

CULTIVOS DE COBERTURA, ¿UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA LA REGIÓN SEMIARIDA PAMPEANA?

ROMINA FERNÁNDEZ^{1,2*}; ALBERTO QUIROGA^{1,2} & ELKE NOELLEMAYER²

Recibido: 01-11-10

Recibido con revisiones: 20-05-12

Aceptado: 22-05-12

RESUMEN

Con el fin de evaluar el efecto que tienen los cultivos de cobertura (CC) en términos de proveer cobertura al suelo, acumular N y P en su biomasa y favorecer la acumulación de agua útil y el rendimiento de los cultivos de verano, se estableció un ensayo con los siguientes tratamientos: barbecho (B) sin CC, centeno (*Secale cereale* L.) sin fertilizar como CC testigo (CT) y centeno fertilizado con nitrógeno (CF), en un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Al momento de secado del CC el arreglo de los tratamientos fue en parcelas divididas con la fertilización como tratamiento principal y el momento de secado como subtratamiento: secado del CC en julio (CTJ y CFJ respectivamente) y en agosto (CTA y CFA respectivamente). Sobre todos los tratamientos se establecieron cultivos de verano (CV), maíz y sorgo, luego de un barbecho, a fines de noviembre. Se determinó humedad de suelo y $N-NO_3^-$ a la siembra del CC, durante su ciclo y a la siembra del cultivo de verano y en floración de maíz y sorgo. Se calculó el uso consuntivo (UC) y la eficiencia de uso de agua (EUA) en la producción de biomasa del CC y en la producción de granos (rendimiento) de los CV. En ambos momentos de secado del CC, julio (J) y agosto (A), a la siembra, floración y cosecha de los cultivos de verano se determinó la cantidad de residuos del CC y su contenido de carbono, nitrógeno y fósforo. A la siembra del cultivo de verano el tratamiento B tuvo menos cantidad de agua útil que los tratamientos con CC. En CT y CF, la fecha de secado más temprana almacenó mayor cantidad de agua que la más tardía. La producción total de materia seca del CC fue mayor cuando se secó en A y en tratamientos fertilizados. Los CC fijaron importantes cantidades de C y retuvieron en sus tejidos P y N contribuyendo a disminuir potenciales pérdidas de nitratos por lixiviación durante el barbecho. El N proveniente de la mineralización de los residuos aumentó los niveles de N disponible en el suelo para el cultivo de maíz y sorgo. El rendimiento de maíz fue dependiente de la disponibilidad hídrica en el suelo a la siembra, ya que en B fue de 1015 kg ha^{-1} , mientras que el rendimiento promedio con antecesor CC fue de 4044 kg ha^{-1} . Para el caso del cultivo de sorgo, el manejo previo (con o sin CC) no condicionó los rendimientos del mismo, debido a su ciclo fenológico más largo que facilitó que el cultivo aprovechara mayores precipitaciones específicamente durante el período entre siembra y floración.

Palabras clave. Barbecho, centeno, eficiencia en el uso del agua, secuestro de nitrógeno y fósforo, maíz, sorgo.

COVER CROPS: A VIABLE ALTERNATIVE FOR THE SEMIARID PAMPA REGION?

ABSTRACT

The effect of cover crops (CC) on the provision of soil cover, N sequestration, accumulation of available water and the yield of a subsequent summer crop was evaluated. A field experiment with the following treatments was established: fallow without cover crop (B) and rye as CC, control (CT), and fertilized (CF) in a randomized complete block design with plots divided in two moments of drying of CC: July (CTJ) and CFJ respectively) and August (CTA and CFA respectively). On all treatments, two summer crops (CV), corn and sorghum were planted after fallowing at the end of November. Soil moisture and nitrate-N were determined at seeding of the CC, during their growing season, and at planting and flowering of corn and sorghum. Consumptive water use (UC) and water use efficiency (EUA) of CC, corn and sorghum were calculated. The standing biomass of CC was determined at the two dates of drying (J and A), and at planting of the summer crops and during their growing period the CC biomass litter was measured. The carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) contents of the dry matter were determined for all sampling dates. At planting of the summer crops, B treatment had less available water stored in the soil than CC, and J stored more water than A treatment. Total dry matter production of CC was higher in F and when dried in A. The CC sequestered important amounts of C, N and P, preventing potential leaching losses of N during the fallow, and CC litter contributed considerable amounts of both nutrients to the subsequent summer crops. Corn yields were related to water availability as conditioned by CC, and were therefore higher in CC than in B treatments (4044 and 1015 kg ha^{-1} respectively). Sorghum yield was not affected by previous soil management with or without CC, due to the longer phenological cycle of this crop which enabled it to make use of more rainfall specifically between planting and flowering.

Key words. Fallow, rye, water use efficiency, N and P sequestration, corn and sorghum yields.

1 INTA, EEA Anguil - CC 11-6326-Anguil (L.P), ²Facultad de Agronomía, UNLPam,

* Correo electrónico: rfernandez@anguil.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas se ha intensificado el uso de los suelos en la Región Pampeana, que pasó de sistemas mixtos de producción con 4-5 años de pasturas perennes seguido de 4-8 años de cultivos anuales a secuencias continuas de cereales y oleaginosas anuales (De Batista *et al.*, 1992). Además se han registrado importantes cambios en la tecnología que resultó en aumentos de la productividad de los cultivos debido a mejores cultivares con mayor índice de cosecha (Satorre, 2003; Scianca, 2010). Ambos procesos han provocado que la reposición del carbono y de nutrientes al suelo disminuyera en los actuales sistemas agrícolas.

Los cultivos de cobertura (CC) pueden ser una alternativa para mantener o atenuar la pérdida de carbono de los suelos, prevenir la erosión, aumentar la infiltración, capturar nutrientes, reducir sus pérdidas por lixiviación y contribuir al control de malezas (Daliparthi *et al.*, 1994; Unger & Vigil, 1998). Esta práctica consiste en sembrar un cultivo con el fin de generar cobertura entre dos cultivos de cosecha y favorecer los balances de carbono en los sistemas agrícolas. Además, también tendrían un efecto positivo sobre la eficiencia de uso de agua (EUA) de los sistemas de producción, sobre todo en regiones donde ocurren precipitaciones durante el barbecho invernal (Lemaire *et al.*, 2004) y estas precipitaciones en su mayoría no son utilizadas por los cultivos de verano, debido a que el agua del suelo se pierde por evaporación (Fernández *et al.*, 2008). Sin embargo, los resultados de incluir CC en la rotación frecuentemente resultan muy variables entre sitios (Unger & Vigil, 1998), dada la cantidad de factores involucrados (clima, suelo, manejo) y la fuerte interacción entre ellos durante el ciclo del CC y el barbecho posterior (Galantini, 2008).

Algunos estudios muestran que los CC incluidos en planteos de siembra directa mejoran la infiltración del agua de lluvia y el almacenaje en el perfil del suelo, lo que se atribuye a una menor pérdida de agua por escurrimiento superficial y percolación profunda fuera del alcance de las raíces, lo cual se ve reflejado en un mayor rendimiento en los años secos (Hoyt *et al.*, 2004).

Fernández *et al.* (2005) y Duarte (2002), en estudios desarrollados sobre Haplustoles de la región semiárida y subhúmeda pampeana comprobaron que en años con precipitaciones normales, durante barbechos largos y en suelos de baja capacidad de retención de agua, los CC aumentaron la EUA de los cultivos de cosecha respecto del

testigo (sin CC). Sin embargo, también se admite que el consumo hídrico de los CC durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo sucesor (Duarte, 2002; Scianca *et al.*, 2008, Munawar *et al.*, 1990). Fernández *et al.* (2007) demostraron que la disminución en el contenido de agua útil para el cultivo de verano por haber incluido CC, que también se podría llamar «costo hídrico», fue entre 30 y 100 mm. 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.

Otro aspecto potencialmente beneficioso de los CC sería la absorción de nitratos con la consecuente retención del nitrógeno en su biomasa (N), lo que disminuiría las pérdidas por lixiviación que ocurrirían sin presencia del cultivo, principalmente durante barbechos largos. Esta inmovilización del N inorgánico podría condicionar la disponibilidad de N para el cultivo sucesor. Reicosky & Archer (2005) mencionan que el N incorporado al suelo proveniente de biomasa es más eficientemente utilizado por las plantas que el N derivado de fertilizantes.

