FACULTAD DE AGRONOMÍA
Universidad Nacional de La Pampa

FERTILIZACION NITROGENADA EN EL CENTENO (*Secale cereale*) UTILIZADO COMO CULTIVO DE COBERTURA

Trabajo final de graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

Autores:

Juan Manuel Raposo

Director:

Dr. Alberto Raúl Quiroga
Cátedra de Edafología de la FA

Codirector:

MSc. Romina Fernández
INTA Anguil

Evaluadores:

Dra. Silvia Beatriz Aimar
Cátedra de Edafología de la FA

Dr. Diego René Riestra
Cátedra de Agrotécnia de la FA

FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Índice

Resumen 2
Palabras claves 2
Abstract 3
Key words 3
Introducción 4
Hipótesis. 6
Objetivos. 6
Materiales y métodos 6
En suelo. 7
Clima. 7
Cultivo de cobertura. 8
Cultivo de maíz sucesor. 8
Resultados y discusión 8
Precipitaciones. 8
Agua total. 10
Producción de biomasa del CC. 12
Uso consuntivo y eficiencia en el uso de agua del CC. 15
Disponibilidad de nitrógeno. 16
Rendimiento de maíz. 19
Uso consuntivo y eficiencia en el uso de agua del maíz. 20
Conclusiones 22
Bibliografía 23

Resumen

A fin de evaluar el efecto que tiene la fertilización nitrogenada en centeno utilizado como cultivo de cobertura (CC), bajo la hipótesis de que la producción de biomasa aérea es condicionada por la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, resultando significativa la influencia de éste sobre la Eficiencia en el Uso del Agua (EUA), se establecieron ensayos en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones de los siguientes tratamientos: barbecho (B) sin CC, CC sin fertilizar (T) y fertilizado con 40 (40N), 80 (80N) y 120 kg N ha^{-1} (120N). Se determinó humedad de suelo, nitratos ($N\text{-}NO_3^-$) en suelo (0 – 60 cm) y biomasa aérea, con el objetivo de evaluar la incidencia de distintas dosis de fertilización sobre la producción de materia seca (MS) y la EUA del centeno utilizado como CC, y establecer la productividad del cultivo sucesor de maíz sobre el T y sobre los tratamientos fertilizados.

Los resultados obtenidos en el tratamiento 120N fueron: producción de MS del CC de 6447 kg ha^{-1}, EUA de 23 kg MS ha^{-1} mm^{-1}, y rendimiento de maíz de 12170 kg ha^{-1}. Mientras que para el tratamiento T la producción de MS fue 3815 kg ha^{-1}, la EUA fue 13 kg MS ha^{-1} mm^{-1}, y el rendimiento de maíz de 9475 kg ha^{-1}, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos.

La fertilización de los CC parece ser una alternativa viable para la Región Semiárida Pampeana ya que ha mostrado resultados positivos en la producción de biomasa y en la EUA.

La productividad del cultivo de maíz sería mayor sobre los CC fertilizados comparado con los CC sin fertilizar. La descomposición de los residuos de CC podría ser la responsable de la mayor producción, donde la relación C/N juega un papel importante en la dinámica de degradación y en la sincronía de la oferta de nitrógeno respecto a la demanda del maíz.

Palabras claves: región semiárida, entisol, nitrógeno en suelo, EUA, maíz.

Abstract

In order to evaluate the effect of nitrogen fertilization on rye used as cover crop (CC), under the hypothesis that aerial biomass production is conditioned by the availability of nitrogen in the soil, being the this influence significant on the Water Usage Efficiency (WUE), randomized block tests were established in four replications with the following treatments: fallow (B) without CC, unfertilized CC (T) and fertilized with 40 (40N), 80 (80N) and 120 kg N ha^{-1} (120N). Soil moisture, N-NO3 - in soil (0 - 60 cm) and aerial biomass were determined with the aim of evaluating the incidence of different fertilization rates on dry matter (DM) production and WUE of rye used as CC, and to establish the productivity of the corn successor crop on the T and on the fertilized treatments.

The results obtained in the 120N treatment were: CC DM production of 6447 kg ha^{-1}, WUE of 23 kg DM ha^{-1} mm^{-1}, and corn production of 12170 kg ha^{-1}. While for the T treatment the DM production was 3815 kg ha^{-1}, the WUE was 13 kg DM ha^{-1} mm^{-1}, and the corn production was 9475 kg ha^{-1}, showing statistically significant differences between both treatments.

The fertilization of the CC seems to be a viable alternative for the semi-arid Pampean Region as it has shown positive results in biomass production and in WUE.

Corn crop productivity would be higher over fertilized CC compared to unfertilized CC. The decomposition of the CC residues could be responsible for the higher production, where the C/N relation plays an important role in the dynamics of degradation and in the supply synchronization of N in relation to the demand of the corn crop.

Key words: semi-arid region, entisol, soil nitrogen, WUE, corn.

Introducción

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 (Fernández et al., 2012). Estos consisten en sembrar un cultivo, generalmente gramíneas o leguminosas, con el fin de generar cobertura entre dos cultivos de cosecha, favoreciendo positivamente los balances de carbono en los sistemas de agricultura continua. Los CC no son incorporados al suelo, como los abonos verdes, no son pastoreados, como los verdeos, ni tampoco son cosechados; quedan en la superficie, protegiendo al suelo y liberando nutrientes como resultado de procesos de degradación de la biomasa aérea y radicular de los mismos (Álvarez y Scianca, 2006).

La descomposición de los residuos de cosecha libera nitrógeno (N) que puede lixiviarse en el perfil antes del aprovechamiento por el próximo cultivo estival. Los CC durante su crecimiento absorben el N del suelo y lo incorporan dentro de su biomasa aprovechándolo, por lo cual, pueden disminuir los riesgos de lixiviación en el perfil del suelo hacia las napas (Bertolla et al., 2012). La posterior descomposición de los mismos hará un aporte de N por mineralización para la utilización del cultivo sucesor.

