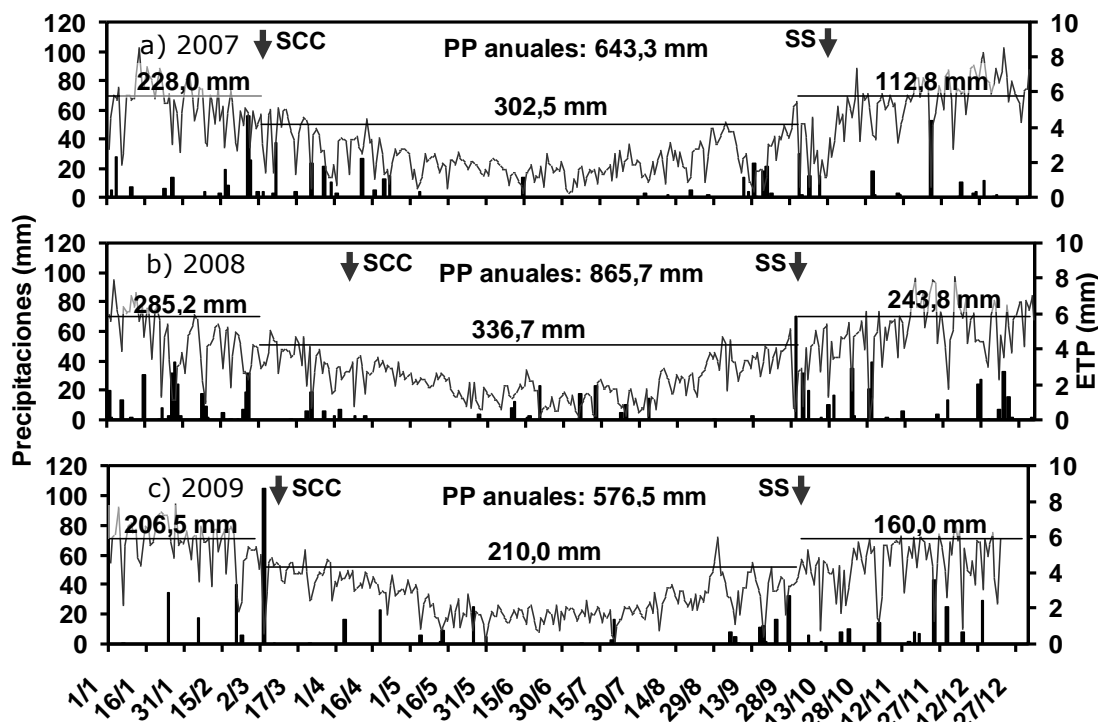


Figura 2. Precipitaciones diarias (barras verticales) para los tres años de estudio: 2007 (a), 2008 (b) y 2009 (c). Las líneas horizontales indican la cantidad de precipitaciones acumuladas en tres períodos del año: 1 de enero-15 de marzo; 16 de marzo-15 de octubre; y 16 de octubre-31 de diciembre. La curva continua de evolución representa la evapotranspiración potencial diaria (ETP). SCC: siembra de cultivos de cobertura; SS: siembra de soja.

En la Figura 3 se muestran las temperaturas promedio diarias. Con respecto a esta variable se encontró menor variabilidad entre años, aunque los valores absolutos indicaron que 2007 fue el más frío del período. En este sentido, se remarca que la cantidad

de días por debajo de 4 °C, indicativo de presencia de heladas agronómicas, fue de 16 para 2007, mientras que sólo de 6 días para 2008 y 2009. Esta diferencia en las condiciones térmicas del sitio de estudio se expresó en la producción de MS de los CC.

