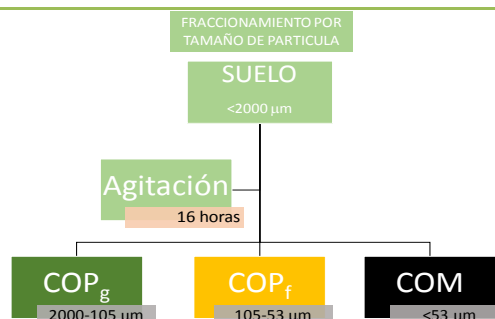


## Las fracciones lábiles del carbono orgánico como indicadores del efecto de los diferentes manejos

Matías Duval, Eduardo de Sa Pereira, Julio Iglesias y Juan A. Galantini

*Los cambios de las prácticas de manejo y usos del suelo alteran el aporte de carbono, así como la dinámica y el equilibrio del carbono orgánico. Los cambios a largo plazo, consecuencia de las prácticas de manejo o usos del suelo podrían predecirse con las variaciones en el corto plazo en las fracciones más lábiles y sensibles.*



En el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, trigo (*Triticum aestivum* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) fueron los principales cultivos en rotación con pasturas hasta mediados de los 90. En los últimos años, común con los cambios en los sistemas productivos del país, en esta región, la agricultura presentó un avance importante sobre la ganadería con un incremento notable en el área, primero de girasol y trigo y posteriormente de soja RR (*Glycine max* L. Merr). Más recientemente, el cultivo de soja produjo un paulatino desplazamiento de los cultivos productores de rastrojo voluminoso, como el maíz (*Zea mays* L.) y sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) (RIAN, 2010). Este proceso de agriculturización, ha significado una importante reducción en el aporte de residuos y en los contenidos de materia orgánica (MO), acentuándose los procesos de degradación física y de pérdidas de suelo por erosión, tornando a los sistemas de producción no sostenibles (Sainz Rosas et al., 2012).

Los sistemas de producción que se basan en un cultivo por año generan tiempos de barbecho excesivamente largos, en los que se aumenta la probabilidad de tener pérdidas de agua del suelo y de nutrientes por erosión o lixiviación (Sasal et al., 2010). Según Calegari (2007), la inclusión de diferentes cultivos en la secuencia, además de disminuir los riesgos de erosión, aumenta la agregación de las partículas en el suelo e incrementa su actividad biológica (Balota et al., 1998) y promueven efectos benéficos en la fertilidad del suelo a través del aumento en el reciclado de nutrientes e incremento de la MO del suelo. Boehm and Anderson (1997) comprobaron que, al reducirse el período de barbecho, por aumento del número de cultivos en la secuencia, mejoró la calidad del suelo como consecuencia de una mayor

frecuencia del aporte de residuos, que al incrementar la fracción de MO lábil modificaron la condición física (menor densidad aparente y mayor agregación del suelo).

La MO del suelo es una mezcla heterogénea de compuestos orgánicos que varían químicamente y en su dinámica (von Lützow et al., 2007). Los cambios debidos a las prácticas de manejo y al uso del suelo en el contenido de carbono orgánico total (COS), principal componente de la MO, son difíciles de detectar, ya que se producen lentamente y son relativamente pequeños en comparación con el amplio contenido de COS existente en el suelo, que varía tanto espacial como temporalmente (Purakayastha et al., 2008).

La separación y cuantificación de algunas fracciones más sensibles del COS, a través del fraccionamiento físico por tamaño de partícula, como el CO particulado (COP) contribuye a predecir los cambios en el COS a corto plazo por cambios en el uso y manejo del suelo. Dicha fracción, es considerada como indicador sensible del efecto de las prácticas de manejo sobre la calidad del suelo (Duval et al., 2013, 2016a; Galantini et al., 2014).

El COP está constituido por materiales orgánicos recientes, de escasa transformación (muy dinámicos y de tamaño entre 105-2000  $\mu\text{m}$ ) y aquéllos semitransformados (relativamente más estables y de menor tamaño, entre 53 y 105  $\mu\text{m}$ ) (Galantini y Suñer, 2008). Estas fracciones orgánicas asociadas al tamaño de las arenas están vinculadas tanto a la calidad del suelo como a su fertilidad (Duval, 2015).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de diferentes usos y manejos del suelo sobre el COS y sus fracciones determinadas por fraccionamiento físico de tamaño de partícula, y detectar cuales son más sensibles a sufrir cambios en un Arguidol típico de la Región Subhúmeda del sur de la provincia de Buenos Aires.

