

**CARBONO Y NITRÓGENO RECALCITRANTE EN UN SUELO CON DOS SISTEMAS DE
LABRANZA: EFECTOS DE LARGO PLAZO**

Martínez J.M.^{1,2}, M.R. Landriscini¹, R.J. García²; M.E. Duval^{1,2}; J.A. Galantini³

¹Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida-CONICET, Depto. Agronomía-UNS.

²Depto. Agronomía-UNS.

³Comisión de Investigaciones Científicas (CIC).

RESUMEN: Los cambios de las formas más activas de la materia orgánica (MO) a formas intermedias o pasivas favorece el secuestro de carbono (C) en los suelos. Los objetivos del trabajo fueron i) evaluar los cambios de largo plazo en las fracciones recalcitrantes de C y nitrógeno (N) y ii) calcular el índice de recalcitrancia (IR) de estas fracciones en un suelo ubicado en un sitio subhúmedo del sudoeste bonaerense. La experiencia se realizó sobre un ensayo de larga duración en un suelo Argiudol Típico con dos sistemas de labranza contrastantes: labranza convencional (LC) y siembra directa (SD). Se tomaron muestras de suelo en los años 2003, 2009 y 2015 en las profundidades de 0-5 y 0-20 cm. Se determinó C orgánico total (COT), N total (Nt), C y N orgánico recalcitrante (COR y NOR). Además se calculó el IR de C (IRC) y de N (IRN). Los niveles de COT y Nt fueron mayores en SD en ambas profundidades y para todos los años. El COR en la profundidad 0-5 cm mostró diferentes efectos tanto por la labranza como por los años. En 0-20 cm, sólo mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre años, sin efecto por la labranza. Por otra parte, el NOR evidenció diferencias altamente significativas entre sistemas de labranza y años en 0-5 cm, y diferencias significativas entre años para 0-20 cm. El IRC en superficie mostró diferencias entre los sistemas de labranza. La mayor acumulación del C y N en SD no resultó en una mayor humificación de las fracciones lábiles a formas estables. El secuestro de C en superficie mostró variabilidad con respecto al tiempo, mientras que en 0-20 cm no demostró estar asociado a los sistemas de labranza pero sí al efecto del año.

PALABRAS CLAVE: ensayo de largo plazo, fracciones orgánicas, secuestro de C.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) es el componente edáfico fundamental, dado que influye sobre muchas propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Diovisalvi *et al.*, 2008). Además, es el atributo del suelo que con más frecuencia se utiliza en los estudios de largo plazo como un indicador importante de su calidad agronómica (Reeves, 1997). Está compuesta principalmente de C (Rosell *et al.*, 2001) y se encuentra en compartimentos diferentes que le dan distinto grado de protección (Duval *et al.*, 2016).

La captura y almacenamiento del C atmosférico en los suelos en formas estables es denominado secuestro de C (Muñoz-Romero *et al.*, 2017). Para esto, debe existir una conversión de las fracciones más activas de la MO a formas intermedias o pasivas (Wang & Hsieh, 2002). Es por esto, que la capacidad de medir la cantidad de C acumulado en los suelos en sus diferentes fracciones es crucial para entender el ciclado de los ecosistemas terrestres (Ellert *et al.*, 2001).

En las últimas décadas, se han desarrollado varias técnicas para separar las diferentes fracciones, tratando de identificar las fracciones lábiles y estables, y su funcionalidad en la estructura del suelo (Galantini & Suñer, 2008). Las fracciones lábiles se componen de MO particulada y la fracción recalcitrante está compuesta de materiales orgánicos que son altamente resistentes a tratamientos químicos específicos, debido a su composición y a su asociación con minerales del suelo (Muñoz-Romero *et al.*, 2017). Por esta razón, esta fracción que es estable en el largo plazo cobra una mayor relevancia en el secuestro de C, con respecto a las fracciones lábiles (Laganriere *et al.*, 2010).