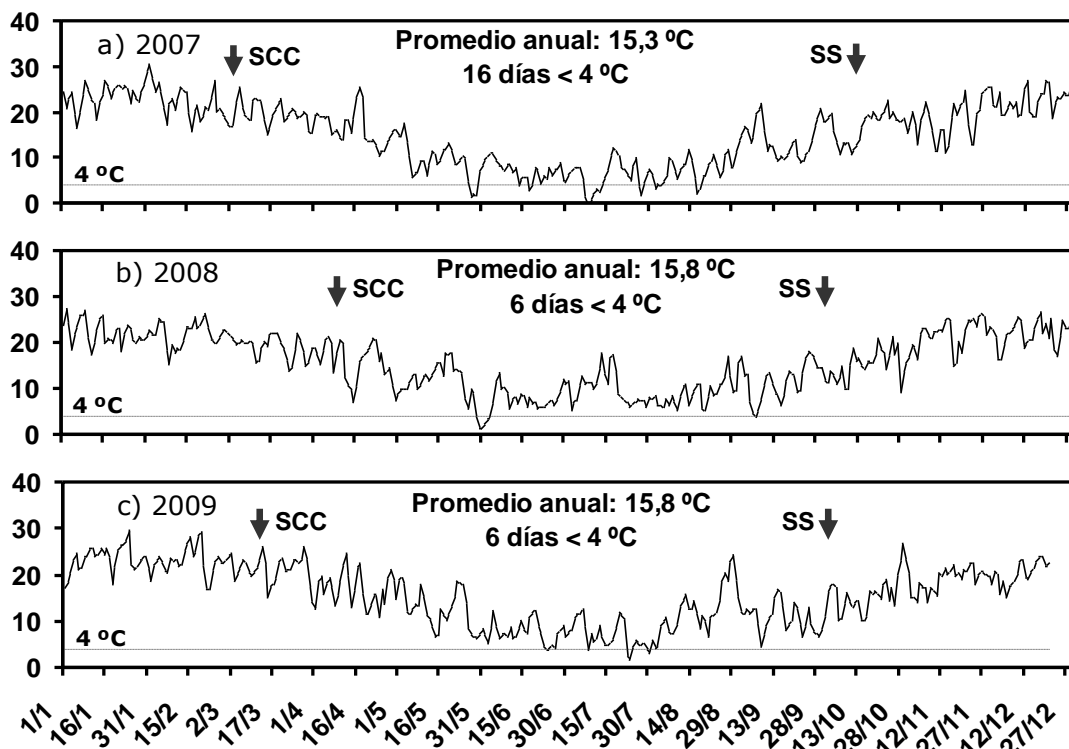


Figura 3. Temperatura diaria (curva de evolución) para los tres años de estudio: 2007 (a), 2008 (b) y 2009 (c). La línea punteada representa el límite de temperatura de 4 °C por debajo del cual se produce una helada. SCC: siembra de cultivos de cobertura; SS: siembra de soja.

En la Figura 4 se presenta la evolución de la LAD a 1,5 m de profundidad para 2007, 2008 y 2009 para cada CC y testigos, NF y F. Además, se grafican las precipitaciones diarias para esos años.

Se observó, en general, una marcada variación estacional. Todos los tratamientos mostraron una elevada pérdida de agua en los momentos de escasas precipitaciones, con similares tasas de pérdida entre testigos y CC. La dinámica de la LAD desde la siembra de los CC hasta la siembra de la soja siguiente, obedeció al balance entre las precipitaciones ocurridas, la evaporación directa desde el suelo y el consumo de los distintos cultivos (i.e. transpiración) (López y Arrúe, 1997; Moret *et al.*, 2006). Como consecuencia del balance mencionado se generaron diferentes situaciones en cada uno de los años, duraciones de barbecho y especies de CC, aunque en términos generales se observó una tendencia hacia la conservación de agua

en el suelo luego de terminado el ciclo de los CC, debido al aporte de residuos de éstos (Figura 5) respecto al testigo.

En este sentido, al momento de la siembra de soja, el centeno NF presentó 21 mm más de LAD que el testigo, promedio de 2007 y 2008, y de los secados realizados en julio y en agosto (barbechos largo y medio, respectivamente) (Figuras 4 a y b). Cuando el centeno fue secado en septiembre (barbecho corto) la diferencia con el suelo bajo testigo fue sólo de 7,2 mm, promedio de 2007 y 2008 (Figura 4 c). Esto remarca que aunque el cese del consumo se retrasó hasta menos de un mes previo a la siembra de soja, igualmente se observaron ventajas por el uso de esta práctica. Por otro lado, se destaca que el manejo del momento del corte del crecimiento del CC es esencial para determinar una implantación con buena cantidad de humedad en el suelo. La diferencia de raigrás y avena NF respecto a testigo

fue menor y la variabilidad fue mayor que la registrada para centeno, aunque en promedio igualmente positivos, siendo la LAD de raigrás y de avena de 3.1 y 7.6 mm mayor que para testigo, respectivamente, promedios de los tres momentos de

secado, 2007 y 2008 (Figuras 4 a, b y c). Esto se debió a que, a pesar de tratarse de variedades adaptadas al ambiente evaluado, igualmente las especies resultaron menos eficientes que el centeno en el uso de los recursos.

