

FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS Y CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE EN UN SUELO TÍPICO DEL CENTRO SUR BONAERENSE (ARGENTINA)

MARÍA ESTER MANDOLESÍ¹; ROMINA STORNIOLLO¹; MARINA LUCRECIA MANSO²; HORACIO JOSÉ FORJÁN² & MARÍA DE LAS MERCEDES RON^{1*}

Recibido: 18-02-14

Recibido con revisiones: 25-03-14

Aceptado: 26-05-14

RESUMEN

Los componentes orgánicos edáficos reflejan los cambios debidos al uso de la tierra y manejo del suelo. En un ensayo del centro sur bonaerense (Argentina) se plantearon los siguientes objetivos: 1) comparar las fracciones del COS, determinadas por tamizado húmedo, con variables estimadas a partir del grado de oxidación del carbono orgánico edáfico (COS) en muestras de suelo, 2) explorar la oxidabilidad del COS en fracciones granulométricas y determinar el nitrógeno orgánico (NOS) en el suelo y en FG y 3) evaluar el efecto del uso previo, del sistema de labranza y de las características del muestreo (momento y profundidad) sobre las variables estudiadas. En las muestras de suelo (0-20 cm) se separaron dos fracciones por tamizado húmedo: gruesa (FG >100 µm) y fina (FF <100 µm). En el suelo, FF y FG se determinaron: a) el contenido de COS oxidable por Walkley & Black y a concentraciones de H₂SO₄ en el digesto de 12 y 18 Eq L⁻¹; b) el COS total por combustión seca y c) el NOS. Las variables determinadas a 12 y 18 Eq L⁻¹ en el suelo (COX₁₂ y COX₁₈) se relacionaron significativamente con el COS en FG. La oxidabilidad del COS en las fracciones reflejó su heterogeneidad, especialmente en FF. COX₁₂ y el COS recuperado con 12 Eq L⁻¹ en la FG (COP₁₂) fueron sensibles al manejo del suelo y a la naturaleza de los residuos y/o estado cultural al momento del muestreo. El uso previo sólo afectó significativamente el COS en FF. Las determinaciones de NOS en el suelo y en FG no fueron sensibles a los factores ensayados. COX₁₂ igualó o superó al carbono orgánico particulado en su respuesta al manejo del suelo y a la pro-fundidad de muestreo. El procedimiento para estimar COX₁₂ podría ser fácilmente adoptado en otros laboratorios.

Palabras clave. Materia orgánica del suelo, fraccionamiento físico, oxidabilidad, manejo del suelo.

PARTICLE-SIZE FRACTIONS AND OXIDIZABLE CARBON IN A TYPICAL SOIL OF THE SOUTH CENTER OF BUENOS AIRES (ARGENTINA)

ABSTRACT

Soil organic components reflect the changes due to land use and soil management. An experiment carried out in the south center of Buenos Aires province (Argentina) provided the range of conditions to pursue the following objectives: 1) to compare soil organic carbon (COS) in fractions separated by a physical method with variables related to oxidizable COS in soil samples, 2) to explore COS oxidability in particle-size fractions and determine soil organic nitrogen (NOS) and 3) to assess the effect of soil management, tillage system and sampling time and depth on the variables under study. In topsoil samples (0-20 cm) two soil fractions were separated by wet sieving: coarse (FG >100 µm) and fine (FF <100 µm). In the soil samples, in FF and FG we determined a) oxidizable COS by Walkley & Black method and at 12 and 18 Eq L⁻¹ H₂SO₄, b) total COS by dry combustion and c) NOS. Variables obtained through COS oxidation with 12 and 18 Eq L⁻¹ H₂SO₄ in the soil (COX₁₂ and COX₁₈) correlated significantly with COS in FG. COS oxidability in FF reflected heterogeneous quality of this fraction. COX₁₂ and COS oxidated with 12 Eq L⁻¹ in FG (COP₁₂) were sensitive to the tillage systems and the nature of crop residues and/or cultural state at the time of sampling. Differences due to soil previous use were only detected through determinations in the FF. NOS in soil and FG were not significantly affected by the treatments in the experiment. COX₁₂ was more sensitive than particulate organic carbon to soil management and sampling depth. Determination of COX₁₂ is simple and could be easily adaptable by other laboratories.

Key words. Soil organic matter, physical fractionation, oxidability, soil management

¹ Dpto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, San Andrés 800. (8000) Bahía Blanca, Argentina; ² Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio MAAyP-INTA). (7500) Tres Arroyos, Argentina.

*Autor de contacto: mmron@criba.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La conversión de ecosistemas naturales en agrosistemas, así como el aumento de la intensidad de labranza, han provocado una disminución en el contenido del carbono orgánico del suelo (COS) y contribuido al aumento de la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera (Viglizzo *et al.*, 2011). Los efectos del uso agrícola se pueden monitorear a través del registro de transformaciones químicas y físico-químicas en el suelo. En tal sentido, la evolución de los componentes orgánicos, en función del uso y manejo del suelo, proveen herramientas para el diseño o selección de mejores prácticas o sistemas productivos (Schwenke *et al.*, 2003).

Se ha informado que los sistemas que incluyen rotaciones con cultivos de alta producción de residuos y labranza reducida o cero aumentan el contenido de COS y del nitrógeno (N) orgánico del suelo, lo que puede incrementar posteriormente la productividad (Havlin *et al.*, 1990). En una revisión de trabajos de la región pampeana, Steinbach & Álvarez (2005) compararon contenidos de carbono (C) para igual masa de suelo bajo distintos sistemas de labranzas: siembra directa (SD), labranza reducida (cincel o rastra de disco) y labranza con arado (disco o reja). El nivel de COS bajo SD superó en $2,76 \text{ Mg C ha}^{-1}$ al promedio relevado bajo labranza reducida o con arado.

Las transformaciones de la materia orgánica del suelo durante su descomposición son consideradas como una modificación continua de su calidad como sustrato, a medida que es utilizado por la comunidad microbiana (Bosatta & Agren, 1991). No obstante, las complejas características físicas, químicas y biológicas de este material se han simplificado mediante la concepción de compartimentos (Smith *et al.*, 2002). Estos pueden estar representados al menos por dos fracciones que se diferencian en su sensibilidad a los efectos del uso de la tierra (Galantini & Suñer, 2008).

De las técnicas de fraccionamiento de la materia orgánica, la separación química tradicional en ácidos húmicos y fúlvicos está plagada de errores e incertidumbres. Algunos autores incluso afirman que estos compuestos son estructuras resultantes de los reactivos utilizados (Tan, 2003). En comparación, los métodos físicos son menos destructivos y los resultados obtenidos están más directamente relacionados con la estructura y función de los compuestos orgánicos "in situ". Estos procedimientos enfatizan el rol de los minerales del suelo en sus transformaciones y estabilización (Christensen, 1992).

