

EFFECTO DEL USO DE CULTIVO DE COBERTURA EN UNA SECUENCIA DE SOJA CONTINUA EN LA REGION SEMIARIDA PAMPEANA

EFFECT OF COVER CROP USE ON A CONTINUOUS SOYBEAN SEQUENCE IN THE PAMPEAN SEMIARID REGION

Fernández, Romina¹*, Alvarez, Cristián Osvaldo¹, Eggmann Owen, Elías Reinaldo³ y Quiroga, Alberto Raúl^{1,2}

Recibido: 2/07/2020
Aceptado: 14/09/2020

RESUMEN

Se plantearon como objetivos, cuantificar el efecto que tiene el centeno como CC sobre el rendimiento del cultivo de verano sucesor, evaluar la dinámica de la descomposición de los residuos de centeno utilizado como cultivo de cobertura (CC), fertilizado y sin fertilizar con nitrógeno (N). Evaluar el efecto acumulado de 5 años de CC de centeno en una rotación con alta incidencia de oleaginosa, sobre los contenidos de materia orgánica. El estudio se desarrolló sobre un Paleustol petrocálcico, ubicado en el sur de la planicie con tosca de la Región Semiárida Pampeana, correspondiente a un ensayo de larga duración donde en el año 2010 se instalaron dos secuencias para el manejo del cultivo de soja, soja continua sin inclusión de CC y soja en rotación con CC. En el año 2018 se estableció un diseño experimental dispuesto en parcelas en bloques completamente aleatorizados y se establecieron 4 tratamientos de manejo para el cultivo de soja: Soja continua sin inclusión de CC. Soja en rotación con CC sin fertilizar. Soja en rotación con CC fertilizado con 60 kg N.ha⁻¹ y Soja en rotación con CC fertilizado con 120 kg N.ha⁻¹. La fertilización nitrogenada mejoró la captura en biomasa aérea de carbono, nitrógeno y fósforo. En promedio, un 40 % de carbono, 60% de nitrógeno y 61% de fósforo contenido en biomasa se perdieron desde el secado, hasta la cosecha de soja. Los mayores rendimientos de soja se registraron en la rotación con CC fertilizado, debido probablemente al aporte de diferentes nutrientes durante el ciclo del cultivo de soja. El estudio a largo plazo demostró que después de 5 años de inclusión de CC en la rotación con soja no hubo efecto positivo sobre los contenidos de materia orgánica.

PALABRAS CLAVE: contenido de agua; descomposición de cultivos de cobertura; materia orgánica;

ABSTRACT

The objectives were to quantify its effect on the yield of the successor summer crop, to evaluate the dynamics of the decomposition of rye residues from a fertilized and unfertilized cover crop (CC), and to evaluate the cumulative effect of 5 years of rye CC in a rotation with a high incidence of soybean on the soil organic matter contents. The study was carried out on a petrocalcic Paleustoll, located in the Southern Plain of the Semi-arid Pampa Region. The experiment was part of a long-term trial where in 2010 two treatments for soybean management were installed, continuous soybean without CC and soybeans in rotation with CC. In 2018 an experimental design was established where plots were arranged in completely randomized blocks and 4 management treatments for soybean cultivation were established: continuous soybean without CC, soybean in rotation with CC without fertilization, fertilized with 60 kg N .ha⁻¹, and with 120 kg N.ha⁻¹. Nitrogen fertilization in the CC improved the capture rate of both carbon, nitrogen and phosphorus. The results showed that 40% carbon, 60% nitrogen, and 61% phosphorus contained in above-ground biomass were lost from the CC from drying to soybean harvest. The highest soybean yields were recorded in the rotation with fertilized CC, due to a positive effect between the higher soil water content in the early stages of cultivation due to a greater amount of residues, and also by the contribution of different nutrients during the soybean crop-cycle. The long-term trial showed that after 5 years of cover crops in the soybean rotation there was no effect on the organic matter contents.

KEY WORDS: water content; cover crops decomposition; organic matter;

Cómo citar este trabajo:

Fernández, R., Alvarez, C. O., y Quiroga, A. R. (2020). Efecto del uso de cultivo de cobertura en una secuencia de soja continua en la región semiárida pampeana. *Semiárida*, 30(2), 37-49.

1 Inta Anguil.La Pampa. Argentina.

2 Universidad Nacional de La Pampa. Facultad de Agronomía. Santa Rosa. Argentina.

3 Actividad Privada.

* fernandez_romina@inta.gob.ar



INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana han experimentado importantes cambios durante los últimos 15 años. Si bien el sistema de cultivo en siembra directa (SD) es una práctica muy difundida y de gran adopción, López (2017) comprobó que más de la mitad (54%) de los suelos bajo SD en la Región Subhúmeda-Semiárida del Sudoeste Bonaerense presentan una cobertura menor a la establecida por la bibliografía como necesaria para considerarla agricultura de conservación (30%), la que le proporcionaría una adecuada protección contra la erosión. Según este autor, aproximadamente la mitad de los lotes con cultivos invernales tendrían una adecuada cobertura, mientras que la mayoría de los cultivos estivales no lograrían ese umbral. En este sentido existe dificultad en la región para generar residuos y que los mismos permanezcan como cobertura del suelo, aún en manejos con agricultura continua.

En la Región Semiárida Pampeana los planteos en SD continua con el 50% de participación de gramíneas en la rotación han logrado mantener los niveles de carbono orgánico (CO) del suelo con respecto al contenido inicial (Fernández et al., 2017). Sin embargo, cuando la SD está asociada a alta frecuencia de cultivos con escasos aportes de residuos en detrimento de la superficie destinada a pasturas se comprueban pérdidas de CO y degradación física de los suelos (Quiroga et al., 2016). Estos cambios, generan efectos negativos sobre la estructura y el funcionamiento de algunos servicios ecosistémicos producidos por el suelo (Blanco-Canqui et al., 2017), donde los procesos físico hídricos han sido afectados.

En estos sistemas, los cultivos de cobertura (CC) surgen como una alternativa para restablecer parte de la calidad del suelo, incrementando los aportes de CO a partir de la descomposición de sus residuos tanto aéreos como subterráneos (Ding et al., 2006; Sainju et al., 2003). La fertilización de los CC tiene como objetivo aumentar la eficiencia en el uso del agua, y así obtener mayor producción de biomasa, mejorar el secuestro de carbono (C) y

de nitrógeno (N) y poder generar e incorporar mayor cobertura al suelo (Follett, 2001). Una alta proporción de esta cobertura se descompone en el periodo de barbecho y durante el ciclo del cultivo de verano. La tasa de descomposición de los residuos está controlada por factores externos (temperatura, humedad y contacto con el suelo), y por factores intrínsecos de los residuos (Heal et al., 1997; Ruffo y Bollero, 2003). Los tejidos vegetales con mayor proporción de C estructural, presentan menor contenido de N y por lo tanto, relación C/N más elevada (Ruffo y Bollero, 2003). La tasa de descomposición de los residuos es inversamente proporcional a su relación C/N (Sánchez et al., 1996; Sá Pereira et al., 2017) y esto tiene consecuencias sobre la duración del proceso de descomposición y la persistencia de los residuos, como también en la dinámica de la materia orgánica incidiendo en la disponibilidad de N para el cultivo siguiente (Mulvaney et al., 2010).