Scianca *et al.* (2006), trabajando en un suelo Hapludol thapto-árgico, encontraron que la retención de N por parte de centeno como CC puede representar entre 36 y 41 kg N ha⁻¹ comparado con su testigo (sin CC). Fernández *et al.* (2007), también cuantificaron entre 18 y 34 kg ha⁻¹ menos de N en el suelo bajo centeno como CC comparado con su par sin CC en Haplustoles énticos. Sin embargo, el efecto benéfico de la contribución de N de parte del CC sucedería si este N estuviera disponible durante el período de mayor demanda del cultivo de verano (Ranells & Wagger, 1996). La disponibilidad del N de los residuos de los CC dependerá de la tasa de mineralización, que se encuentra directamente relacionada a las condiciones ambientales y a su relación C/N. De acuerdo a ésta, podrían ocurrir procesos antagónicos, como inmovilización con alta relación C/N o mineralización neta con baja relación C/N.

Valores entre 25 y 30 para la relación C/N han sido sugeridos como umbrales entre mineralización neta e inmovilización de N (Allison, 1966). Kuo & Jellum (2002) citados por Kramberger *et al.* (2009), concluyeron que los CC con especies no leguminosas de alta relación C/N presentaron escaso o nulo aporte de N al cultivo sucesor.

Dependiendo de las necesidades de manejo del cultivo, los CC suelen secarse con herbicidas con cierta antelación a la siembra del próximo cultivo. En general se comprobó que no existe una estrecha relación entre los contenidos de humedad de suelo y nitratos al momento de secar los CC y su influencia sobre el cultivo siguiente (Scianca, 2010). Fernández *et al.* (2007), y Scianca (2010) han encontrado rendimientos de cultivos de maíz y soja iguales o mayores en aquellos tratamientos que incluían CC como antecesores, respecto de los testigos sin CC, mientras que Álvarez *et al.* (2006) no encontraron diferencias en el rendimiento de soja establecida sobre CC secados en distintos momentos, en Hapludoles típicos del noroeste bonaerense.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la viabilidad del cultivo de cobertura teniendo en cuenta la disponibilidad de agua para el cultivo de verano posterior y su capacidad de retener nitrógeno y fósforo en su biomasa y de disponibilizarlo para el cultivo sucesor.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el campo anexo de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil (latitud: 36° 31' 00" S y longitud 64° 01' 00" W). El ensayo correspondió al proyecto Nacional de INTA de reposición de nutrientes en secuencias de cultivos de soja, y se estableció en el año 2007 en siembra directa. Tanto en la campaña 2007 como en el 2008 el cultivo de soja fracasó debido a las muy escasas precipitaciones. A la siembra del CC las parcelas contaban con nula cobertura de residuos. El cultivo usado como CC fue centeno (*Secale cereale* variedad Quehué) el cual fue sembrado el día 16/3/09, a una densidad de 200 plantas m⁻². El suelo es un Haplustol éntico, con calcáreo (tosca) a partir de los 80 cm, cuyas características se presentan en la Tabla 1.

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones. En cada bloque se establecieron 3 tratamientos en parcelas de 10 x 15 m: barbecho sin CC (B), centeno (*Secale cereale* L.) sin fertilizar como CC

testigo (CT) y centeno fertilizado (CF) con 46 kg ha⁻¹ de N como urea aplicada al voleo a la siembra. A su vez, cada parcela de CC fue dividida en dos momentos de secado: en julio (J) (21/7/09, fin de macollaje) y en agosto (A) (26/8/09, encañazón), resultando en un arreglo de tratamientos en parcelas divididas con la fertilización como tratamiento principal y la fecha de secado como subtratamiento. El secado del CC se realizó con glifosato a razón de 3 l ha⁻¹.

Al momento de secado del CC (J y A), en los tratamientos de CT y CF se determinó la biomasa aérea tomando una muestra de 0,25 m² por parcela, mediante cortes al ras del suelo. Las muestras fueron secadas a 105 °C de temperatura para la determinación del peso seco.

Sobre las parcelas de fecha de secado de julio y agosto del CC, en todos los tratamientos, se sembraron maíz y sorgo el día 30/11/2009 a una distancia de 0,52 m entre surcos, y a una densidad de 53.000 plantas ha⁻¹ y 140.000 plantas ha⁻¹, respectivamente.

La producción de granos (Rendimiento, kg ha⁻¹) de los cultivos de verano (CV) fue determinada cosechando manualmente una superficie de 2 m² por parcela en el estadio de madurez fisiológica. Las muestras luego fueron trilladas con trilladora estacionaria.

Al inicio del ensayo se determinó densidad aparente (Blake and Hartge, 1986) con cilindro de 244 cm³ de volumen tomando muestras de suelo a intervalos de 20 cm, hasta una profundidad total de 80 cm. Se determinaron las constantes hídricas de punto de marchites permanente (PMP, pF 4,5) y capacidad de campo (CC, pF 2,5) en muestras de suelo tomadas sin disturbar con cilindros de acero inoxidable de 4 cm de alto y 6 cm de diámetro a intervalos de 20 cm hasta los 80 cm con 6 repeticiones por profundidad. Se utilizó un equipo de presión, con placas cerámicas para 0,3 y 15 bares. Una vez alcanzado el equilibrio, las muestras fueron pesadas y llevadas a estufa (105 °C) hasta peso constante. Luego, con las láminas de agua correspondiente a CC y PMP se calculó la capacidad de agua útil (AU) del suelo hasta la profundidad evaluada.

Los muestreos para determinar el contenido de humedad se realizaron cada 20 cm hasta los 80 cm de profundidad, y para nitratos hasta los 60 cm de profundidad, en un punto de

Tabla 1. Características edáficas (0-20 cm de profundidad) del suelo donde se realizó la experiencia. Limo + arcilla (L+A), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N), fósforo disponible (P), densidad aparente (D ap.), contenido hídrico gravimétrico a capacidad de campo (CC) y a punto de marchitez permanente (PMP).

Table 1. Soil properties (0-20 cm depth) of the experimental site. Silt + clay contents (L+A), organic matter (MO), total nitrogen (N), available phosphorus (P), bulk density (DA), gravimetric moisture contents at field capacity (CC) and permanent wilting point (PMP).

(L+A %)	MO (%)	N (%)	P (ppm)	D ap. (kg m ⁻³)	CC (%)	PMP (%)
45,1	2,9	0,15	7,9	1160	23,6	9,5

cada parcela, de modo que se trabajó con tres repeticiones por tratamiento y por bloque (n=9). Excepto en el momento de la siembra del CC (16/3) donde se determinó humedad y nitratos en tres repeticiones al azar.

La humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico. Posteriormente se calculó el agua útil (AU) hasta los 80 cm de profundidad considerando la densidad aparente y las constantes hídras (PMP y CC) para cada estrato. Se calculó la eficiencia de barbecho (EB) mediante la siguiente ecuación (Mathews & Army, 1960).

$$EB = \frac{(AU \text{ final barbecho} - AU \text{ inicio barbecho})}{\text{precipitaciones durante el barbecho}} * 100$$

El nitrógeno de nitratos (N-NO₃⁻) en suelo (0-20 y 20-60 cm de profundidad) se determinó por extracción acuosa y colorimetría con ácido cromotrópico (West & Ramachandran, 1966). Luego se estimó el contenido de N-NO₃⁻ en el suelo (kg ha⁻¹) con la densidad aparente correspondiente a cada profundidad. Ambas variables, AU y N-NO₃⁻, se determinaron en los siguientes momentos: 1) a la siembra del CC (16/03/09); 2) durante el ciclo del CC (15/05/09); 3) en las fechas de secado de CC (21/7 y 26/8/09); 4) a la siembra del cultivo de verano (30/11/09) y 4) en floración de maíz (15/02/10) y de sorgo (26/2/2010).

Se calculó el uso consuntivo de agua en mm (UC) del CC y de maíz y sorgo, de acuerdo a la siguiente fórmula (López & Arrue, 1997):

$$UC = (AU \text{ siembra} + \text{precipitaciones durante el ciclo}) - AU \text{ cosecha}$$

Por otra parte, en la fecha de secado de J en ambos tratamientos (T y F) se muestreó el residuo en la superficie del suelo mediante recolección del material en una superficie de 0,25 m² en cada parcela a la siembra, floración y cosecha de los cultivos de verano. Tanto las muestras de MS de los CC como también de los residuos de los CC fueron analizados por sus contenidos de carbono por combustión seca (LECO, modelo CR-12), nitrógeno (semi-micro Kjeldahl) y fósforo (espectrómetro de emisión atómica por plasma de acoplamiento inductivo).