La separación física por diferencias de densidad requiere realizar controles externos de diversos factores. Además

debe establecerse la densidad correcta del reactivo utilizado, cuyo efecto sobre las propiedades edáficas se desconoce. Debido a estos inconvenientes el fraccionamiento por tamizado húmedo, con distintos rangos de tamaño, es el método más frecuentemente utilizado en los estudios realizados en la Argentina. El límite de las fracciones ha sido fijado en 50, 100 o 200 μm según los objetivos de la evaluación (Galantini, 2005). En el sur de la provincia de Buenos Aires, Galantini *et al.* (1994) trabajaron con dos fracciones: a) fina ($\text{FF} < 100 \mu\text{m}$) que comprende arcilla, el limo y las arenas muy finas, junto con la materia orgánica más transformada y asociada a la fracción mineral, y b) gruesa ($\text{FG} > 100 \mu\text{m}$), constituida por el resto de las arenas y el material orgánico más joven o particulado.

Aunque el fraccionamiento físico es realizado por algunos laboratorios que brindan servicios a técnicos y productores, no es lo suficientemente sencillo como para constituirse en un análisis de rutina. En la búsqueda de determinaciones más simples y adaptables, se han ensayado fraccionamientos basados en el grado de oxidación de los compuestos orgánicos con dicromato y a diferentes concentraciones de H_2SO_4 (Chan *et al.*, 2001). Las formas más fácilmente oxidables del COS determinadas por este método fueron sensibles al uso agrícola en comparación con una situación seudo prístina (Ron *et al.*, 2011). Para conocer mejor las interacciones entre las fracciones del COS y sus características químicas y funcionales, Strosser (2010) sugirió recientemente la combinación de métodos analíticos.

Por lo expuesto se plantean las siguientes hipótesis: 1) las formas fácilmente oxidables del COS en el suelo se relacionan con aquellas fracciones determinadas por separación granulométrica, 2) la dinámica del COS en las fracciones granulométricas se describe mejor mediante el estudio de su oxidabilidad, el análisis del N orgánico (NOS) y la comparación de la relación C:N y 3) las variables estudiadas presentan distinta sensibilidad al uso y manejo del suelo.

Desde hace 30 años se vienen evaluando distintos atributos del suelo en experimentos de secuencias de cultivos y rotaciones en el centro sur bonaerense (Forján & Manso, 2012). Manso *et al.* (2012) estudiaron los efectos del sistema de labranza y uso previo sobre algunas propiedades edáficas, detectando indicios que ameritan estudios más exhaustivos sobre el COS.

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) comparar las fracciones del COS, determinadas por tamizado húmedo,

con variables estimadas a partir del grado de oxidación del COS en muestras de suelo, 2) explorar la oxidabilidad del COS en las fracciones granulométricas y determinar el NOS en el suelo y en la FG y 3) evaluar el efecto del uso previo, del sistema de labranza y de las características del muestreo (momento y profundidad) sobre las variables estudiadas, para un suelo del centro sur bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio experimental y del ensayo

El estudio se realizó sobre un ensayo de larga duración establecido en la Chacra Experimental Integrada de Barrow (38°19'25"S; 60°14'33"W), provincia de Buenos Aires (Argentina). El área presenta un régimen hídrico subhúmedo. La precipitación anual promedio es de 750 mm, con registros superiores en el periodo primavera-estival. La temperatura media anual de la región es de 14,9 °C (Borda & Forján, 2012).

El ensayo se instaló en 1997 en un suelo de textura franco-arcillosa, con profundidad aproximada de 75-80 cm, clasificado como Paleudol Petrocálcico de acuerdo al sistema Soil Survey Staff (USDA, 2006). El diseño experimental fue en bloques divididos con tres repeticiones. Se ensayaron dos niveles del factor historia previa: 1) pastura con consumo directo (a diente) durante cuatro años (desde 1993 a 1996) y 2) agricultura continua bajo labranza convencional durante 12 años (1985-1996), y dos niveles del factor sistema de labranza, implementados a partir de 1997: 1) SD y 2) labranza con arado de reja y vertedera los primeros dos años de ensayo y rastra de discos, con profundidad de laboreo de aproximadamente 20 cm, de 1999 en adelante (LC). La dimensión de la unidad experimental para la interacción historia previa-sistema de labranza fue de 15 m x 35 m. Los cultivos fueron: girasol (1997), trigo (1998), maíz (1999), girasol (2000) y trigo (2001), secuencia que se repitió en el ciclo 2002-2006.

Para el estudio de las fracciones del COS se muestrearon todas las unidades experimentales a la profundidad de 0-20 cm en dos momentos: 1) después de la cosecha de trigo de la campaña 2003 y 2) en julio de 2006, previo a la siembra del último trigo. En 2006 se extrajeron, además, muestras de suelo a la profundidad de 0-5 cm en las subparcelas bajo SD.

Determinaciones de laboratorio

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas por 2000 µm. Se realizó un fraccionamiento granulométrico por tamizado húmedo, de acuerdo a las pautas establecidas por Galantini *et al.* (1994). Previo al tamizado se agitaron las muestras de suelo en una relación 1:2 con agua destilada y 10 perlas de vidrio, durante 60 minutos, para dispersar los agre-

gados. Luego se pasó la suspensión a través de un tamiz de 100 µm, lavando con agua destilada. Se recogieron en forma separada dos fracciones: gruesa (FG > 100 µm) y fina (FF < 100 µm) y se secaron a 65 °C, en estufa hasta peso constante. Se determinaron sus masas y se calcularon los porcentajes correspondientes a cada fracción

$$\%FG = \text{masa FG} \times 100 / \text{masa (FG+FF)} \quad (1)$$

$$\%FF = \text{masa FF} \times 100 / \text{masa (FG+FF)} \quad (2)$$

En las muestras de suelo y fracciones seleccionadas se realizaron los siguientes análisis:

- 1) COS determinado con un equipo de combustión seca con detector infrarrojo, (Leco Carbon Analyzer, CR12, Leco Corporation, St. Joseph, Michigan, USA), designando como carbono orgánico total (COT), particulado (COPd) y asociado a la fracción mineral (COMd) a las determinaciones en la muestra de suelo, la FG y la FF, respectivamente.
- 2) NOS mediante el método de Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982), denominando N orgánico total (NOT) al determinado en la muestra de suelo y particulado al de la FG (NOPd).
- 3) COS fácilmente oxidable por combustión húmeda, método de Walkley & Black estándar (1934), en adelante W-B.
- 4) COS oxidable mediante digestión con H₂SO₄ a concentraciones de 12 y 18 Eq L⁻¹, en comparación con 24 Eq L⁻¹ que corresponde al W-B (Chan *et al.*, 2001).

En las muestras de suelo se utilizaron las abreviaturas COX₁₂, COX₁₈ y COX₂₄ para la oxidación a concentraciones crecientes de H₂SO₄. Los mismos sufijos, representando la normalidad del ácido, se utilizaron para la FG (COP₁₂d, COP₁₈d, COP₂₄d) y la FF (COM₁₂d, COM₁₈d y COM₂₄d). La letra "d" corresponde al COS o NOS "determinado", expresado en g de C o de N kg⁻¹ de fracción, de acuerdo con la notación recomendada por Galantini (2005). Para referir el COS y el NOS de las fracciones a la masa total del suelo se aplicaron los porcentajes de la FF y la FG, calculando de este modo las variables COP₁₂, COP₁₈, COP₂₄, COP, COM₁₂, COM₁₈, COM₂₄, COM y NOP, por ejemplo:

$$COP_{24} = COP_{24}d \times \%FG / 100 \quad (3)$$

$$\%FG \text{ ver Ec. (1)}$$

Las notaciones empleadas para diferenciar el COS en el material analizado (muestras de suelo o fracciones) y las determinaciones descriptas se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Muestras de suelo (0-20 cm) y fracciones gruesa (FG >100 μm) y fina (FF <100 μm) seleccionadas para las determinaciones de carbono orgánico del suelo. Métodos y abreviaturas.

