



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

COMPARACIÓN DE DIFERENTES CULTIVOS DE COBERTURA: EFECTOS SOBRE EL BALANCE HÍDRICO Y ORGÁNICO

MATIAS DUVAL^{1,*}, JUAN A GALANTINI³, JULIA E CAPURRO² & JOSE M ANDRIANI⁴

⁽¹⁾CONICET, CERZOS-UNS ⁽²⁾AER INTA Cañada de Gómez ⁽³⁾Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), CERZOS-UNS ⁽⁴⁾EEA INTA Oliveros.
*mduval@criba.edu.ar

Palabras clave: carbono orgánico total; soja; siembra directa

Resumen

Las secuencias agrícolas con largos períodos de barbecho y escaso aporte anual de carbono (C), comunes en monocultivos de soja, registran una progresiva disminución de la fertilidad física y química edáfica. En este estudio (2006-2011) se evaluó el efecto de especies otoño-invernales como cultivos de cobertura (CC) sobre la disponibilidad de agua para el cultivo posterior y el carbono orgánico total del suelo (COT). Los tratamientos fueron: trigo (T), avena (A), vicia (V) y avena+via (A+V), utilizando un control (Ct) sin CC. En general, los tratamientos T y A aportaron mayor cantidad de C al suelo, en promedio, el aporte de C de estas gramíneas fue 22 y 86 % superior en comparación con A+V y V. El costo hídrico de la inclusión de los CC fue de 13 a 93 mm en comparación con Ct. La inclusión de T, A y A+V, aumentó el COT a una tasa de 597 a 98 kg C ha⁻¹año⁻¹ en 0-25 cm, mientras que sin CC o utilizando leguminosas (V) disminuyó 824 y 289 kg C ha⁻¹año⁻¹, respectivamente. Para la conservación o aumento del COT en planteos de monocultivos de soja, el uso de A, A+V y T como CC evitarían disminuciones en los contenidos de COT dado que el aporte de C (CC+soja) supera los 4,5 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ necesarios para generar un balance positivo.

Introducción

Los sistemas de producción en la Región Pampeana han experimentado importantes cambios durante los últimos 15 años, donde existen grandes extensiones de suelo bajo siembra directa (SD) con predominio de soja (*Glycine max* L. Merr.). Estos sistemas agrícolas se caracterizan por largos períodos de barbecho otoño invernal, bajo aporte anual de carbono (C) al suelo (2-3 Mg C ha⁻¹ año⁻¹) (Restovich *et al.*, 2005) y disminución de los contenidos de carbono orgánico total (COT) (Huggins *et al.*, 2007). Para estos sistemas productivos, los cultivos de cobertura (CC) son una herramienta agronómica que incrementa los aportes de C, además de promover al desarrollo y mantenimiento de la cobertura de los suelos mejorando las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Daliparthi *et al.*, 1994). En la Región Pampeana, los CC han sido recomendados para sistemas tales como monocultivos de soja donde la



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

producción de residuos es insuficiente para una adecuada cobertura y protección del suelo (Novelli *et al.*, 2011) siendo el objetivo primordial en estas condiciones optimizar el balance de C (Ding *et al.*, 2006). Sin embargo, el consumo hídrico por parte de los CC durante el periodo de invierno/primavera afectaría la oferta de agua para el cultivo posterior (Quiroga *et al.*, 2007) y se desconocen los efectos acumulados de diferentes estrategias de manejo con CC sobre la calidad y productividad de los suelos al sur de la provincia de Santa Fe. Como objetivos del siguiente trabajo se planteó: (i) analizar el efecto de diferentes CC sobre el consumo de agua y cantidad de C producido y, (ii) evaluar su contribución a los contenidos de COT con el propósito identificar aquellos que mejor lo conserven y/o aumenten.

Materiales y Métodos

Sitio

El ensayo se estableció en el año 2006 sobre un lote de 30 has ubicado en la localidad de Correa, provincia de Santa Fe. El lote presentaba una historia agrícola de 40 años, los últimos 10 en SD, con predominio de soja.