Paul *et al.* (2006) demostraron que la hidrólisis ácida libera fracciones de C que difieren significativamente en su composición, y su análisis puede ayudar a comprender las contribuciones relativas de las diferentes formas de C, y sus respuestas a variables ambientales bajo diferentes prácticas agrícolas. La fracción no hidrolizable representa el grupo recalcitrante y su tamaño relativo con respecto al COT se denomina IR (Rovira & Vallejo, 2002). Estos mismos autores argumentaron que el IRC y el IRN pueden utilizarse como indicadores globales de la calidad del C y N orgánico del suelo. El objetivo de este estudio fue i) evaluar los cambios de largo plazo de las fracciones recalcitrantes de C y N; y ii) calcular el IR de estas fracciones en un suelo con dos sistemas de labranza en un sitio subhúmedo del sudoeste bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en el establecimiento Hogar Funke (38° 07' 06" S- 62° 02' 17" O) ubicado en el partido de Tornquist, Provincia de Buenos Aires. El suelo fue clasificado como Argiudol Típico, profundo (perfil mayor de 1 m de profundidad), de textura franca en el horizonte A y franco-arcillosa en el B₂. De acuerdo a Thornthwaite, el clima es subhúmedo, con temperatura media anual de 14,5°C. Sobre dos parcelas de 8 has cada una se plantearon desde el año 1986, dos sistemas de labranza: SD y LC. Sobre cada sistema se ubicaron tres parcelas de 36 m² en un diseño experimental en bloques completos al azar. Los detalles de cada tratamiento fueron:

- SD: Ausencia de labranza, con la superficie del suelo con mayor de 30% de cobertura de residuos. En general, se realizaron 2-3 aplicaciones del herbicida glifosato para el barbecho químico.
- LC: Labranza con arado y rastras de disco a una profundidad de 10-15 cm.

En 2003, 2009 y 2015 se tomaron muestras de suelo compuestas (15-20 muestras simples) a las profundidades de 0-5 y 0-20 cm sobre ambos tratamientos. Las muestras se obtuvieron cada 6 años luego de 17 años de comenzado el ensayo.

Las muestras se secaron al aire y se tamizaron por 2 mm. En éstas se determinó el CO total (COT) por el método de combustión seca con analizador automático LECO C Analyzer, y Nt por el método semi-micro Kjeldahl (Bremner, 1996). Posteriormente, se sometieron las muestras a una hidrólisis ácida de acuerdo al método descrito por Leavitt *et al.* (1996). Básicamente, 2 g de suelo fueron sometidos a un reflujo en tubos de digestión con 20 ml de HCl 6 M (relación 1:10) a 118°C durante 18 horas. La suspensión se lavó y centrifugó tres veces con agua destilada. El residuo se secó en estufa a 60°C y se pesó. Se asumió que esta fracción contiene solamente la porción recalcitrante del suelo. El contenido de C de esta fracción se determinó por combustión seca por el método antes descripto. El NOR también se determinó por el método ya explicado. El grado de recalcitrancia se expresó como IR para C y N con las ecuaciones propuestas por Rovira & Vallejo (2002):

$$\text{IRC (\%)} = (\text{COR/COT}) * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{IRN (\%)} = (\text{NOR/Nt}) * 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

El efecto de las variables tratamiento (sistemas de labranza) y año, junto a sus interacciones, se evaluaron mediante análisis de la varianza (ANOVA) doble. Cuando existieron diferencias entre tratamientos, se calculó la diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de probabilidad de $p < 0,05$. Los análisis se realizaron utilizando el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El COT mostró valores diferentes por efecto del sistema de labranza según año (interacción significativa, $p=0,033$) en la capa superficial, por lo que el efecto se evaluó anualmente (Tabla 1). En cada año evaluado, se observaron mayores valores de COT bajo SD, pero en 2015 disminuyó. En 0-20 cm se observaron diferencias significativas entre sistema de labranza ($p=0,049$) y entre

años ($p=0,017$). En esta profundidad la SD mostró los mayores valores de COT siguiendo tendencia similar a lo visto en 0-5 cm.

Tabla 1. Carbono orgánico total y recalcitrante, nitrógeno orgánico total y recalcitrante (media \pm desvío estándar), y análisis de la varianza según sistema de labranza, año y profundidad.