Una desventaja de la utilización de CC es que el consumo hídrico durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo sucesor (Duarte, 2002). Sin embargo, numerosos 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 evaporación, escurrimiento superficial y percolación profunda fuera del alcance de las raíces, lo cual se ve reflejado en un mayor rendimiento en los años secos (Fernández et al., 2012).

Es importante elegir especies que tengan alta producción de biomasa con bajo consumo de agua, para mejorar la eficiencia en el uso del agua (EUA). Así, los CC que consiguen producir mayor cantidad de materia seca en forma anticipada, permiten adelantar su secado, lo que beneficia a los cultivos estivales, con un mayor aprovechamiento de las precipitaciones que ocurren al principio de la primavera (barbecho) (Fernández et al., 2005). El centeno es la especie que mejor responde a estas características entre las gramíneas utilizadas comúnmente como CC, ya que se encuentra mejor adaptada a ambientes subhúmedos-semiáridos, siendo más tolerante a la sequía, más resistente al frio, más productivo en su aporte de materia seca (Carfagno et al. 2013), y más precoz permitiendo anticipar el secado al momento de encañazón (Barraco et al., 2012). Además, responde muy bien a la fertilización nitrogenada, práctica de manejo que mejora la EUA. Quiroga et al. (2007) encontraron en centeno utilizado como CC, un aumento de 50 kg MS mm^{-1} en Hapludoles y de 30 kg MS mm^{-1} en Haplustoles, cuando se fertilizaba con 100 kg de urea con respecto a un testigo sin fertilizar.

El presente trabajo, busca evaluar la EUA del centeno utilizado como CC, bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada, y determinar la disponibilidad del elemento N remanente en suelo al momento de la siembra del cultivo sucesor.

Hipótesis.

La producción de biomasa aérea del centeno establecido como CC es condicionada por la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, resultando significativo la influencia de la fertilización nitrogenada sobre la EUA. La respuesta del centeno a la fertilización nitrogenada tiene un efecto positivo sobre el rendimiento del cultivo sucesor.

En relación con la hipótesis planteada y teniendo en cuenta que en los CC no hay extracción de biomasa ni de nutrientes, dado que los mismos no se cosechan ni son destinados a la ganadería, puede inferirse un efecto residual de la fertilización sobre el cultivo sucesor.

Objetivos.

- Evaluar la incidencia de distintas dosis de fertilización nitrogenada sobre la producción de materia seca del centeno utilizado como CC.
- Evaluar el efecto de distintas dosis de fertilización nitrogenada sobre la EUA del centeno utilizado como CC.
- Evaluar la productividad del cultivo de maíz establecido sobre el CC sin fertilizar y fertilizado con dosis crecientes de N.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en la E.E.A. INTA Anguil “Guillermo Covas”, ubicado en el sector sur de la planicie medanosa, sobre Ruta Nacional 5, Km 580. El suelo en el cual se estableció la experiencia presenta secuencia de horizontes A, AC y C, de textura Franco-Arenosa a

Arenosa, clasificado como Uptisament típico. La precipitación media anual es de 770 mm, entre los periodos 1973 - 2016.

Se diseñó un ensayo con 4 tratamientos en bloques completos al azar con 4 repeticiones. Cada bloque de 100 m^2 distribuidos en 25 m^2 por tratamiento. En todos ellos se sembró centeno (*Secale cereale* cv Quehue*)* en siembra directa como cultivo de cobertura, en una densidad de 60 Kg ha^{-1} y un distanciamiento entre líneas de 17,5 cm. Los tratamientos fueron dosis crecientes de fertilización nitrogenada (0, 40, 80 y 120 Kg N ha^{-1}), utilizando urea como fuente de N. Además, se agregaron dos parcelas en ambos extremos del ensayo donde se expuso un barbecho limpio.

Los resultados se analizaron por ANOVA utilizando el programa Infostat (Infostat, 2008) y las diferencias entre medias mediante el *test* de LSD Fisher ($p<0,10$).

<u>En suelo.</u>

Se determinó el contenido de agua en el suelo mediante el método gravimétrico, hasta los 2 m, a intervalos de 20 cm de profundidad; y densidad aparente (DA) a fin de poder calcular la lámina equivalente en milímetros. También se evaluó el contenido de nitratos (NO_3^-) por el método del ácido cromotrópico, hasta los 60 cm, a intervalos de 20 cm.

<u>Clima.</u>

Se registraron las precipitaciones diarias para evaluar el balance hídrico. Mediante los valores de humedad se estimó el uso consuntivo (UC) del cultivo de cobertura considerando la lámina de agua inicial del suelo (momento de siembra) y las precipitaciones ocurridas durante el crecimiento, restándole la lámina de agua al momento del secado del cultivo de cobertura. Las

precipitaciones históricas (1973 – 2016) fueron obtenidas de los registros de la estación agrometeorológica de INTA Anguil.

Cultivo de cobertura.

Durante el cultivo se evaluaron la acumulación de materia seca (MS) de la biomasa aérea y la eficiencia del uso del agua (EUA), para lo cual se realizaron cortes sobre la superficie de 0,25 m^2 por parcela que luego se secaron en estufa a 60 °C hasta peso constante. Utilizando la misma metodología se determinó la cantidad de residuos remanentes del cultivo de cobertura al momento de cosecha del cultivo sucesor.

Cultivo de maíz sucesor.

Se evaluó el contenido de NO_3^- y agua en el perfil a la siembra para los distintos tratamientos antecesores. Durante el ciclo del cultivo se midió acumulación de biomasa y la humedad en suelo. También se realizó un segundo muestreo de NO_3^- en R3, a fin de evaluar la oferta por mineralización del cultivo de cobertura bajo las diferentes dosis de fertilización nitrogenada. A cosecha se determinó el rendimiento de grano y el agua disponible, calculando los UC y las respectivas EUA.

Resultados y discusión

Precipitaciones.

En la Figura 1 se muestran las precipitaciones acumuladas durante tres periodos de la experiencia. El primero corresponde al desarrollo del CC (desde 02-mar al 03-jul), en el cual

las precipitaciones acumuladas fueron similares entre el año de ensayo (187 mm) y el promedio histórico (221 mm), similar a lo ocurrido en el segundo periodo que representa al barbecho (del 03-jul al 04-nov) donde el promedio histórico fue 181 mm y las registradas el año de ensayo fueron de 219 mm.