El clima de la región es templado, sin gran amplitud térmica anual. El régimen pluviométrico tiende a ser monzónico, con concentración de lluvias en verano. En el periodo de Octubre a Marzo se concentra aproximadamente el 70% de las lluvias anuales. La precipitación y temperatura media anual es de 1019 mm y 17,5°C, respectivamente (periodo 1957-2005). El suelo donde se realizó el ensayo correspondió a un Argiudol típico, serie Correa, profundo y bien drenado con textura franco limosa en su horizonte superficial.

Tratamientos

Los CC evaluados fueron: trigo pan (T) (*Triticum aestivum* L.), avena (A) (*Avena sativa* L.), Vicia (V) (*Vicia sativa* L.), avena+vicia (A+V) y un tratamiento control (Ct) (sin CC). La fecha de siembra de los CC fue entre Mayo y Julio. La supresión del crecimiento de los CC se realizó en el mes de Noviembre con glifosato (2,5 L ha⁻¹), aproximadamente a los 145 días desde su siembra, en estadios reproductivos. Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones y parcelas de 500 m².

Entre Mayo y Julio de cada año se sembraron los CC bajo el sistema de SD. Las densidades de siembra utilizadas fueron de 110, 60 y 45 kg semilla ha⁻¹ para T, A y V, respectivamente. La consociación A+V, se sembró con densidades de siembra de 30 kg semilla ha⁻¹ de ambas especies. Todos los CC fueron fertilizados al momento de la siembra con 7 kg ha⁻¹ de fósforo (P) y 8,4 kg ha⁻¹ de azufre (S) en forma de superfosfato simple (SFS). Las especies gramíneas, además, se fertilizaron con 51 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N) en forma de urea a la siembra. La supresión del crecimiento de los CC se



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

realizó en el mes de Noviembre con glifosato con dosis de $2,5/3 \text{ L ha}^{-1}$ (480 g equivalente ácido L^{-1}), aproximadamente a los 145 días desde su siembra, en estadios reproductivos. El criterio que se tuvo en cuenta para definir el momento de supresión fue que los cultivos de gramíneas llegaran a floración, a fin de lograr una elevada producción de materia seca total, sin comprometer la fecha de siembra óptima del cultivo de soja, la cual fue 10 a 60 días posteriores a la supresión de los CC. La soja (cultivar ADM 4200) se sembró empleando semillas tratadas con inoculantes y fungicidas, con una densidad de 40 semillas por m^2 . La soja se fertilizó con P, S y Ca a la siembra, a razón de 6,8, 16,7 y 24 kg ha^{-1} , respectivamente mediante la utilización de mezclas de SFS y sulfato de calcio.

Muestreo y análisis

La producción de materia seca aérea total (MS) de los CC se midió al momento de secado y se determinó la concentración de C mediante analizador de carbono (LECO, St. Joseph, MI, EE.UU.). El aporte de C total se obtuvo mediante la concentración de C y el aporte de MS de los CC.

A la supresión de los CC se determinó el contenido de humedad del suelo a través de sondas de neutrones en 0-200 cm de profundidad. Se calcularon los siguientes parámetros:

•

Dónde AD_i y AD_f es el contenido de agua útil disponible en el suelo a la siembra y secado de los CC (mm), respectivamente y PP son las precipitaciones acumuladas en el período de crecimiento de los CC (mm).

•

Donde AD_B y AD_{CC} es el contenido agua útil disponible en el suelo en los diferentes tratamientos con CC y el tratamiento control, respectivamente.

Durante los años 2006 y 2011 se realizó el muestreo de suelos para evaluar el efecto de la inclusión de los CC sobre el COT. En cada año, dentro de cada parcela, las muestras de suelo (3 réplicas) fueron tomadas al azar en el horizonte A (0-25 cm). Luego de secadas al aire y tamizadas por 2 mm se realizó la determinación de COT por combustión (1500°C) con analizador automático (LECO, St. Joseph, MI).

