

AJUSTES EN LA ESTIMACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO POR EL MÉTODO DE CALCINACIÓN EN MOLISOLES DEL SUDOESTE BONAERENSE

JUAN MANUEL MARTÍNEZ^{1-2*}; MATÍAS E DUVAL¹; FERNANDO M LÓPEZ²; JULIO O IGLESIAS²
& JUAN A GALANTINI³

Recibido: 13-10-16

Recibido con revisiones: 17-01-17

Aceptado: 15-02-17

RESUMEN

La cuantificación del carbono orgánico del suelo (COS) es crucial para comprender su ciclo en los ecosistemas terrestres. Es importante la utilización de metodologías de fácil implementación que determinen el COS correctamente. Los objetivos de este trabajo fueron determinar: i) la temperatura y la duración óptima que maximice la predicción del COS a través del método de calcinación (MC) y, ii) un factor de conversión (fc) para estimar el COS en suelos Molisoles del sudoeste bonaerense (SOB). Durante los años 2010 y 2011, se tomaron muestras a una profundidad de 0-20 cm en setenta lotes bajo siembra directa ubicados en el SOB, Argentina. La determinación del COS por combustión seca (CS) en un analizador elemental se tomó como valor de referencia. La materia orgánica (MO) se determinó por MC en una mufla a diferentes temperaturas (360, 430, 550 y 600 °C) y tiempos (durante 2 y 4 horas). Independientemente del tiempo de calcinación, los valores de MO se incrementaron con el aumento de la temperatura. No se detectaron interacciones entre los factores tiempo y temperatura. Se hallaron efectos significativos de las diferentes temperaturas ($p < 0,001$) y ningún efecto del tiempo ($p = 0,66$). Las regresiones lineales entre COS y MO a diferentes temperaturas demostraron relaciones significativas ($p < 0,001$) con elevados coeficientes de determinación ($R^2 = 0,91-0,95$). La mejor predicción del COS se halló con la temperatura de 550 °C ($R^2 = 0,95$). El fc obtenido fue de 2,2, lo cual estaría indicando que en estos suelos el contenido de carbono (C) en la MO es de 45%. Estos resultados sugieren que el MC junto con un fc adecuado, constituyen un protocolo de fácil implementación que brinda estimación del COS comparable con el método de referencia de CS.

Palabras clave. Materia orgánica, combustión seca, factor de conversión.

ADJUSTMENTS IN ORGANIC CARBON ESTIMATION BY LOSS-ON-IGNITION METHOD IN MOLLISOLS OF THE SOUTHWEST BUENOS AIRES PROVINCE

ABSTRACT

Soil organic carbon (SOC) quantification is crucial for understanding the cycling in the terrestrial ecosystems. It is important to use methodologies of easily implementation that determine the SOC properly. The aims of this study were to determine: i) the optimal temperature and time to maximize the prediction of SOC and ii) a suitable conversion factor (fc) to estimate the SOC by loss-on-ignition method (MC) in Mollisols of the southwest Buenos Aires Province (SOB). During 2010 and 2011, seventy plots under no-tillage located in the SOB, Argentina, were sampled at 0-20 cm depth. Soil organic carbon values determined by dry combustion (CS) in an elemental analyzer were considered as reference values. Soil organic matter (OM) values were determined by MC in a muffle furnace at different temperatures (360, 430, 550 and 600 °C) and times (during 2 and 4 hours). No significant interactions were detected between both factors. Significant effect of different temperatures ($p < 0.001$), while, no significant effect of calcination time ($p = 0.66$) were detected. Linear regressions between SOC and OM at different temperatures showed significant relationships ($p < 0.001$) with high coefficients of determination ($R^2 = 0.91-0.95$). The best prediction of SOC was found with 550 °C temperature ($R^2 = 0.95$). The fc was 2.2, which would indicate that in these soils the C content in OM was 45%. These results suggest that MC with an adequate fc, is an easily implementable protocol that provides estimation of SOC comparable with the reference CS method.