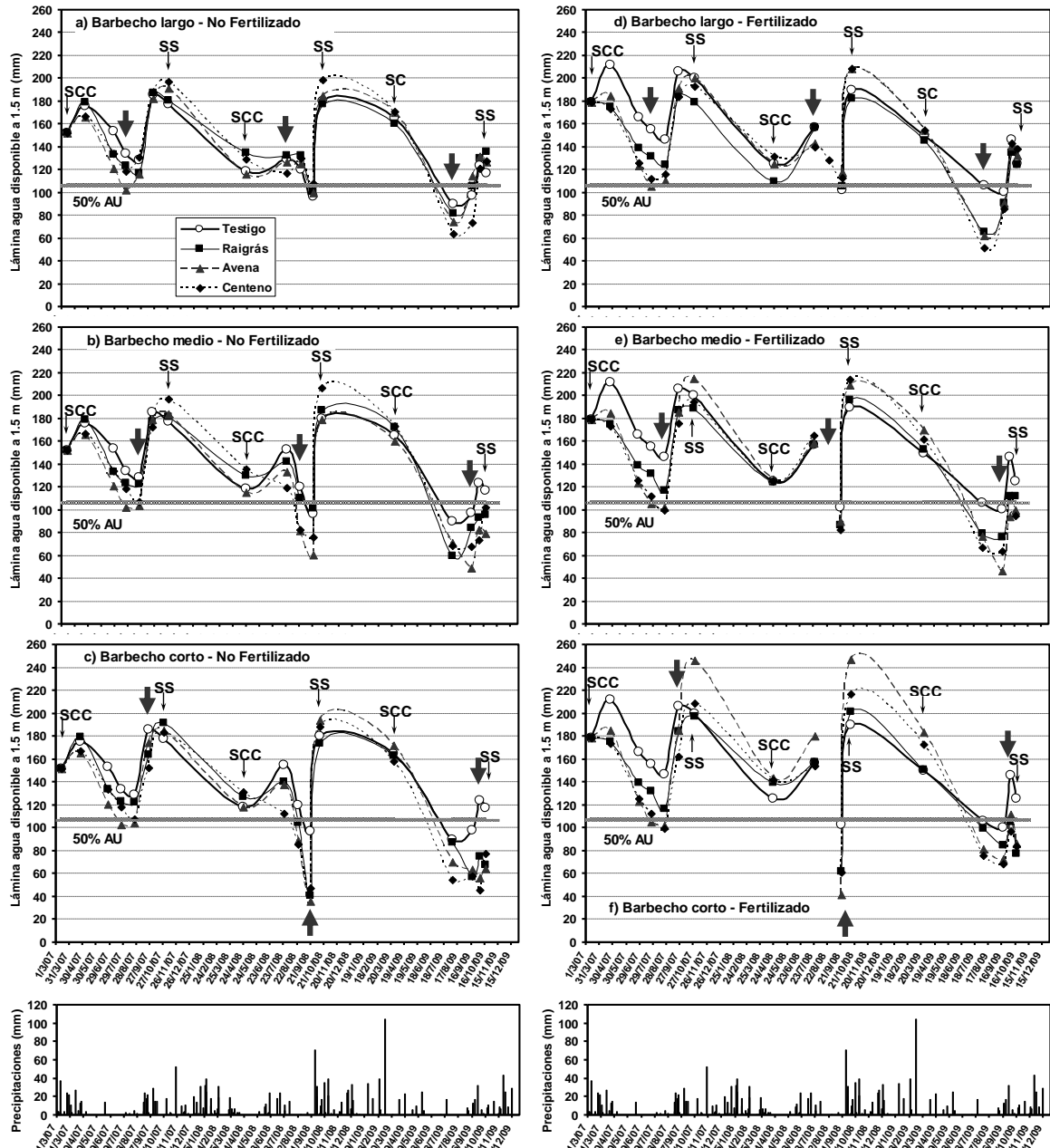


Figura 4. Evolución de la lámina de agua disponible a 1.5 m de profundidad del sitio estudiado para 2007, 2008 y 2009 para cada cultivo y testigos, no fertilizados (a, b y c) y fertilizados (d, e y f). En la parte inferior se grafican las precipitaciones de 2007, 2008 y 2009. Barbechos largo, medio y corto hacen referencia a los secados de julio, agosto y septiembre, respectivamente. Las flechas gruesas (↓) indican el momento de secado para cada duración de barbecho. Las flechas finas con letras (↓) indican: SCC: siembra del cultivo de cobertura; y SS: siembra de soja. La línea horizontal con la referencia “50% AU” representa la mitad de la lámina de agua útil del suelo.