Se plantean como objetivos:

1. Cuantificar el efecto que tiene el centeno como CC sobre el rendimiento del cultivo de verano sucesor.
2. Evaluar la dinámica de la descomposición de los residuos de centeno utilizado como CC, fertilizado y sin fertilizar.
3. Evaluar el efecto acumulado de 5 años de CC de centeno en una rotación con alta participación de oleaginosa, sobre los contenidos de materia orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se desarrolló sobre un Paleustol petrocálcico, ubicado en el sur de la planicie con tosca de la Región Semiárida Pampeana. El sitio en el cual se desarrolló la experiencia corresponde a un ensayo de larga duración, localizado en el establecimiento “Los Piquillines”, Anguil, La Pampa. El ensayo se inició con un cultivo de sorgo en el año 2009 y a partir del año 2010 se instalaron dos secuencias de cultivo: soja en rotación (SR) con cultivo de cobertura y/o maíz y soja continua (SC). Los rendimientos de los cultivos y la producción de biomasa de los CC se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Historia del ensayo desde el inicio de la experiencia, rendimientos (Rend) promedios de grano y producción de biomasa aérea (Prod) en los cultivos de cobertura (CC). Soja rotación (SR) y Soja continua (SC).

Table 1: Trial history from the beginning of the experiment and grain yields (Rend), for soybean rotation (SR) and continuous soybean (SC) and production of aerial biomass (Prod) in cover crops (CC).

Campañas	Rend/Prod		Rend/Prod	
	SR	kg.ha ⁻¹	SC	kg.ha ⁻¹
2009/2010	Sorgo		Sorgo	
2010/2011	Soja	1987	Soja	1654
2011	CC	4000		
2011/2012	Soja	3697	Soja	2800
2012	CC	2947		
2012/2013	Soja	1850	Soja	1412
2013	CC	3300		
2013/2014	Soja	1412	Soja	1068
2014	CC	3800		
2014/2015	Soja	2094	Soja	1222
2015	CC	3200		
2015/2016	Soja	4106	Soja	3712
2016/2017	Maíz	5479	Soja	
2017	CC	2600		
2017/2018	Soja	1098	Soja	982
2018	CC			
2018/2019	Soja		Soja	

Diseño experimental y tratamientos

Inicialmente (2009- 2017) el ensayo presentó un diseño en franjas apareadas. En el año 2018 se estableció un diseño experimental dispuesto en parcelas en bloques completamente aleatorizados (3 bloques). El tamaño de la unidad experimental fue de 10 m de ancho por 5 m de largo. En cada bloque se establecieron 4 tratamientos de manejo para el cultivo de soja:

Soja continua sin inclusión de CC (SC).

Soja en rotación con CC sin fertilizar (SR 0N).

Soja en rotación con CC fertilizado con 60 kg N.ha⁻¹ (SR 60N).

Soja en rotación con CC fertilizado con 120 kg N.ha⁻¹ (SR 120N).

Se utilizó centeno como CC (*Secale cereale*

var. Quehue). En 2018 la siembra del CC se realizó el 4 de junio sobre antecesor soja, con una densidad de siembra de 200 semillas m². La detención del crecimiento del CC fue el 29/10/2018 en el estado de floración, mediante control químico aplicando herbicida glifosato a razón de 3 l.ha⁻¹. El mismo tratamiento de herbicida se aplicó en la secuencia SC, con el objetivo de eliminar las malezas presentes. El 15/11/2018 se sembró soja (170.000 pl.ha⁻¹) y se cosechó el 17/4/2019.

En el momento de detención del crecimiento de los CC se determinó la producción de biomasa aérea (kg N.ha⁻¹) en cada parcela mediante cortes de 0,25 m² y posterior secado del material en estufa a 60° C hasta peso constante. Se evaluó la descomposición de los residuos de los CC durante el barbecho y en el ciclo del cultivo de soja, mediante la técnica de bolsas de malla plástica (Lupwayi et al., 2007) y se determinó contenido de C, N y fósforo (P), (LECO – TrueSpec™). Las fechas en las cuales se evaluaron los residuos de los CC fueron 29/10/2018, 7/12/2018, 14/1/2019, 11/3/2019, 17/4/2019 que corresponden a los 0, 39,77, 133 y 170 días al secado de los CC.

Muestreo de suelo

Al inicio del ensayo (2009) en los 0-20 cm de profundidad, se determinó, contenido de arcilla, limo y arena mediante el método de la Pipeta de Robinson, carbono total mediante LECO (TrueSpec™). El valor obtenido de carbono total fue considerado como carbono orgánico total (COT) ya que los suelos no presentaron carbonato de calcio libre. El COT se convirtió a MOT utilizando el factor de conversión de 1,724 (Nelson & Sommers, 1996). P disponible (Bray & Kurtz, 1945), densidad aparente (Blake & Hartge, 1986), pH (1:2,5). Con los datos de MOT y contenidos de arcilla+ limo se calculó el índice llamado IMO (materia orgánica total/arcilla+limo) *100, propuesto por Quiroga et al. (2006). Los muestreos para determinar el contenido de agua total (AT) se realizaron cada 20 cm hasta los 80 cm de profundidad debido a la presencia del manto calcáreo (Calcrete). Además, se determinaron las constantes hídricas de punto de marchitez permanente (PMP, 15

bares) y capacidad de campo (CCa, 0,3 bares). Las características del suelo se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Caracterización del suelo (0-20 cm de profundidad) donde se realizó la experiencia. L+A: arcilla+limo; MO: materia orgánica, IMO (MO L+A -1), P: fósforo; DA: densidad aparente, CCa: capacidad de campo y PMP: punto de marchitez permanente.

Table 2: Soil characterization (0-20 cm depth) where the experiment was carried out. L + A: clay + silt; MO: organic matter, IMO (MO L + A -1), P: phosphorus; DA: bulk density, CCa: field capacity and PMP: permanent wilting point.

L+A (%)	MO (%)	P IMO	DA (kg.m ⁻³)	CCa (%)	PMP (%)	
57	1,87	3,3	15,4	1230	24	11

En febrero del 2017 se muestreó suelo (0-6 y 0-20 cm de profundidad) que fue secado al aire, tamizado por 2 mm para su posterior fraccionamiento de acuerdo a la técnica descrita por Cambardella & Elliott (1993) modificada por Noellemeyer et al. (2006), para obtener las fracciones de agregados 50-2000 µm y < 50 µm. Posteriormente, se les determinó los contenidos de carbono total por método de combustión en seco (LECO Truspec™). El valor obtenido de carbono total fue considerado como COT ya que los suelos no presentaron carbonato de calcio libre. El COT se convirtió a MOT utilizando el factor de conversión de 1,724 (Nelson & Sommers, 1996), de la misma manera, el C orgánico de los agregados entre 53-2000 µm utilizando el factor de conversión (1,724) fue expresado como MO joven (MOJ).