### **Materiales y métodos**

El estudio se realizó en el partido de Coronel Suárez (37° 02' 12.04" S; 61° 59' 11.13" O) sobre un suelo Arguidol típico de textura franco limosa en el horizonte superficial (0-20 cm) a franco arcillosa en subsuperficie. La temperatura y la precipitación media anual son 14,2 °C y 864 mm, respectivamente.

Se empleó un diseño completamente al azar, con seis tratamientos: cuatro situaciones con uso principalmente agrícola bajo siembra directa (SD), de los cuales dos presentaban un manejo bajo rotación (R) con maíz, sorgo y girasol como cultivos estivales y trigo y avena (*Avena sativa* L.) como cultivos invernales, mientras que los otros dos presentaban una historia de

monocultivo (M) con soja de 5 y 7 años, respectivamente, al momento del muestreo (Tabla 1). También se muestreó una pastura (P) en el 5to año de producción con base de alfalfa (*Medicago sativa* L.), pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.), cebadilla (*Bromus catharticus* Vahl.), festuca (*Lolium arundinaceum* (Schreb.) Darbysh) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y un ambiente natural (AN) correspondiente a un pastizal de más de 30 años.

Durante la época de barbecho (mayo 2009), en cada uno de los sistemas de producción se tomaron al azar tres muestras compuestas de suelo a profundidades de 0-5, 5-10 y 10-20 cm. En las muestras de suelo secadas al aire y tamizadas por 2 mm, se determinó COS por combustión (1500°C) con analizador automático LECO C Analyser y se realizó un fraccionamiento por tamaño de partícula (Duval et al., 2013). El tamizado se realizó con tamices de 53 µm y 105 µm de diámetro de malla obteniendo 3 fracciones: fracción gruesa (FG, 105-2000 µm) en la que se encuentra MO particulada gruesa y las arenas medias y gruesas; fracción media (FM, 53-105 µm) constituida por MO particulada fina y las arenas muy finas, y la fracción fina (FF < 53 µm) la cual consiste en MO asociada a la fracción mineral (MOM) y limo más arcilla.

Se estimó la producción de residuos de cosecha (biomasa aérea + subterránea) a partir de los rendimientos de grano mediante la utilización del índice de cosecha (IC) y la relación parte aérea:raíz considerada por Bolinder et al. (2007). Las entradas de C al suelo mediante los residuos de cosecha fueron estimadas asumiendo una concentración C de 42,3% (Bolinder et al., 2007).

### **Análisis de datos**

Para evaluar la sensibilidad de cada fracción orgánica en los diferentes tratamientos, se estableció la relación entre el cambio relativo del COS en función del cambio relativo de cada fracción orgánica (COPg, COPf y COM) a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\Delta\text{COT} (\%) = \% \text{COS} (X) - \% \text{COS} (\text{AN}) \quad \text{Ec. [1]}$$

$$\Delta\text{CO fracción} (\%) = \% \text{CO fracción} (X) - \% \text{CO fracción} (\text{AN}). \quad \text{Ec. [2]}$$

donde X corresponde al tratamiento (monocultivo, rotación y pastura) y AN es el pastizal natural con mínima intervención antrópica. Se utilizaron modelos de regresión lineal con intervalos de confianza del 95% para evaluar la correlación entre el cambio del COS y cada fracción (Ec 1 y 2).

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó análisis de la varianza (ANOVA) y el test diferencias mínimas significativas (DMS) para la comparación de medias ( $P \leq 0,05$ ). Para el análisis de los cambios en los niveles de carbono se plantearon contrastes ortogonales, comparando: (a) los usos del suelo (manejo agrícola vs pastizal natural) y (b) dentro del manejo agrícola (rotación vs monocultivo). Todos los datos fueron analizados utilizando el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2013).

Tabla 1: Secuencia de cultivos de los tratamientos agrícolas.

Años	2006		2007		2008		2009		Índice de rotación <small>(2006-2009)</small>
Trat.	Barb.	Cultivo	Barb.	Cultivo	Barb.	Cultivo	Barb.	Cultivo	
R1	2	10	2	10	3	9	2	10	0,81
		Maíz		Trigo		VI/Girasol		Trigo	
R2	2	10	2	10	10	2	7	5	0,56
		Sorgo		Trigo		Girasol		VV	
M1 y M2	6	6	6	6	6	6	6	6	0,50
		Soja		Soja		Soja		Soja	

Barb: N° de meses bajo barbecho; Cultivo: N° de meses con cultivo; VI: verdeo de invierno (avena); VV: verdeo de verano (maíz). Índice de rotación: N° meses con cultivo/12.