Se calculó la eficiencia en la utilización del agua (EUA, kg MS mm⁻¹ ha⁻¹) de CC, de maíz y sorgo, mediante el cociente entre la materia seca aérea (kg ha⁻¹) del CC y el grano en maíz y sorgo (kg ha⁻¹) y el UC (mm) de los respectivos cultivos (López & Arrué, 1997).

Durante el período de estudio se registraron las precipitaciones con pluviómetro oficializado por el servicio meteorológico nacional, tipo B, ubicado (de acuerdo con normas

internacionales) a 1,5 m de altura, en la estación meteorológica de INTA Anguil. Las precipitaciones históricas (1921-2009) fueron obtenidas de los registros de INTA Anguil.

Los resultados se analizaron por posibles interacciones mediante ANOVA, considerando fertilización y fecha de secado como factores fijos, y cuando no se constató interacción significativa, se realizaron ANOVA simples para cada factor, utilizando el programa Infostat (Infostat, 2008) y las diferencias entre medias fueron analizadas mediante el test de LSD (p<0,1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uso consuntivo y eficiencia de uso de agua del cultivo de cobertura

En la Figura 1 se presentan los contenidos de AU desde la siembra del CC hasta madurez fisiológica de los cultivos de verano. El tratamiento B presentó en mayo, julio y agosto mayor cantidad de agua con diferencias significativas (p<0,10) respecto a los tratamientos con CC. Sin embargo, a la siembra de los CV (30/11) el tratamiento B tuvo menos cantidad de agua útil que los tratamientos con CC, con diferencias estadísticas significativas (p<0,10) a excepción del tratamiento CTA. La menor cantidad de agua en B podría explicarse por una mayor tasa de evaporación en el tratamiento B causada por la mayor temperatura del suelo debido a la escasa cobertura de residuos, tal como fue descrito por Fernández *et al.* (2006 y 2008). Según Torre (2004), los residuos en la superficie del suelo además de reducir la cantidad de radiación solar directa que llega al suelo, reflejan mayor cantidad de radiación a la atmósfera, ya que el manto vegetal suele tener un albedo superior al del suelo desnudo, lo que permite disminuir las pérdidas de agua por evaporación.

Considerando sólo los tratamientos de fertilización de los CC, los contenidos de AU para mayo, julio y agosto fueron similares, encontrándose que en la última fecha los CC consumieron prácticamente toda el agua disponible que contenía el suelo. A la fecha de siembra de los CV (30/11), el AU en los tratamientos correspondientes a la fecha de secado más temprana (J) fue mayor que en los tratamientos de la fecha de secado más tardía (A) aunque no se comprobaron diferencias significativas entre CTJ, CFJ y CFA, mientras que sí se diferenciaron CTJ y CFJ respecto de CTA.

Resultados de experiencias obtenidos en los últimos 5 años en la región semiárida pampeana muestran que las

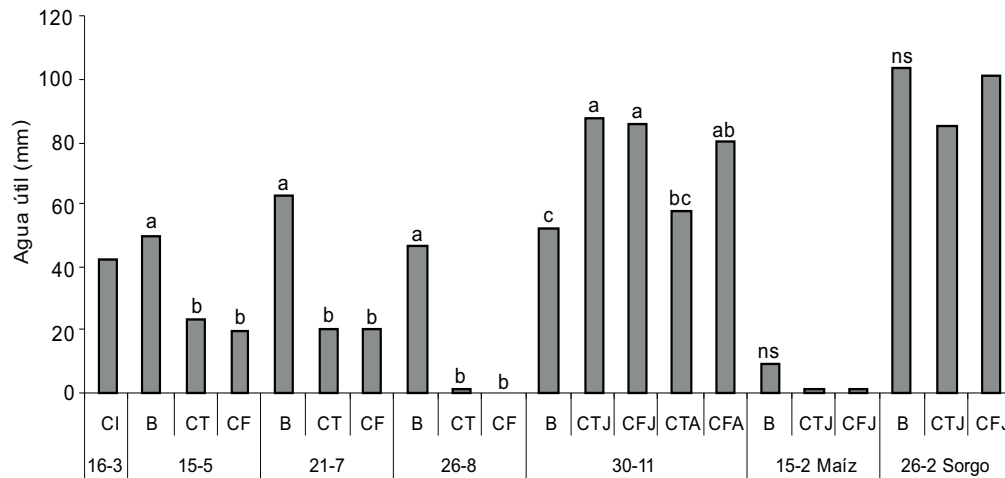


Figura 1. Contenidos de agua útil durante barbecho (B) y el ciclo de cultivo de cobertura (siembra: 16-3, macollaje: 15-5, fin macollaje: 21-7 y encañazón: 26-8) y durante el ciclo de cultivo de verano (siembra: 30-11, floración maíz 15-2 y floración sorgo 25-2).

CT: cultivo de cobertura testigo, CF: cultivo de cobertura fertilizado, CTJ: cultivo de cobertura testigo secado en julio, CFJ: cultivo de cobertura fertilizado secado en julio, CTA: cultivo de cobertura testigo secado en agosto, CFA: cultivo de cobertura fertilizado secado en agosto. CI: contenido inicial de agua. Letras diferentes dentro de cada fecha indican diferencias significativas. ns: no significativo.

Figure 1. Available water contents in fallow (B) and during the cover crop cycle (planting: 16-3, tillering: 15-5, end of tillering: 21-7 and stem elongation: 26-8), and during the summer crop season: (planting 30-11, flowering of corn 15-2, flowering of sorghum 25-2).

CT: control cover crop, CF: fertilized cover crop, CTJ: control cover crop dried in July, CFJ: fertilized cover crop dried in July, CTA: control cover crop dried in August, CFA: fertilized cover crop dried in August. CI: initial water content. Different letters within each sampling date indicate significant differences.

diferencias en los contenidos finales de agua entre los testigos y los CC (en el momento de la siembra del cultivo de verano) variaron entre 30 y 100 mm a favor de los testigos (Fernández *et al.*, 2007). Duarte (2002), Scianca *et al.* (2008) y Munawar *et al.* (1990), plantean un costo hídrico para los cultivos de verano al haber incluido un CC. En el presente estudio, en cambio, no se pudo observar una disminución de la oferta hídrica para el cultivo de verano, debido a las precipitaciones ocurridas entre el secado del CC y la siembra del cultivo de verano. Entre la fecha de secado del CC de J y la de A no ocurrieron precipitaciones mientras que desde la última fecha de secado (agosto) del CC hasta la siembra del cultivo de verano, el perfil se recargó con precipitaciones totales de 202 mm (Tabla 2), con una distribución de 72, 17 y 113 mm en septiembre, octubre y noviembre respectivamente (Fig. 2). Esta recarga del perfil del suelo antes de la siembra del CV fue la causa de que

no se registró un costo hídrico de haber incluido un CC. Considerando la distribución histórica de las precipitaciones (Fig. 2), sería viable poder realizar un CC sin costo hídrico para el CV. Secando el CC antes de septiembre y sembrando el CV a partir de noviembre.

Considerando que la suma de las precipitaciones desde la siembra del CC hasta la siembra de los cultivos de verano fue de 242 mm y del contenido inicial de agua útil (43 mm) resultan en una lámina de 285 mm. Es evidente que la mayor parte de la misma no puede ser almacenada en los 80 cm del perfil, debido a que la capacidad de retener agua útil hasta los 80 cm de profundidad es de 135 mm. El tratamiento B almacenó en ese período solamente 53 mm del total de los 135 mm potenciales (Fig. 1). Es decir que del total de las precipitaciones ocurridas, 232 mm se perdieron por diferentes procesos en el tratamiento bajo barbecho desnudo. Mientras que los tratamientos con CTJ,

Tabla 2. Precipitaciones registradas entre fechas de muestreos de humedad y $N-NO_3^-$ de suelo.

Table 2. Rainfall at the experimental site during the sampling intervals.

16/3 al 15/5	15/5 al 21/7	21/7 al 26/8	26/8 al 30/11	30/11 al 15/2	15/2 al 26/2
30 mm	10,5 mm	0	202 mm	209 mm	156 mm

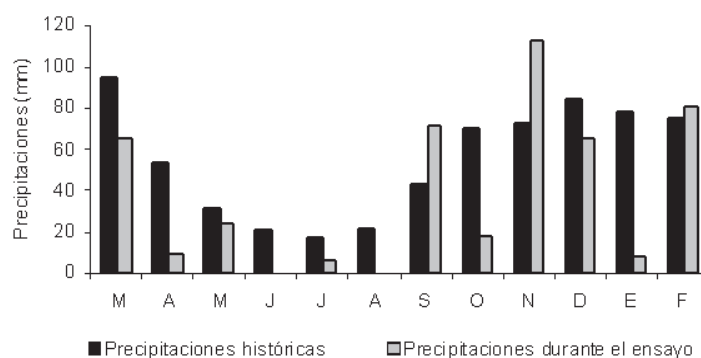


Figura 2. Precipitaciones mensuales históricas (1921-2009) y ocurridas durante el ensayo (de marzo a diciembre de 2009 y de enero a febrero de 2010).
Figure 2. Historical monthly rainfall (1921-2009) and rainfall during the experiment (March to December of 2009 and January to February of 2010).

