

INTERACCIÓN ENTRE CULTIVOS COMERCIALES Y DE COBERTURA. PRODUCCIÓN, DINÁMICA DEL AGUA Y NITRATOS DEL SUELO

Marcelo Javier Beltran ^{1*}, Juan Alberto Galantini ², Pedro Maximiliano Tognetti ³,
Mirian Raquel Barraco ⁴

1 Instituto de Suelos (Castelar), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

2 Comisión de Investigaciones Científicas Buenos Aires, Centro de Recursos Naturales Renovables
de la Zona Semiárida - Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur

3 IFEVA, Universidad de Buenos Aires, CONICET, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires,
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnica, Facultad de Agronomía

4 Estación Experimental Agropecuaria General Villegas, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

RESUMEN

El agua y el nitrógeno (N) son los factores que generan las mayores limitaciones en la producción de alimentos. El uso de los cultivos de cobertura (CC), modifica la dinámica del agua y N del suelo, por lo que es importante conocer su interacción con los cultivos comerciales. Los objetivos de este trabajo fueron (1) evaluar el efecto del centeno como CC y los cultivos de soja y maíz sobre la dinámica del agua y el N y (2) la sinergia entre el CC y los comerciales. Para tales objetivos se tomaron muestras de material vegetal para medir la producción de materia seca (MS) del centeno y el rendimiento de soja y maíz y muestras de suelo para medir el contenido de agua y N disponible de un ensayo de larga duración ubicado en General Villegas (Buenos Aires). El ensayo se dividió en parcelas principales (monocultivo de soja, monocultivo de maíz y rotación soja/maíz) y subparcelas de tratamientos de invierno (barbecho, CC y CC fertilizado). Los resultados muestran que la producción de MS del CC fue incrementada (entre un 30 y 150%) debido a la fertilización y al cultivo de soja como predecesor. No se observaron en general diferencias en el agua disponible por el uso del CC. Con respecto al N, se observó una disminución debido al consumo del CC dentro de los tratamientos con soja. Finalmente, los rendimientos de los cultivos comerciales no fueron afectados, salvo un año donde la producción del maíz fue superior sin CC (entre 1000 y 2000 kg ha⁻¹). Por lo tanto, el CC generó MS durante el invierno sin afectar la disponibilidad de agua para los cultivos posteriores, disminuyendo pérdidas de N del sistema. Sin embargo, es necesario ajustar el manejo del CC según las perspectivas climáticas y el cultivo comercial.

Palabras claves: centeno, rendimiento, materia seca, nitrógeno.

INTERACTION BETWEEN CASH CROPS AND COVER CROPS. PRODUCTION, SOIL WATER AND NITRATES DYNAMIC

ABSTRACT

Water and nitrogen (N) are the main factors that generate the greatest limitations in food production. The use of cover crops (CC) due to their multiple benefits, can modify soil water and nitrate dynamic. It is therefore important to know the interaction between cash crops and CC. The objectives of this work were to evaluate the interaction between rye as CC and cash crops over the dynamics of water and N; and the synergy between crops. For these objectives, samples were taken to measure soybean and corn yield and rye dry matter production (DM) and soil samples to measure evolution of the water content and available N as nitrate due to the presence of the different crops in a long-term experiment located in General Villegas (Buenos Aires) during the 2010/11, 2011/12 and 2012/13 period. As a result, the DM production of the CC was increased (between 30

* Autor de contacto:
beltran.marcelo@inta.gov.ar

Recibido:
16-10-21

Recibido con revisiones:
13-05-22

Aceptado:
13-05-22

and 150%) with soybeans as a predecessor and when it was fertilized. No differences in general were observed in the availability of water due to the use of CC. Regarding the concentration of N in soil, it was observed a decrease of its concentration probably due to the consumption of CC in the soybean treatments. Finally, the yields of cash crops in general were not affected, except for a single year where corn production was statistically higher in the treatment without CC (between 1000 and 2000 kg ha⁻¹). Therefore, it is necessary to adjust CC management according to climatic situations and the cash crop.

Keywords: rye, yield, dry matter, nitrogen.

INTRODUCCIÓN

El agua y el nitrógeno (N) son los factores que generan las mayores limitaciones en la producción de los cultivos, y modulan la brecha entre el alimento potencial y el alcanzado a nivel global (FAO, 2012). El agua es uno de los recursos básicos que puede explicar diferencias en la productividad de los cultivos y la optimización del uso de este recurso es un aspecto fundamental para el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles (Valenzuela et al., 2009). El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2006) informó que se espera una disminución de la disponibilidad de agua en muchas regiones áridas y semiáridas debido al cambio climático. En la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana las precipitaciones limitan la productividad (Díaz-Zorita et al., 2002). En estas zonas, el principal factor de pérdida de agua desde la superficie del suelo es la evaporación, que puede reducirse con coberturas vivas como cultivos de cobertura (CC) (Bodner et al., 2007).

Los CC incluidos en planteos de siembra directa además brindan una variedad de servicios ecosistémicos (Pinto et al., 2017; Rimski-Korsakov et al., 2015) que pueden incrementar la infiltración del agua de lluvia y el almacenaje en el perfil del suelo, lo que genera una menor pérdida de agua por escurrimiento superficial y percolación profunda fuera del alcance de las raíces (Meyer et al., 2019; Thapa et al., 2018), lo que puede mejorar el rendimiento de los cultivos en los años secos (Yunusa et al., 2002). También, los CC mejoran la estabilidad estructural de los suelos (Gonzalez et al., 2017) y aumentan la capacidad de retención de agua de los mismos y su permeabilidad (Colla et al., 2000; Folorunso et al., 1992). En secuencias con predominio de cultivos estivales, la inclusión de CC permitiría utilizar el agua útil de los meses de otoño que de otra forma se perdería por evaporación o lixiviación (Galantini, 2008). Por otro lado, como punto negativo, los CC pueden afectar la lámina de agua disponible del suelo (LADs) al momento de la siembra de los cultivos comerciales, presentando como posible desventaja el aprovechamiento de agua previo al cultivo de verano, que puede llegar a afectar su implantación y desarrollo posterior, comprometiendo su rendimiento (Fernandez y Quiroga, 2009). En este sentido, cuando el contenido hídrico del suelo se encuentra por debajo del 40-60% del agua útil se reduce el crecimiento de los cultivos, siendo en floración el período en el cual la provisión de agua no debe ser limitante (Andrade et al., 1996). Es fundamental entonces seleccionar el CC adecuado para la zona y definir en forma eficiente su período de crecimiento y momento de secado para poder aprovechar sus beneficios y permitir la recarga de agua del suelo antes de la implantación del cultivo comercial (Martinez et al., 2013). Existe una gran variedad de cultivos utilizados como CC. Dentro de las gramíneas el centeno es el más tolerante al frío y al estrés hídrico y produce un abundante volumen de residuos que se descompone más lentamente que el de otras gramíneas de invierno (Carfagno et al., 2013).

Con respecto a la disponibilidad de N, los CC gramíneas pueden actuar en diferentes formas (Landriscini et al., 2019). Por un lado, el incremento de la materia orgánica (MO), principalmente de sus fracciones lábiles podría aumentar la disponibilidad del N, debido que es un nutriente directamente ligado al ciclo del C (Restovich et al., 2011; Sainju et al., 2007; Scianca et al., 2006). En este sentido, algunos autores informaron que la MO lábil o particulada se relaciona positivamente con la liberación del N (Cambardella y Elliot, 1994; Dominguez et al., 2016; Galantini et al., 2004). A su vez, la absorción de N por parte del CC en el período invernal permite retener N en sus tejidos y disminuye su pérdida por lixiviación (Kaspar y Singer, 2011; Salmerón, 2011). Con respecto al centeno como CC en particular, en un ensayo de tres años de duración, Ritter et al. (1998) encontraron una disminución de la lixiviación de nitratos (NO₃⁻). En otro ensayo, Ruegg et al. (1998) observaron una menor concentración de NO₃⁻ en el suelo debido al CC con respecto al tratamiento control. Restovich et al. (2012) por su parte observaron la misma disminución de NO₃⁻ en suelo. Por lo tanto, el CC genera un reciclado del N absorbiéndolo, reteniéndolo en sus tejidos, disminuyendo en épocas invernales las pérdidas de este nutriente por lixiviación a capas más profundas del suelo.