Fracción (g kg^{-1})	Sistema de labranza	año	Profundidad (cm)		
			0-5	0-20	
COT	LC	2003	18,7 \pm 2,2	16,6 \pm 0,5	
		2009	19,5 \pm 0,8	18,1 \pm 0,7	
		2015	21,5 \pm 1,2	18,1 \pm 0,9	
	SD	2003	24,6 \pm 0,9	17,8 \pm 0,4	
		2009	24,6 \pm 1,1	19,5 \pm 0,8	
		2015	23,0 \pm 1,5	18,0 \pm 1,3	
	Sistema de labranza (SL)			***	*
	Año (A)			<i>ns</i>	**
	SLxA			*	<i>ns</i>
	Nt	LC	2003	1,46 \pm 0,17	1,35 \pm 0,03
			2009	1,47 \pm 0,01	1,39 \pm 0,10
			2015	1,68 \pm 0,03	1,47 \pm 0,04
SD		2003	2,02 \pm 0,07	1,49 \pm 0,03	
		2009	1,83 \pm 0,29	1,47 \pm 0,03	
		2015	2,08 \pm 0,18	1,56 \pm 0,09	
Sistema de labranza (SL)			***	**	
Año (A)			<i>ns</i>	*	
SLxA			<i>ns</i>	<i>ns</i>	
COR		LC	2003	14,9 \pm 0,6	11,8 \pm 0,6
			2009	13,2 \pm 1,6	13,0 \pm 1,0
			2015	12,0 \pm 1,4	10,8 \pm 0,6
	SD	2003	12,8 \pm 0,4	12,2 \pm 0,3	
		2009	15,6 \pm 0,1	12,9 \pm 0,9	
		2015	15,5 \pm 0,5	12,2 \pm 1,1	
	Sistema de labranza (SL)			*	<i>ns</i>
	Año (A)			<i>ns</i>	*
	SLxA			***	<i>ns</i>
	NOR	LC	2003	0,55 \pm 0,02	0,52 \pm 0,02
			2009	0,76 \pm 0,09	0,80 \pm 0,09
			2015	0,66 \pm 0,03	0,65 \pm 0,03
SD		2003	0,66 \pm 0,03	0,58 \pm 0,03	
		2009	0,86 \pm 0,09	0,75 \pm 0,02	
		2015	0,81 \pm 0,01	0,68 \pm 0,02	
Sistema de labranza (SL)			***	<i>ns</i>	
Año (A)			***	***	
SLxA			<i>ns</i>	<i>ns</i>	

SD, siembra directa; LC, labranza convencional. COT, carbono orgánico total; Nt, nitrógeno total; COR, carbono orgánico recalcitrante; NOR, nitrógeno orgánico recalcitrante. *, **, ***, indican diferencias significativas con p-valor de 0,05; 0,01, 0,001, respectivamente; *ns*, sin diferencias significativas.

Los valores observados en 0-5 cm fueron los esperados como consecuencia de la mayor acumulación de los residuos de cultivos generada por la SD, que producen una mayor estratificación superficial del COT (Blanco-Canqui & Lal, 2008; Martínez *et al.*, 2017). Sin

embargo, en 0-20 cm los valores de COT en LC, podrían atribuirse al aumento de la oxidación de la MO en la profundidad de laboreo (10-15 cm), tanto como a la erosión producida en este sistema de labranza mencionada en otros trabajos (Galantini *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2017). Es importante destacar que la tendencia observada con los mayores contenidos de COT en SD respecto a LC, ha sido ampliamente reportada en numerosos trabajos (Duval *et al.*, 2013; Brar *et al.*, 2013).

Respecto al Nt, nuevamente la SD produjo los mayores valores con efectos significativos ($p < 0,01$) entre labranzas en las dos profundidades (Tabla 1). En 0-20 cm se hallaron diferencias significativas por efecto del año ($p < 0,05$). Las diferencias superficiales a favor de la SD pueden desaparecer o revertirse si se consideran profundidades de suelo mayores de 10 a 15 cm (Jagadamma & Lal, 2010), sin embargo, estos resultados indicarían que los sistemas de labranza a largo plazo afectarían la calidad de la MO no sólo en superficie, sino también en 0-20 cm.

El COR en 0-5 cm, siguió la misma tendencia que el COT mostrando un efecto diferente entre los sistemas de labranza para los distintos años de estudio (interacción significativa). Esto indicaría que esta fracción de C se ve influida por el manejo de suelo y que el secuestro de C también es dependiente de otros factores para cada año de la experiencia. En 0-20 cm, el COR sólo demostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre años, sin efecto del sistema de labranza. Esto indica que a pesar del incremento del COT en 0-5 y 0-20 cm bajo SD, no se produjo un incremento de la humificación de las fracciones lábiles hacia las fracciones más estables del C. Posiblemente, esto se deba a la influencia del aporte de residuos de cultivos, los cuales son muy variables bajo las condiciones de este estudio. En el caso del NOR se observaron diferencias altamente significativas por sistemas de labranza y años en 0-5 cm, y diferencias significativas entre años en 0-20 cm. Los resultados demuestran que las fracciones recalcitrantes de C y N tienen una dinámica diferente según el sistema de labranza, lo cual podría estar relacionado con la calidad de los residuos aportados.

