



C1P17. DINÁMICA DEL CARBONO EN FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DURANTE LA INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA DE CALIDAD CONTRASTANTE

Di Gerónimo, Paula.F.^{1,2*}; Studdert, Guillermo. A.² y Videla, Cecilia²

¹Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC).²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Ruta 226 km 73,5. Balcarce, Buenos Aires Argentina. *digeronimopaula@gmail.com

RESUMEN

En los sistemas agrícolas, los residuos de cultivos incorporados son la principal entrada de carbono (C) orgánico del suelo (COT). La descomposición y estabilización del C de los residuos varían con la calidad (relación C:nitrógeno (N)) y con la forma de incorporación (i.e siembra directa, SD, o labranza convencional, LC). El objetivo de este trabajo fue estudiar las variaciones de C orgánico durante la incorporación de residuos de cosecha de distinta calidad a dos fracciones del COT (C orgánico particulado (COP, > 53 µm) y asociado a la fracción mineral (COA, >53 µm)) bajo SD y LC. Residuos de maíz (alta relación C:N) y soja (baja relación C:N) fueron incorporados al suelo o dejados en superficie, simulando LC y SD, respectivamente. Se determinaron los contenidos de COT, COA y COP cada dos meses, durante un año. En ambos sistemas de labranza, el COP fue la fracción más sensible a la calidad de los residuos y su contenido fue superior durante gran parte del experimento en las situaciones en que se utilizó residuo de maíz. El COA disminuyó en los primeros 6 meses en ambos sistemas de labranza, independientemente de la calidad del residuo aportado. Luego de un año desde el aporte de los residuos, se hallaron algunas diferencias en el COP, pero no hubo diferencias ni en COT ni en COA respecto al valor inicial bajo ninguno de los sistemas presentó. El aporte de residuos de cosecha al suelo no generó cambios en el COT en el plazo estudiado, pero sí modificó temporalmente la distribución del C en sus fracciones.

Palabras claves: calidad de residuos, labranza convencional, siembra directa

INTRODUCCIÓN

El contenido de carbono (C) orgánico de un suelo (COT) depende del balance entre la cantidad de C que ingresa al suelo vía aportes orgánicos y la cantidad de carbono mineralizado por la biota edáfica, por lo que su dinámica puede ser regulada mediante las prácticas de manejo y cultivos que se empleen (Studdert & Echeverría, 2000). La separación del COT en C orgánico particulado (fracción >53µm, COP) y asociado a los minerales (fracción <53µm, COA) (Cambardella & Elliott, 1992) ha resultado útil para explicar la dinámica de aquél (Six *et al.*, 2002). Así, cuando un residuo toma contacto con el suelo, pasa por diversas etapas de transformación, y el C de los mismos pasa a integrar aquellas fracciones (Cyle *et al.*, 2016). La tasa de transformación de los residuos y la cantidad de C que se estabiliza en cada fracción depende, en gran medida, de la calidad del material incorporado (i.e: relación C:nitrógeno (N)) (Mazzilli *et al.*, 2014, 2015) y del sistema de labranza empleado (Tan *et al.*, 2007). Residuos de alta calidad (baja relación C:N) son transformados a mayor tasa (Mazzilli *et al.*, 2015), por lo que su C podría pasar a integrar las fracciones del COT más rápidamente que aquél proveniente de residuos de menor calidad (alta relación C:N) (Cotrufo *et al.*, 2013). En el mismo sentido, cuando se incorpora un residuo mediante labores agresivas (LC), el mismo se descompone más rápidamente que cuando permanece en superficie (i.e, siembra directa, SD). Sin embargo, el laboreo rompe agregados e incrementa la oxigenación exponiendo carbono protegido en su interior al ataque de microorganismos, lo que promueve su mineralización (Curtin *et al.*, 2014).