Los CC son una práctica de manejo que por lo anteriormente expuesto puede tener un efecto directo sobre la dinámica del agua y del N en el suelo pudiendo afectar a los cultivos comerciales en diferentes formas.

Raimbault et al. (1990) reportaron que el empleo de CC disminuyó tanto la producción de biomasa aérea, como el rendimiento del maíz que le seguía en la rotación. Ruegg et al. (1998) también observaron una disminución en la producción de biomasa de maíz y en la concentración de N de sus tejidos por efecto del centeno. Fernandez et al. (2007) y Scianca et al. (2010) encontraron rendimientos de maíz y soja iguales o mayores en aquellos tratamientos que incluían CC como antecesor. Restovich et al. (2012) observó una disminución del N de la biomasa aérea del maíz y su rendimiento por efecto del centeno, mientras que en cultivos de soja no hubo efecto en el contenido de N de sus tejidos ni en su rendimiento debido a la inclusión de CC. Kaspar et al. (2012) por su parte, no observaron disminución del rendimiento de soja o maíz debido al uso de CC. Otros autores le atribuyeron un efecto negativo al CC sobre el rendimiento del maíz debido a problemas en su germinación como consecuencia de una menor temperatura en el suelo debido a la presencia de los residuos del CC en superficie (Wall y Stobe, 1984) y/o por el efecto de sustancias alelopáticas producidas por la descomposición del CC (Barnes y Putnam, 1983). Finalmente, los cultivos comerciales pueden afectar la producción de MS del CC. Baker y Griffis (2009), observaron un incremento de la producción de MS del centeno cuando el cultivo antecesor fue soja y una menor producción de MS cuando fue el antecesor fue maíz. Es por lo tanto muy importante estudiar con más detalle estas interacciones entre los cultivos para detectar posibles combinaciones que potencien no solo la producción de los cultivos comerciales sino también los de cobertura. Principalmente debido a las crecientes demandas de información para el uso de cultivos de cobertura para secuestro de carbono en suelo (mitigación del cambio climático) y otros beneficios como el control de malezas resistentes a múltiples principios activos de herbicidas.

Los objetivos de este trabajo fueron, (1) evaluar el efecto del centeno como cultivo de cobertura con o sin agregado de N en forma de fertilizante y los cultivos de soja y maíz sobre la dinámica del agua y el N y (2) la sinergia entre el cultivo de cobertura y los cultivos comerciales en cuanto a sus producciones de materia seca y rendimientos en grano respectivamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El trabajo se desarrolló en la Estación Experimental Agropecuaria General Villegas del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), provincia de Buenos Aires, Argentina (34°54'S, 62°44'W). El suelo es profundo bien drenado, con una textura franco arenosa en los horizontes superficiales clasificado como Hapludol entico (Soil Survey Staff, 2017). El clima es templado húmedo-subhúmedo con una estación seca, con una temperatura media anual de 16,2°C y precipitación media de 906 mm. Las precipitaciones se producen principalmente en otoño y primavera, mientras que el verano suele presentar déficits hídricos de intensidades variables.

Diseño y manejo del experimento

El estudio se desarrolló durante las campañas 2010/11, 2011/12 y 2012/13 sobre un experimento de larga duración iniciado en 2004, sobre un suelo con 15 años de historia agrícola. El ensayo constó de nueve tratamientos bajo un diseño factorial en parcelas divididas. La secuencia de cultivo es parcela principal con tres niveles (monocultivo de soja, rotación soja maíz y monocultivo de maíz) y el tipo de barbecho fue la subparcela (sin CC, CC sin fertilizar y CC fertilizado). Este arreglo se repitió en tres bloques completos en parcelas de 40 m² de superficie (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos.

Table 1. Treatments description.

Descripción del tratamiento	Tratamiento
Monocultivo de soja	SS-B
Monocultivo de soja con cultivo de cobertura	SS-CC
Monocultivo de soja con cultivo de cobertura fertilizado	SS-CCf
Rotación soja/maíz	SM-B
Rotación soja/maíz con cultivo de cobertura	SM-CC
Rotación soja/maíz con cultivo de cobertura fertilizado	SM-CCf
Monocultivo de maíz	MM-B
Monocultivo de maíz con cultivo de cobertura	MM-CC
Monocultivo de maíz con cultivo de cobertura fertilizado	MM-CCf

La siembra de los CC y los cultivos de soja y maíz fue idéntica en el periodo experimental. Por un lado, el CC fue centeno, y se sembró regularmente a fines de abril con un distanciamiento entre surcos de 17,5 cm y una densidad de siembra de 320 plantas m⁻² (cultivar Quehue en 2010 y Don Ewall en 2011 y 2012). La fertilización consistió en 46 kg de N ha⁻¹ como urea (0-46-0) y 15 kg ha⁻¹ de fósforo (P) como superfosfato triple de calcio (SPT). El centeno fue secado con glifosato en estado de encañazón.

Los cultivos de maíz se sembraron a fines de setiembre-principios de octubre con una densidad de 7,2 a 7,5 plantas m⁻² y con un distanciamiento entre hileras de 52,5 cm. A la siembra se fertilizaron con 15 kg de P ha⁻¹ como superfosfato triple (SPT) y 90 kg ha⁻¹ de N en forma de urea al voleo. La soja fue sembrada a principios de noviembre, con una densidad de 44 semillas m⁻² y un distanciamiento entre hileras de 35 cm. Se usaron variedades de grupo de madurez IV inoculadas a la siembra con *Bradyrhizobium japonicum*, se aplicó fungicida.

Muestreo y análisis de material vegetal

Al momento del secado del centeno como CC, se tomó una muestra por parcela para medir su producción de biomasa aérea sobre una superficie de 0,25 m². Las muestras se secaron en estufa a 60°C por 48 horas y se pesó la biomasa de centeno.

En estadios de madurez fisiológica los cultivos de maíz y de soja se cosecharon manualmente sobre una superficie de 3,12 m². Se determinó el rendimiento y sus componentes (número y peso de los granos) y los resultados se expresaron con contenidos de humedad de 14 g kg⁻¹.

Muestreo y análisis de suelos

Al momento de la siembra, floración y cosecha de los cultivos de soja y maíz se determinaron nitratos (NO₃) y humedad (%) en el suelo. En cada parcela se tomó una muestra compuesta de suelo a cinco profundidades (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm) con barreno de acero inoxidable con el que se extrajeron 5 (cinco) submuestras por profundidad recorriendo cada parcela que luego se mezclaron para formar la muestra compuesta.

La concentración de N-NO₃ se determinó con el método de microdestilación de Bremner (1960) en muestra húmeda corregida por el contenido de humedad. La humedad gravimétrica del suelo se determinó secando las muestras de suelo a 105°C hasta peso constante, y por diferencia entre el peso de la muestra húmeda y seca se determinó el contenido de agua en gramos.