El contenido de agua (método gravimétrico) se determinó en los siguientes momentos: 1) a la siembra del CC; 2) en la fecha de detención de crecimiento del CC; 3) a la siembra del cultivo de soja, 4) en floración y 5) en madurez fisiológica del cultivo de soja.

Se calculó la eficiencia de barbecho (EB) para 0-80 cm de profundidad, mediante la siguiente ecuación (Mathews & Army, 1960).

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

Se calculó el uso consuntivo de agua en mm

(UC) de los CC y de soja, de acuerdo a la siguiente fórmula (López & Arrué, 1997):

$$UC = (\text{Contenido de agua a siembra} + \text{precipitaciones durante el ciclo}) - \text{Contenido de agua a a secado del CC, madurez fisiológica en soja.}$$

Se calculó la eficiencia en la utilización del agua (EUA, kg MS.mm⁻¹.ha⁻¹) en las parcelas bajo CC a partir del cociente entre la materia seca aérea (kg.ha⁻¹) del CC y el UC (mm); la EUA del cultivo de soja mediante el cociente de rendimiento (kg.ha⁻¹) y UC (mm) del cultivo (López & Arrué, 1997).

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

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante ANOVA, análisis de regresión y las diferencias entre medias a través del test de Tukey (p<0,10) utilizando el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2013).

Resultados y Discusión

Precipitaciones durante la etapa de estudio

En la Tabla 3 se presentan las precipitaciones acumuladas durante el periodo en que se desarrolló la experiencia. Durante el ciclo de crecimiento del CC, desde la siembra (4/6) al momento de secado (29/10), las precipitaciones acumuladas fueron superiores a las históricas (1921-2018) de 177 mm, pero inferiores al promedio de los últimos 10 años (226 mm).

En el periodo comprendido entre la fecha de secado del CC (29/10) y la siembra de soja (15/11) las precipitaciones fueron menor al promedio histórico (234 mm), pero en la etapa comprendida entre el 15/11 al 15/2 se registraron precipitaciones por encima del promedio. En la

Tabla 3: Precipitaciones (mm) registradas entre fechas de muestreo de humedad.

4/6 al 29/10	29/10 al 15/11	15/11 al 15/02	15/2 al 17/04
185,9	117,0	255,6	89,0

última etapa de mediciones (15/2 al 17/04) las precipitaciones fueron escasas, inferiores al promedio de la zona.

Eficiencia de barbecho

La eficiencia de barbecho (EB) se presenta en la Tabla 4 y refleja la cantidad de agua de las precipitaciones que es transferida al cultivo sucesor. Los resultados del trabajo demostraron que para SC considerando un barbecho largo (duración de 159 días, desde el 4/6 al 15/11) en

el cual llovieron 303 mm la EB fue del 11,3 % lo que representó que 33 mm fueron transferidos al cultivo de soja.

Si consideramos un barbecho corto en SC, desde el momento que se aplicó herbicida hasta la siembra de la soja (29/10 al 15/11 de 17 días) la EB fue menor. En tanto que las EB obtenidas en SR 0N, SR 60N y SR 120N, (duración del barbecho 17 días, desde el 29/10 al 15/11) fueron muy próximas entre sí y muy superiores a SC. Las mayores EB en los tratamientos con CC, se deben al efecto positivo que tienen los residuos sobre la superficie del suelo en captar el agua de las precipitaciones, reduciendo la evaporación en momentos donde la demanda atmosférica es alta (Fernández et al., 2008).

Contenido de agua en el suelo

El contenido de AT a la siembra del CC hasta los 80 cm de profundidad fue 151 y 164 mm para la SR y SC, respectivamente. En la SR el CC condicionó el contenido de agua al momento de secado (29/10), donde se encontró menor AT con respecto a SC con diferencias estadísticas significativas (Figura 1). Al momento de la siembra del cultivo de soja (15/11), también se registró mayor contenido de AT en el tratamiento SC con respecto al resto de los tratamientos. Sin embargo, solamente se hallaron diferencias

Tabla 4: Eficiencia de barbecho (EB) en soja continua (SC), barbecho largo: 4/6 al 15/11 y barbecho corto: 29/10 al 15/11, soja en rotación con cultivo de cobertura sin fertilizar (SR 0N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 60 kg de nitrógeno (SR 60N) y soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg de nitrógeno (SR 120N).

Table 4: Follow Efficiency (EB) continuous soybean (SC), long fallow: 4/6 to 11/15 and short fallow: 10/29 to 11/15. SR 0N: soybean in rotation, cover crop without fertilized (SR 0N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 60 kg of nitrogen (SR 60N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 120 kg of nitrogen (SR 120).

	SC (4/6 - 15/11)	SC (29/10 - 15/11)	SR 0N	SR 60N	R 120N
EB (%)	11,3	3,3	40,4	48,4	43

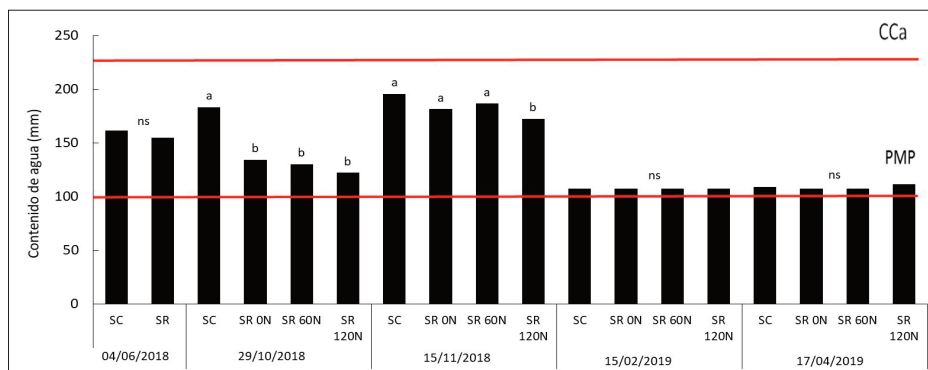


Figura 1: Contenido de agua total a 0-80 cm de profundidad en, soja continua sin cultivo de cobertura (SC), soja en rotación, cultivo de cobertura sin fertilizar (SR 0N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 60 kg de nitrógeno (SR 60N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg de nitrógeno (SR 120N). CCa: capacidad de campo, PMP: punto de marchitez permanente. Letras diferentes dentro de cada fecha indica diferencias estadísticas significativas ($p < 0,10$), ns: no significativo.

Figure 1: Total water content at 0-80 cm depth in, continuous soybean without cover crop (SC), soybean in rotation with cover crop, cover crop without fertilized (SR 0N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 60 kg of nitrogen (SR 60N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 120 kg of nitrogen (SR 120N). CCa: field capacity, PMP: permanent wilting point. Different letters within each date indicate significant statistical differences, ns: not significant.

significativas en SR 120N con menores contenidos de AT que el resto. No obstante, en las determinaciones del 15/2 y 17/4 todos los tratamientos se encontraron en punto de marchitez permanente (Figura 1).