Cuando se combinan distintas calidades de residuos y sistemas de labranza, lo cual ocurre frecuentemente bajo rotaciones agrícolas, se generan interacciones que dificultan la comprensión de la dinámica del C edáfico. El objetivo de este trabajo fue estudiar la dinámica de los contenidos de COT, COA y COP durante la incorporación de residuos de calidad contrastante, bajo LC y SD.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos ensayos en lotes previamente seleccionados para tal fin dentro de la Unidad Integrada Balcarce (Facultad de Ciencias Agrarias-Estación experimental Agropecuaria INTA Balcarce). Se seleccionaron dos lotes bajo producción agrícola, distanciados 50 m entre sí, cuyo tipo de suelo es Argiudol Típico (Soil Survey Staff, 2014). La rotación de cultivos en ambos sitios en los últimos 10 años fue maíz (*Zea mays* L.)/soja (*Glycine max* (L.) Merr)/trigo (*Triticum aestivum* L.) o cebada (*Hordeum vulgare* L.)-soja. El primer sitio es manejado con LC, y el otro, con SD, siendo ésta la única diferencia entre los mismos.

Previo al comienzo del ensayo se cultivaron plantas de maíz (alta relación C:N) y de soja (baja relación C:N) en invernáculo hasta alcanzada la madurez fisiológica. Luego, las plantas fueron cosechadas incluyéndose las raíces, y se descartaron los granos formados. El material vegetal obtenido se secó en estufa a 60 °C, y se picó hasta un tamaño final de 2x2 cm.

En cada lote correspondiente a un sistema de labranza (SD y LC) se tomó una sección homogénea de 10 x 10 m., en las que se dispusieron cilindros de PVC de 20 cm de diámetro y 25 cm de alto, enterrados a 20 cm de profundidad en el suelo donde se colocaron los residuos de maíz o soja, según correspondiera. En el caso de los cilindros simulando LC, los residuos se mezclaron y homogeneizaron con el suelo utilizando una pala hasta 20 cm de profundidad. Las unidades experimentales se dispusieron siguiendo un diseño completamente al azar con cuatro réplicas por tratamiento y seis muestreos destructivos: 2, 4, 6, 8, 10 y 12 meses desde la incorporación de los residuos. Se utilizaron cantidades de residuos equivalentes a las aportadas por cultivos con rendimientos en grano promedio de la zona: 8 Mg ha⁻¹ de maíz y 2,5 Mg ha⁻¹ de soja. El ensayo fue instalado el 23 de mayo de 2016.

Muestreo y análisis de suelo y material vegetal

Previo al comienzo del ensayo se tomaron muestras representativas del suelo de cada sitio seleccionado a dos profundidades (0-5 y 5-20 cm), para realizar una caracterización inicial de cada uno. Los seis muestreos mencionados consistieron en la extracción completa de los cilindros, y separación del suelo contenido en dos profundidades (0-5 y 5-20 cm). Cada porción de suelo se homogeneizó y se tomó una muestra representativa de cada profundidad, que fue secada al aire, molida y tamizada por 2 mm.

En las muestras de suelo del muestreo inicial y de los seis momentos de muestreo siguientes, se realizó el fraccionamiento granulométrico por tamaño de partícula en dos fracciones >53 µm y <53 µm (Cambardella & Elliot, 1992) y en cada fracción se determinó el contenido de C (COP y COA, respectivamente) y en la masa total del suelo (COT), mediante combustión húmeda con mantenimiento de la temperatura de reacción (Schlichting *et al.*, 1995).

Se tomó una alícuota representativa de cada residuo obtenido, en la que se determinaron los contenidos de C y N, mediante combustión seca en un analizador TrusPec CN (LECO, 2008). Mediante la misma técnica se determinó el contenido de N orgánico total (NOT) en las muestras de suelo previo al inicio del ensayo. En estas muestras se determinó también, el pH (relación 1 2,5 en agua) (Dewis & Freitas, 1970), y la densidad aparente (Dap). En la Tabla 1, se puede observar que no hubo diferencias notorias entre SD y LC, a excepción del pH (0,32 unidades inferior en SD) y el COP (0,51 g kg⁻¹ suelo superior en LC). La relación C/N de los residuos fue muy superior en maíz con respecto a soja.