La lámina de agua disponible para las plantas (LADs) hasta el metro de profundidad se calculó como de la diferencia entre el contenido hídrico observado y el punto de marchitez permanente (pmp). En cada tratamiento los valores de pmp y capacidad de campo (cac) se obtuvieron a partir de muestras a distintas profundidades en el último año de ensayo. El contenido de agua a cac, se midió con una olla de presión a 33 kPa (Klute, 1986) y el contenido de agua en pmp se midió mediante membrana de presión a 1500 kPa (Richards, 1947).

Con la humedad del suelo y las precipitaciones (PP) se calcularon cinco parámetros asociados a la dinámica del agua en el suelo.

- LADs: lámina de agua disponible en el suelo (mm); Hg: humedad gravimétrica (cm³), pmp: punto de marchitez permanente (cm³); Dap: densidad aparente del suelo (g cm⁻³); dagua; densidad del agua (cm³); s: suelo; p: espesor (mm); i: capa; n: número de capas.

$$LADs = \sum_i^n p_i * ((Hg - pmp) * \frac{Dap}{dagua})_i$$

- Costo Hídrico (CH): se estimó al momento del secado del CC, como la diferencia entre la lámina de agua disponible en el barbecho y la lámina de agua disponible en cada CC, de acuerdo a la ecuación propuesta por Fernández et al. (2007):

$$\text{“CH (mm) = (LADs (barbecho) - LADs (cultivos de cobertura))”}$$

LAD_s (barbecho): Lámina de agua disponible del barbecho (mm)

LAD_s (CC): Lámina de agua disponible de los cultivos de cobertura en el momento de su secado (mm)

- Uso consuntivo (UC) de los CC (mm): se calculó mediante la suma de la lámina de agua disponible del suelo al momento de la siembra de los CC y las PP ocurridas durante el ciclo de los CC, a lo cual se le restó la lámina de agua del suelo al momento de finalizar el ciclo de los CC, según la ecuación propuesta por López y Arrue, 1997:

$$\text{“UC= LADs (siembra CC) + PP – LADs (secado CC)”}$$

LAD_s (siembra CC): lámina de agua disponible a la siembra del CC, expresado en mm.

LAD_s (secado CC): lámina de agua disponible al secado del CC, expresado en mm.

PP: precipitaciones ocurridas entre la siembra y el secado del CC, expresado en mm.

- Eficiencia del Uso del agua (EUA) del CC: Se expresa como la cantidad de materia seca (MS) producida por los CC por milímetro de agua consumida calculada en el uso consuntivo (UC). Expresa la eficiencia con la cual un cultivo fija carbono en relación con el agua que absorbe (Aloe y Toribio, 2008). La EUA se obtuvo aplicando la ecuación (Soriano, 1983):

$$\text{EUA}(\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}) = \frac{\text{MS}}{\text{UC}}$$

MS: materia seca del cultivo de cobertura (kg ha⁻¹).

UC (mm): uso consuntivo expresado en mm.

- Eficiencia de barbecho (EB): Se expresa como la diferencia entre el agua útil (mm) del barbecho final e inicial sobre las PP (mm) durante ese lapso de tiempo. La EB se obtuvo aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{EB} (\%) = \frac{\text{BF} - \text{BI}}{\text{PP}} \times 100$$

BF: Lámina de agua útil al momento de la siembra del cultivo comercial (octubre)

BI: Lámina de agua útil al inicio del barbecho

PP: precipitaciones registradas en mm durante el periodo de barbecho.

Régimen hídrico

Los datos de precipitaciones se tomaron con una estación meteorológica de la EEA INTA General Villegas ubicada a 1000 metros del ensayo.

Análisis estadísticos

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza utilizando un modelo lineal mixto en el que rotación (monocultivo de soja, rotación soja/maíz y monocultivo de maíz), cobertura (barbecho, cultivo de cobertura y cultivo de cobertura fertilizado), campaña (2010/11, 2011/12 y 2012/13), momento (siembra o cosecha de los cultivos de grano) y sus interacciones fueron los factores fijos y el bloque fue el factor aleatorio. En el modelo mixto se incorporó la consideración de medidas repetidas en el tiempo a efectos de tener en cuenta las posibles correlaciones entre los errores surgidas de medidas realizadas sobre la misma unidad experimental a lo largo de los años. El software estadístico utilizado fue INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2012). Cuando no se detectaron interacciones entre variables se realizaron contrastes comparando barbecho contra cultivo de cobertura (B vs CC) y cultivo de cobertura sin fertilizar contra fertilizado (CC vs CCf). Cuando se detectaron interacciones por efecto de las secuencias de cultivo, del año o el momento, o múltiples interacciones, se realizaron análisis de varianza para cada caso en particular (dentro de cada secuencia se analizó en efecto del tratamiento de invierno).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de materia seca de centeno

La producción promedio de MS del centeno, fue de 5030, 3170 y 5500 kg ha⁻¹ para los años 2010, 2011 y 2012 respectivamente (Figura 1) siendo significativamente afectada por la interacción entre el año, la fertilización del CC y la secuencia de (valor p= 0,001).

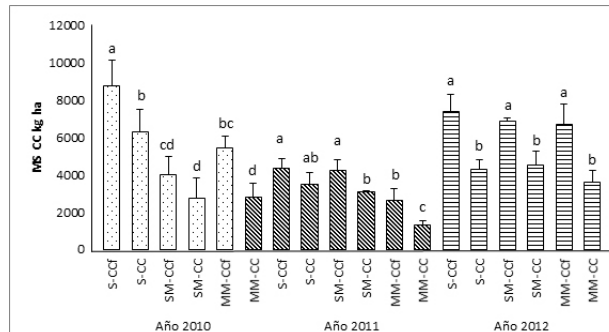


Figura 1. Producción de materia seca (MS) del centeno promedio en kg ha⁻¹ con desvío estándar para el año 2010, 2011 y 2012. Distintas letras determinan diferencias significativas entre tratamientos (valor p < 0,05) dentro de cada año. S-CCf: centeno fertilizado (monocultivo de soja), S-CC: centeno sin fertilizar (monocultivo de soja), SM-CCf: centeno fertilizado (rotación soja/maíz), SM-CC: centeno sin fertilizar (rotación soja/maíz), M-CCf: centeno fertilizado (monocultivo de maíz), M-CC: centeno sin fertilizar (monocultivo de maíz).

Figure 1. Average rye dry matter production (MS) in kg ha⁻¹ with its standard deviation for the years 2010, 2011 and 2012. Distintas letras determinan diferencias significativas entre tratamientos (valor p < 0,05) dentro de cada año. S-CCf: centeno fertilizado (monocultivo de soja), S-CC: centeno sin fertilizar (monocultivo de soja), SM-CCf: centeno fertilizado (rotación soja/maíz), SM-CC: centeno sin fertilizar (rotación soja/maíz), M-CCf: centeno fertilizado (monocultivo de maíz), M-CC: centeno sin fertilizar (monocultivo de maíz).

Estas diferencias entre años se deben posiblemente a las diferencias en PP (Tabla 1 y figura 2), ya que la oferta de agua es el mayor condicionante para el desarrollo de los cultivos principalmente en zonas áridas o semiáridas (Fernández y Quiroga, 2009).

Tabla 2. Precipitaciones por períodos dentro de cada campaña (2010/11, 2011/12 y 2012/13).

Table 3. Rainfall by periods within each campaign (2010/11, 2011/12 y 2012/13).