Biomasa aérea, eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno del cultivo de cobertura

La producción de biomasa generada por el CC dependió de la fertilización nitrogenada. El cultivo de cobertura en SR 60N generó 610 kg más de biomasa con respecto a SR 0N, pero cuando se fertilizó con 120 kg.ha⁻¹ de N la diferencia con el CC no fertilizado fue de 1555 kg.ha⁻¹ (Tabla 5).

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. La mayor EUN se observó en el tratamiento SR N120 alcanzando el valor de 12,9 kg MS. kg de N⁻¹ agregado; mientras que en SR 60N el valor fue significativamente más bajo (Tabla 5). Estos resultados difieren a los antecedentes que han registrado Uhaldegaray (2012), Krüger et al. (2014) y Raposo (2017) quienes observaron que las mayores eficiencias agronómicas se obtenían con agregados de hasta 80 kg N.ha⁻¹. Esta mayor EUN a dosis mayores de N podría estar asociada al bajo índice IMO del sitio (3,3), teniendo en cuenta resultados de Quiroga et al. (2006) que mostraron que a menor IMO (inferior a 4,5) mayor fue la respuesta a N en cebada.

El UC del CC fue similar entre los tratamientos SR 60N y SR 120N, y estadísticamente significativo con respecto a SR 0N (Tabla 5). La EUA del CC presentó diferencias estadísticas significativas entre los

tratamientos de SR. En este sentido, se puede observar en la Tabla 6 que el tratamiento SR 120N presentó mayor EUA (25,5 kg MS.mm⁻¹.ha⁻¹) que SR 60N (22 kg MS.mm⁻¹.ha⁻¹) y el menor valor fue encontrado en SR 0N (19,5 kg MS.mm⁻¹.ha⁻¹). Los valores de UC y EUA se encuentran dentro de los rangos expresados en la bibliografía por Álvarez et al. (2008) y Duval et al. (2015).

Rendimiento y eficiencia en el uso del agua del cultivo de soja

Los rendimientos en SC y SR 0N fueron similares, en tanto que, el tratamiento SR 60N registró 419 kg.ha⁻¹ más de rinde que SC (incremento 33%) y en SR 120N se obtuvieron 800 kg.ha⁻¹ (incremento 63%) más con respecto a SC y a SR 0N (Figura 2).

Estos resultados concuerdan parcialmente con los obtenidos por Álvarez et al. (2008) y Duval et al. (2016) quienes no hallaron diferencias a favor del CC en cuanto a producción de soja en Hapludoles y Argiudoles típicos, como sucedió entre SC y SR 0N.

La cantidad de agua (UC) que necesitó el cultivo para generar estos rendimientos fue similar entre los diferentes tratamientos y en promedio fue 528 mm (Figura 3). En relación al elevado UC se hubiera esperado mayores

Tabla 5: Biomasa aérea del cultivo de cobertura, eficiencia en el uso de nitrógeno de fertilizante aplicado, uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) del cultivo de cobertura. Soja en rotación, cultivo de cobertura sin fertilizar (SR 0N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 60 kg de nitrógeno (SR 60N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg de nitrógeno (SR 120N). Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas (p<0,10).

Table 5: Cover crop biomass, nitrogen use efficiency expressed as kg ha-1 DM per kg of nitrogen applied, consumptive use (UC) and water use efficiency (EUA). Soybean in rotation, cover crop without fertilized (SR 0N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 60 kg of nitrogen (SR 60N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 120 kg of nitrogen (SR 120N). Different letters within each column indicate significant differences (p <0.10).

Tratamiento	Biomasa (Kg ha ⁻¹)	Respuesta diferencial respecto a SR 0N (Kg.ha ⁻¹)	N total aplicado (Kg ha ⁻¹)	EUN Total (kg MS.kg N ⁻¹)	UC (mm)	EU (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)
SR 0 N	4030 c	-	0		206,4 B	19,5 B
SR 60N	4640 B	610 b	60	10,1 b	210,7 A	22,0 A
SR 120N	5585 A	1555 a	120	12,9 a	218,7 A	25,5 A

rendimientos de soja. El alto valor del UC, se debe en parte a las precipitaciones registradas entre el 15/11 al 15/02 de 255 mm (Tabla 3). Sin embargo, en el momento de máxima demanda por parte del cultivo (Reicosky & Heatherly, 1990) fin de febrero-marzo, las precipitaciones fueron bajas y el cultivo sufrió estrés por falta de agua, condicionando el rendimiento. En la Figura 1 se puede observar que el suelo se encontraba en PMP en los meses de mayor demanda del cultivo de soja.

Con respecto a la EUA los valores encontrados fueron muy diferentes entre sí y variaron entre 2,3; 2,6; 3,2 y 4 kg MS.mm⁻¹.ha⁻¹ para SC, SR 0N, SR 60 N y SR 120N, respectivamente. Las bajas EUA pueden ser atribuidas al stress del cultivo en el último período, Noellemeyer et al. (2013) hallaron valores similares sobre un Haplustol éntico, en cambio White et al. (2014) y Álvarez et al. (2012) sobre Hapludoles, obtuvieron valores entre 5 y 7 kg.mm⁻¹.ha⁻¹.

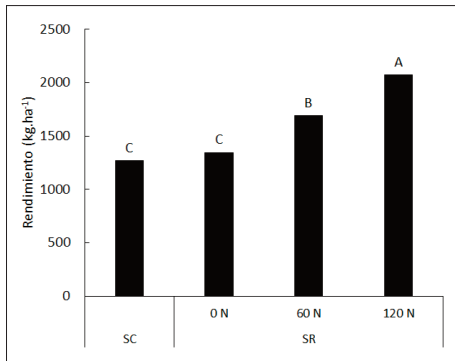


Figura 2: Rendimiento del cultivo de soja. Soja continua sin cultivo de cobertura (SC), soja en rotación, cultivo de cobertura sin fertilizar (SR 0N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 60 kg de nitrógeno (SR 60N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg de nitrógeno (SR 120N). Letras diferentes indica diferencias estadísticas significativas ($p < 0,10$).

Figure 2: Yield of soybean crop. Continuous soybean without cover crop (SC), soybean in rotation with cover crop, cover crop without fertilized (SR 0N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 60 kg of nitrogen (SR 60N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 120 kg of nitrogen (SR 120N). Different letters indicate significant statistical differences ($p < 0,10$).

El efecto positivo de incluir gramíneas (fertilizadas con N), en la rotación se evidencia principalmente sobre las propiedades físico-hídricas, permitiendo incidir sobre una mayor eficiencia en los procesos de captación, almacenaje y uso del agua que han dado lugar a un mayor rendimiento del cultivo de soja.

Descomposición del cultivo de cobertura

Materia seca del CC

Los CC son una fuente importante de entrada de residuos al sistema suelo, y por ende de C, N y P entre otros nutrientes.