En 2009, el balance entre las precipitaciones, la evaporación y el consumo modificó el comportamiento descrito para los primeros años de ensayo. Al analizar el secado de julio en el ensayo NF, se observó que a la siembra de soja la LAD de los CC respecto a testigo fueron de 18.76, 9.32 y 10.18 mm mayores para raigrás, avena y centeno, respectivamente (Figura 4 a). Por el contrario, cuando el secado se prolongó hasta agosto la LAD del suelo bajo CC al momento de realizar la siembra de soja fue menor que la del testigo (21.4, 37.5 y 15.3 mm para raigrás, avena y centeno, respectivamente) (Figura 4 b). Finalmente, con el secado realizado a fines de septiembre, se registró un déficit respecto a testigo de 49.6, 52.4 y 40.1 mm, para raigrás, avena y centeno, respectivamente (Figura 4 c).

En el barbecho largo del ensayo F (Figura 4 d) se puede observar que al momento del secado de julio la LAD bajo los CC había disminuido fuertemente respecto de la LAD bajo el testigo, debido al consumo de agua edáfica para la generación de biomasa aérea y radicular de los cultivos. Sin embargo, es importante destacar que una vez secos los CC, estos quedan como residuos en superficie aumentando la capacidad de captación del agua de lluvia (Michelena *et al.*, 2000). Este efecto se evidencia en el aumento de la LAD de los perfiles bajo barbecho con residuos de CC, con las lluvias de primavera. Este comportamiento se repite en los tres años de estudio.

Lo observado conduce a pensar que el seguimiento de la oferta hídrica es crítico al definir el momento de secado del CC en cada año, en lugar de un planteo de terminación con fechas preestablecidas.

En la Figura 5 se presenta la producción de MS aérea acumulada por cada CC, en cada uno de los años estudiados y en cada momento de secado: a) 1° secado (julio); b) 2° secado (agosto); y c) 3° secado (septiembre). Además, en 2008 y 2009 se muestra la producción de MS de los testigos, representada por el crecimiento de malezas. Con respecto al uso de fertilizante nitrogenado, en 2007 no se observó un incremento importante en la producción de MS por el uso de esta práctica, probablemente como consecuencia de la poca oferta de agua (Figura 4).

La producción de biomasa en 2008 reflejó la mayor oferta hídrica de ese año, comportamiento que no se manifestó de igual manera en 2009, el año más seco del período estudiado, ni en 2007, el año con

temperaturas invernales más bajas. El centeno fue el CC de mayor acumulación de MS, especialmente en los dos últimos años, lo que demuestra la capacidad adaptativa de esta especie a ambientes extremos, ya que fue el CC más productivo y el más precoz entre las gramíneas utilizadas. En este sentido Dabney *et al.* (2001) indicaron que el centeno es una especie tolerante al frío, de más fácil implantación y precoz.