Periodo	2010/11	2011/12	2012/13
Abril-Septiembre	170,2	136,2	285,1
Octubre-Enero	236,0	222,4	508,0
Febrero-Marzo	133,6	409,6	132,4
Total	539,8	768,2	925,5

Al analizar la producción de MS del CC dentro de cada año se observaron efectos significativos del cultivo comercial. En el año 2010 (Figura 1) la soja como antecesor generó un incremento de la producción de MS del CC del 88% (4170 kg ha⁻¹) y del 127% (3524 kg ha⁻¹) con y sin fertilización respectivamente con respecto al maíz. Para el caso de la fertilización, el incremento para el CC con antecesor soja fue del 68% (2603 kg ha⁻¹) y para el antecesor maíz del 71% (1958 kg ha⁻¹). Para el año 2011 (Figura 1), con soja como antecesor hubo un incremento de la producción de MS del CC del 61% (1663 kg ha⁻¹) y del 148% (1952 kg ha⁻¹) con y sin fertilización con respecto al maíz. Para el caso de la fertilización, el incremento para el CC con antecesor soja fue del 31% (1017 kg ha⁻¹) y para el antecesor maíz del 99% (1306 kg ha⁻¹). Finalmente, para el año 2012 no se observó un efecto significativo del cultivo de soja y maíz como antecesor del CC. Si se pudo observar un efecto positivo de la fertilización. Para el antecesor soja con fertilización la producción de MS del CC tuvo un incremento del 73% (3123 kg ha⁻¹). Para el antecesor maíz la producción de MS del CC fertilizado fue un 67% (2720 kg ha⁻¹) superior al tratamiento no fertilizado.

Las diferencias encontradas en la producción de MS del CC luego de soja o maíz como antecesor no fueron explicadas por las variables analizadas en este trabajo (LADs y NO3-). Por lo tanto, el efecto negativo

del maíz sobre el CC debió estar ligado a otros factores como el mayor volumen de residuos de cosecha con respecto a la soja, que podría generar fallas en la emergencia del CC por menores temperaturas del suelo, mayor mortandad de plántulas afectadas por heladas (Wall y Stobe, 1984) y/o debido a que durante la descomposición de los residuos de cosecha del maíz se podrían generar ácidos orgánicos y otros tipos de sustancias alelopáticas que podrían generar fitotoxicidad en las semillas y las plántulas del centeno (Barnes y Putnam, 1983). Es de destacar que el único año en el que no se observaron diferencias en la producción de MS del centeno por el cultivo antecesor fue el 2012 que provenía de una muy baja producción del maíz debido a la sequía de la campaña 2011/12 (Tabla 4) con menor volumen de residuos de cosecha.

Con respecto a la respuesta a la fertilización, en los tres años se observaron respuestas significativas por parte del CC, siendo superiores para los años con mayores precipitaciones y generalmente con soja como antecesor. Por lo tanto, el manejo de la fertilización y el planteo de las rotaciones tiene un alto impacto sobre la producción de MS, favoreciendo el potencial secuestro de C y los beneficios ambientales que podría aportar los CC.

Costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua del centeno

Las diferencias de precipitaciones entre años, la baja eficiencia de barbecho (EB) de los cultivos comerciales (Figura 4), la fertilización y el efecto del antecesor sobre el CC, se reflejaron en el costo hídrico (CH) y la eficiencia del uso del agua (EUA) del CC, pero no así en el uso consuntivo (UC) del agua (Tabla 3).

Tabla 3. Costo hídrico (CH), Uso consuntivo (UC) en milímetros de agua y eficiencia del uso del agua (EUA) en kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ del CC por tratamiento dentro de cada año. Significancia del efecto del antecesor, fertilización y su interacción sobre las variables analizadas.

Table 3. Hydric cost (CH), consumptive use (UC) in millimeters of water and water efficiency use (EUA) in kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ of the CC for treatments within each year. Significance of the effect of the antecesor, fertilization and its interaction.

Tratamiento	2010			2011			2012		
	CH	EUA	UC	CH	EUA	UC	CH	EUA	UC
S-CCf	3,4 ab	44,8 a	197,8 a	-2,3 bc	32,2 a	134,7 a	0,2 ab	26,0 a	284,2 a
S-CC	-1,8 b	30,6 ab	207,3 a	-11,9 c	23,3 ab	148,6 a	-4,3 b	14,7 ab	292,1 a
SM-CCf	11,1 a	19,2 ab	208,4 a	36,7 a	24,0 ab	176,0 a	17,5 a	23,4 ab	294,5 a
SM-CC	-2,6 b	13,2 b	207,1 a	13,4 ab	19,6 ab	156,3 a	5,7 a	15,6 ab	291,1 a
M-CCf	21,8 a	25,4 ab	214,0 a	18,3 a	17,3 ab	153,9 a	23,2 a	22,2 ab	300,5 a
M-CC	6,2 ab	13,3 b	212,1 a	7,3 b	9,6 b	138,2 a	3,9 a	12,1 b	296,4 a
Antecesor	sd	**	sd	sd	**	sd	sd	sd	sd
Fertilización	*	**	sd	*	**	sd	sd	**	sd
Ant x Fert	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd

Distintas letras determinan diferencias significativas entre tratamientos para cada variable con un valor p<0,05. S-CCf: centeno fertilizado (monocultivo de soja), S-CC: centeno sin fertilizador (monocultivo de soja), SM-CCf: centeno fertilizado (rotación soja/maíz), SM-CC: centeno sin fertilizar (rotación soja/maíz), M-CCf: centeno fertilizado (monocultivo de maíz) y M-CC: centeno sin fertilizar (monocultivo de maíz). Antecesor (soja o maíz), Fertilización del CC y Ant x fert (Antecesor por fertilización del CC), * efecto significativo valor p < 0,05, ** efecto muy significativo valor p<0,01 y sd sin efecto significativo.

Different letters show significant differences between treatments (p value < 0,05) within each year. S-CCf: fertilized rye (continuous soybean), S-CC: rye without fertilization (continuous soybean), SM-CCf: fertilized rye (soybean/corn rotation), SM-CC: rye without fertilization (soybean/corn rotation), M-CCf: fertilized rye (continuous corn), M-CC: rye without fertilization (continuous corn). Antecesor (soybean or corn), CC fertilization and Ant x fert (Antecesor by fertilization of CC), *significant effect p value < 0,05, ** very significant effect p value < 0,01 and sd without significant effect.

El CH del CC en general fue bajo y hasta negativo en algunos casos, debido seguramente a la baja EB de los tratamientos sin CC (Figura 4), que determina un pobre almacenamiento de agua. Navarro (2017) tampoco observó un elevado CH de diferentes CC debido a la baja eficiencia de almacenamiento de agua de los barbechos. En este trabajo el CH fue superior en los tratamientos fertilizados, debido posiblemente a que la mayor producción de MS generó un mayor consumo de agua. Por otro lado, al analizar el UC del CC no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, encontrándose dentro del rango observado en otros trabajos (Duval et al., 2016; Scianca et al., 2006).

Finalmente, al analizar la EUA, hubo un efecto muy significativo de la fertilización para los tres años (Tabla 3), ya que se incrementó la producción de MS del CC con el mismo UC. Para el primer año, el incremento en la EUA por efecto de la fertilización en promedio para las tres rotaciones (no hubo efecto del antecesor) fue de $10,1 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, un 50% superior con respecto a los tratamientos no fertilizados. Para el segundo año el CCf en promedio para las tres rotaciones produjo $7 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ por mm de agua más que los tratamientos sin fertilizar siendo esta diferencia del 40%. Para el tercer año el incremento por la fertilización fue de $9,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ es decir un 68,1% superior. Por lo tanto, para los tres años independientemente del régimen de PP, se observó una mayor EUA (42,8%) por la fertilización, siendo superior en el año de mayores PP. Esto se corresponde con lo observado por Eiza et al. (2005) y Carfagno et al. (2012) quienes indicaron que los cultivos son más eficientes en el uso del agua al ser fertilizados. Esto demuestra que la fertilización nitrogenada de las gramíneas utilizadas como CC es una herramienta que mejora la EUA de los mismos incrementando su potencial de secuestro de C, ya que permite una mayor producción de MS con un mismo aporte de agua.