Tabla 1: Características edáficas de los sitios seleccionados y de los residuos aplicados

Sitio	Profundidad (cm)	pH	Dap (Mg m ⁻³)	C				RESIDUO		
				COT	COP	COA	NOT	(%C)	(%N)	(C:N)
LC	0-5	6,09	1,21	28,06	3,67	24,39	2,33	Maíz		
	5-20	6,11	1,26	26,76	2,89	23,86	2,28	41,95	0,33	127,12
SD	0-5	5,74	1,23	27,18	2,68	24,5	2,34	Soja		
	5-20	5,8	1,28	25,5	2,53	22,96	2,18	35,65	1,34	26,70

Se registró la temperatura del suelo durante todo el período experimental mediante registradores automáticos colocados en los ensayos para tal fin, y se tomaron muestras semanalmente para la determinación del contenido de agua por gravimetría. Los datos se muestran en la Figura 1. Durante la mayoría del período experimental el sitio LC tuvo mayor temperatura media del suelo y un menor contenido de agua que SD.

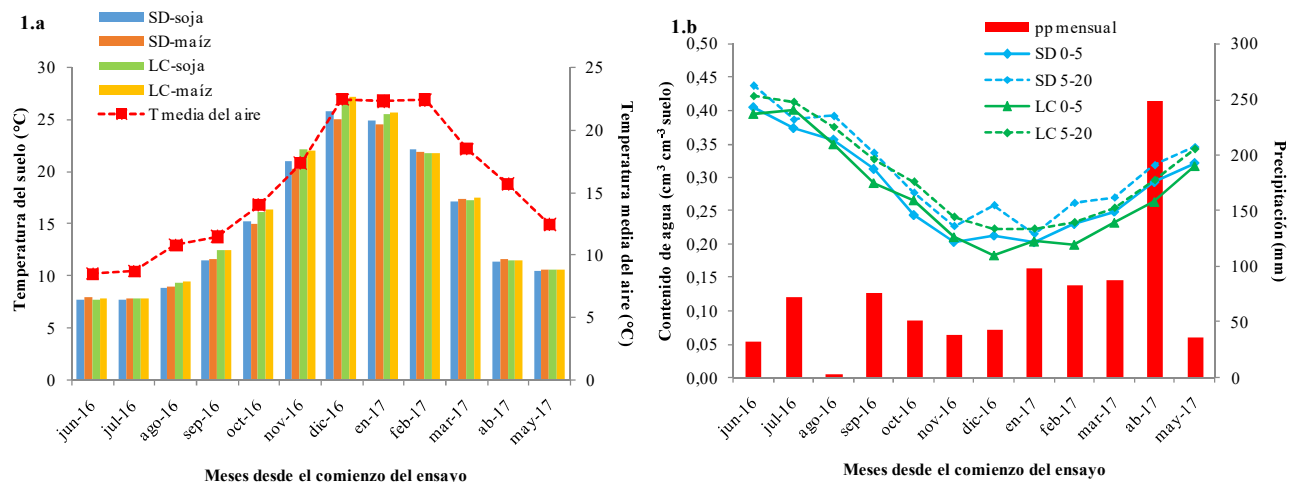


Figura 1: a) Temperatura media mensual del suelo y del aire y b. Humedad promedio mensual del suelo a dos profundidades (0-5 y 5-20 cm) y precipitación mensual.

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados con el software estadístico R (R Development Core Team, 2010). Se realizaron análisis de la varianza para evaluar el efecto de la calidad de residuo y la fecha de muestreo separadamente para cada sistema de labranza y profundidad. Para la comparación de medias en los casos en los que correspondiera se utilizó el test de diferencia mínima significativa LSD a un nivel de significancia de 5%.