El tercer período (desarrollo del ciclo de maíz, del 04-nov al 31-mar) estuvo caracterizado por intensas y abundantes lluvias, principalmente durante el mes de febrero donde la precipitación mensual fue 259 mm, logrando acumular en todo el período 712 mm, muy superior a los 368 mm que arroja el promedio histórico.

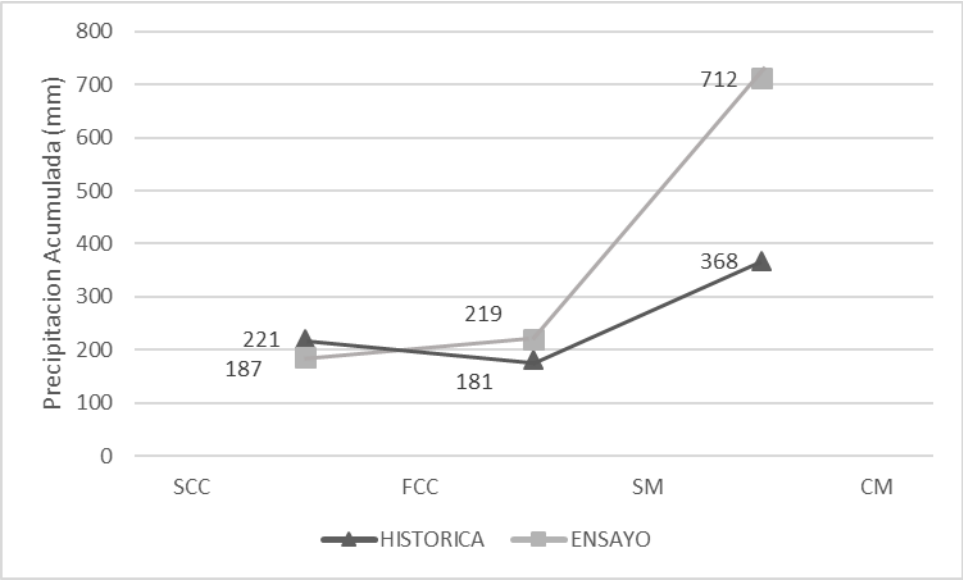

Figura 1: Precipitación acumulada durante 3 periodos: ciclo del CC (siembra: 02-mar; secado: 03-jul); barbecho (03-jul al 04-nov); y ciclo de maíz (siembra: 04-nov; cosecha: 31-mar).

SCC: siembra Cultivo de Cobertura; FCC: secado Cultivo de Cobertura; SM: siembra Maíz; CM: cosecha Maíz.

Tabla 1: Precipitaciones registradas entre fechas de muestreos de humedad.

Periodo 1			Periodo 2	Periodo 3	
02-mar al 06-may	06-may al 10-jun	10-jun al 03-jul	03-jul al 04-nov	04-nov al 03-feb	03-feb al 31-mar
180,1	1,7	3,0	219,0	453,0	270,0

Agua total.

El contenido de agua total a la siembra del CC hasta los 2 m fue 306 mm, con presencia del nivel freático a una profundidad de 1,80 m.

Durante el macollaje avanzado, en la determinación del 06-may el contenido de agua total no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p<0,10$) entre los cuatro tratamientos con CC, pero estos sí se diferenciaron del barbecho que mostró valores superiores (Figura 2). Sin embargo, los valores de humedad en los primeros 60 cm para todos los casos fueron similares (a causa de las abundantes recargas por precipitaciones) pero cabe destacar que por debajo de esa profundidad fueron menores en los tratamientos que contaban con CC (debido al UC) con respecto al barbecho (el cual registró la misma tendencia hasta los 2 m).

En la determinación del 10-jun, el contenido de agua total del suelo también presentó diferencias significativas entre el barbecho (236 mm) y los tratamientos con CC (194 mm en promedio).

Al momento de secado de los CC (03-jul) se mantuvo la misma tendencia que en las evaluaciones anteriores realizadas durante el ciclo: el agua total fue significativamente mayor en el barbecho (251 mm) respecto a los tratamientos que tuvieron coberturas (206 mm).

Durante la etapa que transcurrió desde el secado de los CC (03-jul) hasta la siembra de maíz (04-nov) las precipitaciones acumuladas fueron 219 mm, superando en 40 mm el promedio histórico para dicho período (Tabla 1). Estas lluvias recargaron el perfil de manera tal que no se observaron diferencias significativas en el contenido de agua total del suelo a la siembra del maíz entre los tratamientos. Sin embargo, la eficiencia de barbecho (EB) fue superior para los tratamientos con CC (37%) con respecto al tratamiento sin cobertura (20%), debido a que, de los 219 mm caídos, lograron capturar 81 y 45 mm respectivamente. Fernández et al.

(2008) mostraron que las EB en la región semiárida pampeana 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. 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 atmosfera, ya que el manto vegetal suele tener un albedo superior al del suelo desnudo, lo que permite disminuir las pérdidas de agua por evaporación.

Durante el ciclo del cultivo de maíz las precipitaciones fueron abundantes (723 mm) y superaron al UC del cultivo, ocasionando una recarga y elevación del nivel freático que a la cosecha del maíz se encontró a 1,40 m.

A la siembra (04-nov) el contenido de agua total no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, siendo de 289 mm en promedio. Fernández et al. (2007) establecieron una variación entre 30 y 100 mm en los contenidos de agua finales entre el barbecho testigo y los CC, al momento de la siembra del cultivo de verano, para la Región Semiárida Pampeana. Sin embargo, en el presente estudio, no se observó disminución en la oferta hídrica para el cultivo maíz, debido a las precipitaciones caídas durante el barbecho.

En el muestreo del 03-feb, correspondiente a R3, tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos con CC ni entre los mismos respecto al barbecho, pero se destaca que el contenido de humedad del perfil fue mayor que el muestreo anterior dado que la oferta por precipitaciones (453 mm) superó al UC del maíz.