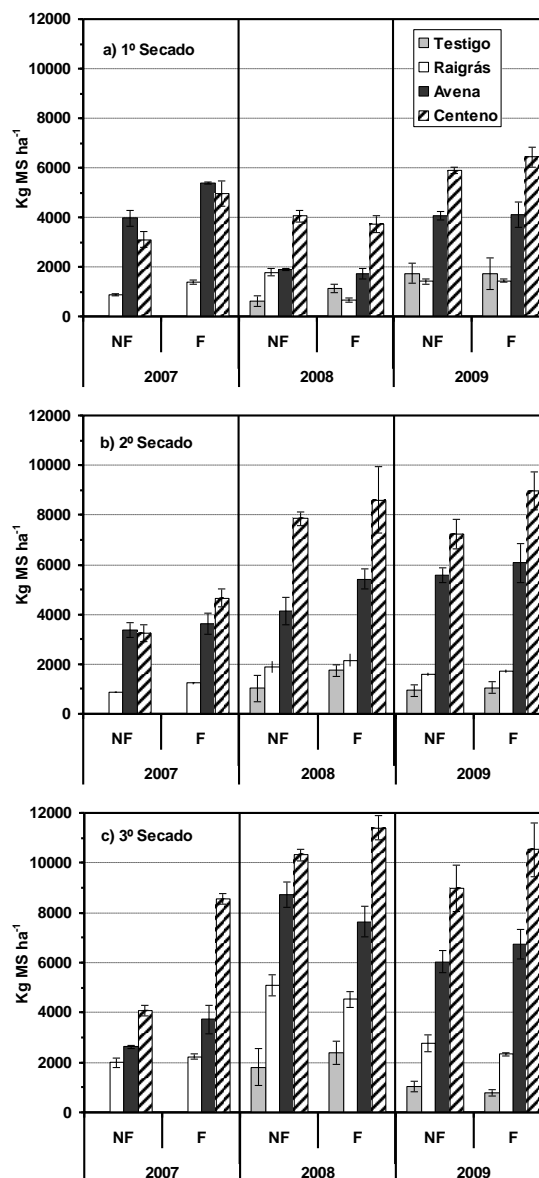


Figura 5. Producción de materia seca aérea acumulada por cada CC (kg MS ha⁻¹), en cada uno de los años estudiados, para cada réplica NF (no fertilizado) y F (fertilizado), y en cada momento de secado 1° secado (a), 2° secado (b) y 3° secado (c). Las líneas verticales representan el error estándar de la media.

Por otro lado, cada momento de secado mostró una respuesta distinta en cada uno de los cultivos. En este sentido, hasta el primer secado la MS acumulada fue mayor en 2009 que en 2008 (Figura 5a), hasta el segundo secado no hubo diferencias (Figura 5 b) y hasta el tercer secado fue mayor en 2008 que en 2009 (Figura 5 c). Esto indicaría un aprovechamiento temprano del agua remanente de otoño, con una alta eficiencia, que agotó las reservas en el suelo rápidamente.

En la Tabla 2 se muestran las EUA para cada momento de secado, para cada réplica NF y F y para los tres años de estudio. Se observa que para todos los años las EUA de avena y centeno fueron mayores que las de raigrás. En este sentido, la EUA de raigrás fue comparable a la de las malezas que crecieron en el testigo. Al observar las EUA del centeno se evidenció que éste fue mas eficiente en el uso del agua en 2008 y 2009 que en 2007. Esto fue debido a las bajas temperaturas registradas en 2007, que limitaron la producción de biomasa de este cultivo. Por lo que el promedio de EUA de los dos

últimos años para centeno alcanzó 53.2 kg MS mm⁻¹ en la réplica F, cuando se lo dejó crecer hasta septiembre (3° secado).

Con respecto a la fertilización nitrogenada, en general hubo mayor EUA por el uso de fertilizante, especialmente en el 3° secado. Esta mayor EUA se debió a un mejor aprovechamiento del fertilizante, particularmente en los CC que se dejaron crecer hasta septiembre (3° Secado), ya que hubo temperaturas mas altas y se beneficiaron con las precipitaciones de primavera. En este sentido, Huang *et al.* (2003), afirman que un mismo cultivo puede tener diferentes EUA, dependiendo de la rotación en la que esté, y esto puede ser atribuido a la variación entre años de las precipitaciones y del almacenaje del agua del suelo. Además, al mejorar las condiciones de fertilidad (e.g. mediante fertilización), el tamaño de la canopia se verá aumentado, lo que ocasionará la reducción de la evaporación del suelo y al mismo tiempo incrementará la cantidad de agua disponible para la transpiración, resultando en un incremento de la EUA.

Tabla 2. Eficiencia de uso del agua (EUA) para cada momento de secado, para cada réplica: No fertilizado y Fertilizado, y para tres años de estudio: 2007, 2008 y 2009. EE es el error estándar de las medias.