CFJ, CTA CFA, almacenaron respectivamente 35, 33, 6 y 28 mm más de agua en el suelo que el B, a la siembra de los CV. Al respecto, la EB en B en relación a la captación del agua de lluvia fue tan sola de 4%. 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).

Los tratamientos con CC, con una producción promedio de 4851 kg ha⁻¹ de materia seca, almacenaron durante el barbecho en promedio 26 mm más de AU que B. Esta diferencia en el agua útil podría estar relacionada a que el tratamiento B, al no tener residuos sobre la superficie del suelo, tuvo mayores pérdidas por evaporación debido a mayores temperaturas en los primeros cm del suelo. Experiencias realizadas en la región semiárida pampeana por Fernández *et al.* (2008, 2006) comprobaron que a la siembra del cultivo estival el barbecho con bajo nivel de residuos presentó en los primeros 5 cm de suelo mayor temperatura (33,8 °C) que el de alto nivel de residuos (24,3 °C).

Carfagno *et al.* (2008) observaron, en suelos Haplustol y Hapludol (de la región semiárida y subhúmeda pampeana respectivamente) que a la siembra de soja el testigo con 7 meses de barbecho conservó menos humedad en el perfil que los tratamientos con CC. Nuestras observaciones también son coincidentes con resultados experimentales de Islam *et al.* (2006), quienes indican que en ambientes semiáridos los CC no afectan el contenido de agua en el suelo.

Las EUA del CC en CT y CF en ambas fechas de secado (J y A) fueron mayores para los tratamientos fertilizados, comparados con sus testigos. Los valores hallados fueron

63, 87, 79, 84 kg MS mm⁻¹ ha⁻¹ para CTJ, CFJ, CTA, CFA respectivamente, registrándose diferencias significativas solamente entre CTJ y los demás tratamientos. Para un centeno como CC en un suelo Argiudol típico, se hallaron valores de EUA entre 37 y 54 kg MS mm⁻¹ ha⁻¹, mientras que en un Hapludol thapto árgico las EUA oscilaron entre 9 y 30 kg MS mm⁻¹ ha⁻¹ (Scianca, 2010). Frasier *et al.* (2009) evaluaron la producción de centeno Quehué como CC hasta encañazón sobre un Haplustol éntico y obtuvieron valores de EUA de 35 kg MS mm⁻¹ ha⁻¹.

La elevada EUA de los CC también se reflejó en que su UC promedio fue tan solo de 84 mm. Scianca (2010) trabajando también en centeno como CC en la región semiárida pampeana, encontró un valor similar (88 mm), mientras que en la misma zona y el mismo cultivo, Fernández *et al.* (2007) cuantificaron 150 mm de UC.

Los resultados del presente estudio indicarían que los CC serían una alternativa muy eficiente para la generación de biomasa y aporte de C al suelo, sin producir un costo hídrico para el cultivo sucesor. Similares resultados ya fueron reportados por Fernández *et al.* (2005) y Carfagno *et al.* (2008), quienes encontraron costos hídricos bajos de CC (entre 30 y 60 mm) para cultivos estivales.

Dinámica del nitrógeno en el ciclo de los CC

Los contenidos de N-NO₃ en suelo (Fig. 3) al inicio de la experiencia fueron bajos (el promedio para todos los tratamientos fue de 22,4 kg ha⁻¹). El tratamiento B presentó en mayo, julio y agosto valores más altos de N-NO₃ que los tratamientos con CC, siendo estas diferencias altamente significativas en julio y agosto. Esto reflejaría el consumo de nitratos por parte del CC, el cual fue mayor en el mes de agosto ya que las diferencias de N-NO₃ con el trata-

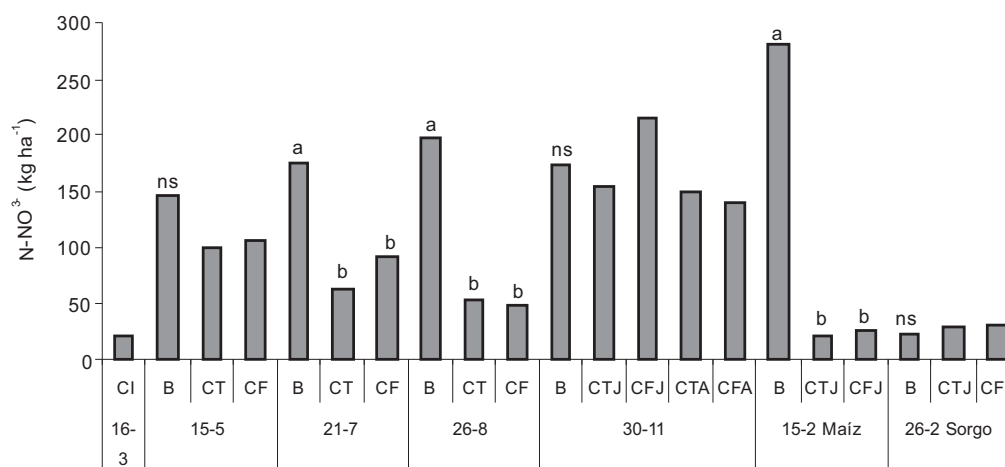


Figura 3. Contenidos de nitrógeno de nitratos durante el barbecho (B) y el ciclo de cultivo de cobertura (siembra: 16-3, macollaje: 15-5, fin macollaje: 21-7 y encañazón: 26-8) y durante el ciclo de cultivo de verano (siembra: 30-11, floración maíz 15-2 y floración sorgo 25-2).

CT: cultivo de cobertura testigo, CF: cultivo de cobertura fertilizado, CTJ: cultivo de cobertura testigo secado en julio, CFJ: cultivo de cobertura fertilizado secado en julio, CTA: cultivo de cobertura testigo secado en agosto, CFA: cultivo de cobertura fertilizado secado en agosto. CI: contenido inicial de nitrógeno de nitratos. Letras diferentes dentro de cada fecha de muestreo indican diferencias significativas, ns indica no significativo.

Figure 3. Nitrate-N at the beginning of the experiment (I), in fallow (B) and during the cover crop cycle (planting: 16-3, tillering: 15-5, end of tillering: 21-7 and stem elongation: 26-8), and during the summer cropping season: (planting 30-11, flowering of corn 15-2, flowering of sorghum 25-2).

CT: control cover crop, CF: fertilized cover crop, CTJ: control cover crop dried in July, CTF: fertilized cover crop dried in July, CTA: control cover crop dried in August, CFA: fertilized cover crop dried in August. CI: Nitrate-N initial content. Different letters within each sampling date indicate significant differences.

miento B fueron de 144 y 152 kg ha⁻¹ para CT y CF respectivamente (Fig. 3). Debido a que las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de los CC fueron muy bajas, registrándose desde la siembra del CC (16/3) al 15/5 30 mm, del 15/5 al 21/7 solamente 10,5 mm y ninguna precipitación del 21/7 al 26/8 (Tabla 2), los bajos contenidos de N-NO₃⁻ en los tratamientos con CC no podrían ser explicados por pérdida de lixiviación.

El contenido de N en la biomasa del CC (promedio de todos los tratamientos de CC) fue 62 kg ha⁻¹, lo que sumado al N-NO₃⁻ del suelo a la siembra del CV de 164 kg ha⁻¹ (promedio de todos los tratamientos de CC) suma un total de 226 kg ha⁻¹, mientras que los contenidos de N-NO₃⁻ en el suelo a la siembra del CV bajo B fueron solamente de 173 kg ha⁻¹. Esto indicaría que en el tratamiento B se habrían perdido aproximadamente 53 kg ha⁻¹ de nitratos. Este balance demuestra que los CC tienen la capacidad de secuestrar el N disponible que se produce por mineralización, disminuyendo potenciales pérdidas durante el barbecho. Al respecto, Meisinger *et al.* (1991) y Kuo *et al.* (1997) citados por Sainju *et al.* (2007) reportaron que los CC no leguminosos contribuyen a la captura de N residual después de la cosecha del cultivo de grano, evitando de esta

manera la lixiviación a capas profundas. Además, estudios realizados por Strock *et al.* (2004) registraron importantes pérdidas de N-NO₃⁻ por lixiviación en una rotación maíz soja que se redujeron en un 13 % cuando se intercaló un CC de gramíneas.