Al momento de la cosecha (31-mar) no se encontraron diferencias en el contenido de agua del barbecho respecto a los tratamientos con cobertura, ni entre los mismos. No obstante, se puede observar que tanto el contenido de humedad del antecesor barbecho (369 mm) como también el testigo con cobertura (363 mm) fueron superiores a los tratamientos con

fertilización nitrogenada que presentaron 333, 319 y 342 mm para 40N, 80N y 120N respectivamente.

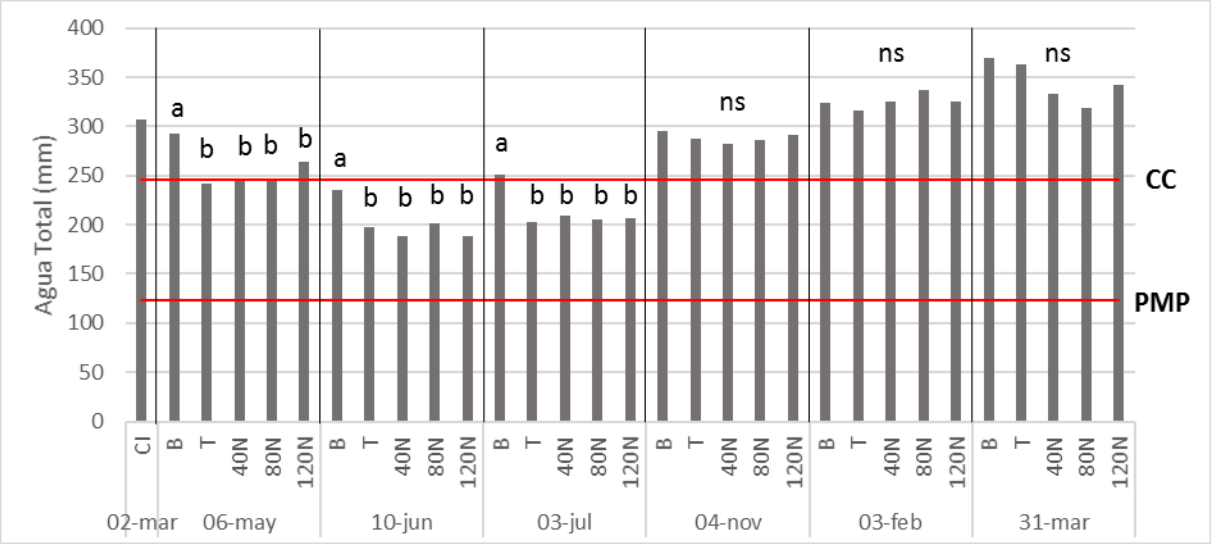

Figura 2: Contenidos de agua total durante el ciclo de cultivo de cobertura (contenido inicial 02-mar; muestreos del 06-may, 10-jun y secado 03-jul), y durante el ciclo del cultivo de maíz (siembra 04-nov; muestreo 03-feb y cosecha 31-mar).

CI: contenido inicial, B: barbecho limpio, T: cultivo de cobertura testigo, 40N: cultivo de cobertura fertilizado con 40 kg de N ha^{-1}, 80N: cultivo de cobertura fertilizado con 80 kg N ha^{-1}, 120N: cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg N ha^{-1}. CC: capacidad de campo, PMP: punto de marchitez permanente.

Letras diferentes dentro de cada fecha de muestreo indican diferencias significativas ($p<0,10$).

Producción de biomasa del CC

En la Figura 3 se presentan los contenidos de MS de los diferentes tratamientos del CC. En la misma se puede observar que los tratamientos fertilizados (40N, 80N y 120N) produjeron cantidades de MS estadísticamente superiores con respecto al T en los dos últimos cortes. Estos datos coinciden con los encontrados por Arguello et al., (2011) quienes concluyeron que la producción de materia seca dependió del momento de secado del cultivo y de la fertilización nitrogenada.

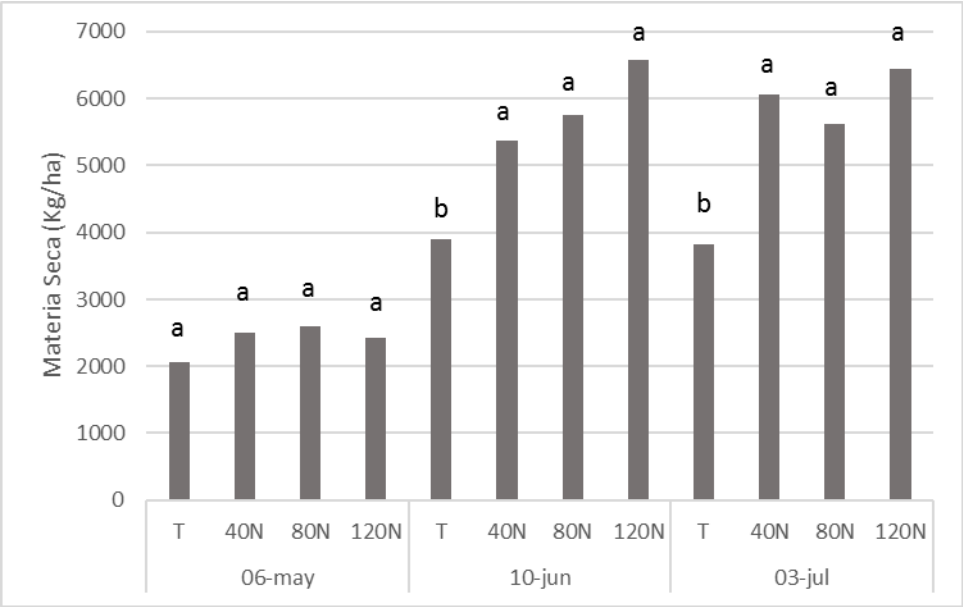

Figura 3: Materia seca (kg ha^{-1}) del cultivo de cobertura en tres cortes, 06 de mayo, 10 de junio y 03 de julio.