Año	Tratamiento	1º Secado				2º Secado				3º Secado			
		No fertilizado		Fertilizado		No fertilizado		Fertilizado		No fertilizado		Fertilizado	
		EUA	EE	EUA	EE	EUA	EE	EUA	EE	EUA	EE	EUA	EE
-----kg mm ⁻¹ -----													
2007	Testigo	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
	Raigrás	5.2	0.3	7.6	1.1	4.8	0.1	5.7	0.3	8.9	1.2	9.7	0.6
	Avena	21.1	3.4	26.1	3.6	16.5	2.1	14.4	1.5	12.3	0.9	16.5	3.9
	Centeno	17.7	2.4	21.9	1.6	16.1	2.2	19.5	1.0	17.1	0.2	34.6	4.7
2008	Testigo	6.4	2.9	14.4	3.7	8.0	4.4	sd	sd	11.3	5.3	15.1	2.3
	Raigrás	15.7	2.2	10.4	2.2	13.1	2.5	sd	sd	22.6	1.3	21.8	1.6
	Avena	18.6	0.9	17.9	1.4	25.4	2.8	sd	sd	38.7	2.7	32.6	3.8
	Centeno	32.2	2.0	36.0	4.9	43.5	2.8	sd	sd	46.5	2.3	53.6	2.5
2009	Testigo	9.4	2.8	11.2	4.7	5.1	1.7	3.7	2.4	6.1	1.4	6.0	1.3
	Raigrás	7.4	0.4	7.6	0.7	7.5	0.8	8.5	0.5	12.5	1.6	13.2	0.7
	Avena	19.6	1.6	19.9	2.2	23.3	0.8	24.1	2.9	25.5	5.0	36.1	10.1
	Centeno	26.9	1.0	30.3	3.8	27.0	7.2	41.0	7.5	37.7	6.5	52.8	11.3

La EB permite interpretar la eficiencia de cada SC en la captación y en la conservación del agua pluvial. En la Figura 6 se muestran las EB para cada momento de secado, para cada réplica NF y F y para cada año de estudio. Se observó una marcada diferencia entre años, consecuencia principal de la cantidad de precipitaciones registradas y la cantidad de biomasa producida en cada uno de ellos. Asimismo, se observa un gradiente general de EB de los SC que sigue el ordenamiento centeno > avena > raigrás > testigo. Lo explicado es válido para todos

los años, aunque la magnitud de las diferencias se acentúa en la misma medida que difieren las precipitaciones y largo de la duración del barbecho. Dentro de la réplica NF, los valores más altos se observaron en 2008 bajo el barbecho corto, con 19.1, 16.6, 89.9 y 77.8 mm mm⁻¹, para testigo, raigrás, avena y centeno, respectivamente (Figura 6 a). Por su parte en la réplica F se observó la misma secuencia: 19.4, 74.5, 110.5 y 83.0 mm mm⁻¹, para testigo, raigrás, avena y centeno en barbecho corto, respectivamente (Figura 6 b).

Particularmente, en 2009 las mayores EB predominaron bajo los barbechos largos que siguieron a cada CC, tanto en el ensayo F como en el NF (Figura 6 a y b). En 2007 los máximos valores se observaron para los barbechos largos y medios en ambas réplicas de fertilización (Figura 6 a y b). Esto indicaría que el cese del crecimiento temprano fue el más oportuno para una condición

de fuerte sequía como la que ocurrió ese año. Como se mencionó anteriormente al analizar la lámina disponible, a pesar de que el centeno fue el CC que extrajo más agua del suelo por dejar una lámina mucho menor que la que dejaron los testigos, aquí se pudo apreciar que fueron mucho más eficientes en la captación y en el aprovechamiento del agua de las precipitaciones.

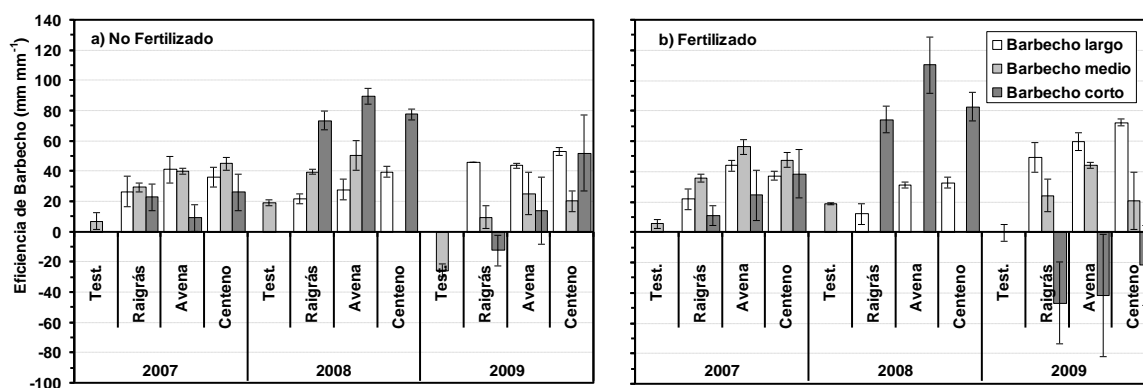


Figura. 6. Eficiencia de barbecho para cada barbecho: largo, medio y corto. Para cada replica: no fertilizado (a) y fertilizado (b) y para tres años de estudio. Las líneas verticales en cada columna muestran el error estándar de la media.