## Resultados y discusión

El uso agrícola generó niveles significativamente menores de las diferentes fracciones orgánicas, principalmente aquellas menos transformadas ( $COP_g$ ) en relación con AN (Tabla 2 y Figura 1). En 0-20 cm, se observaron valores significativamente menores de COS en los tratamientos agrícolas, principalmente, por los cambios ocurridos en la capa superficial del suelo (0-5 cm) (Tabla 3). Las mayores concentraciones se observaron en AN y P, respecto a R y M, con diferencias variables entre estos últimos ( $AN=P < R \leq M$ ). Estas diferencias pueden deberse a la mayor entrada de C por parte de los residuos, así como a la actividad microbiana, cerca de la superficie (Fontaine et al., 2007). En los agroecosistemas el aporte de C por la producción primaria neta es a menudo inferior a la tasa de pérdida del CO por la descomposición microbiana (Pittelkow et al., 2015). En relación con AN, el uso agrícola presentó disminuciones en los niveles de COS, en promedio, del 29, 19 y 15% para 0-5, 5-10 y 10-20 cm, respectivamente. Este efecto tendió a ser más marcado en el caso de monocultivo, con una disminución del 35, 23 y 17% para dichas profundidades posiblemente atribuido a los mayores períodos de barbecho (Tabla 1) y al menor aporte de C al suelo por parte de los residuos de cosecha, el cual apenas superó los  $1800 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  de C. La concentración de COS en la pastura fue significativamente superior al resto de los manejos

agrícolas en todas las profundidades analizadas, sin diferencias significativas con AN, presentando un 24% más de COS en 0-20 cm con respecto a los manejos agrícolas. La inclusión de una alta proporción de pasturas perennes dentro de la rotación favorece el aumento de los niveles de COS en relación a la secuencia continua de cultivos anuales (Terra et al., 2006).

Las disminuciones en los niveles de CO se deben especialmente a los materiales orgánicos más sensibles a la oxidación microbiana, tal como  $COP_g$  (Tabla 3). Las fracciones orgánicas asociadas al tamaño de las arenas ( $COP_f + COP_g$ ) representó casi el 30% del COS en el caso del AN, mientras en que los demás sistemas, incluyendo la pastura, este porcentaje se redujo a 17%. Esto refleja una disminución diferencial de las fracciones más lábiles en relación a las fracciones más humificadas y estables en los sistemas agrícola. Para P, R y M, el  $COP_g + COP_f$  sufrió disminuciones del orden del 50%, mientras que el COM la disminución fue solo del 8% para R y M, mientras que P presentó mayores niveles de esta fracción. El AN mantiene la vegetación viva durante más tiempo y consume más humedad del suelo, lo que reduce la actividad biológica y genera una tasa de mineralización más lenta (Bayer et al., 2006), a la vez que realiza un mayor y más continuo aporte de biomasa aérea y radical (Tisdall and Oades, 1982). Esto hace que los contenidos de las fracciones lábiles sean mayores.

Diferencias debido a las prácticas de manejo (rotación vs monocultivo) se observaron en el  $COP_f$ , con diferencias significativas en todas las profundidades evaluadas (Tabla 2). En 0-20 cm, el  $COP_f$  fue la fracción orgánica que permitió detectar diferencias altamente significativas tanto por efecto del uso como del manejo ( $P < 0,001$ ) (Tabla 2), encontrándose concentraciones mayores en AN y R2, intermedias en P y R1 y menores valores en monocultivo (Tabla 3). En relación con el monocultivo, los mayores niveles de  $COP_f$  en los sistemas bajo rotación posiblemente se debió al menor período de barbecho (Tabla 1), relacionado con un mayor número de cultivos en el año y un mayor porcentaje de gramíneas en relación al cultivo de soja. Los aportes de C al suelo por parte de los residuos de cosecha en las situaciones bajo rotación superaron los  $3200 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , reflejando los efectos positivos de la diversificación de cultivos sobre el  $COP_f$ . Dado que el C derivado de las raíces ha sido identificado como la principal fuente de CO del suelo (Rasse et al., 2005), un mayor aporte de raíces diversas podría explicar la mayor acumulación de  $COP_f$  en las rotaciones, en comparación con el monocultivo. El  $COP_f$  representa un material de transición, dado que presentó menores cambios que el  $COP_g$  y mayores que el COM, expresado en la Figura 1 por la ordenada al origen. En otras regiones y tipos de suelos, la intensificación de cultivos