Table 1. Selected soil samples (0-20 cm) and fractions (coarse FG >100 μm and fine FF <100 μm) for determinations of soil organic carbon. Methods and notations.

Muestra	Método	Año de muestreo	Notación - expresión	
			g C kg ⁻¹ de suelo	g C kg ⁻¹ de fracción
Suelo	W-B, 24 Eq L ⁻¹ H ₂ SO ₄	2003 y 2006(+)	COX ₂₄	-----
Suelo	W-B modif, 12 o 18 Eq L ⁻¹ H ₂ SO ₄	2003 y 2006	COX ₁₂ o COX ₁₈	-----
FG	W-B, 24 Eq L ⁻¹ H ₂ SO ₄	2003 y 2006(+)	COP ₂₄	COP ₂₄ d
FG	W-B modif, 12 o 18 Eq L ⁻¹ H ₂ SO ₄	2003 y 2006	COP ₁₂ o COP ₁₈	COP ₁₂ d o COP ₁₈ d
FF	W-B, 24 Eq L ⁻¹ H ₂ SO ₄	2006(+)	COM ₂₄	COM ₂₄ d
FF	W-B modif, 12 o 18 Eq L ⁻¹ H ₂ SO ₄	2006	COM ₁₂ o COM ₁₈	COM ₁₂ d o COM ₁₈ d
Suelo	Combustión seca	2003 y 2006	COT	-----
FG	Combustión seca	2003 y 2006	COP	COPd
FF	Combustión seca	2006	COM	COMd

(+) determinado además en muestras a 0-5 cm para parcelas bajo SD. - W-B Walkley & Black (1934), modif.: modificado. - (+) also determined in samples at 0-5 cm for no-till plots. - W-B Walkley & Black (1934), modif.: modified.

Para conocer la tasa de oxidación del COS a concentraciones crecientes de H₂SO₄, se desarrollaron regresiones del COS oxidado en función de la concentración del ácido. Se utilizaron ecuaciones lineales sin ordenada al origen, consistentes con la relación causa-efecto entre las variables. Se calculó el índice de enriquecimiento (Ie) del COS en las fracciones, con respecto al de las muestras de suelo como el cociente entre las pendientes respectivas. Análogamente, se estimó el factor de oxidación para el método de W-B a través de la pendiente de la relación del COX₂₄, COP₂₄d y COM₂₄d, con los correspondientes resultados de la combustión seca (COT, COPd y COMd).

Además, se calculó el índice de labilidad (IL) propuesto por Majumder *et al.* (2007):

$$IL = \frac{(COX_{12}/COX_{24}) \times 3 + [(COX_{18} - COX_{12})/COX_{24}] \times 2 + [(COX_{24} - COX_{18})/COX_{24}]}{COX_{12}, COX_{18} \text{ y } COX_{24}} \quad (4)$$

ver Tabla 1.

Análisis estadístico

En el análisis general de los resultados se usó estadística descriptiva. Se calcularon medidas centrales y de dispersión, y se realizaron gráficos cuantil-cuantil. Se efectuó un análisis de correlación lineal de las variables entre sí.

Se compararon los porcentajes de FG en los distintos bloques y tratamientos mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov, que permite probar si dos muestras provienen de la misma distribución. Para el muestreo de 2003 se contrastaron las medias de la relación entre COS y NOS en el suelo (C:N) y en la FG (C:N_{FG}), mediante una prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales.

En la estimación de la tasa de oxidación del COS se realizó la comparación de pendientes de las regresiones para las muestras de suelo, FF y FG dentro de cada año.

En todos los procedimientos anteriores sólo se utilizaron las variables del COS y del NOS determinadas en FG y/o FF referidas a la masa de la fracción (por ej. COPd, COMd, etc.). Cuando se investigó el efecto de los tratamientos del ensayo y de los años y profundidad del muestreo se emplearon las variables del COS en FG y/o FF referidas a la masa total del suelo (por ej. COP, COM, etc.).

El efecto de los factores uso previo (A) y sistema de labranza (B) sobre las variables se evaluó mediante un análisis de la varianza (ANAVA) para bloque dividido. Para las variables determinadas en 2003 y 2006 se incluyó un tercer factor (M: año de muestreo) para analizarlas como medidas repetidas en el tiempo. Cuando se registraron interacciones triples (ABM), se realizó el ANAVA de dos factores para cada año. Para las variables con interacción doble (AB) se analizó el efecto del sistema de labranza dentro de cada uso previo mediante dos ANAVAs de un factor. En forma análoga, se evaluó el efecto del uso previo en LC y en SD, en este último caso con un ANAVA adicional para las muestras extraídas a 0-5 cm. La estrategia descripta se adecua a la estructura del diseño de tratamientos y evita el uso de aproximaciones del cuadrado medio del error, requeridas en las comparaciones múltiples (Federer & King, 2007). Para estudiar la variabilidad vertical del COS dentro de las parcelas bajo SD se ajustaron regresiones de cada variable en función de la profundidad, representada por el punto medio del espesor muestreado. Se compararon las ecuaciones para

cada uso previo y se agruparon cuando estas no diferían en su pendiente o valor medio. Previo al ajuste se comprobó la homogeneidad de varianzas.

Todos los procedimientos empleados están documentados en el Manual de Infostat (Balzarini *et al.*, 2008), programa utilizado para los análisis estadísticos y los gráficos de cajas y brazos (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS

Las características de los análisis realizados en las muestras de suelo y fracciones se presentan en gráficos de cajas y brazos discriminados por año (Fig. 1). 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. Esto es coherente con el examen de los gráficos cuantil-cuantil (figuras no incluidas) que no presentaron desviaciones sistemáticas a la distribución normal. Los promedios que se obser-

van en la Figura 1 guardan la relación esperada de acuerdo con el nivel de oxidación del COS. Se aprecia la mayor dispersión en relación a la media para el COS oxidado a las menores concentraciones de H_2SO_4 y en las determinaciones realizadas sobre la FG.

El %FF fue en promedio de 83%, correspondiendo el resto al %FG. Los lotes con uso previo de pastura tuvieron medias de 82% de FF en comparación con 85% para historia agrícola. Los valores promedio para LC y SD fueron de 83% y 84%, respectivamente. La prueba de Kolmogorov Smirnov no detectó diferencias por estos factores a $p < 0,20$. Tampoco en la comparación de los %FF en bloques sucesivos (81% vs. 83% y 83% vs. 87%) a $p < 0,20$ o entre los bloques más distantes (81% vs. 87%) a $p < 0,10$.