A la fecha de siembra del cultivo de verano no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los contenidos de N-NO₃⁻ en el suelo, variando de 140 kg ha⁻¹ en el tratamiento CFA a 214 kg ha⁻¹ en CFJ. Sin embargo, como se resaltó en el párrafo anterior, los tratamientos con CC secuestraron una importante cantidad de N orgánico en los residuos del CC que podría ser mineralizado durante el ciclo del cultivo de verano.

Materia seca y contenidos de carbono, nitrógeno y fósforo en los residuos del cultivo de cobertura

La cantidad de materia seca (MS) generada por el CC dependió de la fertilización y de la fecha de secado. En la fecha de secado J, el tratamiento fertilizado (CFJ) produjo 1828 kg ha⁻¹ más de MS que el testigo (CTJ) presentando diferencia significativa (Tabla 3), mientras que en la fecha de secado A esta diferencia (no significativa) fue considerablemente menor (158 kg MS ha⁻¹). Si se considera el testi-

go en las dos fechas de secado (CTJ y CTA), el atraso en el secado permitió aumentar en 3118 kg ha⁻¹ la producción de MS. Para el caso de los tratamientos fertilizados (CFJ y CFA), el atraso del secado del CC también permitió acumular más MS, aunque la diferencia entre fechas de secado fue menor (1448 kg ha⁻¹).

La fertilización nitrogenada y el momento de secado también influyeron sobre la descomposición de los residuos del CC durante el barbecho y durante el desarrollo del cultivo posterior. La fertilización aumentó la cantidad de residuos y disminuyó su relación carbono-nitrógeno (C/N). Por lo cual se puede presumir que la relación C/N, y de acuerdo a ésta la tasa de descomposición de los residuos (Ranells & Wagger, 1996), dependió más del momento de secado que de la fertilización nitrogenada (Tabla 4), en las condiciones del presente estudio. La fecha temprana de secado (J) produjo residuos con una relación C/N más baja que el secado postergado en agosto. Esto podría asociarse al estado fenológico del centeno en ambas fechas. El CC secado en J se encontraba en estado vegetativo (macollaje), mientras que el CC secado en A

ya había iniciado la etapa reproductiva y se encontraba en encañazón-floración.

El efecto del momento de secado se mantuvo en los residuos del CC durante el ciclo de los CV, ya que los tratamientos J mantuvieron C/N más bajas que los tratamientos A hasta la fecha de siembra de los CV. También se observó una diferencia en cuanto al cambio de esta relación en el período comprendido entre el secado de CC y la siembra de los CV, ya que el aumento fue menor en los tratamientos secados tempranamente (Tabla 4). Estos aumentos de la relación C/N indicarían que la mineralización del CC habría liberado mayor proporción de N que de C. La pérdida relativa de N con respecto al C en los residuos de los CC siguió durante el ciclo del cultivo de verano, aunque con tendencia a estabilizarse en un valor de C/N cercano a 30.

La evolución de C de los residuos de los CC (Fig. 4 a y b) muestra que en el período entre el secado del CC en julio y cosecha del CV hubo importantes pérdidas. En el tratamiento CT, del total de C contenido en los residuos se perdieron 1508 kg ha⁻¹ y 1234 kg ha⁻¹ en el cultivo de maíz

Tabla 3. Materia seca (MS), uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) en cultivo de cobertura.

CTJ: cultivo de cobertura testigo secado en julio, CFJ: cultivo de cobertura fertilizado secado en julio, CTA: cultivo de cobertura testigo secado en agosto, CFA: cultivo de cobertura fertilizado secado en agosto. Letras diferentes en cada línea indican diferencias significativas ($p < 0,1$).

Table 3. Dry matter (MS), water consumption (UC) and water use efficiency (EUA) in cover crops.

CTJ: control cover crop dried in July, CTF: fertilized cover crop dried in July, CTA: control cover crop dried in August, CFA: fertilized cover crop dried in August. Different letters in the same row indicate significant differences.

Variable	CTJ	CFJ	CTA	CFA
MS (kg ha ⁻¹)	4.548 c	6.376 b	7.666 a	7.824 a
UC (mm)	73 b	73 b	97 a	93 a
EUA (kg mm ⁻¹)	63 b	87 a	79 a	84 a

Tabla 4. Relación C/N de la materia seca en los dos momentos de secado del cultivo de cobertura a la siembra, floración y cosecha del cultivo de verano (CV). CTJ: cultivo de cobertura testigo secado en julio, CFJ: cultivo de cobertura fertilizado secado en julio, CTA: cultivo de cobertura testigo secado en agosto, CFA: cultivo de cobertura fertilizado secado en agosto. Letras diferentes en cada línea indican diferencias significativas.

Table 4. C/N ratio of dry matter at drying of cover crop, planting, flowering and harvest of summer crops. CTJ: control cover crop dried in July, CTF: fertilized cover crop dried in July, CTA: control cover crop dried in August, CFA: fertilized cover crop dried in August. Different letters in the same row indicate significant differences.

	CTJ	CFJ	CTA	CFA
Secado de CC	17,3 b	16,2 b	29,2 a	26,9 a
Siembra CV	25 b	24 b	40 a	40 a
Floración CV	32 a	27 a	s/d	s/d
Cosecha CV	32 a	33 a	s/d	s/d

y sorgo respectivamente, lo que representa una pérdida del 80% del total de C de los residuos en el caso de maíz y del 65% en sorgo. Para el tratamiento CF, del total de C de los residuos se perdieron 2024 kg ha⁻¹ y 1839 kg ha⁻¹ en maíz y sorgo respectivamente, lo que representa el 77% de pérdida en el caso de maíz y 70% en sorgo. Estos resultados indicarían que la mayor proporción de los residuos de los CC se mineralizarían en un plazo corto durante el ciclo de un cultivo estival.

Los contenidos de N en la biomasa al momento de secado J fueron 109 y 143 kg ha⁻¹ en CT y CF respectivamente, presentando diferencias altamente significativas y respondieron a la fertilización. Kramberger *et al.* (2009), encontraron similares valores de entre 51,3 a 111,4 kg ha⁻¹ de N en la biomasa de CC de gramíneas. Desde el secado de julio de los CC hasta la fecha de siembra de los CV, hubo una disminución importante en los contenidos de N en los residuos respecto al contenido inicial (Fig. 5a y b), la cual fue de 40 y 82 kg ha⁻¹ de N en CT y CF, respectivamente. Desde siembra a floración del CV, el contenido de N en los residuos CT disminuyó en 40 kg ha⁻¹ y 38 kg ha⁻¹ de N en maíz y sorgo, respectivamente y en CF, 27 kg ha⁻¹ y 30 kg ha⁻¹ en maíz y sorgo, respectivamente. De floración a cosecha en CT la diferencia en maíz fue de 17 kg ha⁻¹ de N y en sorgo 10 kg ha⁻¹ de N y en CF 15 y 7 kg N ha⁻¹ para maíz y sorgo respectivamente. En los 10 meses entre el secado del CC y cosecha del CV (julio a mayo,) la pérdida

en el contenido de N de los residuos correspondió a 97 y 88 kg ha⁻¹ en CT para maíz y sorgo respectivamente y en CF 123 y 119 kg ha⁻¹ para maíz y sorgo respectivamente. Estos resultados indicarían que la mineralización de los residuos de los CC aportaría importantes cantidades de N al suelo durante el barbecho y el ciclo de los CV. Estos resultados concuerdan con Wagger (1989) quien encontró que después de 8 semanas del secado del centeno usado como CC, el 50% del N de los residuos fue liberado.