Dinámica del agua en el suelo

La LADs fue afectada por la interacción entre el año, el momento, secuencia de cultivo y la presencia del CC ($p= 0,001$). Por lo tanto, el efecto del CC se analizó dentro de cada secuencia de cultivo por año y por momento (Figura 3 a, b y c) y el efecto individual de cada cultivo comercial (Figura 4 d).

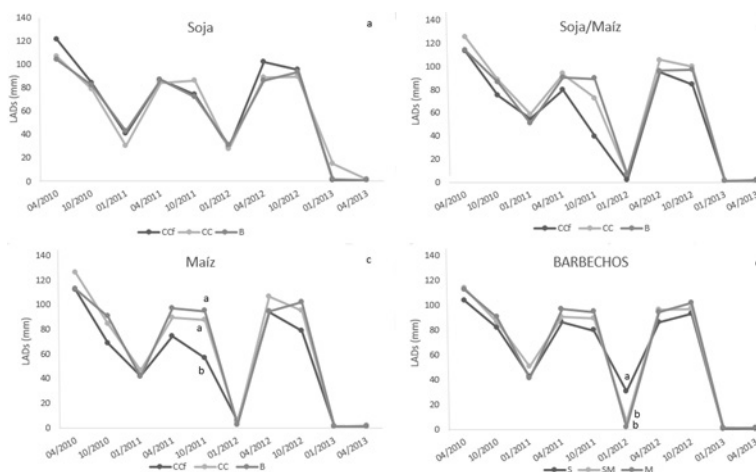


Figura 3. Dinámica de lámina disponible de agua del suelo (LADs) en milímetros (mm) para a) monocultivo soja con cultivo de cobertura fertilizado (CCf), cultivo de cobertura (CC) o sin CC (B); b) rotación soja/maíz con CCf, CC o B; c) monocultivo de maíz con CCf, CC o B; d) comparación de los barbechos de las secuencias de cultivo soja (S), soja/maíz (SM) y maíz (M) durante las tres campañas. Distintas letras determinan diferencias significativas (valor $p < 0,05$) entre tratamientos.

Figure 3. Soil available water dynamic (LADs) in millimeters (mm) for a) continuous soybean with fertilized cover crop (CCf), cover crop (CC) or without cover crop (B); b) soybean/corn rotation (SM) with CCf, CC or B; c) continuous corn (M) with CCf, CC or B; b) treatments without CC (B) for each crop sequence (S, SM, M) during the three campaigns. Different letters show significant differences between treatments (p value $< 0,05$) between treatments.

Para el momento de la siembra de los cultivos comerciales, solamente en el período 2011/12 se observaron diferencias significativas en la LADs por efecto del CC para el monocultivo de maíz (Figura 3c). La menor disponibilidad de agua se observó en el tratamiento CCf (56,5 mm), debido seguramente al consumo de agua superior sobre el tratamiento del CC no fertilizado debido a una mayor producción de MS (Figura 1). Para este mismo período, no se observaron diferencias entre el CC sin fertilizar (87,5 mm) y el barbecho (94,6 mm). Para el resto de los momentos analizados y los monocultivos de soja y la rotación soja/maíz (Figura 3b y c), no se observó un efecto del CC sobre la disponibilidad de agua.

Por lo tanto, en general no se observaron diferencias en la LADs para los cultivos comerciales al momento de su siembra a pesar del consumo de los CC, esto se puede deber a que las precipitaciones luego del secado del CC fueron suficientes para recargar el perfil y llegar a valores similares al barbecho que no tuvo por su parte una alta EB (Figura 4). Carfagno et al. (2013) y Fernandez et al. (2012) tampoco observaron un efecto negativo por el uso de CC debido a su consumo de agua para el cultivo posterior. Esto se evidencia al comparar las EB de cada una de las rotaciones (Figura 4).

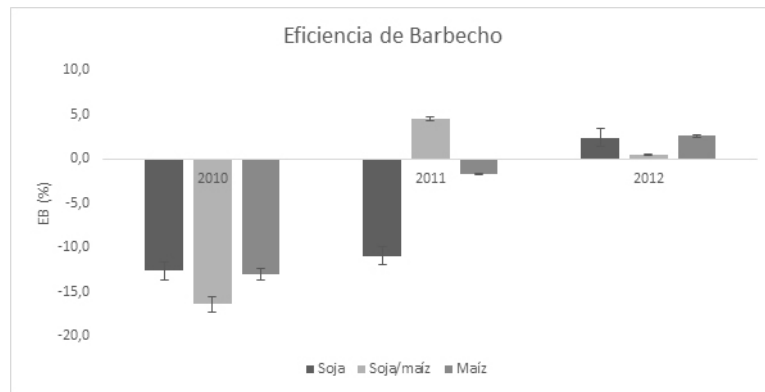


Figura 4. Eficiencia de barbecho (EB) promedio por secuencia de cultivo expresado en porcentaje (%) con su desvío estándar. Período 2010/11, 2011/12 y 2012/13. S: Monocultivo de soja, SM: Rotación soja/maíz y M: Monocultivo de maíz.

Figure 4. Average fallow efficiency (EB) for each crop sequence in percentage (%) with its standard deviation. 2010/11, 2011/12 and 2012/13 period. S: continuous soybean, SM: soybean/corn rotation and M: continuous corn.

Las EB para las distintas secuencias de cultivo, fueron en general negativas como se puede observar en la Figura 4. Es decir que al momento de la siembra de soja o maíz hubo menor LADs que al momento de la cosecha de la campaña anterior, o levemente positivas con acumulaciones de agua útil no superiores al 10%. Fernández et al. (2005) 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 eficiencia del uso del agua (EUA) de los cultivos de cosecha respecto del testigo (sin CC) debido a su baja EB. Por lo tanto, el consumo de agua por parte del CC en vez de ser un pasivo para la rotación, es una oportunidad para usar el agua del otoño en pos de fijar y potencialmente secuestrar carbono.

En el período 2011/12, para el momento de estado floración de los cultivos comerciales, se pudieron observar diferencias en la LADs por la secuencia de cultivo (Figura 3d). La LADs medida en el momento de floración para los tratamientos M, SM (maíz durante este período) y S fue de 2,1 mm, 6,8 mm y 31,0 mm, respectivamente. Por lo tanto, se observó una mayor disminución del agua del suelo en el cultivo de maíz con respecto a la soja, debido a sus diferentes consumos. Esto se corresponde con lo reportado en la provincia de Buenos Aires, por Coll (2009) y Della Maggiora et al. (2002), quienes midieron evapotranspiraciones reales para el cultivo de maíz de 599 mm y para el cultivo de soja de 454 mm para el total de sus ciclos productivos, siendo mayor la demanda de agua en los momentos de floración. Finalmente, para los momentos de cosecha no se observaron diferencias en ninguno de los años o los tratamientos.

Dinámica del nitrógeno en forma de nitratos en el suelo

Al analizar la concentración del N-NO_3^- hasta los 100 cm de profundidad, se observó una interacción entre el año, el momento (siembra o cosecha del cultivo comercial), la secuencia de cultivo y el CC (valor $p < 0,001$). Esto se debe seguramente a la alta sensibilidad del N-NO_3^- a variables climáticas como las precipitaciones y la temperatura (Dhima et al., 2007).