En la Tabla 2 se muestran los coeficientes de correlación entre determinaciones del COS realizadas en el suelo y en la FG. Estos fueron todos positivos y en su mayoría significativos. De las variables determinadas en FF (año

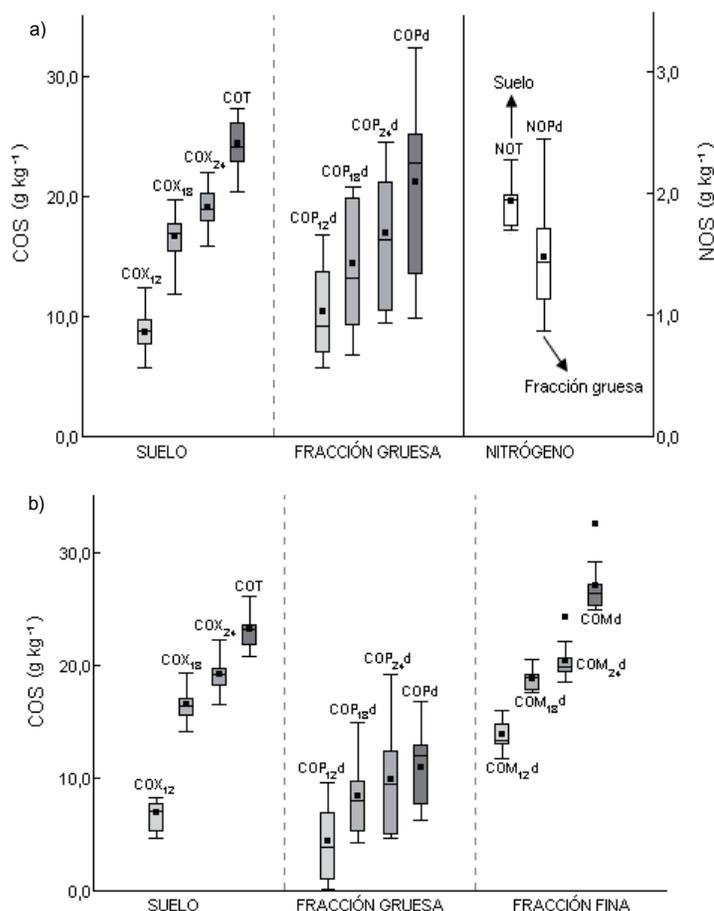


Figura 1. Gráfico de cajas y brazos para las determinaciones de carbono y nitrógeno orgánicos edáficos (COS y NOS) en muestras de suelo y fracciones. a) 2003 y b) 2006. NOT y NOPd nitrógeno orgánico total en el suelo y en la fracción gruesa, respectivamente. Otras abreviaturas ver Tabla 1.

Figure 1. Box and whisker plots for determinations of soil organic carbon and nitrogen (COS and NOS) in soil samples and fractions. a) 2003 and b) 2006. NOT and NOPd total organic nitrogen in the soil and the coarse fraction, respectively. Other notations see Table 1.

2006) sólo COM_{12d} se asoció significativamente con $COX_{12'}$, $COX_{18'}$ y $COX_{24'}$ ($p < 0,01$) y con COT ($p < 0,001$).

Las tasas de oxidación del COS en el suelo y en las fracciones, discriminadas por año de muestreo, se muestran en la Tabla 3. En ambos años la varianza para la oxidabilidad del COS en la FG fue distinta a la del COS en el suelo. El orden de magnitud de las tasas refleja el sustrato oxidable en el suelo y fracciones, ya que es igual al del COS determinado por combustión seca (Fig. 1). De acuerdo con lo le, la FF estuvo enriquecida en un 16% con respecto a la muestra original, mientras que la FG mostró menor cantidad de COS oxidable.

Los factores de oxidación para el método de W-B, estimados como las pendientes de la relación del $COX_{24'}$, COP_{24d} y COM_{24d} , con los correspondientes resultados de la combustión seca (COT, COPd y COMd), fueron de 0,80; 0,82 y 0,75 para el suelo, la FG y la FF, respectivamente (Fig. 2). La pendiente correspondiente a la FG no cumplió

con la homogeneidad de varianzas con respecto a las otras dos, que se diferenciaron significativamente entre sí.

En la Tabla 4 se muestran los resultados del ANAVA para las determinaciones de COS con distintas intensidades de oxidación en las muestras de suelo y en la FG. Para COX_{24} y COT se registraron interacciones significativas entre los tres factores analizados. El $COX_{12'}$, $COX_{18'}$, COP_{12} y COP_{24} fueron significativamente mayores bajo SD, sin verificarse efectos por el uso previo del suelo. La misma tendencia, no significativa, se observó para COP_{18} y COP . Las variables que representaban las fracciones más lábiles (COX_{12} y COP_{12}) disminuyeron en el segundo muestreo. Bajo SD se manifestó una clara superioridad de 2,0 y 0,6 g de C kg^{-1} en COX_{12} y $COP_{12'}$, respectivamente. El IL se comportó en forma muy similar al COX_{12} y al $COP_{12'}$.

En el ANAVA discriminado por año (Tabla 5) se aprecia que el COX_{24} y COT mantuvieron la tendencia de mayores valores bajo SD. Esta solo fue significativa en el promedio

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre las variables determinadas en la muestra de suelo y en la fracción gruesa (n=24).

Table 2. Correlation coefficients between variables determined in soil samples and in the coarse fraction (n=24).

	COX_{12}	COX_{18}	COX_{24}	COT	COP_{12d}	COP_{18d}	COP_{24d}
COX_{12}	1						
COX_{18}	0,72 ***	1					
COX_{24}	0,60 **	0,89 ***	1				
COT	0,71 ***	0,85 ***	0,82 ***	1			
COP_{12d}	0,61 **	0,34	0,23	0,38	1		
COP_{18d}	0,73 ***	0,47 *	0,31	0,46 *	0,88 ***	1	
COP_{24d}	0,76 ***	0,50 **	0,37	0,52 **	0,92 ***	0,96 ***	1
COPd	0,74 ***	0,47 *	0,32	0,46 *	0,90 ***	0,91 ***	0,92 ***

(* , ** y ***) significativo a $p < 0,05$; 0,01 y 0,001. Abreviaturas ver Tabla 1. - (* , ** and ***) significant at $p < 0,05$; 0.01 and 0.001. Notations see Table 1.

Tabla 3. Tasa de oxidación del carbono orgánico edáfico (COS) en el suelo y en las fracciones e índice de enriquecimiento (le).

Table 3. Oxidation rate of soil organic carbon (COS) in soil and fractions and enrichment index (le).

Año	Tasa (g C L kg^{-1} Eq $^{-1}$)		le	
	2003	2006	2003	2006
COS en el Suelo	0,83	0,81	-----	-----
COS en la FG	0,76	0,42	0,92	0,52
COS en la FF	n.d.	0,94	n.d.	1,16
n	72	108		
R ²	0,94	0,96		

FG y FF fracciones gruesa y fina. - n.d.: no determinado. - FG and FF coarse and fine fractions. - n.d.: no data.