En el presente ensayo el crecimiento de la biomasa aérea y radical condujo a la protección del suelo ante el impacto de las gotas de las precipitaciones, evitando el sellado del mismo. Al mismo tiempo, el crecimiento de raíces propició que la infiltración se viera favorecida por una mejora en la estructura del suelo (Michelena *et al.*, 2000). El aumento de la tasa y de la cantidad de infiltración se produce por varios mecanismos. Principalmente, bajo CC se previene el sellado de la superficie del suelo ya que al cubrirlo éstos lo protegen del impacto directo de las gotas de lluvia. Además, normalmente se registran incrementos en la estabilidad de los agregados y en la macroporosidad. Los CC pueden afectar la mayoría de los componentes del ciclo hidrológico, ya que afectan la evaporación alterando la radiación neta, la velocidad del viento, el déficit de presión de vapor y la temperatura de la superficie. Alteran el escurrimiento superficial a través de modificaciones en la rugosidad hidráulica, captación por la canopia y aumento de la tasa de infiltración (Dabney, 1998).

En nuestro país, al igual que en muchas regiones subhúmedas y semiáridas alrededor del mundo es común dejar el suelo bajo largos períodos de barbecho con el objetivo de almacenar agua para la siguiente estación de crecimiento (Passioura, 2004). El largo y el momento del barbecho afectan la cantidad de precipitaciones que recibe el suelo de forma directa y,

de esta manera, se condiciona la cantidad de agua almacenada en este período. Como se pudo comprobar en este trabajo, la cantidad y la eficiencia de almacenaje del agua varían ampliamente entre años, entre especies y entre SC. Resultados similares fueron reportados por Huang *et al.* (2003). En este sentido, Cayci *et al.* (2009) afirman que la práctica de barbecho tradicional esta siendo abandonada debido a su baja eficiencia. Estos autores muestran que sólo entre el 12-20% de las precipitaciones ocurridas en la época de barbecho son retenidas y aprovechadas al momento de la siembra del próximo cultivo, valores que se corresponden con los estimados en el presente trabajo.

Un resultado del crecimiento de los CC es que éstos utilizan el agua del suelo, generando un costo hídrico que puede tener consecuencias positivas, neutras o negativas sobre el suministro de agua para el siguiente cultivo. Como se afirma en este trabajo, existen diferencias considerables en el uso de agua entre especies, lo que tiene efectos a diferentes escalas (Merrill *et al.*, 2007). Con respecto a los efectos positivos, éstos se manifestarán cuando los CC que son utilizados mejoren la infiltración y disminuyan la evaporación, luego de que son secados. Por el contrario, su efecto será negativo cuando el tiempo existente entre su terminación y la siembra del próximo cultivo no sea suficiente para permitir la recarga hídrica del suelo (Unger y Vigil, 1998).

CONCLUSIONES

Para las condiciones planteadas en el presente ensayo en una secuencia de soja bajo SD en un Hapludol del O de la provincia de Buenos Aires, la incorporación de CC aumentó la producción de MS con respecto a la situación de barbecho tradicional. En consecuencia, este aumento en la productividad del suelo condujo a una mayor eficiencia de utilización del agua que el manejo bajo barbecho tradicional realizado por los productores. La mayor eficiencia corresponde a centeno, la cual es una especie adaptada a ambientes subhúmedos.

Bajo las condiciones del estudio, la cantidad de agua disponible al momento de siembra de soja estuvo relacionada con las precipitaciones en el momento de la recarga y con el momento de finalización del CC. Los resultados encontrados permiten inferir que es posible conducir SC que incluyan CC sin afectar la oferta hídrica del cultivo siguiente, siempre que se realice un seguimiento del estado de humedad ambiental y edáfica, junto a un manejo en base a ello.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto de INTA AERN 5654. Los autores agradecen por su colaboración a los encargados del establecimiento "El Correntino" y al Ing. Agr. Marcos Angelini.