Key words. Soil organic matter, dry combustion, conversion factor.

1. Cerzos, Conicet-Universidad Nacional del Sur

2. Departamento de Agronomía, UNS

3. Comisión de Investigaciones Científicas

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

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) representa un componente edáfico fundamental, dado que influye sobre muchas propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Diovisalvi *et al.*, 2008). Está compuesta principalmente de carbono (C) (Rosell *et al.*, 2001) y se encuentra en compartimentos diferentes que le brindan distinto grado de protección (Duval *et al.*, 2016). La capacidad de medir la cantidad de C acumulado en los suelos es crucial para entender el ciclado de los ecosistemas terrestres (Ellert *et al.*, 2001).

Dentro de los numerosos métodos disponibles para determinar el COS, la oxidación húmeda con dicromato de potasio (WB) (Walkley & Black, 1934) y el método de combustión seca (CS) se encuentran entre los más utilizados (Chatterjee *et al.*, 2009; Pribyl, 2010; Eyherabide *et al.*, 2014). En particular, el método de WB determina el C fácilmente oxidable. A pesar de ser una metodología rápida y poco costosa, sus desventajas son que utiliza grandes cantidades de ácido sulfúrico y los productos generados son cancerígenos y tóxicos (Abella & Zimmer, 2007; Eyherabide *et al.*, 2014). Además del uso de reactivos peligrosos, la estimación final del C requiere de un factor de corrección que es variable, debido a que la oxidación de la MO es incompleta y difiere según el tipo de suelo (Nelson & Sommers, 1996). Por otro lado, en el método de CS todo el C de la muestra es oxidado a CO₂, liberado, medido por espectroscopía de absorción infrarroja y convertido a C total (Pribyl, 2010). Por esta razón, la CS se puede tomar como un valor de referencia. Sin embargo, esta metodología es relativamente costosa, requiere de personal altamente capacitado y de muestras finamente procesadas. Dada la importancia de estas determinaciones, es deseable el desarrollo de metodologías rápidas, sencillas y que no generen desechos tóxicos para el ambiente y la salud.

El método de calcinación (MC) determina la MO a partir de la pérdida de peso de una muestra de suelo luego de someterla a elevadas temperaturas. Es un método rápido y relativamente económico (Abella & Zimmer, 2007; La Manna *et al.*, 2007), y qué además, no genera residuos tóxicos. Sin embargo, es cuestionado dado que existen factores inherentes a los suelos que modifican sus valores (La Manna *et al.*, 2007; Pribyl, 2010). Un aspecto clave es que la temperatura y el tiempo de calcinación, los cuales deben ser suficientes para remover la máxima cantidad de MO pero a la vez, minimizar las pérdidas de otros constituyentes del suelo (Ball, 1964; Davies, 1974; Schulte

& Hopkins, 1996; Eyherabide *et al.*, 2014). Por ejemplo, Davies (1974) considera que por debajo de 430 °C se evita la calcinación de los carbonatos del suelo. En el mismo sentido, Schulte & Hopkins (1996) y Rosell *et al.* (2001) sostienen que temperaturas mayores a 500 °C podrían producir sobreestimaciones y errores debido a la pérdida de CO₂ de los carbonatos y pérdida de agua estructural de los minerales de arcilla. Además, Galantini *et al.* (2004) informaron estrechas relaciones positivas entre la fracción compuesta de limo y arcilla y el contenido de COS en suelos Molisoles de la región semiárida pampeana. Estos resultados sugieren que menores contenidos de arcilla en los suelos podrían requerir menores temperaturas de calcinación. Por estos motivos, las estimaciones con MC deben ser calibradas para cada tipo de suelo (Konen *et al.*, 2002).