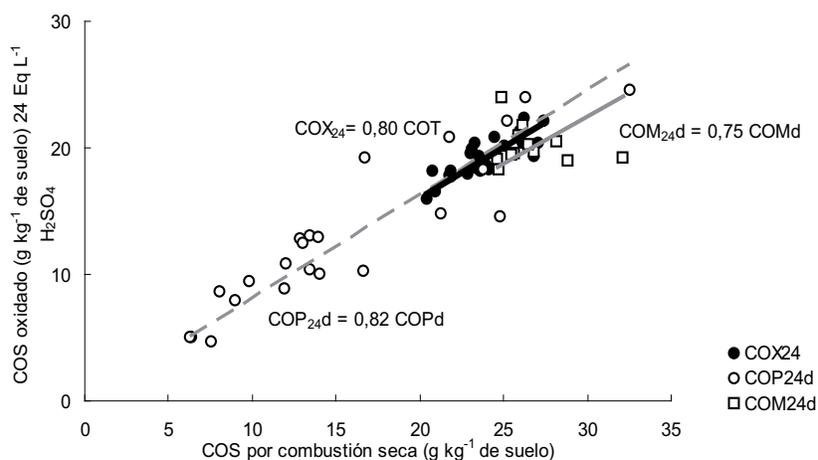


Figura. 2. Factor de oxidación del carbono orgánico edáfico (COS) en muestras de suelo y fracciones analizadas por el método de Walkley & Black (1934). Abreviaturas ver Tabla 1.

Figure. 2. Oxidation factor of soil organic carbon (COS) in soil samples and fractions analyzed by Walkley & Black's method (1934). Notations see Table 1.

Tabla 4. Contenido de carbono orgánico total y oxidable a distintas concentraciones de H_2SO_4 en muestras de suelo y en la FG (0-20 cm) según uso previo (A), sistema de labranza (B) y año de muestreo (M). Los valores son promedio de 12 determinaciones y están expresados en $g\ C\ kg^{-1}$ de suelo, a excepción del índice de labilidad (IL).

Table 4. Total and oxidizable organic carbon at different concentrations of H_2SO_4 in soil samples and in the coarse fraction (0-20 cm), as related to previous use (A), tillage system (B) and sampling year (M). Means of 12 determinations are expressed in $g\ C\ kg^{-1}$ soil, except for lability index (IL).

	COX ₁₂	COX ₁₈	COX ₂₄	COT	IL	COP ₁₂	COP ₁₈	COP ₂₄	COP
Pastura	7,2	16,0	18,7	23,0	2,2	0,9	1,6	1,8	2,2
Agrícola	8,4	17,3	19,6	24,6	2,3	1,1	1,7	2,1	2,4
A p=	0,27	0,38	0,50	0,39	0,21	0,44	0,36	0,10	0,32
LC	6,8	15,5	18,3	22,9	2,2	0,7	1,3	1,5	1,9
SD	8,8	17,8	20,0	24,8	2,3	1,3	2,0	2,3	2,7
B p=	0,01	0,03	0,01	0,01	0,05	0,02	0,07	0,04	0,11
AB p=	0,93	0,41	0,35	0,99	0,84	0,48	0,70	0,98	0,11
2003	8,7	16,7	19,1	24,4	2,3	1,2	1,7	2,0	2,5
2006	6,9	16,6	19,2	23,2	2,2	0,8	1,6	1,9	2,2
M p=	0,01	0,65	0,78	0,01	0,03	0,01	0,55	0,58	0,23
AM p=	0,46	0,35	0,20	0,57	0,81	0,26	0,50	0,91	0,84
BM p=	0,55	0,14	0,78	0,40	0,29	0,16	0,97	0,50	0,41
ABM p=	0,94	0,06	0,02	0,05	0,63	0,39	0,84	0,83	0,79
CV%	15,9	4,8	4,0	3,3	4,3	30,4	26,4	30,0	25,9

Abreviaturas ver Tabla 1. LC labranza, SD siembra directa.

Notations see Table 1. LC tillage, SD no-till.

de los dos usos previos para COX_{24} en 2006, verificándose interacciones significativas entre el uso previo y el sistema de labranza en COX_{24} (2003) y COT (2006). En la Tabla 5 se muestra, además, el ANAVA para las determinaciones de COS en la FF. No hubo efectos significativos para COM_{12} . Para COM_{18} y COM_{24} se registraron interacciones significativas entre los dos factores analizados. COM_{24} tuvo mayor valor en todas las parcelas con uso agrícola, pero no fue afectado por el sistema de labranza.

Las interacciones significativas entre uso previo y sistema de labranza de la Tabla 5 se resuelven en la Tabla 6, que confirma lo observado en cuanto a los valores significativamente mayores de COS bajo SD para COX_{24} (2003) y COT (2006), éste último sólo con uso agrícola previo. Un efecto similar de la SD se observó para COM con historia de pastura. En LC, COM_{18} y COM fueron superio-

res con uso agrícola previo. Por lo contrario, bajo SD COM_{18} fue mayor con uso previo pastura (Tabla 6).

El efecto del uso previo del suelo sobre las variables determinadas en los 5 cm superficiales de las parcelas bajo SD se puede apreciar en la Figura 3. En esta profundidad de muestreo COM_{18} fue menor con historia agrícola en forma análoga a lo descrito para una muestra de mayor profundidad (Tabla 6). Además, se manifestaron diferencias por uso previo en COX_{18} y COP_{24} , no detectadas entre los 0 y 20 cm de profundidad de suelo.

En cuanto a la estratificación la Figura 4 indica que la cantidad de COS en el suelo y en la FG tiende a decrecer con la profundidad, mientras lo contrario sucede con el COS en la FF. COX_{12} disminuyó significativamente con la profundidad al igual que el COP_{12} , este último solo con uso previo de pastura. De manera opuesta, se observaron incre-

Tabla 5. Contenido de carbono orgánico por combustión seca y oxidable con distintas concentraciones de H_2SO_4 en muestras de suelo (0-20 cm) y en la fracción fina, según uso previo (A) y sistema de labranza (B). Los valores son promedio de seis determinaciones y están expresados en $g C kg^{-1}$ de suelo.

Table 5. Soil organic carbon determined by dry combustion and with H_2SO_4 at different concentrations in the soil samples (0-20 cm) and the fine fraction, as related to previous use (A) and tillage system (B). Means of six determinations are expressed in $g C kg^{-1}$ soil.

	2003		2006					
	COX_{24}	COT	COX_{24}	COT	COM_{12}	COM_{18}	COM_{24}	COM
Pastura	18,5	23,8	19,0	22,3	10,0	14,5	15,3	20,4
Agrícola	19,8	25,1	19,4	24,1	11,7	15,0	16,7	22,0
A p=	0,35	0,51	0,73	0,27	0,10	0,07	0,05	0,49
LC	18,3	23,4	18,3	22,4	10,4	14,8	16,3	21,0
SD	20,0	25,5	20,1	24,0	11,3	14,8	15,7	21,4
B p=	0,00	0,07	0,03	0,04	0,39	0,98	0,62	0,67
AB p=	0,01	0,32	0,12	0,01	0,19	0,01	0,11	0,00
CV%	0,63	3,97	3,93	0,58	8,40	2,33	9,59	1,77

LC: labranza, SD: siembra directa. - COX_{24} y COT, discriminadas por año de muestreo. - Abreviaturas ver Tabla 1. - LC: tillage, SD no-till. - COX_{24} y COT, discriminated by sampling year. - Notations see Table 1.

Tabla 6. Interacciones entre uso previo y sistemas de labranza. Los valores son promedio de tres determinaciones y están expresados en $g C kg^{-1}$ de suelo (0-20 cm).