T: cultivo de cobertura testigo, 40N: cultivo de cobertura fertilizado con 40 kg de N ha^{-1}, 80N: cultivo de cobertura fertilizado con 80 kg N ha^{-1}, 120N: cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg N ha^{-1}.

Letras diferentes dentro de cada fecha de muestreo indican diferencias significativas.

Al primer corte (06-may, 60 días después de la siembra) no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, los tratamientos fertilizados produjeron 500 kg MS ha^{-1} en promedio más que el T.

En el segundo corte (10-jun, 90 días después de la siembra) los tratamientos 40N, 80N y 120N produjeron 1472, 1852 y 2677 kg MS ha^{-1} (respectivamente) más que el tratamiento T, presentando diferencias significativas ($p<0,10$).

Para el 03-jul, momento de secado del CC (120 días después de la siembra), los 3 tratamientos con CC presentaron diferencias estadísticamente significativas respecto al tratamiento T ($p<0.10$). Así, el tratamiento 120N produjo un total de 6447 kg MS ha^{-1} superando por 2632 kg MS ha^{-1} al tratamiento T. Los tratamientos 40N y 80N, por otro lado, produjeron respectivamente, 2243 y 1797 kg MS ha^{-1} más que T.

La eficiencia agronómica del uso del N (EUN) calculada como el cociente entre el incremento de la producción de MS (kg ha^{-1}) y la cantidad de fertilizante agregado (dosis de N) varió entre tratamientos de fertilización y momentos de corte. La mayor EUN se observó en el tratamiento 40N alcanzando el valor de 56 kg MS kg de N^{-1} agregado; mientras que en los tratamientos 80N y 120N, los valores de EUN que se obtuvieron registraron 22 kg MS kg de N^{-1} aplicado en ambos casos, presentando diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 40N (Tabla 2). Estos datos responden a los antecedentes encontrados por Krüger et al. (2014) quienes observaron que las mayores eficiencias agronómicas se obtenían con agregados de nitrógeno de hasta 75 kg N ha^{-1}, en avena.

Tabla 2: Rendimiento del cultivo de cobertura en los diferentes tratamientos y eficiencia en el uso de nitrógeno de fertilizante aplicado expresado como kg ha^{-1} de MS por kg de nitrógeno aplicado.

Tratamiento	**Rendimiento (Kg ha^{-1})**	**Respuesta diferencial respecto a T (Kg ha^{-1})**	**N total Aplicado (Kg ha^{-1})**	**EUN Total (kg MS kg N^{-1})**
T	3815 b	-	0	
40N	6058 a	2243 ab	40	56,08 a
80N	5612 a	1797 b	80	22,50 b
120N	6447 a	2632 a	120	21,95 b

Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas.

Uso consuntivo y eficiencia en el uso de agua del CC.

La Figura 4 muestra el UC de los distintos tratamientos con CC, los cuales no tuvieron diferencias estadísticamente significativas. Los valores de UC fueron similares para todos los tratamientos, siendo 288 mm para el T y de 281, 285 y 286 mm para los tratamientos 40N, 80N y 120N.

La EUA de los tratamientos de CC fertilizados en tanto, presentó diferencias significativas ($p<0,10$) con el tratamiento testigo, siendo los tratamientos fertilizados los que presentaron los valores mayores. El T presentó un valor de 13 kg MS ha^{-1} mm^{-1}. El tratamiento 120N fue el más eficiente en el uso del agua (23 kg MS ha^{-1} mm^{-1}) con respecto a los tratamientos 40N (22 kg MS ha^{-1} mm^{-1}) y 80N (20 kg MS ha^{-1} mm^{-1}), mostrando diferencias significativas con estos dos últimos. Scianca (2010), en cultivo de centeno utilizado como CC en un suelo Argiudol típico, halló valores de EUA entre 37 y 54 kg MS ha^{-1} mm^{-1}, mientras que en un Hapludol thapto árgico las EUA oscilaron entre 9 y 30 kg MS ha^{-1} mm^{-1}. Esta respuesta puede ser debida a que la aplicación de fertilizantes nitrogenados aumenta la concentración de N en las plantas mejorando la capacidad fotosintética del cultivo, provocando mayor tasa de crecimiento en periodos tempranos y dando por resultado incrementos en la EUA (Dardanelli et al., 2008).

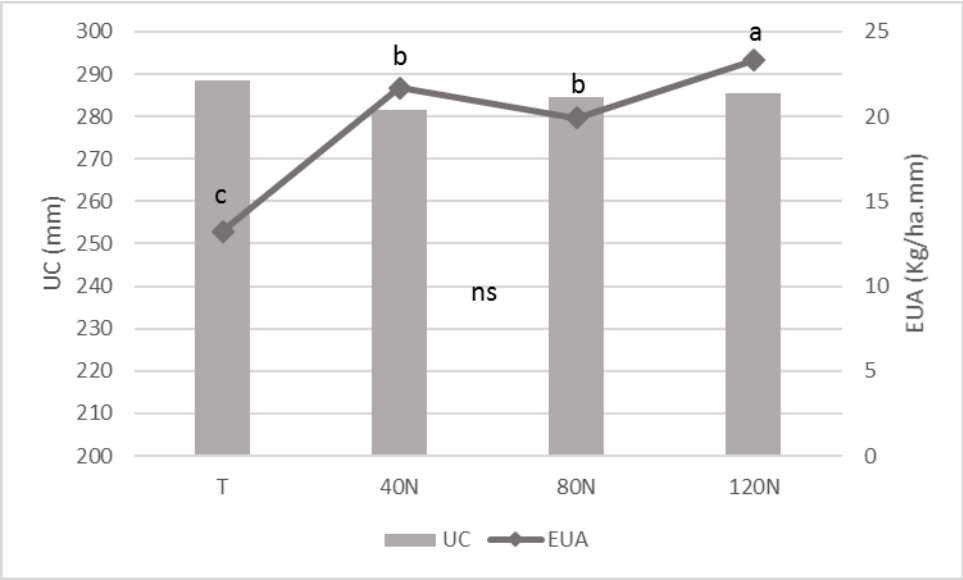

Figura 4: Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) para el CC.