En general, para la conversión del COS a partir de determinaciones de la MO se utiliza un factor de conversión (fc) de 1,724 (Van Bemmelen, 1890) que asume un 58% de C dentro de la MO (Rosell *et al.*, 2001). Sin embargo, el uso generalizado de este factor para todos los suelos podría ser erróneo (Pribyl, 2010). En consecuencia, los objetivos de este trabajo fueron determinar: i) la temperatura y duración óptima que maximice la predicción del COS a través del método de calcinación (MC) y, ii) un fc adecuado para estimar el COS en suelos Molisoles del SOB.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los años 2010 y 2011, se tomaron muestras de 70 lotes ubicados dentro de las regiones semiárida y subhúmeda del SOB. Al momento del muestreo todos los lotes presentaban más de 10 años de labranza bajo el sistema de siembra directa y estaban destinados a la siembra de trigo (*Triticum aestivum* L.) o cebada (*Hordeum vulgare* L.). Las características generales de las localidades se detallan en la Tabla 1.

Los suelos en general, pertenecen al orden Molisoles (Soil Survey Staff, 2010). En particular, los suelos del SOB, se caracterizan por bajos contenidos de COS, texturas gruesas y aportes variables de MO particulada por los residuos de los cultivos (Martínez *et al.*, 2016).

En cada uno de los lotes se seleccionaron tres áreas de muestreo homogéneas de aproximadamente 50 m², siendo estas representativas de los lotes. En cada área se tomaron muestras compuestas (15-20 submuestras) de suelo en la profundidad de 0-20 cm, durante el invierno antes de la siembra del cultivo de trigo o cebada. Se secaron las muestras de suelo al aire hasta peso constante y se tamizaron con una malla de 2 mm.

Tabla 1. Descripción de los sitios bajo estudio.
Table 1. Site description under study.

Localidad	<i>n</i>	Clasificación Taxonómica ⁺	Textura	Cultivos antecesores*	Temperatura media (°C)	Precipitación media anual (mm)
LasOscuras	9	Argiustol Típico	Franca	trigo, arveja	15,0	669
Monte Hermoso	6	Argiustol Típico	Franca	trigo, cebada, avena	14,8	683
Tornquist	18	Argiudol Típico	Franca	girasol, trigo, soja	14,5	740
Coronel Dorrego	9	Argiudol Típico	Franca	cebada, maíz, trigo, avena	14,7	726
Tres Arroyos	1	Argiudol Típico	Franca	trigo	14,9	790
Pehuencó	4	Haplustol Entico	Franca arenosa	trigo	14,9	674
Saldungaray	5	Argiustol Típico	Franca	trigo, girasol	14,7	694
Coronel Pringles	5	Haplustol Típico	Franca arenosa	trigo, sorgo	14,8	695
Bahía Blanca	6	Paleustol Petrocalcico	Franca	trigo, cebada	14,5	550
García del Río	1	Haplustol	Franca arenosa	cebada	14,9	658
Pigüé	6	Argiudol	Franca Limosa	soja, trigo	13,8	796

n= cantidad de lotes muestreados en cada Localidad. ⁺Soil Survey Staff (2010). Los cultivos antecesores fueron predecesores al cultivo de trigo o cebada. *trigo, *Triticum aestivum* L.; cebada, *Hordeum vulgare* L.; girasol, *Helianthus annuus*; soja, *Glycine max* L. Merr.; avena, *Avena sativa* L., maíz, *Zea mays* L.; arveja, *Pisum sativum* L.; sorgo, *Sorghum bicolor* Moench.

n=number of sampled fields per site. Previous crops were predecesor from wheat and barley crops.

Determinación del COS y la MO

Para la determinación del COS, se pesaron 0,5 g de suelo seco al aire de cada muestra compuesta de cada área de muestreo. La CS se llevó a cabo en un analizador elemental Leco Truspec C (Leco Corporation, St Joseph, MI). La calibración del analizador se realizó con patrones provistos por el fabricante del equipo (Compuesto patrón Leco Corporation= 3,00±0,24 g C 100 g⁻¹), con valores obtenidos dentro del rango propuesto (2,97±0,07 g C 100 g⁻¹).