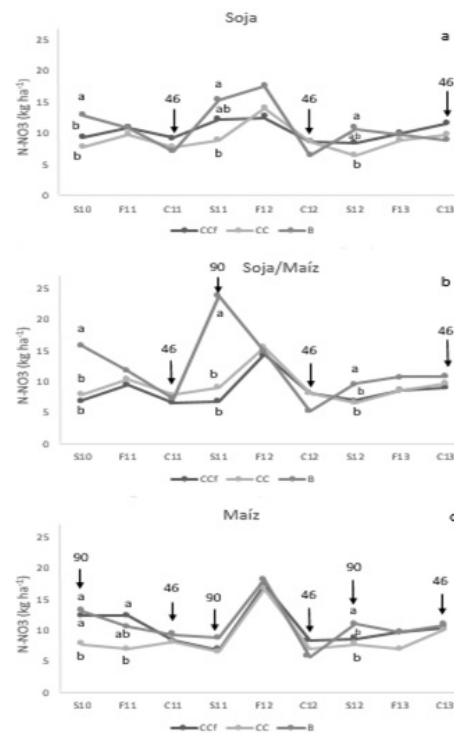


Figura 5. Dinámica de la concentración de nitrógeno en forma de nitratos (N-NO_3^- ; kg ha^{-1}) por secuencia de cultivo para la profundidad de 0- 100 cm. S: siembra, F: floración y C: cosecha de los cultivos comerciales. 10: año 2010, 11: año 2011 y 12: año 2012. Diferentes letras determinan diferencias significativas (valor $p < 0,05$) para cada momento dentro de cada campaña. CCf: cultivo de cobertura fertilizado, CC: cultivo de cobertura y B: barbecho sin cultivo de cobertura. Flechas indican los momentos de aportes de N en forma de UREA en kg ha^{-1} para los tratamientos CCf (46) y los cultivos de maíz (90).

Figure 5. Nitrogen in form of nitrate (N-NO_3^-) concentration dynamic in kg ha^{-1} for each crop sequence for the 0-100 cm depth. S: sowing, F: flowering and C: harvest of commercial crops. 10: 2010 year, 11: 2011 year and 12: 2012 year. Different letters show significant differences (p value $< 0,05$) for each moment within campaigns. CCf: fertilized cover crop, CC: cover crop without fertilization and B: fallow without cover crop. Fertilization with N in form of UREA (kg ha^{-1}) moments are indicated with arrows for the CCf (46) and corns (90).

Para el caso del monocultivo de soja las diferencias entre tratamientos se observaron en los momentos de siembra para los tres períodos (Figura 5a), debido posiblemente al consumo del N por el CC. Esto se corresponde con lo descrito por Tonitto et al. (2006) y Gabriel y Quemada (2011) en mediciones realizadas al momento de la siembra de diferentes cultivos comerciales. Para el período 2010/11 el contenido de N-NO_3^- fue de 12,9; 8,5 y 9,32 kg ha^{-1} para B, CC y CCf respectivamente, siendo la concentración en el barbecho significativamente superior a la de los tratamientos con CC en un 44%. No se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de CC y CCf debido posiblemente a que el centeno absorbió el N aportado en forma de fertilizante para generar una mayor producción de MS (Figura 5a). Para el período 2011/12 el valor de N-NO_3^- fue de 15,4; 8,82 y 12,2 kg ha^{-1} para B, CC y CCf respectivamente, siendo la concentración en el barbecho estadísticamente superior a la del CC en un 74,9%. No se detectaron diferencias significativas entre el B y el CCf pudiéndose deber a que las precipitaciones del periodo invernal de este año (36,2 mm) fueron inferiores a la del período 2010/11 (136,4 mm). Con menores precipitaciones por un lado se pueden disminuir las pérdidas de N por lixiviación en el periodo invernal (Tosti et al., 2014) observándose una mayor concentración de N-NO_3^- en el barbecho de este período con respecto al anterior y por el otro las menores precipitaciones pudieron haber disminuido la absorción del N del fertilizante por parte del CC. Por lo tanto, una mayor proporción del mismo se mantuvo en el suelo en vez de haber sido utilizado. Por este motivo, la concentración de NO_3^- del CCf en suelo fue superior en este año con respecto al anterior. En el período 2012/13 donde las precipitaciones fueron de 156 mm, similares a al período 2010/11 el valor de N-NO_3^- fue de 10,7; 6,5 y 8,5 kg ha^{-1} para B, CC y CCf respectivamente, siendo la concentración en el barbecho significativamente superior a la del tratamiento con CC en un 64,7%. No se detectaron diferencias significativas entre el B y el CCf. La diferencia entre los tratamientos CC y CCf fue de 8,8 kg de N-NO_3^- . Para los momentos de floración y cosecha no se detectaron diferencias entre tratamientos (Figura 5a).

Para el caso de la rotación soja/maíz se observó una dinámica temporal de la concentración de $N-NO_3^-$ similar a la del monocultivo de soja, donde los efectos del CC se dieron en los momentos de siembra de los cultivos de grano (Figura 5b). Para el período 2010/11 con maíz como antecesor del CC, la concentración de $N-NO_3^-$ fue significativamente superior (112%) a la de los tratamientos con CC y CCf. Para el período 2011/12, con soja como antecesor del CC se observó la misma tendencia, la concentración de $N-NO_3^-$ del B fue significativamente superior a la de los tratamientos CC y CCf. Esta diferencia fue de un 200 % a favor del CC, el doble que para el período 2010/11. Para el período 2012/13, el B también fue significativamente superior a los tratamientos con CC y CCf, pero en este caso el incremento fue de un 33%. Para los momentos de floración y cosecha de los cultivos de grano no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. En el caso del monocultivo de maíz las diferencias entre tratamientos se observaron en los momentos de siembra y floración del cultivo de maíz en el período 2010/11 y siembra para el período 2012/13. En el período 2011/12 (la de menores PP registradas) no se detectaron diferencias en ninguno de los tres momentos de muestreo (Figura 5c). Para el primer año, las concentraciones de $N-NO_3^-$ fueron de 13,2; 12,37 y 7,8 $kg\ ha^{-1}$ para B, CCf y CC respectivamente. Las concentraciones del B y del CCf fueron significativamente superiores a la del CC sin fertilización. Es decir que para este año el CC no llegó a utilizar el N en forma de fertilizante para producir mayor cantidad de MS (Figura 1). Las diferencias en los niveles de NO_3^- en suelo se mantuvieron hasta por lo menos la floración del maíz debido a que el rendimiento del mismo fue inferior con CC como antecesor (Tabla 4), deprimiendo el consumo de N. Para el período 2012/2013 el B tuvo una concentración estadísticamente superior en un 14,7% a los tratamientos con CC. En este caso no hubo diferencias significativas entre los CC y CCf.

Por lo tanto, el efecto del CC sobre la concentración de $N-NO_3^-$ en el suelo se dio principalmente durante la etapa invernal, absorbiéndolo y manteniéndolo en sus tejidos, disminuyendo las posibles pérdidas por lixiviación que se dan durante el invierno. Un indicativo de esto puede ser las diferencias en la concentración de $N-NO_3^-$ de los barbechos entre períodos estudiados, siendo el valor del período con menores precipitaciones superiores a la de los períodos con mayores registros de lluvia, donde los NO_3^- se pudieron haber lavado del perfil de suelo a capas más profundas (Korucu et al., 2018). En cambio, en los tratamientos con CC, se estima que mediante su crecimiento y desarrollo, el centeno absorbió el N manteniéndolo en sus tejidos para luego devolverlo al suelo mediante la descomposición de sus tejidos (Gabriel y Quemada, 2011), reduciendo el efecto negativo para el ambiente de una potencial lixiviación del N.

Rendimiento de los cultivos comerciales

Los rendimientos de maíz fueron afectados por el año, observándose los menores rendimientos en la campaña con menor registro de precipitaciones (Tabla 4).

Tabla 4. Rendimientos del cultivo de maíz y soja en $kg\ ha^{-1}$ por tratamiento por período.

Table 4. Corn and soybean yield in $kg\ ha^{-1}$ for each treatment within periods.