T: cultivo de cobertura testigo, 40N: cultivo de cobertura fertilizado con 40 kg de N ha^{-1}, 80N: cultivo de cobertura fertilizado con 80 kg N ha^{-1}, 120N: cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg N ha^{-1}.

Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas.

Disponibilidad de nitrógeno.

En la Figura 5 se observa el contenido de nitrógeno en suelo (0 - 60 cm) en dos momentos del ciclo de maíz.

En la siembra, el 04-nov, no se encontraron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno del suelo entre tratamientos ni con respecto al barbecho. El contenido de $N\text{-}NO_3^-$ en suelo para el barbecho fue de 24 kg ha^{-1}, tan solo 1 kg ha^{-1} menor que el tratamiento T, y 3, 3 y 6 kg ha^{-1} que los tratamientos 40N, 80N y 120N respectivamente.

En el segundo muestreo (03-feb), con el maíz en la etapa de llenado de grano, se encontraron diferencias significativas entre barbecho y el tratamiento 120N. Cabe destacar que la descomposición de residuos del CC fertilizado podría ser el motivo de esta diferencia en el contenido de $N\text{-}NO_3$ en suelo. Se encontró 7 kg $N\text{-}NO_3^-$ ha^{-1} más en el tratamiento 120N

respecto al B que arrojó 21 kg N-NO_3^- ha^{-1}. Los tratamientos T, 40N y 80N presentaron valores intermedios entre ambos casos citados anteriormente.

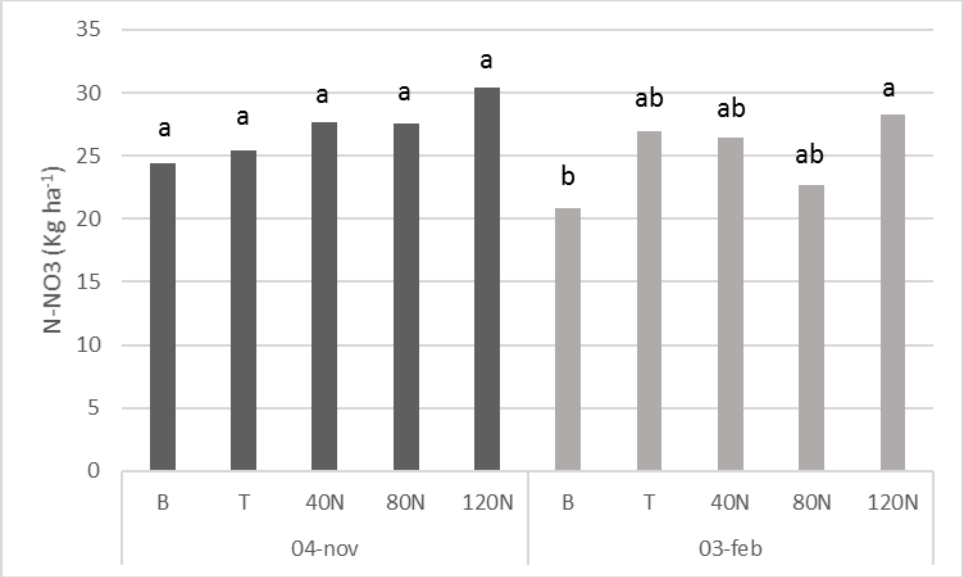

Figura 5: Nitrógeno de nitratos (N-NO_3^-) en kg ha^{-1} en suelo de 0 a 60 cm entre dos muestras, siembra del 04 de noviembre y llenado de grano el 03 de febrero.

B: barbecho limpio, T: cultivo de cobertura testigo, 40N: cultivo de cobertura fertilizado con 40 kg de N ha^{-1}, 80N: cultivo de cobertura fertilizado con 80 kg N ha^{-1}, 120N: cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg N ha^{-1}.

Letras diferentes dentro de cada fecha de muestreo indican diferencias significativas.

La fertilización nitrogenada del CC, afectaría no solo a la producción de biomasa sino también al comportamiento de los residuos del CC durante el barbecho y seguramente el desarrollo del cultivo posterior (Arguello et al., 2011). Si analizamos la descomposición de los CC desde el momento de secado hasta la cosecha de maíz se evidencian importantes pérdidas de MS. Dicha pérdida fue de 3099, 4919, 4834 y 5677 kg MS ha^{-1} para los tratamientos T, 40N, 80N y 120N respectivamente, lo que indicaría que se liberan mayores cantidades de nutrientes desde el residuo en el mismo sentido que aumenta la fertilización nitrogenada. La tasa de descomposición podría estar dada por la menor relación C/N de los residuos fertilizados. Ruffo and Bollero (2006) registraron relaciones C/N para centeno

utilizado como CC del orden de 28 en testigo a 16 en el tratamiento fertilizado con N (170 kg N ha^{-1}). Sin embargo, factores climáticos como la temperatura y la humedad, también influyen en la tasa, éstos son condicionantes y muchas veces imprevisibles.

Tabla 3: Rendimiento del cultivo de cobertura en los diferentes tratamientos y residuos remanentes del mismo a cosecha de maíz (kg ha^{-1}). Pérdidas porcentuales de MS del cultivo de cobertura.

Tratamiento	**Rendimiento CC (Kg ha^{-1})**	**Residuos CC (Kg ha^{-1})**	**Pérdidas de MS (% del total)**
T	3815 b	716 a	81%
40N	6058 a	1139 a	81%
80N	5612 a	778 a	86%
120N	6447 a	770 a	88%

Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas.

Esta descomposición podría ser la causa del mayor contenido de nitratos en suelo del tratamiento 120N para el muestreo de 03-feb (28 kg N-NO_3^- ha^{-1}). Experiencias como la de Wagger (1989) establecen que después de 8 semanas del secado de los CC, el 50% del N proveniente del residuo de un cultivo de centeno fue liberado para el cultivo subsiguiente. Fernández et al. (2012) en la región semiárida pampeana, hallaron valores superiores del orden del 80% del N del CC que fue liberado desde el secado en julio a la cosecha del maíz.