mediante la inclusión de cultivos de cobertura y cereales de invierno en rotaciones basadas principalmente en cultivos de verano (soja y maíz), aumentaron los contenidos de COP<sub>f</sub> en relación con las secuencias tradicionales o poco diversificadas (monocultivo) (Duval et al., 2016 a, b). Por lo tanto, esta fracción puede considerarse sensible para detectar diferencias bajo diferentes prácticas de manejo en sitios con diferencias edáficas y climáticas.

Tabla 2: Efecto del uso y manejo del suelo sobre las fracciones orgánica (contrastes ortogonales).

Fracciones orgánicas	Prof.	Natural vs Agrícolas	Rotación vs Monocultivo
COS	0-5	***	*
	5-10	**	ns
	10-20	*	ns
	0-20	***	ns
COP <sub>f</sub>	0-5	***	***
	5-10	***	***
	10-20	ns	*
	0-20	***	***
COP <sub>g</sub>	0-5	***	ns
	5-10	***	ns
	10-20	***	ns
	0-20	***	ns
COM	0-5	***	***
	5-10	ns	ns
	10-20	ns	ns
	0-20	ns	ns

COS, carbono orgánico total; COP<sub>f</sub>, carbono orgánico particulado fino; COP<sub>g</sub>, carbono orgánico particulado grueso; COM, carbono orgánico asociado a la fracción mineral. ns: no significativo; (\*):  $P < 0,05$ ; (\*\*):  $P < 0,01$ ; (\*\*\*):  $P < 0,001$ .

En la Figura 1 se observa que la susceptibilidad de las diferentes fracciones orgánicas a sufrir cambios, está representada por la posición de las tendencias de las distintas fracciones orgánicas en el gráfico. Es decir, cuanto más abajo se encuentre la recta, mayores serán las disminuciones en relación al AN. Por lo tanto, la susceptibilidad a sufrir disminuciones sigue el siguiente orden COP<sub>g</sub>>COP<sub>f</sub>>COM. A su vez, los cambios relativos de cada fracción orgánica son homogéneos para el caso del COP<sub>g</sub> y el COM dado por sus altos coeficientes de determinación,  $R^2=0,66$  y  $0,92$ , respectivamente (Figura 1). Por el contrario, se observó una mayor dispersión de los datos en el COP<sub>f</sub>, posiblemente debido a que los cambios en esta fracción son más dependientes de las prácticas de manejo empleadas (monocultivo, rotación, pastura), haciéndolo un indicador sensible para diferenciar prácticas de manejo.

Los cambios relativos de las distintas fracciones orgánicas respecto al COS asociado al uso y manejo del suelo (pastura, rotación y monocultivo) fueron dependientes de la labilidad de cada una de las fracciones orgánicas (Figura 1). Como se mencionó anteriormente, la sensibilidad a disminuciones de las distintas fracciones orgánicas al efecto antrópico, representado por la posición de las tendencias de las fracciones orgánicas, disminuyó en el siguiente orden:  $COP_g > COP_f > COM$ . Los cambios en la fracción  $COP_g$  se distribuyen muy por debajo de  $COP_f$  y  $COM$ , lo que indica la mayor sensibilidad al uso agrícola en relación al COS. En este caso, pueden ocurrir disminuciones de hasta el 50% del  $COP_g$  (ordenada al origen) sin observarse cambios en el COS. Galantini et al. (1992) comparando diferentes sistemas de rotaciones, también observaron marcadas diferencias en el COP (40%) con mínimas diferencias en el COS entre sistemas de rotaciones contrastantes.

