



EFFECTOS DE SECUENCIAS DE CULTIVO CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE EL CARBONO ORGÁNICO EN EL CENTRO SUR BONAERENSE

Borisov, J.A.^{1,2*}; J.M. Martínez²; L. Manso³; H.J. Forján³

¹Bolsa de Cereales y Productos Bahía Blanca; ²CERZOS-CONICET, Dpto. Agronomía-Universidad Nacional del Sur; ³Chacra Experimental Integrada Barrow, Tres Arroyos. Provincia de Buenos Aires Centro de investigación. *Saavedra 636 (8000) Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires, julian.borisov@hotmail.com

RESUMEN: El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes secuencias de cultivos con fertilización nitrogenada sobre el nivel y estratificación del carbono orgánico del suelo (COS), al final del tercer ciclo de un ensayo de largo plazo bajo siembra directa (SD) ubicado en la Chacra Experimental Integrada Barrow. El diseño es de bloques completos aleatorizados con parcela dividida. En la parcela principal se contrastan secuencias de cultivo, y en la subparcela se ensayan dos dosis de nitrógeno (N) (N0 y N1) variables en forma de urea. En 2016, se tomaron muestras compuestas de suelo (0-5 cm y 5-20 cm) de un ensayo de larga duración con diferentes secuencias y con fertilización nitrogenada. Las secuencias fueron: conservacionista (AC); rotación mixta con verdeos (AMv); mixta con pasturas (AM); una agrícola intensa (AI) y por último con base en oleaginosas (AO), en todas con trigo (*Triticum aestivum* L.) como cultivo antecesor. Se midió el COS con analizador automático en ambas profundidades y se calculó el valor en la profundidad 0-20 cm. El ANOVA doble no demostró interacción significativa (secuencia x fertilización nitrogenada) para ninguna de las tres profundidades ($p > 0,15$). En 0-5 cm, se detectó un efecto significativo de las secuencias y la fertilización sobre el COS. Mientras que en 5-20 y 0-20 cm, sólo se halló un efecto de la fertilización nitrogenada. La secuencia AM presentó el mayor COS en el horizonte superficial mientras que AO el menor evidenciando que la dinámica del carbono en el suelo puede ser modificada por la elección de cultivos. La fertilización nitrogenada afectó al COS en todas las profundidades. La secuencia que maximizó la estratificación de la materia orgánica fue AM. En el largo plazo, el manejo mixto con pasturas y verdeos produjeron una menor degradación del suelo con respecto a las otras secuencias.

PALABRAS CLAVE:

experimento de largo plazo, siembra directa, sistemas mixtos y agrícolas

INTRODUCCION

Los experimentos de larga duración (ELD) son un insumo para la investigación prospectiva en el monitoreo de calidad edáfica (Reeves, 1997). En el centro sur bonaerense se realizan ensayos de secuencias de cultivos y rotaciones, desde hace más de 30 años (Forjan, 2016). El avance de la siembra directa (SD) en la región ha tenido como consecuencia la inclusión de suelos relativamente más someros al uso agrícola por lo que resulta esencial evaluar la sostenibilidad de estos agrosistemas. La sostenibilidad está influenciada en muchos sistemas de producción por la práctica de manejo que contribuye al mantenimiento o la invariación de la materia orgánica del suelo (MOS) y su contenido de carbono (C), (Studdert & Echeverría, 2000).

El C es el principal componente de la MOS y es de importancia vital en la provisión de energía, sustratos, así como en la diversidad biológica necesaria para sostener numerosas funciones del suelo (Duval *et al.*, 2014; Martínez *et al.*, 2018). En los últimos años, no sólo se ha dejado de lado la alternancia de cultivos agrícolas con pasturas, sino que se ha incrementado la frecuencia de cultivos como la soja, lo que puede sumar efectos negativos al funcionamiento