Se calculó la cantidad de C mínima necesaria aportada por los residuos aéreos (CC + soja) para no generar disminuciones en los contenidos de COT. Para ello, se realizó el balance de C entre los años 2006 y 2011 ($\Delta\text{COT}_{2011-2006}$) y se relacionó con la entrada



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

anual de C por parte de los residuos aéreos (CC + soja), C_{residuo} ($\text{Mg C ha}^{-1}\text{año}^{-1}$). El aporte de C por los CC se determinó como fue explicado anteriormente, mientras que el aporte de C por parte de la soja se estimó en base a los rendimientos e índice de cosecha de 0,47 (Johnson *et al.*, 2006).

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados utilizando el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013). Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó análisis de varianza (ANOVA). Cuando se detectaron diferencias significativas en las variables medidas, se aplicó la prueba de comparación de medias mediante diferencias mínimas significativas (DMS) utilizando un nivel de significación de 0,05. Se utilizaron modelos de regresión lineal con intervalos de confianza del 95% para evaluar la relación entre la producción de MS y las variables climáticas y el cambio en el COT con el aporte de C por los CC y el cultivo de soja.

Resultados y Discusión

Durante el periodo 2006-2011, el aporte de C por los CC presentó diferencias significativas entre especies ($p < 0,001$), años ($p < 0,001$) e interacción significativa ($p < 0,001$). Los tratamientos T y A aportaron la mayor cantidad de C al suelo, debido a una mayor acumulación de biomasa. En promedio, durante el período estudiado el aporte de C por las gramíneas fue 22 y 86 % superior que A+V y V, respectivamente (Tabla 1). Las gramíneas produjeron entre 2,0 y 4,9 Mg C ha^{-1} , diferenciándose significativamente de V con producciones entre 1,1 y 2,6 Mg C ha^{-1} . El tratamiento A+V presentó aportes entre 1,6 y 3,8 Mg C ha^{-1} diferenciándose de las gramíneas puras en los años 2006, 2009 y 2010. Estas diferencias en los aportes de C se deben a la producción de MS, dado que no se hallaron diferencias ($p = 0,43$) en la concentración de C entre CC (43-45% C).

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Tabla 1: Aporte de carbono (C), costo hídrico (CH), uso consuntivo (UC), eficiencia de uso del agua (EUA) y precipitaciones (PP) durante el ciclo de crecimiento de los cultivos de cobertura.

Variables	CC	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011
Aporte de C (Mg ha ⁻¹)	T	3,4 b	3,6 b	2,4 b	4,6 c	3,5 c	2,0 b
	A	3,2 bc	3,9 b	2,3 b	4,9 c	3,2 c	2,1 b
	A+V	2,6 b	3,8 b	2,2 b	3,4 b	2,6 b	1,6 ab
	V	1,4 a	2,6 a	1,4 a	2,1 a	1,9 a	1,1 a
CH	T	-23 b	-92 a	-82 b	-50 a	-49 c	-45 c
	A	-13 c	-48 b	-93 a	-48 a	-54 b	-33 d
	A+V	-84 a	-35 c	-45 d	-50 a	-66 a	-82 a
	V	0 d	-31 d	-55 c	-36 b	-46 c	-53 b
EUA (kg MS mm ⁻¹)	T	38 b	22 ab	29 c	28 c	46 c	22 b
	A	36 b	26 b	25 b	30 c	40 c	23 b
	A+V	22 a	26 b	33 c	21 b	33 b	14 a
	V	18 a	18 a	18 a	12 a	25 a	11 a
PP ciclo (mm)	T						
	A	168	329	28	353	120	177
	A+V						
	V						