CULTIVO	Tratamiento					
	M-CCf	M-CC	M-B	SM-CCf	SM-CC	SM-B
MAÍZ						
2010/11	9044 b	10139 a	11719 a	-	-	-
2011/12	1148 a	1135 a	1978 a	1342 a	2828 a	2618 a
2012/13	9215 a	9204 a	9686 a	-	-	-
SOJA						
2010/11	3498 a	4195 a	4075 a	4633 a	3958 a	4045 a
2011/12	3125 a	3202 a	3303 a	-	-	-
2012/13	4300 a	3958 a	4247 a	4401 a	4397 a	4672 a

Los períodos 2010/11 y 2012/13 tuvieron soja en la rotación soja/maíz. M-CCf: monocultivo de maíz con cultivo de cobertura (CC) fertilizado, M-CC: monocultivo de maíz con CC sin fertilizar, M-B: monocultivo de maíz sin CC, SM-CCf: rotación soja/maíz con CC fertilizado, SM-CC: rotación soja/maíz con CC sin fertilizar y SM-B: rotación soja/maíz sin CC, S-CCf: monocultivo de soja con CC fertilizado, S-CC: monocultivo de soja con CC sin fertilizar, S-B: monocultivo de soja sin CC. Diferentes letras determinan diferencias significativas entre tratamientos con un valor $p < 0,05$. 2010/11 and 2012/13 periods have soybean in the soybean/crop rotation. M-CCf: continuous corn with fertilized cover crop (CC), M-CC: continuous corn with CC without fertilization, M-B: continuous corn without CC, SM-CCf: soybean/corn rotation with fertilized CC, SM-CC: soybean/corn rotation with CC, SM-B: soybean/corn without CC, S-CCf: continuous soybean with fertilized cover crop (CC), M-CC: continuous soybean with CC without fertilization, M-B: continuous soybean without CC. Different letters show significant differences (p value $< 0,05$) between treatments within campaigns.

En promedio los maíces rindieron 10300, 1841 y 9368 kg ha⁻¹ para los períodos 2010/11, 2011/12 y 2012/13, respectivamente. Al analizar los tratamientos dentro de cada año, se observó una tendencia a la disminución del rendimiento del maíz debido al CC ($p=0,075$) solamente para el período 2010/11 (Tabla 4). Esto se puede deber a que en ese año en particular se midió un descenso del N-NO₃⁻ en suelo al momento de la siembra del maíz en los tratamientos con CC con respecto al barbecho, restringiendo la disponibilidad de este nutriente para el maíz (Figura 5). En este sentido, Alvarez et al. (2017) en un meta-análisis realizado con datos de la Región Pampeana detectaron que el rendimiento del maíz decreció en un 8% cuando fue antecedido por un CC gramínea. En contraste, Enrico et al. (2020) observaron que el maíz es beneficiado por CC leguminosas como antecesores debido al aporte de N que estos generan. Por lo tanto, es fundamental la correcta elección del CC que será utilizado en combinación con el maíz.

Los rendimientos del cultivo de soja por su parte, fueron afectados por el año ($p=0,0456$) obteniéndose un rinde promedio para todos los tratamientos de 3922 kg ha⁻¹ (2010/11), de 3210 kg ha⁻¹ (2011/12) y de 4215 kg ha⁻¹ (2012/13). Los dos años de mayores registros de precipitaciones durante el invierno y la primavera fueron las de mayores rendimientos. Dentro de cada año, no se observó un efecto del CC sobre el rendimiento de soja (Tabla 4). Por lo tanto, el cultivo de soja no fue afectado económicamente debido al uso del CC, ya que sus rindes no disminuyeron ni se incrementaron estadísticamente.

CONCLUSIONES

La incorporación de centeno como CC en las rotaciones afectó la dinámica del agua y la disponibilidad de N, teniendo un leve efecto negativo sobre maíz en el año seco. El uso de los CC genera un consumo de agua en la época invernal, que por un lado es utilizada para la fijación de C desde la atmósfera generando un potencial secuestro de C y por el otro realiza un reciclado de N manteniéndolo en el sistema que de otra forma se perdería generando posibles contaminaciones de napas de agua. El cultivo de soja por su parte no fue afectado por el CC, pero generó un incremento en la producción del mismo.

Por lo tanto, se debe prestar particular atención a la combinación de cultivos para potenciar la producción de materia seca de los cultivos de cobertura (gramínea – leguminosa) y no generar una interacción negativa entre el cultivo de cobertura y el comercial como puede ser el caso del centeno con el maíz (gramínea – gramínea).

REFERENCIAS

- Aloe, J. y Toribio, M. (2008). *Aplicación de fertilizantes sólidos: Regulación de fertilizadoras*. Profertil, Departamento de Investigación y Desarrollo. Informe técnico n° 13.
- Alvarez, R., Steinbach, H. y De Paepe, J. (2017). Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 170, 53-65.
- Andrade, F. H., Echeverría, H. E., González, N. S., Uhart, S. y Darwich, N. (1996). Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. *Boletín técnico N° 134*. 17 pp.
- Barnes, J. P. y Putnam, A. R. (1983). Rye residues contribute weed suppression in no-tillage cropping systems. *Journal of Chemical Ecology* 9, 1045-1057.
- Baker, J. M. y Griffis, T. J. (2009). Evaluating the potential use of winter cover crops in corn-soybean system for sustainable co-production of food and fuel. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149 (12), 2120-2132.
- Bodner, G., Loiskandl, W. y Kaul, H. P. (2007). Cover crop evapotranspiration under semi-arid conditions using FAO dual crop coefficient method with water stress compensation. *Agricultural water Management*, 93, 85-98.
- Bremner, J. M. (1960). Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *The Journal of Agricultural Science*, 55, 11-33.
- Cambardella, C. A. y Elliot, E. T. (1994). Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 123-130.
- Carfagno, P. F., Eiza, M. J., Babinec, F. y Quiroga, A. (2012). Inclusión de cultivos de cobertura en la dinámica hídrica de hapludoles y haplustoles del oeste de la prov de Buenos Aires y noroeste de La Pampa. En: C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos y M. Borrero (Eds.) *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. EEA INTA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas". La Pampa. Ediciones INTA.
- Carfagno, P. F., Eiza, M. J., Quiroga, A., Babinec, F., Chagas, C. y Michelena, R. (2013). Agua disponible en monocultivo de soja con cultivos de cobertura y barbechos reducidos en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. *Ciencia del Suelo* 31 (1), 67-81.
- Coll, L. 2009. *Captación y utilización de recursos en los intercultivos girasol-soja y maíz-soja*. [Tesis Magister Scientiae en Producción Ve-