REFERENCIAS

- Amir, J.; Krikum J.; Oriom D.; Putter, J. y Klitman, S. 1991. Wheat production in an arid environments. I Water-use efficiency, as affected by management practices. *Field Crops Res.* 27: 351-364.
- Baumhardt, R. y Jones, O. 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 and Till Res.* 68: 71-82.
- Bennie, A. y Hensley, M. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *Journal of Hydrology.* 241: 124-139.
- Cayci, G.; Heng, L. K.; Öztürk, H. S.; Sürek, D.; Küttük, C. y Sağlam, M. 2009. Crop yield and water use efficiency in semi-arid region of Turkey. *Soil Till Res.* 103:65-72.
- Dabney, S. M. 1998. Cover crops impacts on watershed hydrology. *J. Soil Water Cons.* 53(3): 207-213.
- Dabney, S. M.; Delgado, J. A. y Reeves D. W. 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*,32:7, 1221-1250.
- Fernández, R. y Quiroga, A. 2008. Efecto del sistema de labranza en la eficiencia de almacenamiento del agua en la región semiárida pampeana. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, pp 307.
- Huang, M.; Shao, M.; Zhang, L. y Li, Y. 2003. Water use efficiency and sustainability of different long-term crop rotation systems in the Loess Plateau of China. *Soil Till. Res.* 72:95-104.
- Lampurlanes, J.; Angás, P. y Cantero-Martinez, C. 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 Till. Res.* 65: 207-220.
- López, M. V. y Arrúe, J. L. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Till Res.* 44: 35-54
- Merrill, S. D.; Tanaka, D. L.; Krupinsky, J. M.; Liebig, M. A. y Hanson, J. D. 2007. Soil Water Depletion and Recharge under Ten Crop Species and Applications to the Principles of Dynamic Cropping Systems. *Agron. J.* 99:931-938.
- Michelena, R.; Iruetia, C. y Rorig, M. 2000. Caracterización hídrica de suelos de la Región Pampeana a través de un Índice de Erosión. 11th International Soil Conservation Organisation Conference (ISCO). Buenos Aires.
- Moret, D.; Arrúe, J. L.; López, M. V. y Gracia, R. 2006. Influence of fallowing practices on soil water and precipitation storage efficiency in semiarid Aragon (NE Spain). *Agric. Water Manag.* 82: 161-176.
- Passioura, J. 2004. Increasing Crop Productivity When Water is Scarce-From Breeding to Field Management. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress.* Brisbane, Australia. Published on CDROM.
- Pokorný, J. y Rejšková, A. 2008, Water cycle management, En: Erik Jorgensen and Brian D. Fath (Editor in Chif), Ecological Engineering. Vol. 5 of Encyclopedia of Ecology, 5 vols. Pp. (3729-3737). Oxford: Elsevier.
- Quiroga, A.; Adema, E.; Buschiazzi, D. y Peinemann, N. 1996. Efecto de dos sistemas de

- labranzas sobre el rendimiento de trigo y sorgo, y propiedades de un Haplustol Entico en la región semiárida pampeana. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pág. 213.
- Quiroga, A.; Funaro, D.; Fernández, R. y Noellemeyer, E. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la Región Pampeana. *Ciencia del Suelo*. 23 (1) 79-86 pp.
- Quiroga, A.; Fernandez, R.; Azcárate, P. y Bono, A. 2008. Agua del suelo. Bases funcionales para su manejo. En: *Manual de Fertilidad y Evaluación de Suelos*. Ediciones INTA. EEA Anguil. Publicación Técnica N° 71.
- Reeves, D. W. 1994. Cover crops and rotations. pp.125-172. In: J.L. Hatfield and B.A. Stewart (eds.) *Crops Residue Management*. Adv. in Soil Sci. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Tanaka, D. L.; Krupinsky, J. M.; Liebig, M. A.; Merrill, S. D.; Ries, R. E.; Hendrickson, J. R.; Johnson, H. A. y Hanson, J. D. 2002. Dynamic cropping systems: An adaptable approach to crop production in the Great Plains. *Agron. J.* 94:957-961.
- Unger, P. W. y Vigil, M. F.. 1998. Cover crops effects on soil water relationships. *J. Soil Water Cons.* 53(3):200-207.
- Artículo recibido el 06/2011 y aprobado para su publicación el 10/2011.*