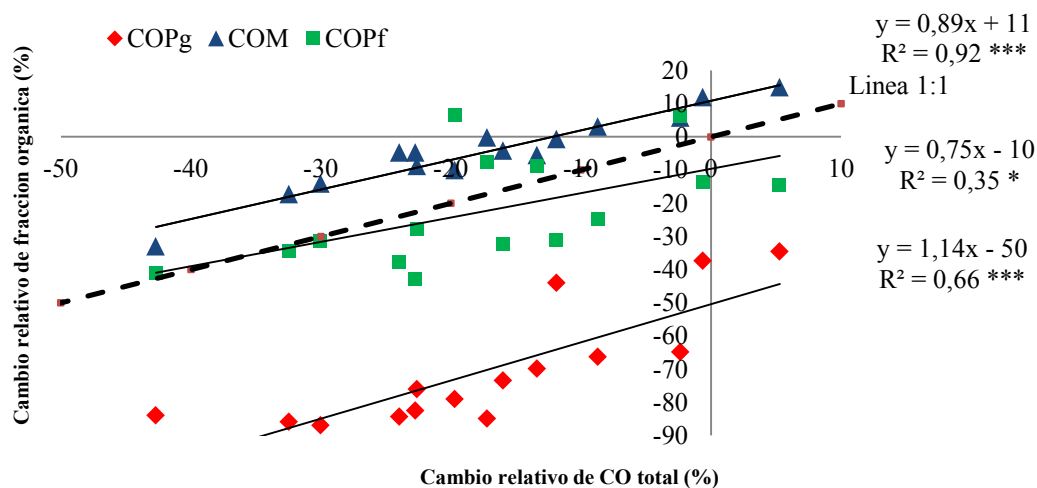


Figura 1: Cambio relativo de cada fracción orgánica del suelo en función de los cambios relativos del CO total en 0-20 cm.

Tabla 3: Efecto del uso y manejo del suelo sobre los niveles de carbono orgánico total (COS) y sus fracciones.

	Prof.	R1	R2	M1	M2	P	AN
COS	0-5	2,67 ab	3,03 b	2,21 a	2,65 ab	3,62 c	3,87 c
	5-10	2,45 ab	2,74 bc	2,16 a	2,60 b	3,10 c	3,06 c
	10-20	2,18 ab	2,39 abc	2,01 a	2,33 abc	2,59 bc	2,66 c
	0-20	2,372 ab	2,639 bc	2,098 a	2,477 ab	2,971 cd	3,066 d
COP <sub>f</sub>	0-5	0,362 b	0,471 c	0,261 a	0,253 a	0,485 c	0,570 d
	5-10	0,313 bc	0,406 d	0,241 a	0,267 ab	0,325 c	0,397 d
	10-20	0,263 ab	0,358 c	0,249 ab	0,244 ab	0,221 a	0,301 bc
	0-20	0,300 ab	0,398 c	0,250 a	0,252 a	0,313 b	0,392 c
COP <sub>g</sub>	0-5	0,223 a	0,239 a	0,141 a	0,181 a	0,650 b	0,821 b
	5-10	0,109 a	0,105 a	0,102 a	0,116 a	0,309 b	0,479 b
	10-20	0,039 a	0,040 a	0,050 a	0,050 a	0,120 a	0,339 b
	0-20	0,102 a	0,106 a	0,086 a	0,099 a	0,300 b	0,495 c
COM	0-5	2,08 b	2,32 cd	1,81a	2,22 bc	2,48 d	2,48 d
	5-10	2,03 ab	2,23 bc	1,82 a	2,22 bc	2,46 c	2,19 b
	10-20	1,88 a	1,99 ab	1,71a	2,03 ab	2,25 b	2,02 ab
	0-20	1,97 ab	2,14 bc	1,76 a	2,13 bc	2,36 c	2,18 bc

COP<sub>f</sub>, carbono orgánico particulado fino; COP<sub>g</sub>, carbono orgánico particulado grueso; COM, carbono orgánico asociado a la fracción mineral. Para cada propiedad y profundidad, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).

## Conclusiones

Tanto el COS como sus diferentes fracciones mostraron sensibilidad para diferenciar los suelos bajo sistemas naturales de los cultivados. La sensibilidad o cambio de las fracciones lábiles de C (COP<sub>g</sub> y COP<sub>f</sub>) fueron mucho mayores que el COM, asociados a los diferentes usos del suelo. Por lo tanto, dichas fracciones pueden ser utilizadas como indicadores del cambio en la acumulación de C por el uso agrícola de los suelos. A su vez, el COP<sub>f</sub> resultó más sensible diferenciando también entre sistemas agrícolas: rotación de monocultivo. Teniendo en cuenta estos resultados, se puede inferir que la separación de fracciones orgánicas de labilidad intermedia, como el COP<sub>f</sub>, pueden utilizarse como indicadores sensibles para diferenciar manejos agrícolas, sin ser muy influenciadas por la variabilidad temporal y meteorológica.