Para la determinación de la MO, se siguió el método propuesto por Davies (1974) y Schulte & Hopkins (1996). Se pesaron 5 g de suelo en crisoles de porcelana de 25 mL de peso conocido. Luego, fueron colocados en una estufa a 105 °C durante 24 horas (h). Las muestras fueron enfriadas en desecador y pesadas. Luego, se colocaron los crisoles en una mufla automática con controlador digital Indef® a cuatro temperaturas diferentes: 360, 430, 550 o 600 °C cruzadas con dos tiempos: durante 2 o 4 h. El calentamiento de las muestras fue creciente hasta llegar a la temperatura propuesta, contabilizando el tiempo (2 y 4 h) a partir de la temperatura objetivo. Posteriormente, se dejaron los crisoles enfriándose dentro de la mufla hasta temperatura ambiente y se transfirieron a un desecador para registrar el peso nuevamente. El cálculo de la MO se realizó por diferencia de peso según la ecuación adaptada de Davies (1974) (Ecuación 1):

$$MO (g 100 g^{-1}) = \frac{(PS_{105^{\circ}} - PS_{calcinado})}{(PS_{105^{\circ}} - P_{crisol})} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

donde, MO: materia orgánica del suelo (g 100 g⁻¹).

PS_{105°}: peso de la muestra a 105 °C incluido el peso del crisol (g).

PS_{calcinado}: peso de la muestra calcinada incluido el peso del crisol (g).

P_{crisol}: peso del crisol de porcelana (g).

Debido a la gran influencia de los carbonatos sobre las mediciones de COS y MO, se procedió a analizar cualitativamente la presencia de carbonatos. Cada muestra se hizo reaccionar con ácido clorhídrico a fin de descartar la presencia de carbonatos (La Manna *et al.*, 2007). Sin embargo, todas las muestras analizadas evidenciaron ausencia de carbonatos en la capa estudiada.

Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de las temperaturas y los tiempos, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) doble considerando al tiempo y a la temperatura de calcinación como factores fijos. La comparación de medias se llevó a cabo mediante diferencias mínimas significativas (DMS) de Fisher (p<0,05). Para establecer las relaciones entre COS y MO determinadas a diferentes temperaturas, se realizaron regresiones que estimaron la ordenada al origen (Grewal *et al.*, 1991; De Vos *et al.*, 2005; Pribyl, 2010). Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el software informático Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación del COS y MO a diferentes temperaturas

El nivel medio de COS fue de 1,72 g 100 g⁻¹ suelo con rangos que oscilaron entre 0,7 y 3,4 g 100 g⁻¹. Independen-

dientemente del tiempo de calcinación, los valores de MO se incrementaron con el aumento de temperatura. Los valores de MO variaron entre 3,35 y 4,96 g 100 g⁻¹ para 360 y 600 °C, respectivamente. Los coeficientes de variación (CV) fueron similares para todas las temperaturas oscilando entre 29 y 31% (datos no mostrados).

Analizando el efecto de las diferentes temperaturas y tiempos sobre la MO, no se detectaron interacciones significativas ($p=0,54$; $F=0,19$; $gl=3$). Se detectaron efectos significativos de las diferentes temperaturas ($p<0,001$) y no hubo efecto del tiempo de calcinación ($p=0,66$; Fig 1). Dado que no hubo evidencias de efectos debidos al tiempo, los análisis posteriores no contemplaron este factor o, lo que es lo mismo, incluyeron a ambos tiempos. Con respecto a la remoción de MO por las diferentes temperaturas, pudo observarse un incremento lineal en la remoción de MOS con el aumento de la temperatura, siendo $MO_{600}>MO_{550}>MO_{430}>MO_{360}$ (Fig. 1). Esto coincide a lo hallado por Abella & Zimmer (2007), quienes trabajaron con tres temperaturas y tres tiempos de calcinación.