Se ajustaron modelos de regresión para las variables COP y COA en función del tiempo, separadamente para cada tipo de residuo y profundidad (COP-Maíz, COP-Soja, COA-Maíz y COA-Soja). Se realizó la comparación de los modelos para Maíz y Soja en cada sistema de labranza y profundidad, utilizando un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las fracciones COP y COA (Figura 2) reveló efecto del tipo de residuo incorporado tanto en SD como en LC, ambas profundidades. En los primeros 5 cm del perfil (Figura 2.a y 2.b), el COP fue siempre superior al incorporar maíz con respecto a incorporar soja, siendo las diferencias significativas en los meses 2,6,8 y 10 en SD (Figura 2.a) y 6,8,10y 12 en LC (Figura 2.b). Las diferencias entre residuos fueron más marcadas en LC. A esta profundidad el COA sólo presentó diferencias significativas en el mes 2 en SD (Figura 2.a) y en los meses 10 y 12 en LC (Figura 2.b), siendo superior cuando el residuo aportado fue maíz ($p < 0,05$). Las variaciones del COP y COA a través del tiempo desde la incorporación de los residuos fueron adecuadamente descritas por funciones cuadráticas de signos contrarios. Todos los modelos ajustados a esta profundidad fueron estadísticamente significativos. Sin embargo, mientras que los modelos COP-Maíz y COP-Soja fueron estadísticamente diferentes entre sí en ambos sistemas de labranza, los modelos COA-Maíz y COA-Soja, sólo se diferenciaron en LC. Por lo tanto, en SD las variaciones en el COA en el tiempo pudieron ser descritas por un solo modelo (Figura 2.a).