- getal]. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata
- Colla, G., Mitchell, J. y Joyce, B. A. (2000). Soil physical properties and tomato yield and quality in alternative cropping systems. *Agronomy Journal*, 92, 924-932.
- Della Maggiora, A. I., Gardiol, J. M. y Irigoyen, A. I. (2002). Requerimientos hídricos. En: F. Andrade y V. Sadras (Eds). *Bases para el manejo del maíz, girasol y soja*. Editorial Producciones Gráficas Sirio.
- Díaz Zorita M., García, F. y Melgar, R. (2002). *Fertilización en soja y trigo/soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana*. Boletín Proyecto Fertilizar. EEA INTA Pergamino.
- Di Rienzo J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. (2012). InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dhima, K. V., Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B. y Dordas, C. A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100, 249–256.
- Dominguez, G. F., García, G. V., Studdert, G. A., Agostini, M. A., Tourn, S. N. y Domingo, M.M. (2016). Is anaerobic mineralizable nitrogen suitable as soil health indicator?. *Spanish Journal of Soil Science*, 6, 82-97.
- Duval, M. E., Galantini, J. A., Martínez, J. M. y Iglesias, J. O. (2016). Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. *Ciencia del Suelo*, 34, 197-209.
- Eiza, M. J., Fioriti, N., Studdert, G. y Echeverría, H. E. (2005). Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo*, 23, 59-67.
- Enrico, J. M., Piccinetti, C. F., Barraco, M. R., Agosti, M. B., Ecclesia, R. P. y Salvagiotti, F. (2020). Biological nitrogen fixation in field pea and vetch: Response to inoculation and residual effect on maize in the Pampean region. *European Journal of Agronomy*, 115, 126016. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126016>
- 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 N° 87. EEA INTA Anguil.
- Fernandez, R., Quiroga, A., Arenas, F., Antonini, C. y Saks, M. (2007). *Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos*. Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Publicación Técnica N°71. EEA INTA Anguil, cap. V.
- Fernández, R. y Quiroga, A. (2009). *Cultivo de cobertura. Costo hídrico de su inclusión en sistemas mixtos*. Jornadas nacionales sistemas productivos sustentables: fósforo, Nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía Blanca.
- Fernandez, R., Quiroga, A., y Noellemeyer, E. (2012). Cultivos de cobertura, ¿Una alternativa viable para la región semiárida pampeana?. *Ciencia del Suelo*, 30 (2), 137-150.
- Folorunso, O. A., Rolston, D. E., Prichard, T. y Louie, D.T. (1992). Soil surface strength and infiltration rate as affected by winter cover crops. *Soil Technology*, 5, 189-197.
- Gabriel, J. L. y Quemada, M. (2011). Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: yield, N uptake and fertiliser fate. *European Journal of Agronomy*, 34, 133–143.
- Galantini, J. A., Senesi, N., Brunetti, G. y Rosell, R. (2004). Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in semiarid Pampean grassland soils of Argentina. *Geoderma*, 123, 143-152.
- Galantini, J. A. (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.
- Gonzalez, H. M., Restovich, S. B. y Portela, S. I. (2017). Use of winter cover crops as an alternative to improve soil structural stability. *Ciencia Del Suelo*, 35, 1–10.
- Kaspar, T. C., Jaynes, D. B., Parkin, T. B., Moorman, T. B. y Singer, J. W. (2012). Effectiveness of oat and rye cover crops in reducing nitrate losses in drainage water. *Agricultural Water Management*, 110, 25-33.
- Kaspar, T. C. y Singer, J. W. (2011). The use of cover crops to manage soil. En: J.L. Hatfield y T.J. Sauer (Eds), *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture*. Am. Soc. Agr. Soil Sci., Madison, WI,
- Klute, A. y Dirsken, C. (1986). Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory methods. En: A. Klute (Ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical methods. (2nd. Ed.) Agronomy 9
- Korucu, T., Shipitalo, M. J. y Kaspar, T. C. (2018). Rye cover crop increases earthworm populations and reduces losses of broadcast, fall applied, fertilizers in surface runoff. *Soil and Tillage Research*, 180, 99-106.
- Landriscini, M. R., Galantini, J. A., Duval, M. E. y Capurro, J. E. (2019). Nitrogen balance in a plant-soil system under different cover crop-soybean cropping in Argentina. *Applied Soil Ecology*, 133, 124–131.
- López, M. V. y Arrúe, J. L. (1997). Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region on Spain. *Soil and Tillage Research*, 44, 35-54.
- Martínez, J. P., Barbieri, P. A., Sainz Rozas, H. R. y Echeverría, H. E. (2013). Inclusion of cover crops in cropping sequences with soybean predominance in the southeast of the Humid Argentine Pampa. *The Open Agriculture Journal*, 7, 3-10.

- Meyer, N., Bergez, J. E., Constantin, J. y Justes, E. (2019). Cover crops reduce water drainage in temperate climates. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura. 2012. *El estado de los recursos de tierras y agua del mundo para la alimentación y la agricultura*. Editorial Mundi-Prensa.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama, Japan: IGES.
- Pinto, P., Fernández-Long, M. E. y Piñeiro, G. (2017). Including Cover Crops during fallow periods for increasing ecosystem services: is it possible in croplands of Southern South America?. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 248, 48–57.
- Raimbault, B. A., Vyn, T. J. y Tollenaar, M. (1990). Corn response to rye cover crop management and spring tillage systems. *Agronomy Journal*, 82, 1088-1093.
- Rimski-Korsakov, H., Alvarez, C. R. y Lavado, R. S. (2015). Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(6), 134A-140A.
- Ritter, W. F., Scarborough, R. W. y Chirside, A. E. M. (1998). Winter cover crops as a best management practice for reducing nitrogen leaching. *Journal of Contaminant Hydrology*, 34,1-15.
- Restovich, S., Andriulo, A. y Amémdola, C. (2011). Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Ciencia del Suelo*, 29(1), 61-73.
- Restovich, S., Andriulo, A. y Amémdola, C. (2012). Introduction of cover crops in a soybean-corn rotation: Effect on some soil properties. *Field Crops Research*, 128, 62-70.
- Richards, L. A. (1947). Pressure-membrane apparatus-construction and use. *Agricultural engineering*, 28 (10), 451-454.
- Ruegg, W. T., Richner, W., Stamp, P. y Feil, B. (1998). Accumulation of dry matter and nitrogen minimum-tillage silage maize planted into winter crop residues. *European Journal Agronomy*, 8, 59-69.
- Sainju, U. M., Schomberg, H. H., Singh, B. P., Whitehead, W. F., Glynn Tillman, P. y Lachnicht-Weyers, S. L. (2007). Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton. *Soil and Tillage Research*, 96, 205-218.
- Salmerón, M., Isla, R. y Cavero, J. (2011). Effect of winter cover crop species and planting methods on maize yield and N availability under irrigated Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 123, 89-99.
- Scianca, C., Alvarez, C., Barraco, M., Quiroga, A. y Zalba, P. (2006). *Cultivos de cobertura. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas*. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta.
- Scianca, C. (2010). *Cultivo de cobertura en Molisoles de la región pampeana: Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas*. [Tesis Magister en Ciencias Agrarias]. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Soil Survey Staff. (2017). *Keys to Soil Taxonomy*. USDA-NRCS. Washington, DC.
- Soriano, A. (1983). El agua y la producción vegetal: consumo y eficiencia. *IDIA, Suplemento No. 36*, 44-50.
- Thapa, R., Mirsky, S. B. y Tully, K. L. (2018). Cover Crops Reduce Nitrate Leaching in Agroecosystems: A Global Meta-Analysis. *Journal of Environment Quality*, 47, 1400–1411.
- Tonitto, C., David, M. B. y Drinkwater, L.E. (2006). Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: a meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112, 58–72.
- Tosti, G., Ben incasa, P., Farneselli, M., Tei, F. y Guiducci, M. (2014). Barley-hairy vetch mixture as cover crop for green manuring and the mitigation of N leaching risk. *European Journal of Agronomy*, 54, 34-39.
- Wall, D. A. y Stobbe, H. E. (1984). The effect of tillage on soil temperature and corn (*Zea mays* L.) growth in Manitoba. *Canadian Journal of Plant Science*, 64, 59-67.
- Valenzuela, C., Della Maggiora, A. L., Echarte, L., Cambareri, M. y Polizzi, M. (2009). Evapotranspiración y eficiencia en el uso del agua en intercultivos maíz-soja vs cultivos puros. *Meteorológica* 34 (2): 29-37.
- Yunusa, I. A. M., Mele, P. M., Rab, M. A., Schefe, C. R. y Beverly, C. R. (2002). Priming of soil structural and hydrological properties by native woody species, annual crops and a permanent pasture. *Australian Journal of Soil Research*, 40, 207–219.