Cuanto más rápida es su descomposición, mayor es la velocidad de liberación de nutrientes; en consecuencia, es menor el tiempo de protección al suelo. La velocidad de descomposición está relacionada con el contenido de lignina y con la relación C/N de los residuos. Cuanto mayor es el tenor de lignina y

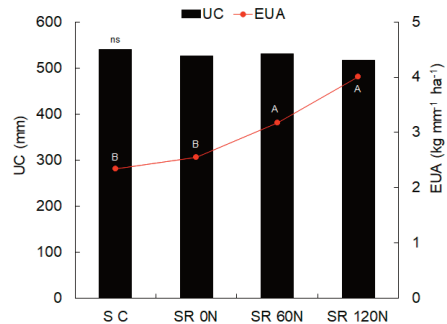


Figura 3: Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) del cultivo de soja. Soja continua sin cultivo de cobertura (SC), soja en rotación, cultivo de cobertura sin fertilizar (SR 0N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 60 kg de nitrógeno (SR 60N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg de nitrógeno (SR 120N). Letras diferentes indican diferencias significativas para EUA ($p < 0,10$), ns: no significativo para el UC.

Figure 3: Consumptive use (UC) and water use efficiency (EUA) of soybean. Continuous soybean without cover crop (SC), soybean in rotation with cover crop, cover crop without fertilized (SR 0N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 60 kg of nitrogen (SR 60N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 120 kg of nitrogen (SR 120N). Different letters indicate significant differences for the EUA ($p < 0,10$), ns: not significant for the UC.

la relación C/N, más lenta es su descomposición (Johnson et al., 2007; Restovich et al., 2012; Frasier et al., 2016).

No obstante, si bien la descomposición de residuos está influenciada por el contenido de agua del suelo, el proceso continúa aún a bajos contenidos de agua (Cabrera, 2007). En la Figura 4 se presenta la dinámica de materia seca a través del tiempo desde el momento de detención del crecimiento del CC hasta la cosecha de soja. El material orgánico decreció exponencialmente y mostró cambios entre los diferentes tratamientos a lo largo de la experiencia. Las ecuaciones obtenidas fueron:

$$SR\ 0N \quad y = 4014e^{-0,002t} \quad R^2 = 0,97$$

$$SR\ 60N \quad y = 4557e^{-0,003t} \quad R^2 = 0,97$$

$$SR\ 120N \quad y = 5726e^{-0,004t} \quad R^2 = 0,99$$

Donde:

y: es la cantidad de material remanente.

t: es el tiempo transcurrido en días que está multiplicada por la constante k.

k: marca la velocidad de descomposición promedio de cada uno de los residuos, que fue 0,002; 0,003 y 0,004 para SR 0N, SR 60N y SR 120N, respectivamente. Es decir, que la descomposición fue mayor para SR 120N, coincidiendo con las menores relaciones C/N que presentó este tratamiento (Tabla 7).

Carbono en los residuos de CC

En los 5 meses comprendidos desde el momento de secado del CC hasta la cosecha de la soja se evidenciaron importantes pérdidas de C por parte de los residuos del CC (Figura 5). Esta pérdida fue para SR 0N, SR 60N y SR 120N de 580, 793 y 1187 kg de C.ha⁻¹, respectivamente, lo que representa una disminución de 34, 40 y 51% de los tratamientos SR 0N, SR 60N y SR 120N, respectivamente.

Nitrógeno en residuos de CC

Al momento de secado de los CC (día 0) los tratamientos fertilizados (SR 60N y SR

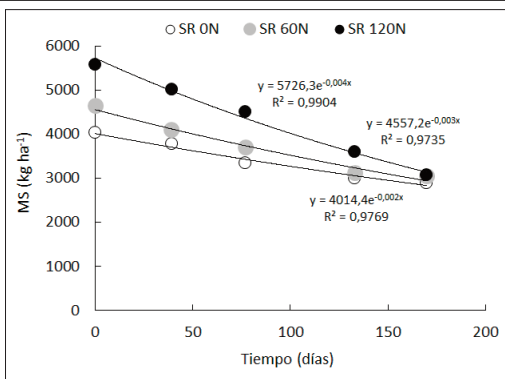


Figura 4: Descomposición de la materia seca (MS) del cultivo de cobertura desde el momento del secado (día 0) hasta la cosecha de soja (día 170). Soja en rotación, cultivo de cobertura sin fertilizar (SR 0N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 60 kg de nitrógeno (SR 60N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg de nitrógeno (SR 120N).

Figure 4: Dry matter decomposition (DM) of the cover crop from the time of killing (day 0) until the soybean harvest (day 170). Soybean in rotation with cover crop, cover crop without fertilized (SR 0N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 60 kg of nitrogen (SR 60N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 120 kg of nitrogen (SR 120N)

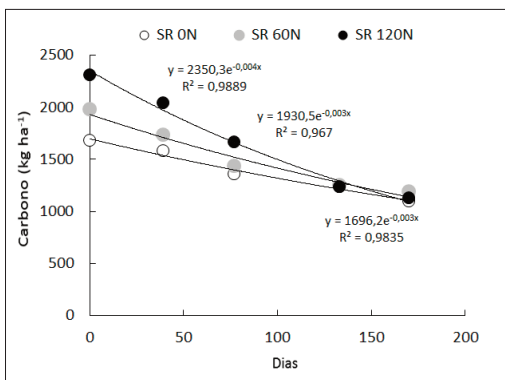


Figura 5: Evolución del carbono en residuos del cultivo de cobertura desde el momento del secado (día 0) hasta la cosecha de soja (día 170). Soja en rotación, cultivo de cobertura sin fertilizar (SR 0N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 60 kg de nitrógeno (SR 60N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg de nitrógeno (SR 120N).

Figure 5: Evolution of carbon in residues of the cover crop from the time of killing (day 0) to the soybean harvest (day 170). Soybean in rotation with cover crop, cover crop without fertilized (SR 0N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 60 kg of nitrogen (SR 60N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 120 kg of nitrogen (SR 120N).

120N) presentaron mayor contenido de N respecto al SR 0N. Los contenidos de N en la biomasa en esta etapa fueron de 63, 86 y 110 kg N.ha⁻¹ para los tratamientos SR 0N, SR 60N y SR 120N, respectivamente. En la Figura 6 se observa la disminución de los contenidos de N de los residuos de los CC. La tasa fue mayor

entre el día 0 y 39, con tasas diarias de entrega del N de 0,51, 0,71 y 0,81 kg N.día⁻¹.ha⁻¹ para los tratamientos SR 0N, SR 60N y SR 120N, respectivamente. En tanto que, desde el día 39 al 77 las tasas diarias de pérdida de N fueron menores, presentando los tratamientos SR 60 y SR 120N valores similares (0,48 y 0,41). En SR 120N las tasas de pérdida de N entre los días 77 al 133 y del 133 al 170 fueron más altas que los demás tratamientos. La mayor tasa de descomposición en SR 120N, posiblemente se debe a una menor relación C/N en todas las fechas evaluadas con respecto a SR 60 N y SR 0N (Tabla 6).