Para cada variable y año, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Las variaciones interanuales en la producción de MS por parte de los CC estuvieron fuertemente influenciadas por las precipitaciones registradas en cada año (Tabla 1). En los años 2008 y 2011 el crecimiento de los CC fue afectado por las escasas precipitaciones recibidas, lo que determinó una baja producción general de biomasa aérea. Según lo informado por Kuo & Jellum (2000), la producción de biomasa aérea de los CC puede variar considerablemente de un año a otro debido, principalmente, a las condiciones climáticas. La precipitación acumulada entre Junio y Octubre osciló entre un mínimo de 28 mm en 2008 a un máximo de 353 mm en 2009 (Tabla 1), y tuvo una influencia significativa en el aporte de C: T ($r=0,68$ $p<0,002$), A ($r=0,81$ $p<0,001$), A+V ($r=0,73$ $p<0,001$) y V ($r=0,59$ $p<0,01$). La variación en el aporte de C entre CC responde a las diferentes eficiencias de utilización del agua (EUA) y de otros factores, como el largo del ciclo (Tabla 1). Las gramíneas (T y A) presentaron los mayores valores de EUA, entre 22 a 46 kg MS mm⁻¹, mientras que V presenta valores <18 kg MS mm⁻¹. A su vez, en aquellos años donde las precipitaciones fueron muy escasas, T y A presentaron la capacidad de generar mayor cantidad de biomasa que V. Unger & Vigil (1998) también observaron que las gramíneas se adaptan mejor como CC que las leguminosas debido a su mayor generación de biomasa en condiciones de sequía. En todos los años, los CC disminuyeron significativamente el contenido de agua útil disponible en 13 a 93 mm en comparación con Ct (Tabla 1). En promedio, los contenidos de agua útil

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

disponible fueron 33, 30, 36 y 24 % menores que en Ct para T, A, A+V y V, respectivamente. Este costo hídrico por parte de los CC coincide con los resultados hallados por Restovich *et al.* (2012) evaluando diferentes especies como CC sobre suelos similares.

Las diferencias en la cantidad de C de los residuos devueltos al suelo entre los CC y Ct, sumado a las diferencias en el contenido de agua disponible y longitud del barbecho, provocó cambios en los contenidos de COT, aumentando o disminuyendo desde Mayo del 2006 a Diciembre del 2011 (Tabla 2).

Tabla 2: Secuestro de carbono en los suelos bajo barbecho tradicional y con cultivos de cobertura entre 2006 a 2011 en 0-25 cm.

Tratamientos	Aporte carbono (CC+Soja)	COT Inicial	COT Final	$\Delta_{2011-2006}$	Secuestro de carbono
	(Mg C ha ⁻¹ año ⁻¹)		(Mg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹ año ⁻¹)
Ct	2,1		51,1 a	-4,1	-824
T	5,3		58,2 c	3,0	597
A	5,4	55,2	55,7 bc	0,5	98
A+V	4,8		55,8 bc	0,6	128
V	4,0		53,8 ab	-1,4	-289

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

En general, se considera que se necesitan al menos 4,1 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ aportado por los residuos de cosecha y/o CC para no generar disminuciones del COT en suelos con niveles de COT entre 16,9 y 18,9 g kg⁻¹ en 0-15 cm (Pikul *et al.*, 2008; Benjamin *et al.*, 2010). Si consideramos que el aporte de C por parte de la soja fue similar en todos los tratamientos (aproximadamente 2,0 Mg C ha⁻¹ año⁻¹) (Fig. 1), dado que no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento entre tratamientos, el aporte de C en Ct estuvo muy por debajo del valor crítico señalado por estos autores, mientras que en el caso de los CC, en promedio, el aporte de las gramíneas superó dicho umbral (5,3 Mg C ha⁻¹ año⁻¹) al igual que A+V (4,7 Mg C ha⁻¹ año⁻¹), mientras que V no logró alcanzarlo (3,8 Mg C ha⁻¹ año⁻¹) (Fig. 1).