La liberación de nutrientes por parte del CC al cultivo sucesor podría reducir los requerimientos de fertilización nitrogenada y fosforada, como establece Arguello et al.

(2011). Ranells y Wagger (1996) señalan la dificultad de sincronizar la oferta de N por la mineralización de los residuos de los CC con los requerimientos del cultivo sucesor.

Rendimiento de maíz.

En la Figura 6 se muestra el rendimiento del cultivo de maíz sembrado sobre los tratamientos con CC y sobre las parcelas con barbecho limpio.

El mayor rendimiento se consiguió sobre el tratamiento de CC con 120N, siendo éste de 12170 kg ha^{-1}; mientras que el menor rinde se obtuvo sobre el CC sin fertilizar (tratamiento T) cuyo valor fue de 9475 kg ha^{-1}. Un rendimiento intermedio de 10783 kg ha^{-1} se obtuvo del maíz sembrado sobre el barbecho. Fernández et al. (2007) encontraron resultados similares en la región semiárida pampeana, en los cuales los mayores rendimientos del cultivo de maíz se obtuvieron cuando el mismo fue establecido sobre CC fertilizados que sin fertilizar. Experiencias similares se encontraron en maíz de regadío (Mohammadi, 2010), sorgo y algodón en las grandes llanuras de los Estados Unidos (Sainju et al., 2006), donde el efecto del CC se encontró principalmente relacionado con la retención de nitratos reduciendo o evitando las pérdidas por lixiviación.

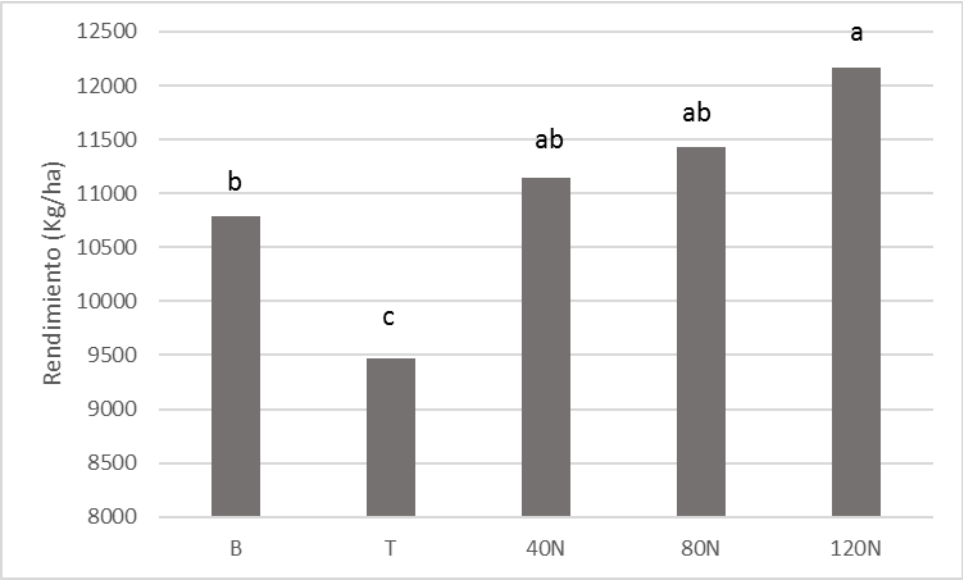

Figura 6: Rendimiento (kg ha^{-1}) del cultivo de maíz, bajo diferentes tratamientos, al 31 de marzo de 2016.

B: barbecho limpio, T: cultivo de cobertura testigo, 40N: cultivo de cobertura fertilizado con 40 kg de N ha^{-1}, 80N: cultivo de cobertura fertilizado con 80 kg N ha^{-1}, 120N: cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg N ha^{-1}.

Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas.

Uso consuntivo y eficiencia en el uso de agua del maíz.

El UC del cultivo del maíz no presentó diferencias significativas entre los distintos tratamientos, ni con respecto al barbecho. Sin embargo, se puede observar que el UC del maíz sembrado sobre el barbecho fue de 657 mm, 24, 23, 41 y 22 mm menor que los tratamientos T, 40N, 80N y 120N respectivamente. No obstante, tal cual lo ocurrido con el cultivo de cobertura, se encontraron valores de EUA que variaron entre 14 kg ha^{-1} mm^{-1} para T y 18 kg ha^{-1} mm^{-1} para 120N. No se encontraron diferencias entre los tratamientos fertilizados, aunque cabe destacar que los valores de EUA para los tratamientos 40N y 80N fueron iguales (16 kg ha^{-1} mm^{-1} para ambos) y tan solo 1,50 kg ha^{-1} mm^{-1} menor que 120N.

La normal oferta de nutrientes nitrogenados del suelo como se observó anteriormente y las abundantes precipitaciones ocurridas durante el ciclo del maíz podrían explicar el

comportamiento de la EUA del maíz sembrado sobre el barbecho, valor que no tuvo diferencias significativas con los tratamientos de CC fertilizados.

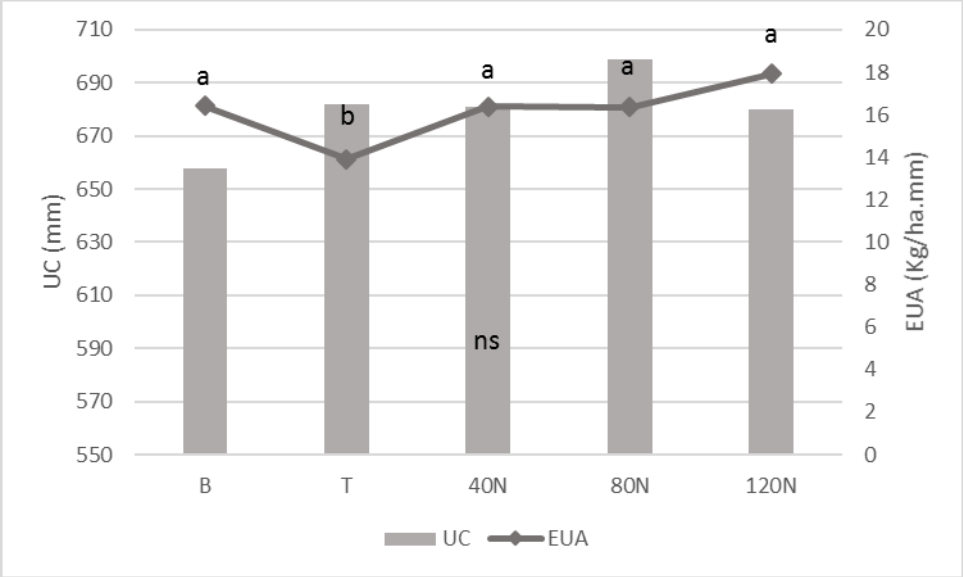

Figura 7: Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) para el cultivo de maíz.