Relaciones entre el COS y la MO

Analizando las regresiones lineales entre COS y MO a las diferentes temperaturas, se hallaron relaciones significativas ($p<0,001$; $R^2\geq 0,91$) (Fig. 2). La mejor predicción del COS se halló con la temperatura de 550 °C con

un $R^2=0,95$ (Fig. 2c). Estos resultados coinciden a los hallados por Christensen & Malmros (1982), quienes con esta temperatura y 4 h de calcinación obtuvieron relaciones estrechas con un $R^2=0,99$, en suelos de bosque con bajos contenidos de arcilla. En cambio, Eyherabide *et al.* (2014) en suelos con contenidos de COS muy variables (0,8-8,9 g 100 g⁻¹) en la capa de 0-20 cm, hallaron que con 360 °C durante 2 h podían predecir con precisión el COS a partir del MC. Los mayores contenidos de limo y arcilla coinciden con mayores contenidos de COS y con menores temperaturas (360 °C) se reducen las pérdidas de agua estructural de las arcillas (Rosell *et al.*, 2001) incrementando el R^2 en la predicción del COS. En el presente estudio los resultados obtenidos no comprobaron una mejor predicción con menores temperaturas. Esto podría deberse a que los Molisoles del SOB se caracterizan por niveles bajos a medios de COS y texturas franca a franca arenosa con menor cantidad de arcilla. En adición a esto, teniendo en cuenta que las temperaturas mayores a 500 °C infieren sobre los carbonatos (Schulte & Hopkins, 1996; Rosell *et al.*, 2001) y en estos suelos se verificó la ausencia de los mismos, la temperatura empleada favoreció la estimación del COS. Por otra parte, Donkin (1991) reportó que las relaciones entre COS y MO determinada por MC son elevadas en suelos con contenidos de C menores a 5 g 100 g⁻¹. En adición, Soon & Abboud (1991) concluyeron que MC no es una me-

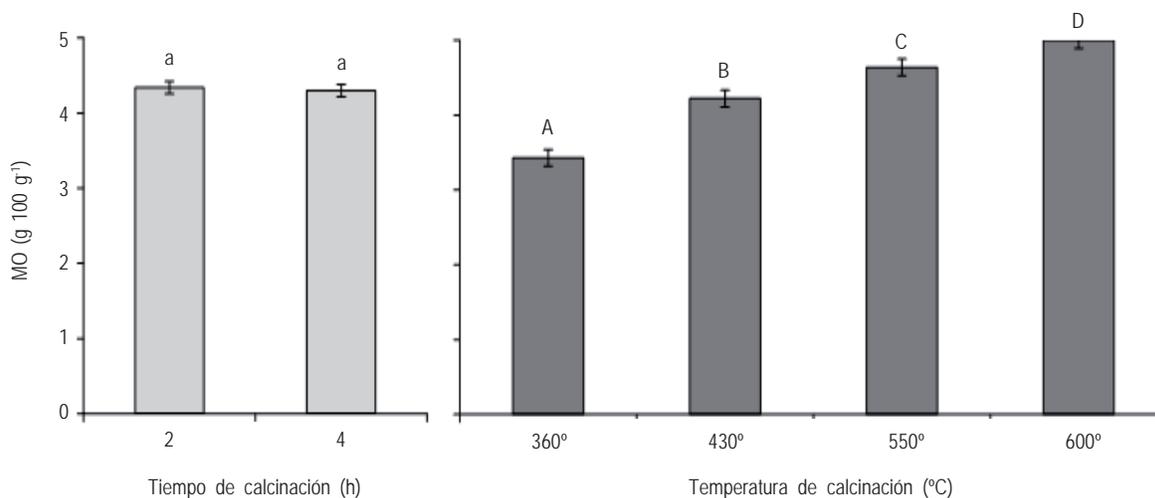


Figura 1. Análisis de la varianza para la materia orgánica (MO) según tiempos y temperaturas de calcinación. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,05$).