del sistema (Duval *et al.*, 2013), debido a la diferencia en la composición y aporte de C de sus residuos. A través de la rotación de cultivos, es posible manipular las oportunidades, la cantidad y el mecanismo de retorno de C al suelo y las características y distribución temporal de los residuos del cultivo (Campbell, 1978). Por otro lado, la estratificación de la MOS es un proceso usual en los ecosistemas naturales (Franzluebbers, 2002), definiéndose como la relación entre el contenido entre la capa superficial muestreada y una capa subsuperficial con mayor y menor influencia de las prácticas de manejo, respectivamente (Costantini *et al.*, 2010). Diferentes autores (Franzluebbers, 2002; Díaz Zorita & Grove, 2002) indican que el grado de estratificación se puede utilizar como un indicador de calidad del suelo y del funcionamiento del agrosistema. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes secuencias de cultivos con fertilización nitrogenada sobre la dinámica del COS para detectar cambios y variabilidad en el mediano plazo en un ensayo de largo plazo bajo SD del Centro Sur bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo en un ELD, instalado desde 1998 en la Chacra Experimental Integrada Barrow (38°19'25" S; 60°14'33" O), en el partido de Tres Arroyos, Provincia de Buenos Aires. El objetivo del experimento fue estudiar rotaciones y secuencias de cultivo bajo siembra directa (Forján, 2016).

El área de influencia de la Chacra Experimental de Barrow es el centro sur bonaerense. La clasificación climática es mesotermal subhúmeda. Las precipitaciones disminuyen desde el este al oeste, con un promedio histórico de lluvias de 750 mm. La temperatura media anual es de 14,9 °C, siendo la máxima y la mínima de 20,4°C y 7,4 °C, en ese orden.

El ELD se implantó en un lote con profundidad de suelo de 50 cm limitada por el horizonte petrocálcico. El diseño es de 4 bloques completos aleatorizados con parcela dividida. En la parcela principal se contrastan cinco secuencias de cultivo, tres exclusivamente agrícolas y dos mixtas. En la subparcela se ensayan, desde 2003, dosis de N aplicado en todos los cultivos a excepción de soja. El N es aplicado como urea al inicio del macollaje en gramíneas y en primeros estadios para maíz, sorgo, colza y girasol, además todos los cultivos son fertilizados con P a la siembra. A la fecha se han cumplido 3 ciclos completos de las secuencias. En 2003, 2009 y 2015 (final de cada ciclo), se sembró trigo en todas las parcelas. Mayores detalles sobre los ciclos del ensayo se encuentran en una publicación anterior (Forján, 2016, Suñer *et al.*, 2018; Borisov *et al.*, 2018). En abril de 2016 se muestrearon todas las unidades experimentales a las profundidades de 0-5 y 5-20 cm. Se seleccionaron 120 muestras provenientes de las secuencias #1, #2, #3, #4 y #5, cuyos tratamientos se describen en la Tabla 1. A los efectos de este estudio, dentro de la secuencia #4 se utilizaron los tratamientos N0cc y N1cc como las dos dosis de N. Para la comparación entre tratamientos se consideró, además, la profundidad de 0-20 cm, a través del promedio ponderado de los resultados de COS las profundidades muestreadas. Además, se tomaron muestras compuestas de suelo de un sector contiguo al ensayo de largo plazo sin actividad antropogénica considerado como referencia (Nat.).

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas por una malla de 2 mm. Se determinó el CO total por combustión seca con analizador automático (Leco Carbon Analyzer, CR12, Leco Corporation, St. Joseph, Michigan, USA). Para obtener el índice de estratificación (IE) en los tratamientos sin fertilizar (N0) se calculó según la ecuación (Ec. 1) de Franzluebbers (2002):

$$IE = (\text{COT (g kg}^{-1}\text{) 0-5 cm}) / (\text{COT (g kg}^{-1}\text{) 5-20 cm}) \quad (\text{ecuación 1})$$

El análisis estadístico incluyó medidas resumen, análisis de la varianza (ANOVA) para estudiar el efecto de la secuencia y la fertilización en forma conjunta y análisis de los índices de estratificación del COS. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008).

Tabla 1. Tratamientos en parcela principal y dividida.

Secuencia	#1		#2		#3		#4		#5	
Parcela principal	Agrícola conservacionista (AC)		Mixto: rotación con pasturas (AM)		Agrícola oleaginosa (AO)		Mixto: rotación con verdeos (AMv)		Agrícola intenso (AI)	
Parcela dividida	N0	N1	N0	N1	N0	N1	N0cc	N1cc	N0	N1

N0, N1: 0, 65, respectivamente, (para trigo, cebada, sorgo, maíz y colza). En girasol 0 y 30 kg N/ha, en ese orden.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se muestran los valores de COS para cada secuencia en las tres profundidades. Las cajas son, en su mayoría, bastante simétricas con respecto al eje de la mediana. Además, los puntos que representan al promedio se encuentran próximos a las medianas.