Table 6. Interactions between previous use and tillage systems. Means of six determinations are expressed in $g C kg^{-1}$ soil (0-20 cm).

	COX_{24} 2003		COT 2006		COM_{18} 2006		COM 2006	
	LC	SD	LC	SD	LC	SD	LC	SD
Pastura	17,3 aA	19,6 aB	21,9 aA	22,8 aA	13,3 aA	15,9 aA	18,6 aA	22,3 aB
Agrícola	19,3 aA	20,3 aB	22,9 aA	25,2 aB	16,3 bA	13,7 bA	23,5 bA	20,6 aA

LC: labranza, SD: siembra directa. Abreviaturas de las variables ver Tabla 1.

En cada variable letras minúsculas y mayúsculas distintas en columnas y filas, respectivamente, difieren significativamente a $p < 0,05$ según ANAVA.

LC tillage, SD: no-till. Variable notations see Table 1.

En each variable different small letters and capitals in columns and files, respectively, differ significantly by ANOVA ($p < 0.05$).

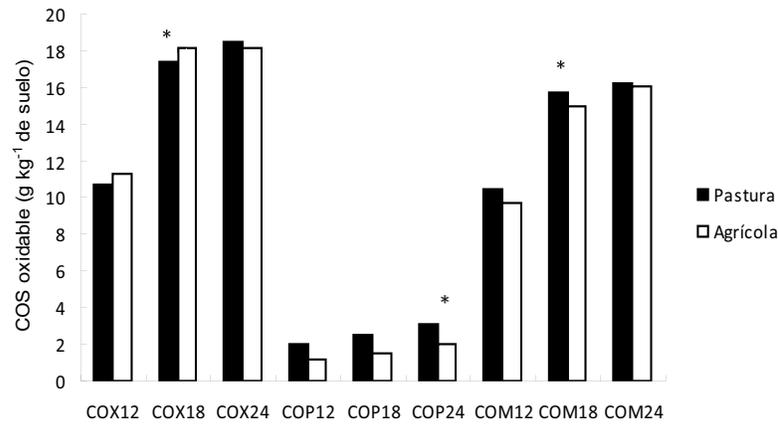


Figura 3. Efecto del uso previo sobre el carbono orgánico edáfico (COS) oxidable en muestras de suelo, en la fracción gruesa y la fracción fina, bajo siembra directa (profundidad de 0-5 cm). Promedios de tres observaciones, (*) diferentes a $p < 0,05$, según ANAVA. Abreviaturas ver Tabla 1.
 Figure 3. Effect of previous use on oxidizable soil organic carbon in soil samples, coarse and fine fractions, under no till (depth 0-5 cm). Means of three observations, (*) different at $p < 0.05$, according to ANOVA. Notations see Table 1.

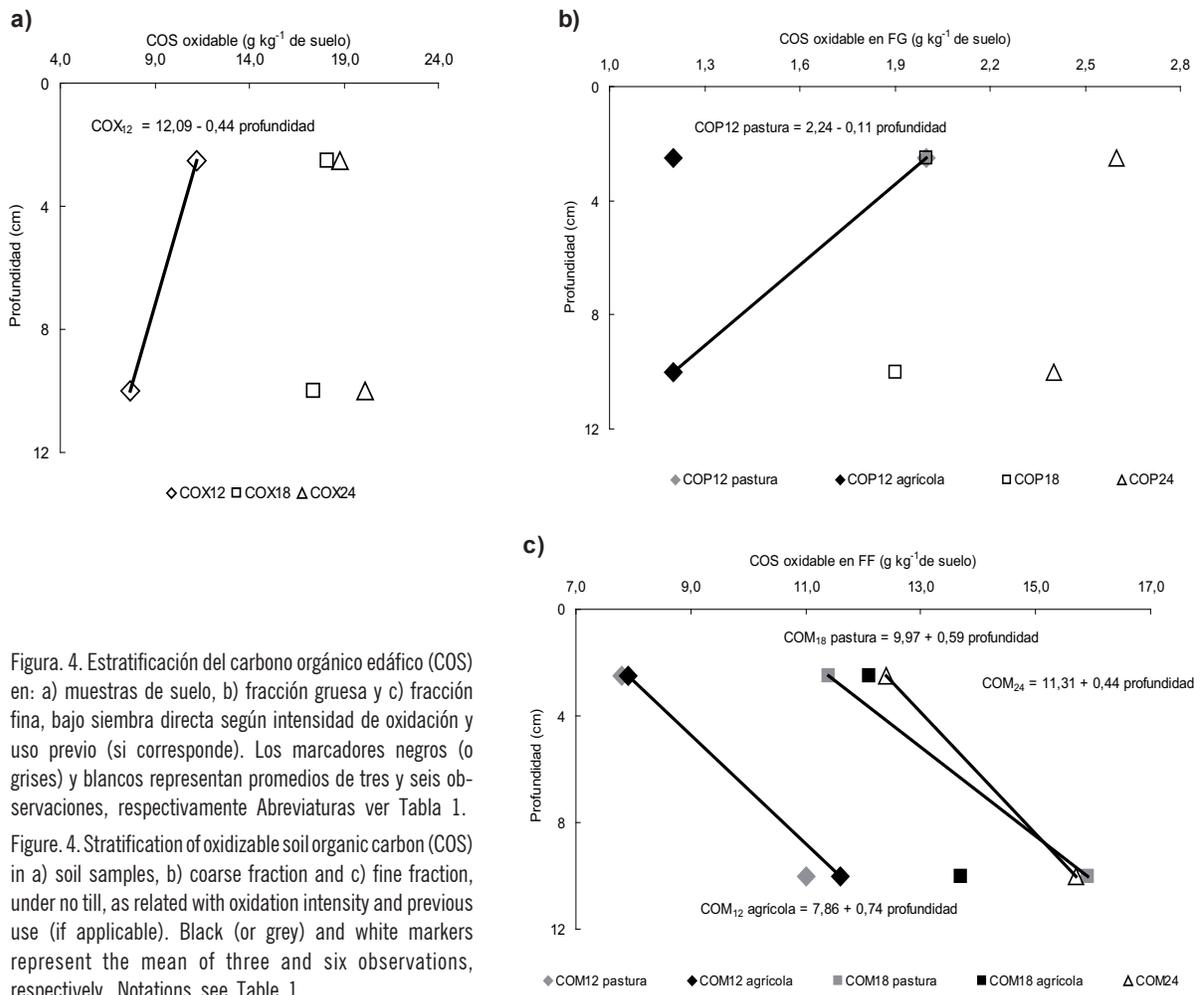


Figura 4. Estratificación del carbono orgánico edáfico (COS) en: a) muestras de suelo, b) fracción gruesa y c) fracción fina, bajo siembra directa según intensidad de oxidación y uso previo (si corresponde). Los marcadores negros (o grises) y blancos representan promedios de tres y seis observaciones, respectivamente. Abreviaturas ver Tabla 1.
 Figure 4. Stratification of oxidizable soil organic carbon (COS) in a) soil samples, b) coarse fraction and c) fine fraction, under no till, as related with oxidation intensity and previous use (if applicable). Black (or grey) and white markers represent the mean of three and six observations, respectively. Notations see Table 1.

mentos significativos con la profundidad para COM_{12} (uso agrícola), COM_{18} (pastura) y COM_{24} (agrícola y pastura).