Los residuos del CC en CF se mineralizaron más rápidamente, ya que a la siembra de los CV habían perdido el 58% de N versus el 36% en CT. En general, la tendencia en CT fue de una tasa más uniforme de pérdida de N, mientras que en CF la tasa inicial entre secado del CC y siembra del CV fue muy alta y luego disminuyó a una tasa similar a la tasa de pérdida del CT (Fig. 5a y b). La alta tasa de pérdida de N en CF antes de la siembra del CV reflejaría una mayor tasa de mineralización de los residuos provenientes de CF debido a su menor relación C/N. Esta alta tasa en el período de barbecho antes de la siembra del CV implicaría que el N mineralizado se podría perder por lixiviación y no estaría disponible para el cultivo sucesor. Este fenómeno refleja la dificultad de sincronizar la oferta de N proveniente de la mineralización de los residuos de los CC con los requerimientos del cultivo sucesor, tal como ya lo han señalado Ranells & Wagger (1996). Algunos de los factores que inciden sobre la tasa de mineralización de

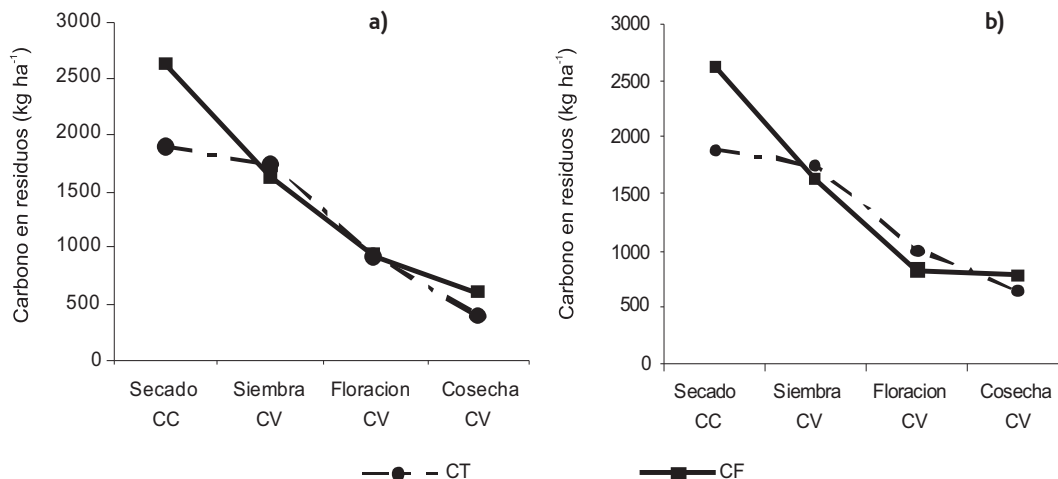


Figura 4. Carbono en residuos de cultivo de cobertura, sin fertilizar (CT) y fertilizado con nitrógeno (CF) al momento del secado del cultivo de cobertura (CC), a la siembra, floración y cosecha del cultivo de verano (CV). En cultivo de maíz a) y sorgo b).

Figure 4. Carbon in cover crop residues from control (CT) and fertilized (CF) treatments at drying of cover crops, planting, flowering and harvest of summer crop (CV). a) corn and b) sorghum.

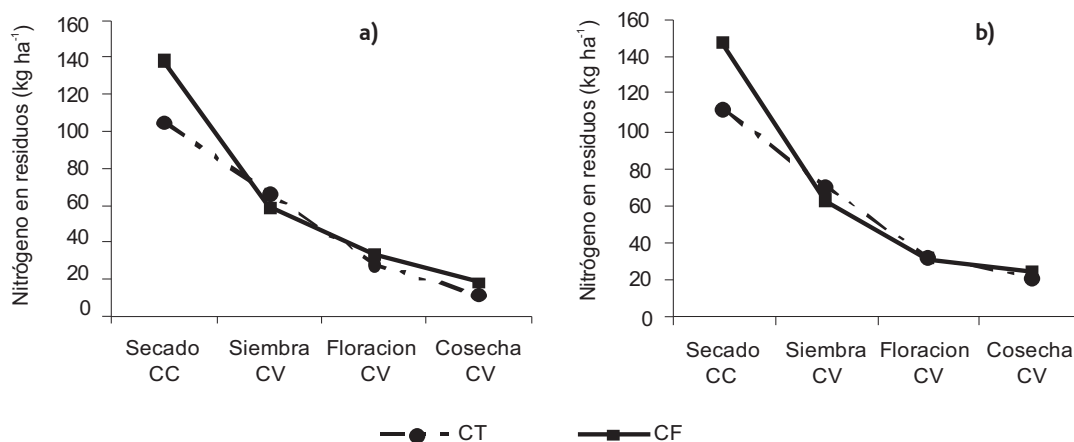


Figura 5. Nitrógeno en residuos de cultivo de cobertura sin fertilizar (CT) y fertilizado con nitrógeno (CF) al momento del secado del cultivo de cobertura (CC), a la siembra, floración y cosecha del cultivo de verano (CV). En cultivo de maíz a) y sorgo b).

Figure 5. Nitrogen in cover crop residues from control (CT) and fertilized (CF) treatments at drying of cover crops, planting, flowering and harvest of summer crop (CV). a) corn and b) sorghum.

los residuos se pueden manejar, tales como la relación C/N a través de la fertilización o la fecha de secado del CC, mientras que factores ambientales, sobre todo temperatura y de humedad son difíciles de predecir.

Con respecto al fósforo (P) los valores iniciales en los residuos de los CC fueron de 6,8 a 8,8 kg ha⁻¹ para el tratamiento CT y CF respectivamente. Desde el secado de los CC hasta la fecha de siembra del maíz (Fig. 6a) y sorgo (Fig. 6b),

el CC perdió 2,3 y 5,2 kg ha⁻¹ P en CT y CF, respectivamente. Desde la fecha de siembra a floración, las pérdidas de P en los residuos fueron en maíz de 2,5 kg ha⁻¹ y 1,2 kg ha⁻¹ en CT y CF respectivamente, y en sorgo de 2,9 kg ha⁻¹ en CT y de 1,6 kg ha⁻¹ en CF. De floración a cosecha la disminución de P en los residuos en maíz fue 1,2 kg P ha⁻¹ en CT y 0,9 kg P ha⁻¹ en CF, mientras que en sorgo en CT estas pérdidas fueron de 0,3 kg ha⁻¹ y en CF 0,2 kg ha⁻¹. Las

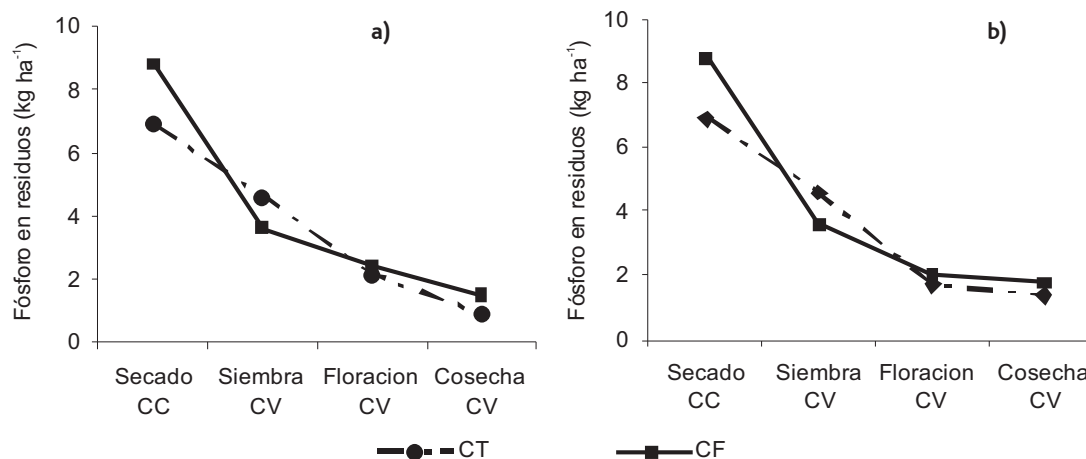


Figura 6. Fósforo en residuos de cultivo de cobertura sin fertilizar (CT) y fertilizado con nitrógeno (CF) al momento del secado del cultivo de cobertura (CC), a la siembra, floración y cosecha del cultivo de verano (CV). En cultivo de maíz a) y sorgo b).

Figure 6. Phosphorus in cover crop residues from control (CT) and fertilized (CF) treatments at drying of cover crops, planting, flowering and harvest of summer crop (CV). a) corn and b) sorghum.

diferencias registradas desde julio a mayo fueron del 84 y 86% tanto para CT y CF respectivamente

Los datos de la evolución de los residuos de los CC muestran que tanto para el C como para el N y el P la tasa de liberación desde el CC es mayor en la primera etapa entre el secado a siembra del CV. También es en esta etapa donde se observan las mayores diferencias entre CT y CF, con elevadas tasas de mineralización en CF respecto de CT. Esto podría explicarse por la menor relación C/N en los residuos de CF en el momento del secado del CC (Tabla 4) la cual favorecería la descomposición más rápida de los residuos.