Figure 1. Analysis of variance (ANOVA) for soil organic matter (MO) by times and temperatures of calcination. Different letters indicate significant differences between treatments ($p<0,05$).

Metodología confiable en suelos con contenidos de C menores a $1,5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, sin embargo, los resultados hallados en este estudio no coinciden a lo planteado por estos autores, dado por las elevadas relaciones halladas con todas las temperaturas (Fig. 2).

La intersección puede ser usada para estudiar la interacción entre la composición de la muestra y los parámetros del MC (Grewal *et al.*, 1991), y además, puede demostrar una variación real de los datos (De Vos *et al.*, 2005). En general, puede ser mejor incluir la intersección a menos que el tamaño muestral sea pequeño (Grewal *et al.*, 1991), condición que no se cumple en el presente trabajo. Para los suelos analizados, la intersección presentó valores negativos para todas las temperaturas (Fig. 2). Esto sugiere que las condiciones (temperatura y duración) de calcinación planteadas en estos suelos, han removido la MO completamente (Pribyl, 2010). Sin embargo, una intersección negativa también sugiere deshidratación de

las arcillas o remoción de carbonatos, y puede resultar en un f_c elevado. En este caso, fue verificada la ausencia de carbonatos, por lo cual este efecto se podría deber a la deshidratación de las arcillas. En adición a esto, Donkin (1991) encontraron que la arcilla se convierte en un factor significativo cuando se utilizan temperaturas de calcinación mayores a $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Otros autores (Donkin, 1991; Soon & Abboud, 1991) concluyeron que se puede incrementar la estimación del COS con MC, incluyendo en las regresiones la textura del suelo. Sin embargo, en este estudio las relaciones halladas entre COS y MO por MC demostraron coeficientes de determinación elevados, por lo que, los aportes de la textura en los modelos no incrementarían significativamente esta predicción.

Factor de conversión de COS a MO

La pendiente las regresiones de COS en función de la MO estima el f_c , debido a las estrechas relaciones encontra-