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

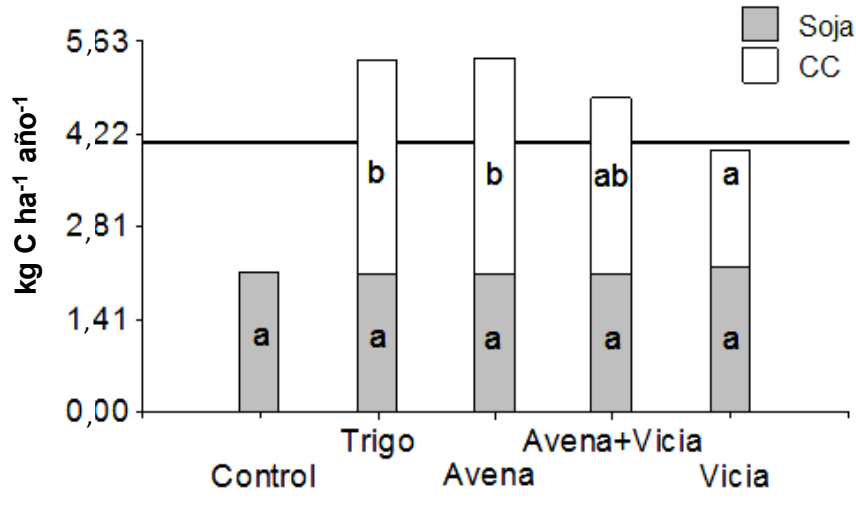


Figura 1: Aportes medios de carbono al suelo por parte de los residuos aéreos de los cultivos de cobertura y soja. Nivel crítico (línea horizontal) (Pikul *et al.*, 2008).

Sobre la base de la producción de biomasa y el contenido de C (Tabla 1), T y A serían mejores opciones de CC en sistemas de monocultivo soja. La inclusión sistemática de CC en las secuencias agrícolas, con alta frecuencia de soja, realizó aportes significativos a la calidad del suelo. En el 2006, el contenido de COT fue de $55,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, en relación con los contenidos de COT determinados en el 2011 disminuyó en un 7,4 y 2,5% en Ct y V en 0-25 cm, respectivamente (Tabla 2). Por el contrario, el COT aumentó entre un 5,4 a 0,9% en los tratamientos T, A y A+V diferenciándose de Ct. Como resultado, la utilización de CC (T, A y A+V) en monocultivo de soja aumentó el COT a una velocidad de 597 a $98 \text{ kg C ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, mientras que se perdió COT a un ritmo de 824 y $289 \text{ kg C ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en Ct y V, respectivamente. Para las condiciones de este estudio, teniendo en cuenta el aporte promedio de C (CC+soja) de cada uno de los tratamientos y el cambio en el contenido de COT (Fig. 2), se puede estimar el aporte de C necesario para no generar disminuciones en los contenidos de COT. Mediante la extrapolación ó ó ó $\Delta \text{COT} = 4,5$ $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para no generar disminuciones en los contenidos de COT en el horizonte superficial del suelo (0-25 cm). Estos resultados concuerdan con lo mencionado anteriormente sobre el aporte de C reportado por Pikul *et al.* (2008) y Benjamin *et al.* (2010). Por lo tanto, después de cinco años, el aumento del aporte de residuos al suelo por el uso de CC aumentó el almacenamiento de COT en un sistema de monocultivo soja presentando, a su vez, diferencias entre especies. En este sentido, desde el punto de vista de conservación o aumento de los contenidos de COT, los sistemas de cultivo con la inclusión de CC como A, A+V y T serían una opción viable, principalmente este último por los mayores aumentos del COT.