Tabla 6: Relación C/N a los 0, 39, 77, 133 y 170 días desde el secado del cultivo de cobertura, Soja en rotación, cultivo de cobertura sin fertilizar (SR 0N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 60 kg de nitrógeno (SR 60N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg de nitrógeno (SR 120N).

Table 6: C / N ratio from 0, 39, 77, 133 and 170 days from the killing of the cover crop. Soybean in rotation, cover crop without fertilized (SR 0N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 60 kg of nitrogen (SR 60N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 120 kg of nitrogen (SR 120N).

Tratamiento	Días				
	0	39	77	133	170
SR 0N	26,6	36,5	40,2	40,7	45,0
SR 60N	23,2	29,9	34,7	37,3	31,7
SR 120 N	21,0	26,6	27,3	26,2	24,5

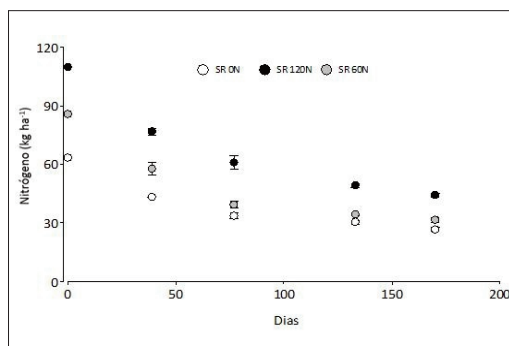


Figura 6: Evolución del nitrógeno en residuos del cultivo de cobertura desde el momento del secado (día 0) hasta la cosecha de soja (día 170). Soja en rotación, cultivo de cobertura sin fertilizar (SR 0N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 60 kg de nitrógeno (SR 60N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg de nitrógeno (SR 120N). Barras verticales indican el error estandar.

Figure 6: Evolution of nitrogen in residues of the cover crop from the time of killing (day 0) to the soybean harvest (day 170). Soybean in rotation with cover crop, cover crop without fertilized (SR 0N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 60 kg of nitrogen (SR 60N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 120 kg of nitrogen (SR 120N). Vertical bars indicate standard error.

El aporte de N por parte del CC desde el día 0 (secado) hasta el día 170 (cosecha de soja) fue de 37, 54 y 66 kg de N.ha⁻¹ para los tratamientos SR 0N, SR 60N y SR 120N, respectivamente, lo que representó una caída de 58, 63 y 60% del N que contenía el CC al momento del secado. Sin embargo, esta pérdida no fue constante en tiempo, sino que, las mayores disminuciones (49, 51, 42% para SR 0N, SR 60 N y SR 120 N) ocurrieron en los primeros 39 días desde el secado del CC, momento en el cual, aun no existe importante demanda por parte del cultivo de verano.

Fósforo en residuos de CC

La dinámica del P de los residuos de los CC ha merecido poca atención hasta el momento (Varela et al., 2017). En la Figura 7 se presenta la cantidad de P en los residuos de los CC a través del tiempo. Los valores de P contenidos en la biomasa aérea de los CC al momento de secado variaron entre 8,1 a 12,3 kg.ha⁻¹. Al igual que C y N, para el P se evidenció una disminución en la concentración de P en los residuos del CC. Esta pérdida fue de 4,9; 5,3 y 7,8 kg de P.ha⁻¹ entre el secado del CC (0 día) y la cosecha de soja (170 días). A diferencia de N las mayores disminuciones ocurrieron entre los días 39 y 77 donde se registraron valores de 2,8; 2,9 y 2,2 kg de P.ha⁻¹ a una tasa diaria de 0,07; 0,08 y 0,06 kg de P día⁻¹.ha⁻¹. Del total de P contenido en la biomasa al momento del secado de los CC, el 60, 62 y 63,2% para los tratamientos SR 0N, SR

60N y SR 120N, respectivamente, se perdió hasta la cosecha de soja. Debido a que la liberación del P por parte de los CC es rápida en las primeras etapas de la descomposición de los residuos (Ha et al., 2008; Fernández et al., 2012; Malik et al., 2012), los residuos de los CC harían una contribución más relevante en el ciclado de P que los residuos de cultivos de granos donde gran parte del P sale del sistema suelo (Varela et al., 2017).

La dinámica de los nutrientes como N y P en los residuos merece ser estudiada con mayor detalle. La inclusión de CC favorecerá el mantenimiento de la cobertura del suelo, mientras que una gran proporción del N y P absorbido permanecerá disponible para los cultivos posteriores (Varela et al., 2017).

Efecto acumulado de 5 años de CC, sobre la materia orgánica total y la fracción lábil

Estudios en la región han encontrado un valor de 4,5 considerado como IMO umbral, que condiciona la productividad de los cultivos. Suelos con menores valores al umbral, principalmente con importantes contenidos de limos y arenas finas, frecuentemente presentan problemas de estructura, densificación con pérdida de macroporosidad condicionando no solo la captación del agua de las precipitaciones y el uso eficiente de las mismas sino también la eficiencia en la captura de carbono por parte de los cultivos agrícolas (Quiroga et al., 2006). A fin de evaluar el efecto de 5 años de CC se presenta en la Tabla 7 los contenidos de MOT y MOJ en los primeros 6 y 20 cm de profundidad. El valor encontrado en el contenido de MOT al inicio de la experiencia (año 2009) fue similar al medido en el año 2017 en 0-20 cm de profundidad. En el muestreo del año 2017, se observó que los contenidos de MOT y MOJ en el suelo bajo SC y SR fueron similares tanto en 0-6 como en 0-20 cm. Estos resultados corroboran que los CC en la SR durante el periodo de estudio no fueron efectivos en aumentar los contenidos de las fracciones orgánicas evaluadas. De la Tabla 2 se desprende que para suelos con 57% de arcilla + limo se requieren

contenidos de MO superiores a 2,5% (IMO > 4,5) para contar con condiciones físicas que no limiten de manera importante el uso del agua. El suelo bajo estudio al tener un valor de IMO de 3,3 (muy bajo) condicionaría a que los contenidos orgánicos aumenten en base a

Tabla 7: Materia orgánica total (MOT) y joven (MOJ) en el suelo bajo la rotación soja (SC) y soja en rotación con cultivo de cobertura (SR). Letras diferentes indican diferencias significativas entre secuencia para cada uno de las variables y profundidades evaluadas (p<0,10). sd: Sin dato.

Table 7: Total organic matter (MOT) and labil (MOJ) in the soil under rotation soybean (SC) and rotating soybean with cover crop (SR). Different letters indicate significant differences between sequences for each of the variables and depths evaluated (p <0,10). sd: No data.