Los contenidos de N en el suelo corroboraron los datos de pérdida de N de los residuos de los CC. Para el tratamiento CT desde la fecha de secado de julio del CC hasta la siembra de los CV la cantidad de nitrógeno en el suelo aumentó 92 kg ha^{-1} , mientras que en CF el incremento fue de 124 kg ha^{-1} (Fig. 3). En el mismo período los residuos de los CC perdieron 40 y 124 kg ha^{-1} para CT y CF, respectivamente (Fig. 5), que podrían considerarse aportes de N mineral al suelo. La diferencia encontrada entre el aporte por la mineralización de los residuos de los CC y los valores de N mineral hallados en el suelo presumiblemente representaría el aporte por la mineralización de la materia orgánica del suelo, que fue de 52 kg ha^{-1} en CT y de 0 kg ha^{-1} en CF respectivamente. La diferencia entre la mineralización de la materia orgánica del suelo entre tratamientos fertilizados y testigos podría estar asociado al efecto «priming», que alude a la utilización de sustratos más recalcitrantes sobre todo por la población de hongos en el suelo, en condiciones de baja disponibilidad de N (Fontaine *et al.*, 2011).

Efecto del cultivo de cobertura sobre el rendimiento el UC y la EUA de maíz y de sorgo

En la Tabla 2 se puede observar que las precipitaciones ocurridas entre siembra a floración de maíz, fueron de 209 mm, mientras que las registradas desde la siembra a floración de sorgo fueron de 365 mm. El contenido de AU a la siembra del cultivo de verano fue menor en B que en los tratamientos con CC, registrándose 53, 88, 86, 59 y 80 mm para B, CTJ, CFJ, CTA CFA respectivamente, con diferencias estadísticas significativas, excepto entre B y CTA como se mencionó anteriormente (Fig. 1). Para la época de floración del maíz no se encontraron diferencias significativas entre B y tratamientos de CC, y los contenidos de agua útil fueron muy bajos (9, 1 y 1 mm para B, CTJ y CFJ, respectivamente). No se encontraron diferencias signifi-

cativas en AU a la floración de sorgo donde los valores fueron altos (103, 85 y 101 mm para B, CTJ y CFJ, respectivamente) debido a que entre la fecha de floración de maíz y sorgo las precipitaciones fueron de 156 mm.

Debido al desfase en la fenología entre el cultivo de maíz y sorgo se pudo observar que el maíz presentó condiciones de estrés hídrico en floración, mientras que en el caso del sorgo el cultivo estuvo bien provisto de agua en esta etapa crítica (Fig. 1). Esto también se ve reflejado en los rendimientos (Fig. 7) de ambos cultivos, ya que el maíz dependió más que el sorgo del agua almacenada en el suelo, por lo tanto se expresó más las diferencias en cuanto a los contenidos de agua útil entre los tratamientos del CC.

El rendimiento promedio de maíz en los tratamientos con CC (testigo y fertilizado) fue de 4044 kg ha^{-1} mientras que en B fue de 1015 kg ha^{-1} (Fig. 7). Esta amplia diferencia en el rendimiento estaría relacionada a la diferencia de UC entre siembra y floración del cultivo, y sería debida al efecto benéfico del CC sobre el balance de agua del suelo. Kramberger *et al.* (2009) también obtuvieron rendimientos superiores de maíz donde previamente tenían rye grass y leguminosas como CC, mientras que otras experiencias habrían resultado en menores rendimientos en maíz (entre 500 a 900 kg ha^{-1}) con antecesor CC (Unger & Vigil, 1998) comparado con antecesor barbecho.

A su vez, el manejo de la fertilización con N del CC condicionó el rendimiento del maíz (Fig. 7), ya que cuando no se fertilizó (CTJ) el rendimiento fue 2917 kg ha^{-1} mientras que cuando se fertilizó (CFJ) el rendimiento de maíz fue de 7910 kg ha^{-1} . Esta diferencia en rendimiento reflejaría la interacción positiva entre la mayor disponibilidad hídrica que ofrece un CC al cultivo de maíz (que en este caso fue similar para ambos tratamientos de CC), y el mayor aporte de N del tratamiento CF al cultivo de verano, derivado de la mineralización de los residuos del CC. En la fecha de secado tardía (A) ambos tratamientos, CT y CF tuvieron similar rendimiento de maíz (2748 y 2602 kg ha^{-1} respectivamente).

En el cultivo de sorgo, el manejo previo (CC o B) no condicionó el rendimiento, ya que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Los rendimientos registrados fueron 5881, 5539, 7258, 4456 y 7720 kg ha^{-1} para B, CTJ, CFJ, CTA, CFA respectivamente (Fig. 7). Hubo una tendencia a lograr mayores rendimientos en los tratamientos con CC fertilizado, lo cual indicaría que parte del N secuestrado en los residuos de los CC también habría estado disponible para el cultivo de sorgo.

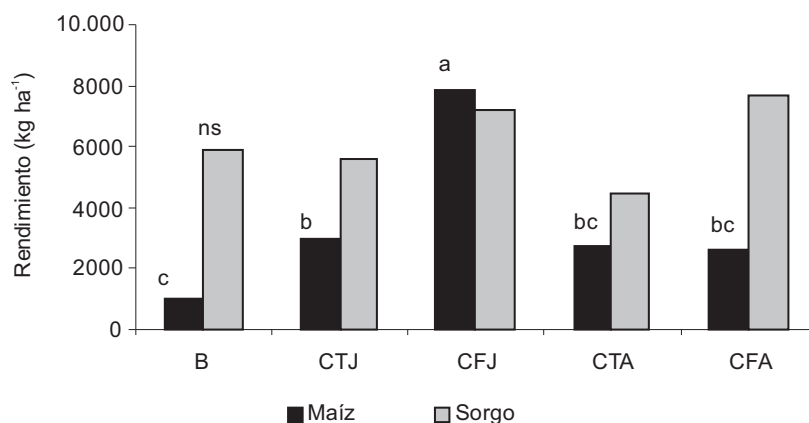


Figura 7. Rendimiento de maíz y sorgo en tratamiento sin cultivo de cobertura (B) y con cultivo de cobertura secado julio testigo y fertilizado (CTJ, CFJ respectivamente) y secado en agosto testigo y fertilizado (CTA, CFA). Letras diferentes dentro de cada cultivo de verano indican diferencias significativas. ns: no significativo

Figure 7. Corn and sorghum yield in treatments with fallow (B) and cover crops dried in July and August, control and fertilized (CTJ, CFA respectively), and dried in August, control and fertilized (CTA, CFA respectively). Different letters within each summer crop indicate significant differences.

La diferencia entre el comportamiento del maíz y sorgo estaría relacionada con la disponibilidad hídrica al momento de floración, que fue crítica en el caso del maíz y adecuada en el caso del sorgo.

Estudios previos en la región semiárida pampeana de Fernández *et al.* (2007) han arrojado resultados similares en cuanto a maíz y sorgo. En maíz los mayores rendimientos se obtuvieron cuando el mismo fue establecido sobre

CC fertilizado y secado en julio, superando en más de 3000 kg ha⁻¹ al rendimiento de B, mientras que en el cultivo de sorgo la diferencia fue solo de 300 kg ha⁻¹.

En relación al UC y a la EUA, se puede observar (Fig. 8) que para el caso de maíz el UC fue mayor en los tratamientos con CC (CTJ y CFJ) que en B, presentando diferencias significativas. Pero resulta importante destacar que la EUA fue muy contrastante variando de 4 kg grano mm⁻¹

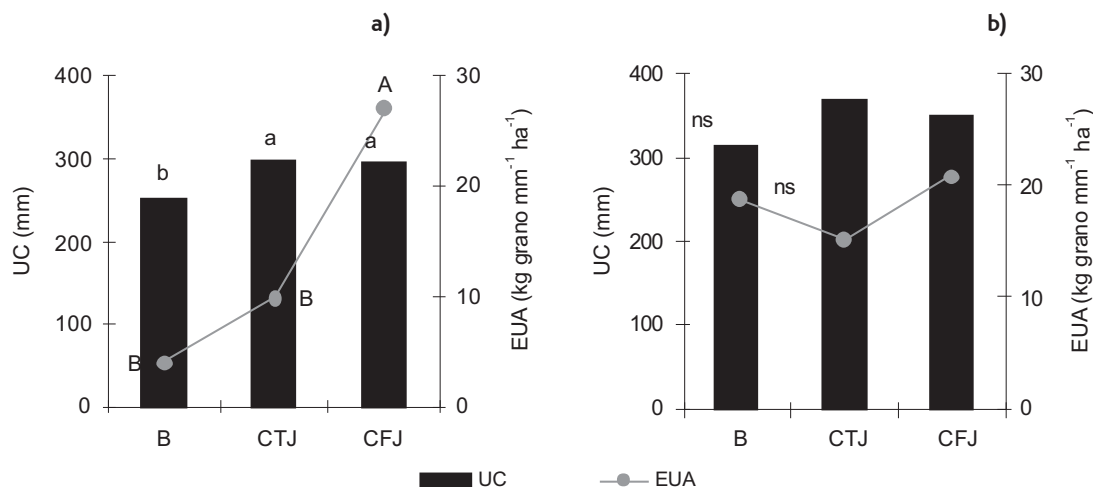


Figura 8. Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) para a) maíz y b) sorgo, en tratamientos sin cultivo de cobertura (B) y con cultivo de cobertura secado en julio testigo (CTJ) y fertilizado (CFJ). Letras diferentes indican diferencias significativas, minúsculas se refieren a UC y mayúsculas a EUA.