En el análisis de NOS realizado en 2003 se obtuvo un promedio de $1,9 \pm 0,2$ g N kg⁻¹ para NOT y $0,17 \pm 0,05$ g N kg⁻¹ para NOP. No se registraron diferencias significativas, para ninguna de los dos variables entre tratamientos. El promedio de C:N_{FC} fue de $14,6 \pm 3,5$, significativamente mayor ($p < 0,04$) que el de $12,7 \pm 1,0$ obtenido para C:N.

DISCUSIÓN

En la Figura 1 la acentuada variabilidad para las determinaciones sobre la FG es consistente con su mayor sensibilidad a los cambios ambientales y menor reproducibilidad de mediciones, reportada para el COP en relación al COT (Casas *et al.*, 2008). La correlación significativa entre las formas fácilmente oxidables de COS en el suelo y el determinado en la FG confirma la primera hipótesis (Tabla 2). A su vez, el hecho de que sólo COM_{12} se asociara significativamente con las variables determinadas en el suelo sugiere gran variabilidad de los compuestos orgánicos dentro de la FF.

El enriquecimiento del COS en la FF con respecto al de la muestra de suelo se reflejó en las tasas de oxidación (Tabla 3) y está en concordancia con lo descrito por Christensen (1992). Además, para el método de W-B el factor de oxidación de la FF fue menor que para el suelo ($0,75$ vs $0,80$) por tratarse de un sustrato más persistente y protegido físicamente, mientras que el material expuesto de la FG, con factor $0,82$, tuvo mayor sensibilidad al agente oxidante (Fig. 2). Estos valores son menores que los informados por Galantini *et al.* (1994) de $0,79$; $0,90$ y $1,00$ para la FF, el suelo y la FG, respectivamente, en Haplustoles de la Estación Experimental de Bordenave (INTA, provincia de Buenos Aires). En el presente trabajo, el factor de recuperación de W-B para las muestras de suelo fue del mismo orden de magnitud que el encontrado por Ron *et al.* (2011) en suelos de textura más gruesa del SO bonaerense, y ambos superiores a los reportados por Díaz Zorita (1999) en un Hapludol del oeste de la provincia.

Los porcentajes de la FF fueron compatibles con la textura franco arcillosa del suelo en estudio, no encontrándose evidencia de heterogeneidad textural entre unidades experimentales.

El uso de la tierra y el manejo del suelo afectaron tanto las fracciones activas del COS como las menos lábiles (Tablas 4 y 5). La disminución entre el primer y segundo

muestreo en un 20 y 33% de COX_{12} y COP_{12} , respectivamente, confirma a estas variables como sensibles no sólo al manejo del suelo sino también a la fuente de residuos y/o al estado cultural al momento del muestreo (Schwenke *et al.*, 2002). Asimismo COX_{12} , COP_{12} y el IL respondieron al sistema de labranza. Las tres variables reflejarían la actividad de la biomasa microbiana sobre los materiales orgánicos de origen reciente, con escasa protección física y alto valor en la provisión de nutrientes (Wander, 2004). El IL no presentó ventajas sobre el COX_{12} en cuanto a su sensibilidad a los factores estudiados, atribuible al mayor peso asignado al COX_{12} en la ponderación de dicho índice (Ec. 4). Por otra parte, el uso previo del suelo fue discriminado por las variables analizadas en la FF (Tabla 6). Esta fracción, menos sensible a la oxidación, es la que precisamente mantiene el COS fijado a un largo plazo y confiere a la materia orgánica importantes funciones físicas y físico-químicas (Wander, 2004). La interacción entre uso previo y sistema de labranza confirma que el fraccionamiento físico no genera compartimentos del COS homogéneos, especialmente en cuanto a la fracción conceptualmente "pasiva" (von Lützow *et al.*, 2007). Los mayores valores de COM_{18} y COM para el uso previo agrícola bajo LC podrían relacionarse con la característica bioquímica de mayor recalcitrancia del COS bajo agricultura que el de compuestos estabilizados durante la pastura. Estos últimos habrían estado protegidos físicamente en mayor proporción en el suelo sin roturar.

El incremento encontrado en algunas determinaciones del COS en el suelo y en la FG bajo SD coincide con lo reportado por Álvarez *et al.* (2011) para la región pampeana de la Argentina. Estos resultados se alinean con distintos trabajos sobre el potencial de la SD para aumentar el stock del COS, revisados por Lal en 2003. Además, sin remoción del suelo o incorporación de residuos, COP_{12} y COX_{12} fueron mayores en la capa más superficial (0-5 cm) del suelo, en coincidencia con la referencia clásica de Franzluebbers *et al.* (1995), entre otros. Sin embargo, en esta investigación la disminución de las fracciones más activas con la profundidad del suelo fue acompañada de una tendencia inversa de las fracciones más resistentes dentro del estrato de 0-20 cm, con COX_{24} constante (Fig. 4). Por este motivo, la superioridad de SD con respecto a LC podría responder más a un efecto de la SD sobre la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo que a la capacidad total de almacenamiento de COS o NOS (Angers *et al.*, 1997).

Por otra parte, existe una gran controversia en cuanto a

la regulación del secuestro de C por la disponibilidad de nitrógeno (N), que ha dado lugar a la teoría de la limitación progresiva del N en los ecosistemas terrestres (Luo *et al.*, 2004). Una indicación en este sentido es la estabilidad característica de la relación C:N, con promedio de 12,7 para los suelos de este trabajo, valor típico de materia orgánica con ácidos húmicos bien desarrollados (Tan, 2003). La FG está compuesta por una mezcla de diversos materiales que incluye residuos de plantas. Esta característica explica la superioridad del promedio hallado para C:N en la FG (14,6) con respecto al C:N del suelo, en coincidencia con otros autores (Galantini & Suñer, 2008; Quiroga *et al.*, 2001; Tan, 2003).

Las cantidades de COS determinadas a las menores concentraciones de H_2SO_4 en el suelo pueden considerarse fracciones activas caracterizadas por su mayor oxidabilidad. Es decir COX_{12} y COX_{18} presentan la ventaja de reflejar cantidad y calidad del COS sensible al manejo, mientras que el método físico sólo brinda información sobre la cantidad de COS en fracciones de calidad heterogénea (Strosser, 2010). Además, COX_{12} igualó o superó al COP en su respuesta al manejo del suelo y a la profundidad de muestreo. Si esta superioridad se confirma en otros ambientes y condiciones, la determinación de COX_{12} , fácilmente adaptable por los laboratorios de servicio, podría incorporarse a los análisis de rutina de fertilidad.

CONCLUSIONES

La oxidación del carbono orgánico edáfico (COS), en el suelo a las concentraciones de 12 y 18 Eq L^{-1} de H_2SO_4 determinó variables (COX_{12} y COX_{18}) que se relacionaron significativamente con el COS en la fracción gruesa (FG > 100 μm).

El estudio de la oxidabilidad del COS en las fracciones provee evidencia adicional de su heterogeneidad, especialmente en cuanto a la fracción fina (FF < 100 μm).