Se puede observar los mayores contenidos de COS en la capa superficial coincidiendo con lo expuesto por otros autores (Domínguez *et al.*, 2009; Powlson *et al.*, 2014; Studdert *et al.*, 2017).

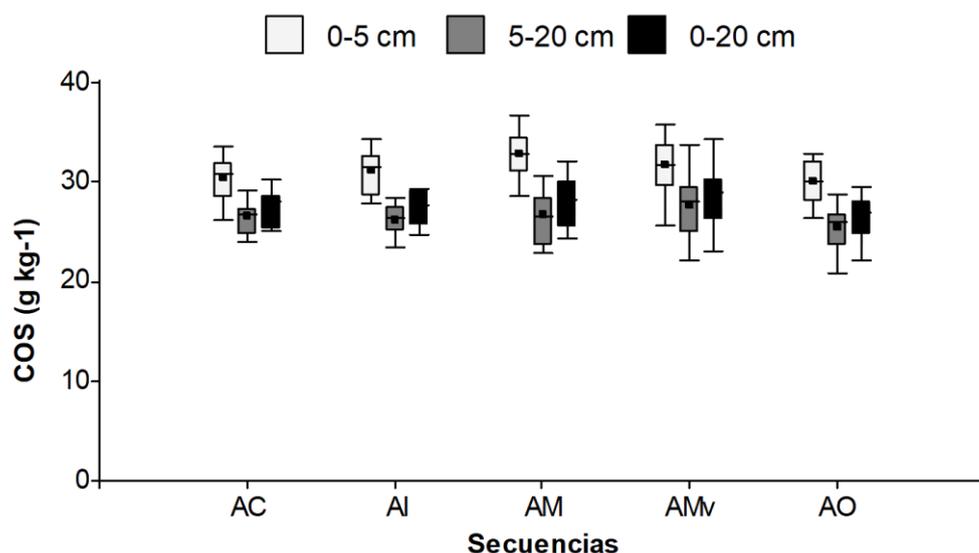


Figura 1. Gráfico de cajas y brazos para el carbono orgánico del suelo (COS) según secuencias para 0-5 cm, 5-20 cm y 0-20 cm.

Para todas las profundidades, el ANOVA doble no presentó interacción significativa ($p < 0,05$) del efecto conjunto de la secuencia y la fertilización nitrogenada, por lo cual se realizó el análisis verificando el efecto de la fertilización y secuencia para cada profundidad (Tabla 2). El efecto de la secuencia fue significativo ($p = 0,03$) solo a la profundidad de 0-5 cm coincidiendo con Eiza *et al.*, 2005 quien informó sobre diferencias significativas del COS en la capa más superficial.

La secuencia AO mostró el menor valor debido a la mayor participación de cultivos con menores volúmenes y menor relación C/N de los rastrojos. La mayor frecuencia de los cultivos de baja producción de biomasa aérea, como la soja, produce mayores disminuciones de COS (Studdert *et al.*, 2000). Los valores de COS bajo AI y AMv fueron intermedios. La secuencia AM se diferenció del resto presentando el mayor valor de COS. Esto podría deberse a que la incorporación de la pastura en la rotación cumplió un rol importante en la producción de biomasa vegetal, distribución de raíces en el suelo y garantizar la reposición de CO en el suelo (Forjan 2016). Este efecto coincide con lo expuesto por Eiza *et al.*, (2005) quien demostró que las rotaciones con pasturas presentaron los mayores valores de COS en la profundidad 0-5 cm. Para el resto de las profundidades no se verificó un efecto de las secuencias, sin embargo, se evidencia el efecto significativo de la fertilización nitrogenada. La fertilización nitrogenada

demonstró efectos significativos en las tres profundidades evaluadas. Esto podría demostrar el efecto benéfico de la fertilización nitrogenada sobre la producción de biomasa de los cultivos y posterior aporte de C por los residuos (Duval *et al.*, 2013). Comparando las dosis de N, N1 siempre produjo aumentos del COS con respecto a N0. Además, coincide a lo expuesto por Salinas-García *et al.* (1997) quienes concluyeron que la fertilización nitrogenada podría reducir los efectos negativos de una agricultura intensiva sobre el componente orgánico del suelo.