Año	MOT (%)		MOJ (%)	
	SC	SR	SC	SR
0-20 cm				
2009	1,87	1,87	sd	sd
2017	1,89 A	1,88 A	0,51 A	0,53 A
0-6 cm				
2017	1,93 A	1,94 A	0,59 A	0,60 A

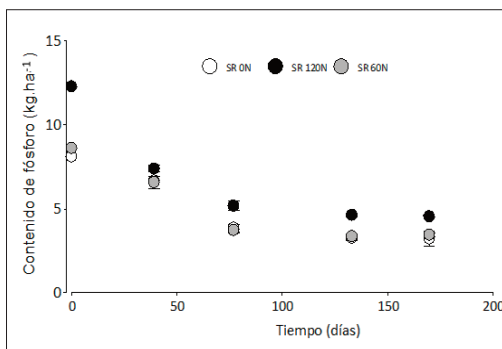


Figura 7: Evolución del fósforo en residuos del cultivo de cobertura desde el momento del secado (día 0) hasta la cosecha de soja (día 170). Soja en rotación, cultivo de cobertura sin fertilizar (SR 0N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 60 kg de nitrógeno (SR 60N), soja en rotación, cultivo de cobertura fertilizado con 120 kg de nitrógeno (SR 120N). Barras verticales indican el error estandar.

Figure 7: Evolution of phosphorus in residues of the cover crop from the time of killing (day 0) until the soybean harvest (day 170). Soybean in rotation with cover crop, cover crop without fertilized (SR 0N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 60 kg of nitrogen (SR 60N), soybean in rotation, cover crop fertilized with 120 kg of nitrogen (SR 120N). Vertical bars indicate standard error

cultivos anuales. Probablemente debido al valor bajo de IMO, es que hasta el momento los CC no lograron aumentar los contenidos de MO, debido a la baja entrada de carbono al sistema, o quizás se necesite más tiempo (años) de CC en la rotación, aunque se desconoce cuántos años serán suficientes y si verdaderamente podrán elevar los contenidos de MO en suelos con más de 50% de arcilla + limo.

Contrariamente a los resultados de este trabajo, Duval et al. (2015) reportaron que en un suelo de textura franco-limosa, la inclusión sistemática de CC en las secuencias agrícolas con alta frecuencia de soja, aumentó el almacenamiento de MOT en 0-25 cm de profundidad. También Jian et al. (2020) concluyeron que la inclusión de CC aumentó significativamente el contenido de MO en los primeros 20 cm, aunque remarcaron que estos cambios son textura dependiente. Sin embargo, otros estudios describieron que los CC no generaron acumulación de MO (Idowu et al., 2009; Ndiaye et al., 2000). Estas discrepancias pueden atribuirse a diferencias en el clima, a la gestión de los CC, a la biomasa aportada por los mismos y pueden necesitar ser utilizados durante décadas en algunos sistemas para causar aumentos significativos de MO (Poeplau & Don, 2015).

En la región semiárida pampeana, los cultivos anuales en secuencias agrícolas continuas con alta incidencia de oleaginosas no serían suficientemente efectivos en mantener y/o aumentar los niveles de MOT. En cambio, las rotaciones mixtas (5 años de agricultura-5 años de pasturas perennes) incidieron positivamente en los atributos físico-hídricos (relacionados a la captación y almacenaje del agua de las lluvias) y además lograron aumentar los contenidos de MOT y MOJ (Fernández et al., 2020).

CONCLUSIONES

Los mayores rendimientos de soja se registraron en la rotación con CC fertilizado, probablemente debido al aporte de diferentes nutrientes durante el ciclo del cultivo de soja.

El aporte de nitrógeno mediante la fertilización de los CC mejoró la tasa de captura

de carbono, de nitrógeno y fósforo.

En promedio, se puede constatar que alrededor de un 40% de C, 60% de N y 61% de P contenido en la biomasa aérea se perdieron de los CC desde el secado, hasta la cosecha de soja, con tasa iniciales mayores en los tratamientos fertilizados. No obstante, los resultados encontrados en el trabajo indican que la mayor disminución de N y P de los residuos ocurrió en los primeros 39 días desde el secado, y no coincide con los momentos de mayor demanda por parte del cultivo de soja sucesor.

El ensayo de larga duración demostró que después de 5 años de inclusión de cultivos de cobertura en la rotación con soja no hubo efecto positivo sobre los contenidos de MOT y MOJ, por lo que se requeriría de evaluar a más largo plazo su efecto en las fracciones orgánicas.

La frecuencia con la que deben incluirse cultivos de cobertura en la rotación con soja, la dosis óptima de fertilización de los CC, el momento de detención de crecimiento teniendo en cuenta la mineralización de los residuos como la sincronización entre oferta y demanda de nutrientes, son algunos interrogantes que deberán plantearse futuros estudios en suelos de esta granulometría y los que deberá ir respondiendo la experiencia de larga duración.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a los proyectos de INTA, al convenio INTA Anguil-CREA Oeste Arenoso y principalmente al establecimiento "Los Piquillines".

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C., Rillo, S. & Noellemeyer, E. (2012). Efecto de la inclusión de cultivo de cobertura sobre la productividad del cultivo de soja en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires. Congreso de soja.
- Álvarez, C., Scianca, C., Barraco, M. y Díaz-Zorita, M. (2008). Impacto del manejo de cereales de cobertura invernal sobre propiedades edáficas y producción de soja. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes (San Luis), Argentina.
- Blake, G. & Hartge K. (1986). Bulk density. En: A Klute Ed. *Methods of Soil Analysis-Physical and Mineralogical Methods* 2^{na} ed (pp. 363-375). American Society of Agronomy. Madison, USA.
- Blanco-Canqui, H., Wienhold, B. J., Jin, L. V., Schmer