COX_{12} y el COS recuperado en la FG con 12 Eq L^{-1} de H_2SO_4 (COP₁₂) fueron variables sensibles al manejo del suelo y a la naturaleza de los residuos y/o estado cultural al momento del muestreo. El uso previo afectó significativamente la mayoría de las determinaciones en FF, aunque el efecto varió con los sistemas de labranza. Las determinaciones del nitrógeno orgánico en el suelo y en la FG no fueron afectadas por el uso previo o el manejo del suelo.

Dado que el procedimiento utilizado para estimar COX_{12} es una modificación del método de Walkley & Black, la determinación podría ser fácilmente adoptada por otros laboratorios.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue parcialmente financiado por el Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, CR; AO Costantini; A Bono; MA Taboada, FH Gutiérrez Boem; PL Fernández & P Prystupa. 2011. Distribution and vertical stratification of carbon and nitrogen in soil under different managements in the Pampean Region of Argentina. *R. Bras. Ci. Solo* 35: 1985-1994.
- Angers, DA; MA Bolinder; MR Carter; EG Gregorich; CF Drury; BC Liang; RP Voroney; RR Simard; RG Donald; RP Beyaert & J Martel. 1997. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil Till Res* 41: 191-201.
- Balzarini MG; L Gonzalez; M Tablada; F Casanoves; JA Di Rienzo & CW Robledo. 2008. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina. 336 pp.
- Borda, M & HJ Forján. 2012. El área estudiada. Pp 13-15. *En: Forjan H & ML Manso (eds). Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro-sur bonaerense: 30 años de experiencias. Tres Arroyos, Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA. 102 pp.*
- Bremner, JM & CS Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. Pp. 595-624 *In: AL Page (ed). Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties, Amer. Soc. Agron. Inc. Madison, Wisconsin, USA. 1159 pp.*
- Bosatta, E & GI Agren. 1991. Dynamics of carbon and nitrogen in the organic matter of the soil: A generic theory. *Amer. Nat.* 138: 227-245.
- Casas, R; D Ligier; AM Lupi; NA Mórtoła & A da Veiga. 2008. Primer Documento Base de Trabajo para El Taller: Indicadores de la Calidad Ambiental para el Manejo Sustentable de los Agroecosistemas. Instituto de Suelos. Programa Nacional Ecorregiones. Publicación especial INTA. Buenos Aires. Argentina. 121 pp.
- Chan, KY; A Bowman & A Oates. 2001. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Oxic Paleustalf under different pasture leys. *Soil Sci* 66: 61-67.
- Christensen, BT. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci* 20: 1-90.
- Díaz Zorita, M. 1999. Efectos de seis años de labranzas en un hapludol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ci Suelo (Argentina)* 17: 31-36.
- 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.

- Federer, WT & F King. 2007. Variations on Split Plot and Split Block Experiment Designs. John Wiley & Sons Inc. Hoboken, New Jersey. 352 pp.
- Franzluebbers, AJ; FM Hons & DA Zuberer. 1995. Soil Organic Carbon, Microbial Biomass, and Mineralizable Carbon and Nitrogen In Sorghum. *Soil Science Society of America Journal* 59(2): 460-466.
- Galantini, JA; RA Rosell & JO Iglesias. 1994. Determinación de materia orgánica empleando el método de Walkley & Black en fracciones granulométricas del suelo. *Ci Suelo* (Argentina) 12: 81-83.
- Galantini, JA. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. Pp.103-114. *En: Marbán, L y SE Ratto (eds). Tecnologías en análisis de suelos. Alcance a Laboratorios Agropecuarios, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires. Argentina. 215 pp.*
- Galantini, JA & L Suárez. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 25(1): 41-55.
- Forján, HJ & ML Manso. 2012. Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro-sur bonaerense: 30 años de experiencias. Tres Arroyos, Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA. 102 pp.
- Havlin, JL; DE Kissel; LD Maddux; MM Claassen & JH Long. 1990. Crop Rotation and Tillage Effects on Soil Organic Carbon and Nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54(2): 448-452.
- Lal, R. 2003 Global Potential of Soil Carbon Sequestration to Mitigate the Greenhouse Effect. *Critical Reviews in Plant Science* 22(2): 151-184.
- Luo, Y; B Su; WS Curie; JS Dukes; A Finzi; U Hartwig; B Unger; RE McMurtrie; R Oren; WJ Parton; DE Pataki; R Shaw; DR Zak & CB Field. 2004. Progressive nitrogen limitation of ecosystem responses to rising atmospheric carbon dioxide. *Biosci* 54(8): 731-739.
- Majumder, B; B Mandal; PK Bandyopadhyay & J Chaudhury. 2007. Soil organic carbon pools and productivity relationships for a 34 year old rice-wheat-jute agroecosystem under different fertilizer treatments. *Plant Soil* 397:53-67
- Manso, ML; HJ Forján; GA Studdert & S San Martino. 2012. Efecto de sistemas de labranzas contrastantes sobre algunas propiedades de un Molisol de Tres Arroyos bajo distintos usos previos. *Rev. FCA UNCUYO* 44(1): 85-99.
- Quiroga, A.; O Ormeño & N Peinemann. 2001. Materia Orgánica. Un indicador de calidad de suelos relacionado con la productividad de los cultivos. Boletín de divulgación Técnica N° 70. INTA, EEA Anguil, Argentina. 28 pp.
- Ron, MM; ME Mandolesi; C Facchinetti & RJ Kiessling. 2011. Efecto antrópico sobre la fertilidad química de un suelo en el sudoeste bonaerense. *Ci Suelo* (Argentina) 29(2): 223-231.
- Schwenke, GD; WL Felton; DF Herridge; DF Khan & MB Peoples. 2002. Relating particulate organic matter-nitrogen (POM-N) and non-POM-N with pulse crop residues, residue management and cereal N uptake. *Agronomie* 22: 777-787.
- Schwenke, GD; DJ Reuter; RW Fitzpatrick; J Walker & P O' Callaghan. 2003. Soil and catchment health indicators of sustainability: case studies from southern Australia and possibilities for the northern grains region of Australia. *Aust. J. Exp. Agric* 43: 205-222.
- Smith, JU; P Smith; R Monaghan & AJ MacDonald. 2002. When is a measured soil organic matter fraction equivalent to a model pool? *Eur. J. Soil Sc.* 53(3): 405-416.
- Steinbach, H & R Álvarez. 2005. Cambios en los contenidos de carbono de los suelos pampeanos por introducción de la siembra directa. *Informaciones Agronómicas* 25: 16-23.
- Strosser, JE. 2010. Methods for determination of labile soil organic matter: An overview. *Agrobiol* 27(2): 49-60.
- Tan, K. 2003. Humic Matter in Soil and the Environment: Principles and Controversies. CRC Press.- 408 pp.
- USDA Soil Survey Staff. 2006. Claves para la taxonomía de suelos. Décima Edición. 331 pp.
- Viglizzo, EF; FC Frank; LV Carreño; EC Jobaggy; H Pereyra; J Clatt, D Pincen & MF Ricard. 2011. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology* 17(2): 959-973.
- 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(9): 2183-2207.
- Walkley A & A Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic and acid titration method. *Soil Sci* 37: 29-38.
- Wander, MM. 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. Pp. 67-102. *In: Magdoff, F & RR Weil (eds). Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. CRC Press, Boca Raton, Florida. 416 pp.*