B: barbecho limpio, T: cultivo de cobertura testigo, 40N: cultivo de cobertura fertilizado con 40 kg de N ha^{-1}, 80N: cultivo de cobertura fertilizado con 80 kg N ha^{-1}, 120N: cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg N ha^{-1}.

Letras diferentes indican diferencias significativas.

Conclusiones

La fertilización de los CC parece ser una alternativa viable para la Región Semiárida Pampeana ya que ha mostrado resultados positivos en la producción de biomasa y en la EUA. La mayor cantidad de residuos de CC reduce las pérdidas de agua almacenada a través de la evaporación no solamente durante el barbecho, sino también entre la siembra y la floración del cultivo sucesor. Además, dada la alta EUA de los CC, su inclusión en las rotaciones no produciría un costo hídrico para el cultivo de maíz.

La productividad del cultivo de maíz fue mayor sobre los CC fertilizados comparado con los CC sin fertilizar, donde el tratamiento con 120N alcanzó valores significativamente mayores con respecto a los tratamientos con 40 y 80 kg N ha^{-1}. La descomposición de los residuos de CC sería la responsable de la mayor producción, donde la relación C/N juega un papel importante en la dinámica de degradación y en la sincronía de la oferta de N respecto a la demanda del cultivo de maíz.

Sería necesario continuar con los estudios para evaluar resultados en años donde la oferta hídrica responda a las distribuciones normales de precipitación.

Bibliografía

Álvarez C. y Scianca C. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la Región Pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre las propiedades edáficas. EEA INTA General Villegas: Jornada Profesionales Agrícola 2006.

Arguello J., J Saks, R Fernández, E Noellemeyer. 2011. Evaluación de la viabilidad de los cultivos de cobertura en la región semiárida pampeana. Tesis de grado, Fac. de Agronomía UNLPam.

Barraco, M; C Scianca; A Lardone; C Alvarez; M Díaz-Zorita. 2012. Cereales de invierno como cultivos de cobertura en secuencias continuas de soja. INTA General Villegas. Memoria técnica 2011-2012.

Bertolla, A. M.; T Baigorria; DT Gómez; CR Cazorla; M Cagliero; A Lardone; M Bojanich & B Aimetta. 2012. Efecto de la fertilización sobre la eficiencia del uso del agua de especies invernales utilizadas como cultivos de cobertura. Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción. Pp. 138 – 147. La Pampa, Ediciones INTA.

Carfango P., M. Eiza, F. Babinec & A. Quiroga. 2013. Inclusión de cultivos de cobertura en la dinámica hídrica de hapludoles y Haplustoles del oeste de la provincia de Buenos Aires y noreste de La Pampa. Contribución de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Pp. 36-49.

Dardanelli J, Collino D, Otegui ME y V Sadras. 2008. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En Satorre, E; Benech, R; Slafer, G; de la Fuente, E; Millares, D; Otegui, M.E; Savin, R (Eds.). Producción de granos bases metodológicas. UBA. Argentina. pp. 376-433.

Duarte G. 2002. Sistemas de producción de girasol en la región húmeda argentina. Manual práctico para el cultivo de girasol. Hemisferio sur. Buenos Aires.

Fernández R., Funaro D. y Quiroga A. 2005. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. Boletín de divulgación técnica 87. EEA INTA Anguil.

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 Nº 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.

Fernández, R., Quiroga, A. y Noellemeyer, E. 2012. Cultivo de Cobertura, ¿Una alternativa viable para la Región Semiárida Pampeana? Ciencia del suelo (Argentina). 30(2) p.137-150.

Infostat .2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 106 pp.

Krüger H., Moreira F., Giménez F., López J., Tranier E., Real Ortellado M., Mayo A., Labarthe F. 2014. Verdeos de Invierno: utilización de verdeos de invierno en planteos ganaderos del sudoeste bonaerense. Pag 5-26. Ediciones INTA 2014. ISBN 978-987-521-567-2.

Mohammadi, G. R. 2010. The effects of different autumn-seeded cover crops on subsequent irrigated corn response to nitrogen fertilizer. Agricultural Sciences, 01(03):148-153. doi:10.4236/as.2010.13018

Ranells, N. & M. Wagger. 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. Agron. J. 88, 777–782.

Ruffo M.L., G.A. Bollero. 2006. Winter cover crops in Illinois: Evaluation of ecophysiological characteristics of corn. Crop Sci. 46:1536-1545.

Quiroga A., Carfagno P., Eiza M. y Michelena R. 2007. Inclusión de cultivos de coberturas bajo agricultura de secano en la región semiárida pampeana. EEA INTA General Villegas.

Sainju, U., Whitehead, W., Singh, B., & Wang, S. (2006). Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on soil nitrogen and cotton and sorghum yields. *European Journal of Agronomy*, *25*(4), 372-382. doi: 10.1016/j.eja.2006.07.005

Scianca, C. 2010. Cultivo de cobertura en Molisoles de la región pampeana: Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 80 pág.

Torre P. F. 2004. Estudio de la influencia del manejo del suelo en el régimen térmico de los Vertisuelos de la Vega de Carmona. Año 2 Nº 2. CAREL. 403-423.

Wagger, M. 1989.Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till Corn. Agron. J. 81:533-538