- M. R. & Kibet, L. C. (2017). Long-term tillage impact on soil hydraulic properties. *Soil tillage research*, 170, 38-42
- Bray, R. H. & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59, 39-46.
- Cabrera, M. L. (2007). Mineralización y nitrificación: procesos claves en el ciclo del nitrógeno. IPNI. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 34, 1-9.
- Cambardella, C. & Elliott, E. (1993). Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma*, 56, 449-457.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo, C. (2013). Infostat - Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina [WWW Document]. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Ding, G., Liu, X., Herbert, S., Novak, J., Amarasiwardena, D. & Xing, B. (2006). Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*, 130, 229-239.
- Duval, M. E., Galantini, J. A., Capurro, J. E. & Martinez, J. M. (2016). Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. *Soil Tillage Research*, 161, 95-105. doi:10.1016/j.still.2016.04.006
- Duval, M. E., Capurro, J. E., Galantini, J. A. & Andriani, J. M. (2015). Utilización de cultivos de cobertura en monocultivo de soja: efectos sobre el balance hídrico y orgánico. *Ciencia del suelo*, 33, 247-261.
- Fernandez, R., Furch, N., Bissolino, M., Frasier, I., Scherger, E. & Quiroga, A. (2020). Contribución de las pasturas perennes en la fertilidad física y biológica en molisoles de la Región Semiárida Pampeana. *Ciencia del Suelo*, 38, 1-16.
- Fernández, R., Quiroga, A., Álvarez, C., Lobartini, C. y Noellemeier, E. (2016). Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en molisoles de la región semiárida pampeana. *Ciencia del Suelo*, 34, 279-292.
- Fernández, R., Noellemeier, E. & Quiroga, A. (2012). Cultivo de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana? *Ciencia del suelo*, 30, 137-150.
- Fernandez, R., Quiroga, A., Noellemeier, E., Funaro, D., Montoya, J., Hitzmann, B. & Peinemann, N. (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., Fernández, D., Frasier I., Uhaldegaray, M., Oderiz, A. Scherger, E. y Quiroga, A. (2017). Importancia de las gramíneas en secuencias agrícolas con alta incidencia de oleaginosas en la región semiárida pampeana. Simposio INPOFOS-Asociación Civil Fertilizar. Rosario.
- Follett, R. (2001). Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil Tillage Research*, 61, 77-92.
- Frasier, I., Quiroga, A. & Noellemeier, E. (2016). Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Science of the Total Environment*, 562, 628-639.
- Heal, O., Anderson, J. & Swift, M. (1997). Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: G. Cadisch & K. E. Giller (ed.) *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition* (pp. 3-30). CAB Int., Cambridge, Reino Unido.
- Jian, J., Du, X., Reiter, M. S. & Stewart, R. D. (2020). A meta-analysis of global cropland soil carbon changes due to cover cropping. *Soil Biology and Biochemistry*, 143, 107-735. doi:10.1016/j.soilbio.2020.107735
- Johnson, J. M. F., Barbour N. W. & Weyers, S. L. (2007). Chemical composition of crop biomass impacts its decomposition. *Soil Science Society of America Journal*, 71, 155-162.
- Krüger, H., Moreira, F., Giménez, F., López, J., Tranier, E., Real Ortellado, M., Mayo, A. y Labarthe, F. (2014). Verdeos de Invierno: utilización de verdeos de invierno en planteos ganaderos del sudoeste bonaerense (pp. 5-26). Ediciones INTA 2014.
- Ha, K. V., Marschner, P. & Bünemann, E. K. (2008). Dynamics of C, N, P and microbial community composition in particulate soil organic matter during residue decomposition. *Plant Soil*, 303, 253-264. doi:10.1007/s11104-007-9504-1.
- Idowu, O. J., Van, E. S., Abawi, G. S., Wolfe, D. W., Schindelbeck, R. R., Moebius-Clune, B. N. & Gugino, B. K. (2009). Use of an integrative soil health test for evaluation of soil management impacts. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 24, 214-224. <https://doi.org/10.171742170509990068>.
- López, F. (2017). Dinámica de la cobertura de residuos en suelos bajo siembra directa: relación con la humedad del suelo y la transformación de las fracciones orgánicas lábiles (Tesis Doctoral) Universidad Nacional del Sur, Argentina.
- López, M. & Arrué, J. (1997). Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Tillage Research*, 44, 35-54.
- Lupwayi, N., Clayton, G., O'Donovan, J., Harker, K., Turkington, T. & Soon, Y. (2007). Phosphorus release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Soil Tillage Research*, 95, 231-239.
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeier, E. & Peinemann, N. (2006). Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Tillage Research*, 90, 63-68.

- Quiroga, A., Oderiz, A., Uhaldegaray, M., Alvarez, C., Scherger, E., Fernández, R. & Frasier, I. (2016). Influencia del manejo sobre indicadores físico-hídricos de compactación de suelos. Semiárida, *Revista Facultad de Agronomía UNLPam*, 26, 21-28.
- Malik, M. A., Marschner, P. & Khan, K. S. (2012). Addition of organic and inorganic P sources to soil—Effects on P pools and microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 49, 106-113. doi:10.1016/j.soilbio.2012.02.013
- Mathews, O. & Army, T. (1960). Moisture storage on fallow wheatland in the Great Plains. *Soil Science Society of America, Proceedings*, 24, 414-418.
- Mulvaney, M., Wood, C., Balkcom, K., Shannon D. & Kemple, J. (2010). Carbon and nitrogen mineralization and persistence of organic residues under conservation and conventional tillage. *Agronomy Journal*, 102, 1425-1433.
- Ndiaye, E. L., Sandeno, J. M., McGrath, D. & Dick, R. P. (2000). Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, 15, 26. <https://doi.org/10.1017/S0889189300008432>.
- Nelson, D. & Sommers, L. (1996). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. En: C. Black, D. Evans, J. White, L. Ensminger & F. Clark (eds). *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (pp. 961–1010). Soil Sci. So. Am. and Am. Soc. Agron. Madison, USA.
- Noellemeyer, E., Fernández, R. & Quiroga, A. (2013). Crop and tillage effects on water productivity of dryland agriculture in Argentina. *Agriculture*, 3, 1-11.
- Noellemeyer, E., Quiroga, A. & Estelrich, D. (2006). Soil quality in three range soils of the semiarid Pampa of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 65, 142-155.
- Poeplau, C. & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - a meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
- Raposo, J. (2017). Fertilización nitrogenada en el centeno (Secale cereale) utilizado como cultivo de cobertura (Tesis de grado Ing Agrónomo). Facultad Agronomía, UNLPam.
- Reicosky, D. C & Heatherly, L. G. (1990). Soybean. En B. A. Stewart & D. R. Nielsen (Eds). *Irrigation of agricultural crops* (pp. 639-674). Agronomy N 30. ASA, CSSA y SSSA. Wisconsin. USA.
- Restovich, S. B., Andriulo, A. E & Portela, S. I. (2012). Introduction of cover crops in a maize -soybean rotation of the humid pampas: effects in nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research*, 128, 62-70.
- Ruffo, M. & Bollero, G. (2003). Residue decomposition and prediction of carbon and nitrogen release rates based on biochemical fractions using principal component regression. *Agronomy Journal*, 95, 1034-1040.
- Sainju, U. M., Whitehead, W. F. & Singh, B. P. (2003). Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil aggregation and carbon and nitrogen pools. *Canadian Journal of Soil Science*, 83, 155-165.
- Sá Pereira, E. de, Duval, M. & Galantini, J. (2017). Decomposition from legume and non-legume crop residues: Effects on soil organic carbon fractions under controlled conditions. *Spanish Journal of Soil Science*, 7, 86-96.
- Sánchez, S., Studdert, G. & Echeverría, H. (1996). Descomposición de residuos en un Argiudol típico. *Ciencia del Suelo*, 14, 63-68.
- Uhaldegaray, M. (2012). Cultivo de cobertura como antecesor del cultivo de maíz en la región semiárida pampeana (Tesis de grado Ing Agrónomo). Facultad Agronomía, UNLPam.
- Varela, M. F., Barraco, M., Gili, A., Taboada, M. A. & Rubio, G. (2017). Biomass Decomposition and Phosphorus Release from Residues of Cover Crops under No-Tillage. *Agronomy Journal*, 109, 317. doi:10.2134/agronj2016.03.0168.
- White, M., Álvarez, C., Bagnato, R. y Lienhard, C. P. (2014). Productividad del cultivo de soja bajo diferentes ambientes semiáridos pampeanos. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Argentina.