Tabla 2. Valores (media±desvío estándar) de COS según secuencias y fertilización nitrogenada para cada profundidad

Secuencia	Fertilización nitrogenada	Profundidad (cm)		
		0-5	5-20	0-20
AC	N0	28,5±1,7	25,5±1,8	26,2±1,6
AM	N0	31,5±2,4	25,7±1,8	25,4±2,3
AO	N0	28,8±1,8	24,2±2,4	27,1±1,8
AMv	N0	29,3±2,6	25,9±3,2	26,8±3,0
AI	N0	29,2±1,2	24,9±1,1	26,0±1,0
AC	N1	32,4±1,1	27,5±1,2	28,7±1,2
AM	N1	34,3±2,5	27,9±3,0	27,9±2,2
AO	N1	31,3±2,2	27,6±0,8	29,5±2,9
AMv	N1	34,3±1,6	26,8±2,2	30,7±2,9
AI	N1	33,1±0,8	29,5±3,3	28,9±0,6
Secuencia (S)		***	ns	ns
Fertilización (F)		*	*	*
SXF		ns	ns	ns

(***), (**), (*) y ns indican efectos significativos al 0,05; 0,01; 0,001 y no significativo, respectivamente.

Índice de estratificación del COT de acuerdo con el ciclo de secuencias

El ANOVA del IE demostró diferencias altamente significativas ($p=0,0014$) entre las secuencias. Como era de esperarse, el mayor valor se halló en Nat., sin embargo, las secuencias AI y AM no difirieron estadísticamente. Esto podría deberse al efecto benéfico de la inclusión de pasturas sobre la acumulación de MOS, mientras que en AI el suelo posee cobertura y aportes de C de forma continua. Esto coincide a lo hallado con Franzluebbbers *et al.* (1998) quienes demostraron un mayor aporte de C en secuencias con alta intensidad de cultivos. El menor IE se halló en AC, pudiéndose atribuir a que la menor frecuencia de cultivos suministró menores cantidades de residuos en superficie. Sin embargo, ningún valor de IE se aproximó al 2, propuesto por Franzluebbbers (2002) para suelos bajo SD. Esto demostraría que, en el largo plazo, ninguna secuencia mejoró la calidad del suelo.

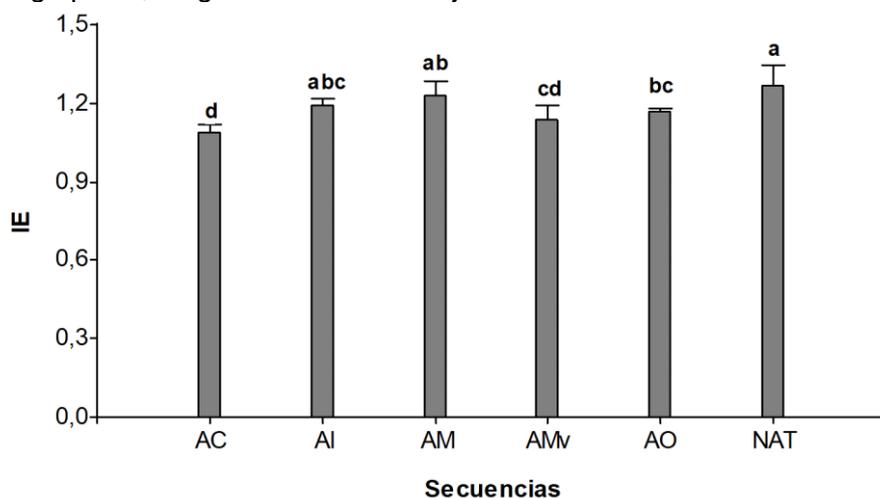


Fig. 3 Relaciones de estratificación entre 0-5 cm y 5-20 cm. Letras minúsculas distintas indican diferencias según DMS con $p<0,05$. Barras verticales indican el desvío estándar.