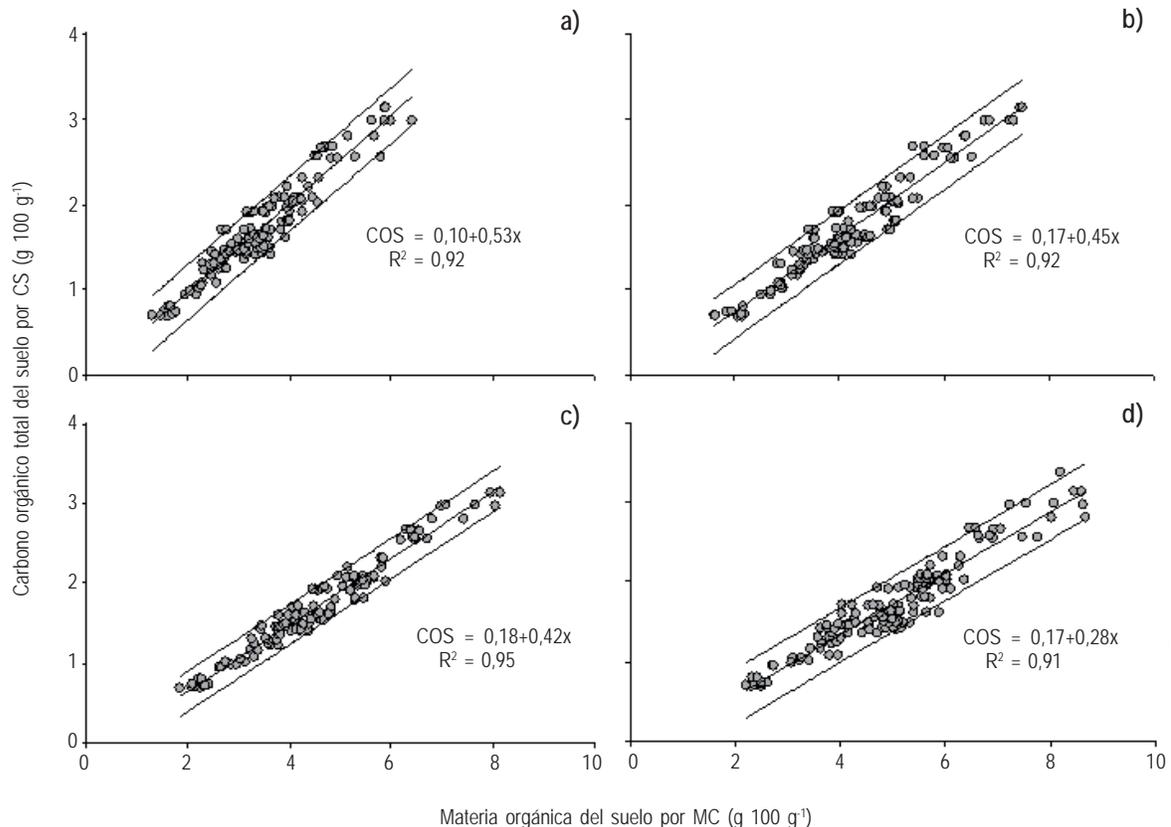


Figura 2. Relación entre el COS determinado por combustión seca (CS) y la MO determinada por calcinación (MC) en a) 360, b) 430, c) 550 y d) 600 $^\circ\text{C}$.
 Figure 2. Relationships between COS determined by dry combustion (CS) and MO determined by loss-on-ignition (MC) at a) 360, b) 430, c) 550 and d) 600 $^\circ\text{C}$.

das entre COS:MO. Se procedió a calcular el fc a partir de la temperatura 550 °C, debido a que obtuvo el mayor coeficiente de determinación ($R^2=0,95$; $gl=139$; Fig. 2c). El fc obtenido fue de 2,2, lo cual indica que en estos suelos el contenido de C en la MO es de 45%. Esto es coincidente a lo hallado por Cameron & Breazeale (1904) –citado de Pribyl (2010)–, quienes hallaron valores de C de 42%. Sin embargo, el fc obtenido (2,2) se encuentra por encima del valor 1,724 propuesto por Van Bemelen (1890), aunque aparece en el rango de valores propuestos por Pribyl (2010), que oscilaron entre 1,4 y 2,5. Es decir, si para estos Molisoles se utilizara el factor 1,724 en vez del 2,2, se estaría sobreestimando el contenido de C en un 54% cuando se usa MC. En coincidencia a estos resultados, Pribyl (2010) realizó una revisión bibliográfica con más de 150 manuscritos desde el año 1826 hasta la actualidad. Este autor obtuvo un valor medio del fc de 2,2, concluyendo que este sería un factor adecuado para la conversión, en coincidencia a este estudio. En adición, Eyherabide *et al.* (2014) mencionaron que es probable que el fc sea mayor en suelos de textura más gruesa, debido al mayor porcentaje de fracciones particuladas con menores contenidos de C.

Con el fc obtenido en este estudio, si bien sobreestimó el COS determinado por el método de CS, la predicción fue más certera a lo largo de todo el rango de valores de C ($0,7-3,4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), con respecto a la obtenida con el fc de Van Bemelen (1890) (datos no mostrados). Esta sobreestimación del COS era esperable mediante la utilización de MC, debido a que la temperatura utilizada –a pesar del bajo nivel de arcillas de estos suelos– podría sobreestimar la determinación de MO como ha sido reportado previamente. Sin embargo, este resultado sugiere que el valor de composición de C en la MO estimado por el fc de este estudio sería más adecuado.

CONCLUSIONES

El MC junto con la regresión adecuada son capaces de brindar datos equivalentes al método de CS. En tanto se cuente con la cantidad de muestra necesaria, el MC tiene la ventaja de ser menos costoso, de fácil acceso e implementación. Además, mediante el uso de un fc adecuado, podrían reducirse los errores generados por deshidratación o alteración en la estructura de las arcillas, favoreciendo una estimación más certera del COS.