Figure 8. Consumptive water use (UC) and water use efficiency (EUA) for a) corn and b) sorghum in treatments without cover crop (B) and with cover crops dried in July; control (CTJ) and fertilized (CFJ). Different minor case letter indicate significant differences in consumptive water use, and capital letter indicate significant differences in water use efficiency.

ha⁻¹ en B a 10 y 27 kg grano mm⁻¹ ha⁻¹ en CTJ y CFJ, respectivamente. La alta EUA encontrada en el cultivo de maíz en CFJ podrá deberse a la existencia de un efecto sinérgico entre la disponibilidad de agua y de N.

Para el caso del cultivo de sorgo, el UC fue mayor (presentando un rango de 314 a 368 mm) que en maíz debido a que el ciclo del sorgo fue más largo y se benefició por las precipitaciones ocurridas entre el 15/2 y el 26/2 que fueron de 156 mm. Sin embargo, en sorgo no se encontraron diferencias estadísticas significativas para UC ni para EUA entre los distintos tratamientos.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir preliminarmente que los cultivos de cobertura (CC) serían una alternativa viable para el área de influencia de la EEA INTA Anguil, ya que adecuando la fecha de secado del CC y la fecha de siembra de cultivo de verano a la probabilidad estadística de precipitaciones permitiría realizar un barbecho que recargue el perfil del suelo, y por ende la realización de un CC no produciría un costo hídrico para el CV.

Además se constató que otro beneficio del CC fue reducir las pérdidas de agua almacenada a través de la evaporación no solamente durante el barbecho, sino también entre la siembra y la floración del CV.

Entre un 65 a 80% de la mineralización de los residuos del CC ocurrió entre la fecha de secado de los CC y la cosecha del CV, con tasa iniciales mayores en los tratamientos fertilizados. Por ello es que otra ventaja de incorporar CC fue el aporte de N y P al CV, que en forma sinérgica con mayores contenidos hídricos bajo tratamientos con CC produjeron significativamente mayores rendimientos y eficiencia de uso de agua en el cultivo de maíz sobre CC fertilizados.

En el cultivo de sorgo el ciclo fenológico más largo que el del maíz redundó en una mayor disponibilidad hídrica entre siembra y floración, lo cual resultó en menor dependencia de este cultivo del agua inicial almacenada del suelo. En consecuencia, no hubo diferencia en el rendimiento del sorgo entre los tratamientos con y sin CC.

Se necesitaría continuar con los estudios de CC para esclarecer cuanto del carbono aportado por la biomasa de los mismos formará parte de los distintos compartimentos de la materia orgánica y cuánto se perderá por la respiración de la biomasa microbiana.

BIBLIOGRAFÍA

- Allison, F. 1966. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agron.* 18: 219-258.
- 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.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk density. *In: Methods of Soil Analysis - Physical and Mineralogical Methods 2nd ed.* (Ed. Klute, A.) *Am. Soc. Agron.* Madison, Estados Unidos, p. 363-375.
- Carfagno P; M Eiza; A Quiroga & F Babinec. 2008. Cultivos de cobertura. Efectos sobre la dinámica del agua en el suelo. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes (San Luis). 13-16 mayo 2008.
- Daliparthi, J; S Herbert & P Veneman. 1994. Dairy manure application to alfalfa: crop response, soil nitrate, and nitrate in soil water. *Agron. J.* 86: 927- 933.
- De Battista, J.; A. Andriulo & C. Pecorari. 1992. El perfil cultural: un método para la evaluación de sistemas de cultivo. *Ciencia del Suelo* 10-11, 89-93.
- Duarte, G. 2002. Sistemas de Producción de girasol en la región húmeda de la Argentina. *En: Manual práctico para el cultivo de girasol.*
- Fernández, R; D Funaro & A Quiroga. 2005. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. *Boletín de divulgación Técnica N° 87.* EEA INTA Anguil.
- 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. Capítulo V.
- 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. *Agricultural Water Management.* 95: 1028-1040.
- Fontaine, S; C Henault; A Aamor; N Bdioui; JMG. Bloor; V Maire; B Mary; S Revaillet & PA Maron. 2011. Fungi mediate long term sequestration of carbon and nitrogen in soil through their priming effect. *Soil Biology and Biochemistry.* 43: 86-96.
- Frasier, I; R Fernández & A Quiroga. 2009. Valoración de especies invernales como cultivos de cobertura. *Sistemas Productivos Sustentables, Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura.* Bahía Blanca. 10 y 11 de agosto.
- Galantini, J. 2008. Cereales de invierno como cultivo de cobertura: su contribución al balance de carbono. VII Congreso Nacional Trigo y V Simposio Cereales Otoño Invernales, Santa Rosa, La Pampa.
- Hoyt, G; M Waggar; C Crozier & N Ranells. 2004. Soil Facts: Winter annual cover crop. North Carolina Cooperative Extension Service, North Carolina, 9p.
- Infostat. 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 106.

- 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.
- Kramberger, B; A Gselman; M Janzekovic; M Kaligarić & B Bracko. 2009. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. *Europ J. Agronomy* 31: 103-109.
- Lemaire, G; S Recous & B Mary. 2004. Managing residues and nitrogen in intensive cropping systems. New understanding for efficient recovery by crops. In: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sept-1 Oct 2004, Brisbane, Australia, www.crops-science.org.au/icsc2004/.
- 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 & Till. Res.* 44: 35-54.
- Ranells, N & M Wagger. 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agron. J.* 88, 777-782.
- Reicosky, D & D Archer. 2005. Cuantificación agronómica del aumento de material orgánica del suelo en siembra directa. En: XIII Congreso AAPRESID. Rosario Santa Fé.
- Sainju, U; H Schomberg; B Singh; W Whitehead; P Tillman & S Lachnicht-Weyers. 2007. Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton. *Soil Till. Res.* 96: 205-218.
- Satorre, E. 2003. Las posibilidades ambientales y tecnológicas de la pradera pampeana para la producción de granos. En: Bolsa de Cereales de Buenos Aires (*ed.*). Las ciento y Una «Hacia los 100 millones de toneladas de granos y la exportación de 1 millón de toneladas de carne». Pp 37-37
- Scianca, C. 2010. Cultivo de cobertura en Molisoles de la región pampera: Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 80 Pág.
- Scianca, C; C Álvarez; M Barraco; A Quiroga & M Pérez. 2008. Impacto de diferentes coberturas invernales sobre propiedades edáficas, población de malezas y productividad de soja. VII Congreso Nacional de Trigo.
- Scianca, C; C Álvarez; M Barraco; A Quiroga & P Zalba. 2006. Cultivos de cobertura. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta.
- Strock, J; P Porter & M Russelle. 2004. Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the northern U. S. Corn Belt. *J. Environ. Qual.* 33: 1010-1016.
- Munawar, A; RL Blevins; WW Frye & MR Saul. 1990. Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agron. J.* 82: 773-777.
- Torre PF. 2004. Estudio de la influencia del manejo del suelo en el régimen térmico de los Vertisuelos de la Vega de Carmona. Año 2 N° 2. *CAREL.* 403-423.
- Unger, P. & M. Vigil. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. *Soil and Water Cons.* 53: 200-207.
- Wagger, M. 1989. Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till Corn. *Agron. J.* 81: 533-538.
- West, PW & TP Ramachandran. 1966. Spectrophotometric determination of nitrate using chromotropic acid. *ANAL CHIM ACTA* 35: 317-324.