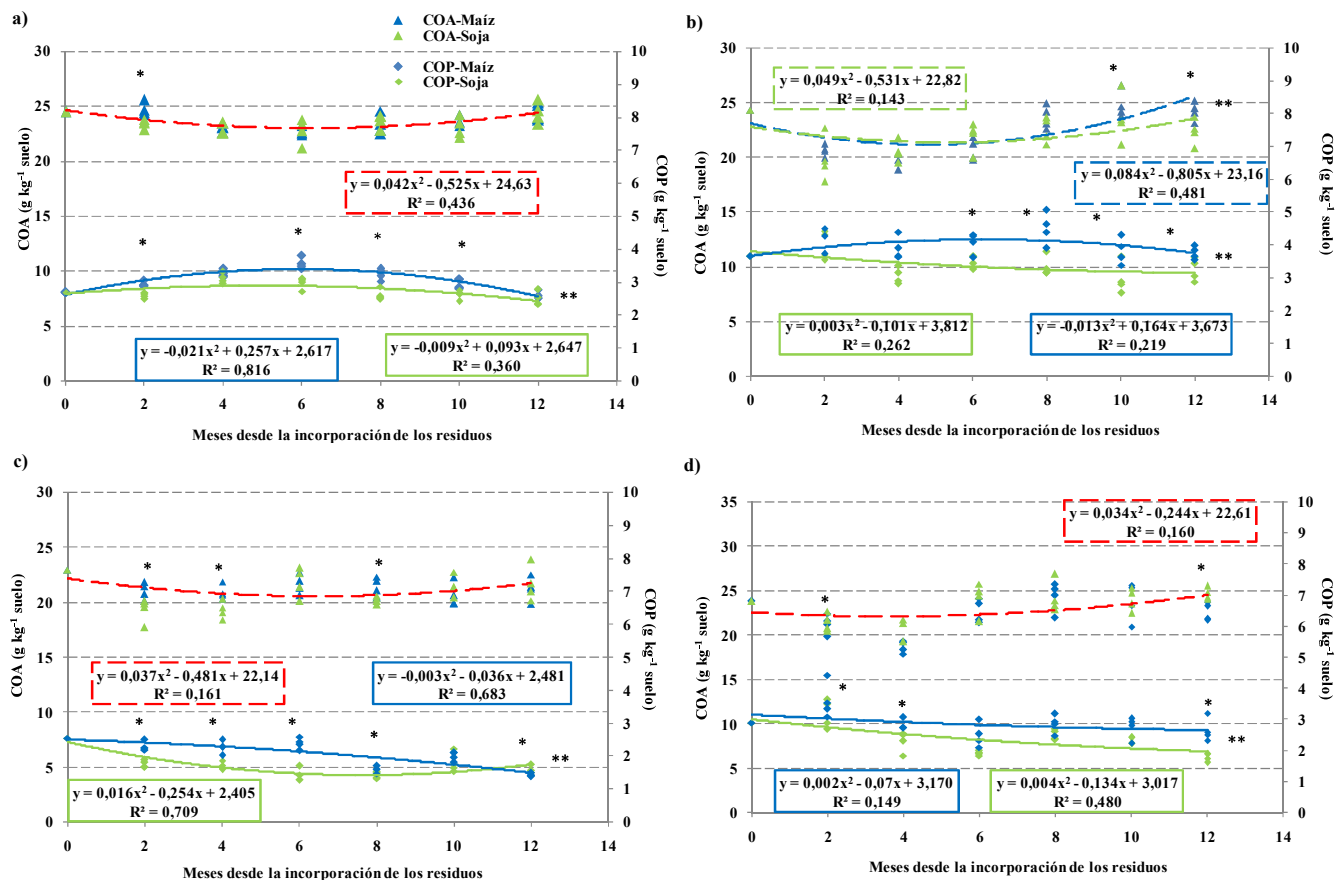


Figura 2: Carbono orgánico particulado (COP) (líneas llenas) y asociado a los minerales (COA) (líneas punteadas) en función de los meses desde la incorporación de los residuos, en los primeros 5 cm de suelo en siembra directa (a) y labranza convencional (b) y en 5-20 en siembra directa (c) y labranza convencional (d). (**) indica modelos estadísticamente diferentes. (*) indica diferencia significativa entre residuos dentro de una fecha de muestreo (LSD, $\alpha=0,05$).

En el estrato 5-20 cm, el COP fue estadísticamente superior al incorporar maíz con respecto a soja en los meses 2,4,6,8 y 12 en SD (Figura 2.c) y 2,4 y 12 en LC (Figura 2.d). El COA, sólo presentó diferencias en los meses 2,4 y 8 en SD (Figura 2.c) y 2 y 12 en LC (Figura 2.d), siendo superior cuando el residuo aportado fue maíz ($p<0,05$). A esta profundidad, los modelos COP-Soja y COP-Maíz, fueron diferentes entre sí en ambos sistemas de labranza ($p<0,05$), mientras que los modelos COA-Soja y COA-Maíz no se diferenciaron ni en SD ni en LC. En ambos casos, las variaciones en el tiempo del COA se explicaron por un solo modelo para cada sistema de labranza.

El mayor contenido de COP hallado al incorporar maíz coincide con lo informado por Mazzilli *et al.* (2014) al comparar sistemas de monocultivo de maíz y soja en SD en un Argiudol Típico en Uruguay. Esto puede deberse, en parte, a que la cantidad de C aportado con este residuo fue más de tres veces superior a la de soja. Sin embargo, las diferencias halladas entre calidades no fueron tan evidentes como cabría esperar. Cabe destacar que la calidad del residuos de maíz fue marcadamente inferior con una relación C:N 4,7 veces superior a la de soja (Tabla 1), lo cual limitó fuertemente su descomposición. En el último momento de muestreo (12 meses), gran parte de los residuos de maíz permanecían sin descomponer, mientras que los de soja se habían descompuesto totalmente en ambos sistemas de labranza.

Una pequeña proporción del COA fue mineralizada durante los primeros 4 meses luego del agregado de los residuos y paralelamente al aumento de COP (Figura 2). En muchos estudios sobre la transformación y estabilización del C y N de los residuos se ha detectado mayor liberación del C y/o N nativos comparados con el suelo que no recibió residuos. Este efecto es conocido como priming y es resultado de las interacciones entre la transformación microbiana de las sustancias añadidas y los ciclos naturales del suelo de ambos elementos (Kuzyakov *et al.*, 2000). Es probable que este fenómeno explique los patrones hallados en la dinámica del COA. Al respecto, Mazzilli *et al.*, (2014, 2015) analizando los cambios en $\delta^{13}C$ en el COP y COA, probaron que la calidad y la cantidad de residuos aportados regulaba la tasa de descomposición de la materia orgánica nativa (k) ya que, el efecto era mayor cuando el residuo incorporado era maíz con respecto a soja. A partir del mes 6 la tendencia fue inversa, mientras que el COA aumentaba, el COP disminuía (Figura

2), probablemente como resultado de transferencia de C de una a otra fracción (Mazzilli *et al.*, 2014, 2015) y/o por aporte directo del C de los residuos al COA (Haddix *et al.*, 2016).