Cuando se evaluó el IRC, se halló una interacción significativa del efecto del sistema de labranza y año para ambas profundidades. En cada año los resultados fueron variables en 0-5 cm según el sistema de labranza (Figura 1a), mientras que en 0-20 cm, se observaron diferencias entre sistemas de labranza sólo en 2015, con mayores valores en SD.

Los valores de IRC promedios fueron diferentes según sistema de labranza con valores de 68,1% y 60,9% en 0-5 cm para LC y SD, respectivamente. Contrariamente, cuando se analizó en la capa de 0-20 cm, los valores fueron similares ($IRC = 67,4\%$) en ambos sistemas de labranza. Estos valores de IRC son coincidentes a otros estudios (Plante *et al.*, 2006; Silveira *et al.*, 2008), y permiten inferir que en profundidad (0-20 cm) no se puede evaluar el efecto del sistema de labranza sobre la recalcitrancia del C.

El IRN en la capa superficial sólo demostró diferencias entre los años de muestreo, con el mayor valor en 2009 (Figura 1b). En 0-20 cm, se detectaron efectos diferentes de los sistemas de labranzas según los años (interacción significativa). Sólo se detectaron diferencias entre sistemas de labranza en 2009 con mayores valores de IRN en LC. Los valores de IRN oscilaron entre 39,7% (SD) y 43,4% (LC) en 0-5 cm; 46,6% (LC) y 44,4% (SD) en 0-20 cm. De acuerdo a las proporciones relativas de COR y NOR en relación al COT y Nt, se observó que el C fue más resistente a la hidrólisis ácida con respecto al N, en coincidencia a lo hallado por Rovira & Vallejo (2002). Además, estos autores demostraron la influencia de los factores climáticos principalmente las precipitaciones sobre los IR, por lo que la variabilidad encontrada en este estudio podría deberse a este factor en ambiente subhúmedo.

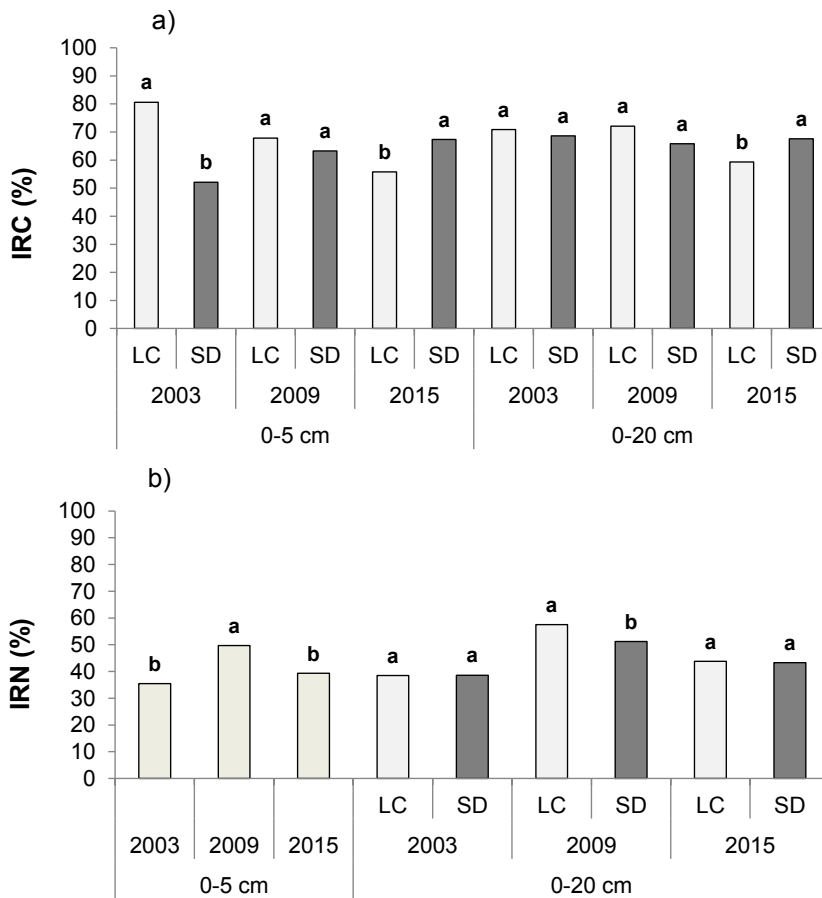


Figura 1. Índice de recalcitrancia de a) carbono (IRC) y b) nitrógeno (IRN) según sistema de labranza, profundidad y año.