## Bibliografía consultada

- Balota E.; A. Colozzi-Filho; D. Andrade; M. Hungria. 1998. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Bras. Ci. Solo. Campinas, San Pablo.* 22:641–649.
- Bayer, C.; L. Martin-Neto; J. Mielniczuk; A. Pavinato; J. Dieckow. 2006. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-tillage. *Soil Till. Res.* 86(2): 237–245.
- Boehm, M.; D. Anderson. 1997. A landscape-scale study of soil quality in the three prairie farming systems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 61:1147–1159.
- Bolinder, M.A.; H.H. Janzen; E.G. Gregorich; D.A. Angers; A.J. VandenBygaart. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118: 29–42.
- Calegari A. 2007. Sequestro de carbono, atributos físicos e químicos em diferentes sistemas de manejo em um latossolo argiloso do sul do Brasil. Tese de doutorado em agronomia da Universidade estadual de Londrina Pr-Brasil.
- Duval, M.E.; J.A. Galantini; J.O. Iglesias; S. Canelo; J.M. Martínez; L. Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res.* [131, 11–19](#).
- Duval, M.E. 2015. Contenido, calidad y dinámica de las fracciones orgánicas como indicadores de calidad de suelos bajo diferentes manejos en siembra directa. Tesis Doctorado UNS. 179 pags.
- Duval, M.E.; J.A. Galantini; J.M. Martínez; F.M. López; L.G. Wall. 2016a. Sensitivity of different soil quality indicators to assess sustainable land management: Influence of site features and seasonality. [Soil & Till. Res. 159, 9–22](#).
- Duval, M.E.; J.A. Galantini; J.E. Capurro; J.M. Martínez. 2016b. Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. [Soil & Till. Res. 161, 95–105](#).
- Fontaine, S.; S. Barot; P. Barre; N. Bdioui; B. Mary; I.C. Rumpel. 2007. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature* 450: 277–280.
- Galantini, J.A.; R.A. Rosell; A.E. Andriulo; A.M. Miglierina; J.O. Iglesias. 1992. Humification and N mineralization of crop residues in semi-arid Argentina. *Sci. Total Environ.* [117/118: 263–270](#).
- Galantini, J.A.; L. Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. [Agriscientia 25: 41–55](#).
- Galantini, J.A.; M. Duval; J.O. Iglesias; H. Krüger. 2014. Continuous Wheat in Semiarid Regions: Long-term Effects on Stock and Quality of Soil Organic Carbon. *Soil Sci.* [179, 284–292](#).
- Pittelkow C., X. Liang, B. Linquist, K. Van Groenigen, J. Lee; M. Lundy; N. Van Gestel, J. Six, C. Van Kessel. 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 517: 365–368.
- Purakayastha, T.J.; L. Rudrappa; D. Singh; A. Swarup; S. Bhadraray. 2008. Long-term impact of fertilizers on soil organic carbon pools and sequestration rates in maize–wheat–cowpea cropping system. *Geoderma* 144: 370–378.
- Rasse, D.P.; C. Rumpel; M.F. Dignac. 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant Soil* 269 (1–2): 341–356.
- RIAN 2010. Boletín mensual. Red de información agropecuaria Nacional- Área del Centro Regional Buenos Aires del INTA.
- Sainz Rozas, H.; H. Echeverría; M. Eyherabide; M. Barraco; G. Ferraris; H. Angelini. 2012. Niveles de boro disponible en suelos de la Región Pampeana. En: XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Sasal, M.C.; M.G. Castiglioni; M.G. Wilson. 2010. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. *Soil Till. Res.* 108(1), 24–29.
- Tisdall, J.M.; J. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33(2): 141–161.
- Terra J.A.; F. García-Prechac; L. Salvo; J. Hernández. 2006. Soil use intensity impacts on total and particulate soil organic matter in no-till crop-pasture rotations under direct grazing. In: Horn, R.; H. Fleige; S. Peth; X. Peng (Eds.). *Sustainability – Its Impact on Soil Management and Environment.* *Adv. Geocol.* 38: 233–241.
- von Lützw, M.; I. Kögel-Knabner; K. Ekschmitt; H. Flessa; G. Guggenberger; E. Matzner; B. Marschner. 2007. SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil Biol. Biochem.* 39: 2183–2207.