Cabe destacar que los residuos que se utilizaron durante esta investigación, habían sido enriquecidos con ^{15}N previo a su incorporación al suelo. En ambos sistemas de labranza y profundidades Di Gerónimo *et al.*, (2018), encontraron que luego de incorporarse los residuos, el contenido de N orgánico asociado a los minerales (NOA) disminuía, de manera similar al COA y paralelamente esta fracción se enriquecía con ^{15}N , probando que una fracción del N se estaba incorporando al NOA. A diferencia de lo hallado en el COA, la disminución del NOA fue mayor al incorporar maíz, con respecto a incorporar soja. De la misma manera que lo aquí observado para el COP, el N orgánico particulado (NOP), aumento y se enriqueció en ^{15}N durante los primeros 6 a 4 meses, siendo este aumento superior al aportar soja. Luego, tanto el NOP como el su enriquecimiento en ^{15}N disminuyeron, mientras el NOA y su enriquecimiento en ^{15}N aumentaban, demostrando transferencia de N de una a otra fracción. Todos los fenómenos observados ocurrieron a mayor tasa en LC con respecto a SD. Dado que el C y N edáficos tienen dinámicas acopladas, es probable que las variaciones en COA y COP aquí observadas respondan a fenómenos similares a los observados para el N. Sin embargo, se destaca que el NOP y el NOA fueron más sensibles a la calidad de los residuos aportados y al tipo de labor implementada que el COP y el COA.

El COT no presentó efecto del tipo de residuo incorporado en ninguno de los momentos de muestreo desde la incorporación de los residuos ni en SD ni en LC. Tampoco se hallaron diferencias significativas entre el COT al inicio y al final del ensayo en ninguno de los sistemas analizados (Tabla 2).

Tabla 2: Carbono orgánico total (COT) y en fracciones granulométricas (COP y COA) previo a la incorporación (momento 0) de residuos de maíz (M) y soja (S) y luego de 12 meses (tiempo 12) simulando LC y SD.

Residuo y sistema de labranza	Profundidad (cm)	Momento (meses)	COP	COA	COT
			(g kg ⁻¹ suelo)		
Maíz-SD	0-5	0	2,68a	24,50a	27,18a
		12	2,59a	24,51a	27,10a
	5-20	0	2,54a	22,96a	25,50a
		12	1,41 b	21,25a	22,66a
Soja-SD	0-5	0	2,68a	24,50a	27,18a
		12	2,50a	24,40a	26,90a
	5-20	0	2,54a	22,96a	25,50a
		12	1,58b	21,67a	23,25a
Maíz-LC	0-5	0	3,67b	24,39a	28,06a
		12	3,78a	24,26a	28,04a
	5-20	0	2,90a	23,86a	26,76a
		12	2,66a	22,63a	25,29a
Soja-LC	0-5	0	3,67a	24,39a	28,06a
		12	3,26b	22,42a	25,68a
	5-20	0	2,90a	23,86a	26,76a
		12	1,79b	24,72a	26,51a

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tiempos dentro de cada labranza, residuo y profundidad (LSD, $\alpha=0,05$).