CONCLUSIONES

En el largo plazo, sólo se observaron efectos de las secuencias sobre el COS en la capa más superficial, mientras que la fertilización nitrogenada afectó positivamente al COS en todas las profundidades evaluadas. Las secuencias que en el largo plazo presentaron IE similares al ambiente sin actividad antropogénica fueron AM y AI, sin embargo, ninguna secuencia demostró mejorar la calidad del suelo luego de tres ciclos de un ensayo de ensayo de largo plazo bajo SD.

BIBLIOGRAFIA

- Borisov JA, MM Ron, JM Martínez, ML Manso & HJ Forján. 2018. Sensibilidad del nitrógeno anaeróbico en diferentes secuencias de cultivos bajo siembra directa. En XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Miguel de Tucumán.
- Campbell CA. 1978. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. p.173–271. En M. Schnitzer and S.U. Khan (ed.) Soil organic matter. Developments in Soil Science 8. Elsevier Scientific, Amsterdam, the Netherlands.
- Costantini A, C Alvarez, CR Álvarez, E Martellotto & E Lovera. 2010. Uso de la relación de estratificación del carbono orgánico como indicador de efectos del manejo sobre el suelo y el secuestro de carbono. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 31 de mayo al 4 de junio de 2010. Rosario, Argentina. AACCS
- Díaz-Zorita M & JH Grove. 2002. Duration of tillage management affects carbon and phosphorus stratification in phosphatic Paleudalfs. Soil Till. Res. 66, 165– 174.
- Di Rienzo JA, F Casanoves, MG Balzarini, L Gonzalez, M Tablada & CW Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008. Grupo infoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Domínguez GF, NV Diovisalvi, GA Studdert & MG Monterubbianesi. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern pampas. Soil Tillage Res. 102: 93-100.
- Duval M, JA Galantini, JO Iglesias & HR Kruger. 2013. El cultivo de trigo en la región semiárida bonaerense: impacto sobre algunas propiedades químicas del suelo. Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) 39: 178-184.
- Duval ME, E De Sá Pereira, JO Iglesias & JA Galantini. 2014. Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un argiudol. Ci. Suelo 32(1), 105- 115.
- Eiza MJ, N Fioriti, GA Studdert & HE Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. Ci. Suelo 23: 59-68.
- Forján HJ. 2016. Historia de los ensayos de rotaciones de la Chacra Experimental Integrada Barrow. En: Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro-sur bonaerense: 30 años de experiencias. Ed. HJ Forján & ML Manso. 1a ed. Ediciones INTA Tres Arroyos, Buenos Aires.
- Franzluebbers AJ, FM Hons & DA Zuberer. 1998. In situ and potential CO₂ evolution from a Fluventic Ustochrept in southcentral Texas as affected by tillage and cropping intensity. Soil Till. Res. 47, 303–308.
- Franzluebbers AJ. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil & Tillage Research 66 (2002) 95–106.
- Martínez JM, JA Galantini, ME Duval, FM López & JO Iglesias. 2018. Estimating soil organic carbon in Mollisols and its particle-size fractions by loss-on-ignition in the semiarid and semihumid Argentinean Pampas. Geoderma Regional, 12: 49-55.
- Powlson DS, CM Stirling, ML Jat, BG Gerard, CA Palm, PA Sanchez & KG Cassman. 2014. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. Nature Climate Ch. 4: 678-683.
- Salinas-García JR, FM Hons & JE Matocha. 1997. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J., 61:152-159.
- Studdert GA & HE Echeverría. 2000. Crop Rotations and Nitrogen Fertilization to Manage Soil Organic Carbon Dynamics. Published in Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1503–1514.

- Studdert GA, MN Domingo, GV García, MG Monterubbianesi & GF Domínguez. 2017. Carbono orgánico del suelo bajo sistemas de cultivo contrastantes y su relación con la capacidad de proveer nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 35(2):285-299.
- Suñer L, RJ García, JA Galantini, H Forján & A Paz González. 2018. Edaphic forms of phosphorus in no-tillage cropping sequences in the Argentine southern central Pampas. *Geoderma*, 323, 107-115.
- Reeves DW. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43: 131–167.