CONCLUSIONES

La mayor acumulación del C y N bajo SD no repercutió en el largo plazo en una mayor humificación de las fracciones lábiles en formas estables para ninguna de las dos profundidades de muestreo. El secuestro de C resultó ser variable en superficie con respecto al tiempo, mientras que en 0-20 cm no demostró estar asociado al sistema de labranza pero sí al efecto del año. La variabilidad observada en el IR de C y N fue causada por las condiciones climáticas imperantes independientemente del sistema de labranza, demostrando una falta de estabilidad de las fracciones orgánicas de la MO en este sitio.

BIBLIOGRAFÍA

- Blanco-Canqui, H & R Lal. 2008. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: an on farm assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 693-701.
- Bremner, JM. 1996. Nitrogen total. In: *Methods of soil analysis. Part 3: Chemical Methods*; Sparks, DL (ed). Pp. 1085-1123. SSSA. Madison, WI.
- Buschiazzo, D; J Panigatti & P Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49: 105-116.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2013. InfoStat, versión 2013, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba (Argentina).
- Diovisalvi, NV; GA Studdert; GF Domínguez & MJ Eiza. 2008. Fracciones de carbono y nitrógeno orgánicos y nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continua con dos sistemas de labranza. *Ci. Suelo* 26 (1): 1-11.

- Duval, M; JA Galantini; JO Iglesias & H Krüger. 2013. El cultivo de trigo en la región semiárida bonaerense: impacto sobre algunas propiedades químicas del suelo. *Rev. Invest. Agrop. (RIA- INTA)* 39:178-184.
- Duval, ME; JA Galantini; JM Martínez; FM López & LG Wall. 2016. Sensitivity of different soil quality indicators to assess sustainable land management: Influence of site features and seasonality. *Soil Till. Res.* 159: 9-22.
- Ellert, BH; HH Janzen & BG McConkey. 2001. Measuring and comparing soil carbon storage. *In: R Lal; J Kimble; R Follett & B Stewart (eds). Assessment Methods for Soil Carbon.* Lewis Publishers. Pp. 131-146.
- Galantini, JA; JO Iglesias; C Maneiro; L Santiago & C Kleine. 2006. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense: efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. *Rev. Invest. Agrop. (RIA-INTA)* 35:15–30.
- Galantini, JA; L Suñer. 2008. Soil organic matter fractions: analysis of Argentine soils. *Agriscientia* 25: 41–55.
- Jagadamma, S & R Lal. 2010. Distribution of organic carbon in physical fractions of soils as affected by agricultural management. *Biol. Fert. Soils* 46:543–554.
- Laganiere, J; D Angers & D Paré. 2010. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.* 16:439–453.
- Leavitt, S.W., Follett, R.F., Paul, E.A., 1996. Estimation of slow- and fast-cycling soil organic carbon pools from 6 N HCl hydrolysis. *Radiocarbon* 38, 231–239.
- Martínez, JM; JA Galantini; ME Duval & FM López. 2017. Tillage effects on labile pools of soil organic nitrogen and relationships with wheat crop in a semi-humid climate: A long-term field study. *Soil Till. Res.* 169:71-80.
- Muñoz-Romero, V; RJ López-Bellido; P Fernández-García; R Redondo; S Murillo & L López-Bellido. 2017. Effects of tillage, crop rotation and N application rate on labile and recalcitrant soil carbon in a Mediterranean Vertisol. *Soil Till. Res.* 169:118-123.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In: DL Sparks (ed.). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods.* ASA y SSSA, Madison, Wi. Pp. 961–1010.
- Reeves, DW. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43: 131–167.
- Rosell, RA; JC Gasparoni & JA Galantini. 2001. Soil organic matter evaluation. *In: R Lal et al. (eds.). Assessment Methods for Soil Carbon. Serie Advances in Soil Science,* CRC Press, Boca Raton, FL. Pp. 311-322.
- Rovira, P & VR Vallejo. 2002. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. *Geoderma* 107: 109–141.
- Silveira, ML; NB Comerford; KR Reddy; WT Cooper & H El-Rifai. 2008. Characterization of soil organic carbon pools by acid hydrolysis. *Geoderma* 144: 405-414.
- Wang, Y & YP Hsieh. 2002. Uncertainties and novel prospects in the study of the soil carbon dynamics. *Chemosphere* 49: 791–804.