El fc obtenido en este estudio (2,2) demuestra que el C de estos suelos podría ser sobreestimado en un 33%, si se usara el fc ampliamente difundido con MC. Esto cobra

gran relevancia en los estudios donde se analiza la calidad de los suelos mediante el análisis de las fracciones orgánicas y en estudios sobre secuestro de C de los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abella, SR & BW Zimmer. 2007. Estimating organic carbon from loss-on-ignition in northern Arizona forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71 (2): 545-550.
- Ball, DF. 1964. Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *J. Soil Sci.* 15: 84-92.
- Cameron, FK & JF Breazeale. 1904. The organic matter in soils and subsoils. *J. Am. Chem. Soc.* 26: 29-45.
- Chatterjee, A; R Lal; L Wielopolski; MZ Martin & MH Ebinger. 2009. Evaluation of different soil carbon determination methods. *Crit. Rev. Plant Sci.* 28: 164-178.
- Christensen, BT & PA Malmros. 1982. Loss-on-ignition and carbon content in a beech forest soil profile. *Holarctic Ecol.* 5: 376-380.
- Davies, BE. 1974. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J. Proc.* 38: 150-151.
- De Vos, B; B Vandecasteele; J Deckers & B Muys. 2005. Capability of loss-on-ignition as a predictor of total organic carbon in non-calcareous forest soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 2899-2921.
- 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.
- Donkin, MJ. 1991. Loss-on-ignition as an estimator of soil organic carbon in A-horizons of forestry soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22: 233-241.
- 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.
- Eyherabide, M; H Saínez Rozas; P Barbieri & HE Echeverría. 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ci. Suelo* 32(1): 13-19.
- Galantini, JA; N Senesi; G Brunetti & RA Rosell. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123:143-152.
- Grewal, KS; GD Buchan & RR Sherlock. 1991. A comparison of three methods of organic carbon determination in some New Zealand soils. *J. Soil Sci.* 42: 251-257.
- Konen, EM; PM Jacobs; C Lee Burras; BJ Talaga & JA Mason. 2002. Equations for Predicting Soil Organic Carbon Using Loss-on-ignition for North Central U.S. *Soils Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1878-1881.

- La Manna, L; C Buduba; V Alonso; M Davel; C Puentes & J Irisarri. 2007. Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos de la región andino-patagónica: Efectos de la vegetación y el tipo de suelo. *Ci. Suelo* 25:179-188.
- Martínez, JM; JA Galantini; ME Duval & FM López. 2016. Indicadores de mineralización de nitrógeno en el sudoeste bonaerense: relación con las fracciones orgánicas del suelo. *Rev. Ci. Agron.* 26: 50-57.
- 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.
- Pribyl, DW. 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma* 156(3): 75-83.
- 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.
- Schulte, EE & BG Hopkins. 1996. Estimation of soil organic matter by weight loss-on ignition. *In: FR Magdoff et al. (eds). Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation.* SSSAJ, Madison WI. Pp. 21-31.
- Soil Survey Staff, 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. USDA-Natural Resources 22 Conservation Service, Washington, DC.
- Soon, YK & S Abboud. 1991. A comparison of some methods for soil organic carbon determination. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22: 943-954.
- Van Bemmelen, JM. 1890. Über die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloidalen Silikaten gebundenen Kieselsäure, des Mangans u. s. w. im Ackerboden. *Die Landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen* 37: 279-290.
- Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.

Julio de 2017

Printed in Argentine - Impreso en la Argentina

Esta revista se diagramó e imprimió por orden de

ORIENTACION GRAFICA EDITORA S.R.L.

Gral. Rivas 2442 - C1417FXD Buenos Aires

Tel./Fax: (011) 4501-5427 - Tel.: (011) 4504-4851

e-mail:sergiowaldman@yahoo.com.ar / www.ogredit.com.ar