A pesar de los cambios en COP y COA en respuesta a la incorporación de los residuos durante el período analizado (Tabla 2), se hallaron sólo algunas diferencias al final del ensayo respecto al inicio. La incorporación de maíz en LC generó un aumento significativo del COP en los primeros 5 cm el perfil, mientras que no se observó ningún efecto en 5-20 cm. En este sistema, la incorporación de soja resultó en una disminución del COP en ambas profundidades. En SD ambas calidades de residuos generaron disminución del COP en 5-20 cm, mientras que no se hallaron cambios en 0-5 cm. La fracción COA, al igual que el COT no presentó diferencias entre el inicio y el final del ensayo en ninguna de las situaciones analizadas. Otras investigaciones a campo hallaron efectos de la calidad de los residuos en el COT y el COA, incluso cuando la cantidad de C aportado fue similar, aunque tales efectos fueron sólo a largo plazo (Kirchman *et al.*, 2004). Helfrich *et al.*, (2008), trabajando en condiciones de laboratorio, y Gentile *et al.* (2011), trabajando a campo,

durante un lapso similar al de este trabajo, tampoco hallaron cambios en el COT ni en su distribución en respuesta a la calidad de los residuos aportados.

CONCLUSIONES

El aporte de residuos de cosecha al suelo no generó cambios en el COT, pero si modificó temporalmente la distribución del C en fracciones. A pesar de que los mayores cambios se hallaron en el COP, el COA también fue sensible a los cambios en el manejo en el corto plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.
- Cotrufo, MF; MD Wallenstein; CM Boot; K Denef & E Paul. 2013. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Glob. Change Biol.* 19: 988-995.
- Curtin, D; MH Beare; CL Scott; G Hernandez-Ramirez & ED Meenken. 2014. Mineralization of soil carbon and nitrogen following physical disturbance: a laboratory assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 78:925-935.
- Cyle, KT; N Hill, K Young; T Jenkins; D Hancoc; PA Schroeder & A Thompson, A. 2016. Substrate quality influences organic matter accumulation in the soil silt and clay fraction. *Soil Biol. Biochem.* 103:138-148
- Dewis, J & F Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. pp. 36-57. Boletín sobre suelos N° 10. FAO. Roma.
- Di Gerónimo, PF; C Videla & GA Studdert. 2018. Incorporación del nitrógeno de residuos e cosecha de distinta calidad a la materia orgánica del suelo. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Miguel de Tucumán. 15-18 de mayo de 2018.
- Gentile, R; B Vanlauwe & J Six. 2011. Litter quality impacts short- but not long-term soil carbon dynamics in soil aggregate fractions. *Ecol. Appl* 21:695–703.
- Haddix, LM; AP Eldor & MF Cotrufo. 2016. Dual, differential isotope labeling shows the preferential movement of labile plant constituents into mineral bonded soil organic matter. *Glob. Change Biol.* 22:2301-2312.
- Helfrich, M; B Ludwig; M Potthoff & H Flessa. 2008. Effect of litter quality and soil fungi on macroaggregate dynamics and associated partitioning of litter carbon and nitrogen. *Soil Biol. Biochem.* 40:1823-1835.
- Kirchmann, H; G Haberhauer; E Kandeler ; A Sessitsch & MH Gerzabek. 2004. Effects of level and quality of organic matter input on carbon storage and biological activity in soil: synthesis of a long-term experiment. *Global Biogeochem. Cy.* 18:GB4011.
- Kuzyakov, Y; JK Friedeleb & k Stahr. 2000. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biol. Biochem.* 32:1485-1498.
- LECO. 2008. Organic application notes. [en línea] <<http://www.leco.com/>> [consultado: 1 de noviembre 2017].
- Mazzilli, SR; AR Kemanian; O Ernst; RB Jackson & G Piñeiro. 2014. Priming of soil organic carbon decomposition induced by corn compared to soybean crops. *Soil Biol. Biochem.* 75:273-281.
- Mazzilli, SR; AR Kemanian; O Ernst; RB Jackson & G Piñeiro. 2015. Greater humification of belowground than aboveground biomass carbon into particulate soil organic matter in no-till corn and soybean crops. *Soil Biol. Biochem.* 85:22-30
- R Development Core Team. 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<http://www.Rproject.org>).
- Schlichting, E; HP Blum, & K Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum*; Berlin/Wien. Blackwell. Wissenschafts-Verlag. 295p.
- Six, J; RT Conant; EA Paul & K Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil.* 241: 155- 176.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service. Washington DC.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Tan, Z; R Lal; L Owens & RC Izaurralde. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil Till. Res.* 92(1): 53-59.