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

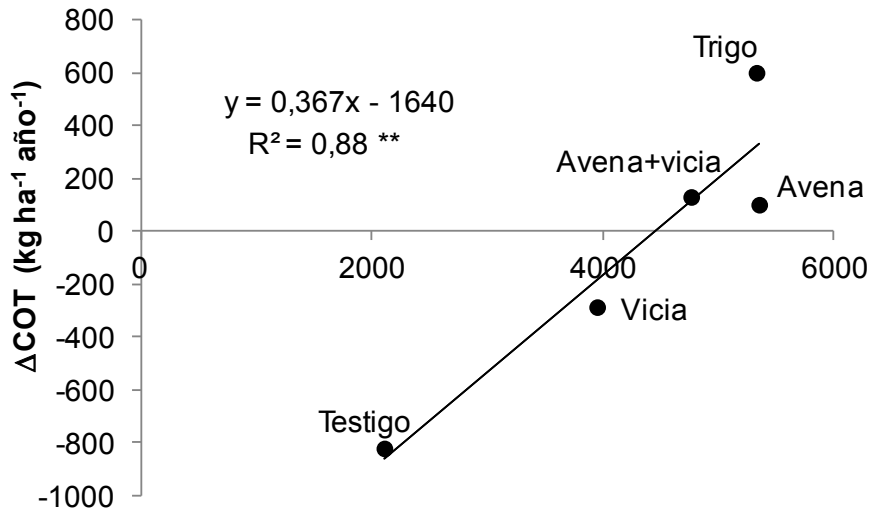


Figura 2: Relación entre el cambio del carbono orgánico total ($\Delta\text{COT}_{2011-2006}$) en 0-25 cm y el aporte promedio de carbono en superficie de los cultivos de cobertura y soja.

Conclusiones

En los agroecosistemas simplificados que predominan actualmente en la Región Pampeana los CC contribuyen a incrementar los contenidos de COT, aprovechando el agua no utilizada durante los barbechos de invierno. La producción de biomasa de los CC varió considerablemente de un año a otro. La precipitación acumulada entre Junio y Octubre fue el factor principal que afectó a la producción de biomasa de los CC. Desde el punto de vista de máximo retorno de residuos al suelo, trigo y avena fueron las especies más eficientes dada su amplia plasticidad en producir biomasa y capturar carbono bajo diferentes disponibilidades hídricas.

Las gramíneas aportaron más MS y son más eficientes en incrementar el COT en relación con el barbecho tradicional. Por lo tanto, la inclusión de estas especies invernales en monocultivo de soja es una alternativa de manejo válida para generar cobertura y mejorar el balance de C de los suelos bajo monocultivo de soja en el sur de Santa Fe.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a las siguientes instituciones que proporcionaron infraestructura y equipos para esta investigación: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona semiárida (CERZOS), Departamento de Agronomía (Universidad Nacional del Sur) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Cañada de Gómez.



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Bibliografía

Benjamin, JG; AD Halvorson; DC Nielsen & MM Mikha. 2010. Crop management effects on crop residue production and changes in soil organic carbon in the central Great Plains. *Agron. J.* 102(3):990-997.

Daliparth, J; SJ Herbert & PLM Veneman. 1994. Dairy manure application to alfalfa: crop response, soil nitrate, and nitrate in soil water. *Agron. J.* 86:927– 933.

Di Rienzo, JÁ; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2013. *InfoStat*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Ding, G; X Liu; S Herbert; J Novak; A Dula & B Xing. 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma.* 130:229-239.

Huggins, DR; RR Allmaras; CE Clapp; JA Lamb & GW Randall. 2007. Corn-soybean sequence and tillage effects on soil carbon dynamics and storage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:145-154.

Johnson, JMF; RR Allmaras & DC Reicosky. 2006. Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. *Agron. J.* 98:622–636.

Kuo, S & EJ Jellum. 2000. Long-term winter cover cropping effects on corn (*Zea mays* L.) production and soil nitrogen availability. *BiolFertil Soils.* 31:470-477.

Novelli, LE; OP Caviglia & RJM Melchiori. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma* 167–168:254–260.

Pikul, JL; JMF Johnson; TE Schumacher; M Vigil & WE Riedell. 2008. Change in surface soil carbon under rotated corn in eastern South Dakota. *SoilSci. Soc. Am. J.* 72:1738–1744.

Restovich, SB; AE Andriulo & SI Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize–soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Res.* 128:62-70.

Restovich, SB; MC Sasal; AB Irizar; F Rimatori; ML Darder & AE Andriulo. 2005. Rotación con maíz vs monocultivo de soja: efecto sobre los stocks de carbono y nitrógeno edáficos. VIII Congreso Nacional de Maíz. Rosario, Santa Fe, Argentina. 208 pp.



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Unger, PW & MF Vigil. 1998. Cover crops effects on soil water relationships. J. Soil Water Conserv. 53:200–2007.