

## COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA DETERMINAR CARBONO ORGÁNICO EN SUELO

MERCEDES EYHERABIDE<sup>1\*</sup>; HERNÁN SAÍNZ ROZAS<sup>1,2</sup>; PABLO BARBIERI<sup>1,2</sup> & HERNÁN EDUARDO ECHEVERRÍA<sup>1</sup>

Recibido: 30-11-12

Recibido con revisiones: 28-03-14

Aceptado: 29-03-14

### RESUMEN

El carbono orgánico total (COT) del suelo por su efecto benéfico sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas, es considerado como uno de los principales indicadores de calidad de suelo, por lo que es necesario determinarlo con suficiente exactitud. Para algunos suelos de la Región pampeana y extrapampeana se compararon las técnicas de determinación de COT de Walkley & Black, Walkley & Black modificado y calcinación (LOI) con respecto al método de combustión seca de Dumas, tomado como referencia. Se obtuvo una alta correlación entre las técnicas de determinación de COT ( $r^2=0,98-0,99$ ). Se verificó el factor de corrección de 1,32, usado habitualmente en la metodología de Walkley & Black para convertir el carbono fácilmente oxidable (CFO) en COT. Se observó que la pendiente de la relación entre la MO determinada por LOI y el COT determinado por el método de Dumas (1,697) no difirió del valor de 1,724 habitualmente empleado para la conversión de COT a MO. La metodología de Dumas mostró mayor veracidad y precisión respecto de las demás técnicas de determinación de COT.

**Palabras clave.** Análisis de suelo, materia orgánica, oxidación húmeda, combustión, calcinación,

### COMPARISON OF METHODS FOR DETERMINING SOIL ORGANIC CARBON

#### ABSTRACT

Beneficial effects of soil organic carbon (COT) on physical, chemical and biological properties, is considered an indicator of soil quality, so it is necessary to determine it accurately. Walkley & Black, modified Walkley & Black and ignition (LOI) with respect to the dry combustion method of Dumas were compared for some soils of the Pampean and extrapampean region. A high correlation between COT determination techniques ( $r^2 = 0.98-0.99$ ) was obtained. Correction factor of 1.32, commonly used in the methodology of Walkley & Black to convert readily oxidizable carbon (CFO) in COT was verified. It was observed that the slope of the relationship between the COT determined by LOI and COT determined by the Dumas method (1.697) did not differ in value from 1,724, routinely used for the conversion of COT a MO. Dumas methodology showed greater accuracy and precision with respect to other techniques for determination of COT.

**Key words.** Analysis of soil organic matter, wet oxidation, combustion, calcination.

<sup>1</sup> Unidad Integrada Balcarce: EEA INTA Balcarce - Fac. Ciencias Agrarias (UNMdP). CC. 276, (7620), Balcarce, Argentina. 2CONICET.

\* Autor de contacto: eyherabide.mercedes@inta.gob.ar.

## INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) de los suelos comprende un amplio rango de sustancias carbonadas, incluyendo: la biomasa microbiana, restos vegetales y/o animales en descomposición y mezclas amorfas coloidales de sustancias orgánicas complejas de alto peso molecular (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas) (Picone, 2006). Es considerada como uno de los principales indicadores de calidad de suelo debido a su efecto benéfico sobre las propiedades físicas y el abastecimiento de nutrientes. También ha sido documentado su efecto positivo sobre la sustentabilidad del sistema productivo en el largo plazo (Varvel *et al.* 1994), por lo que es necesario determinarla con exactitud.

Se han desarrollado una gran cantidad de técnicas analíticas que permiten cuantificar tanto el contenido de MO, como el de carbono orgánico total (COT) o el C fácilmente oxidable (CFO). El método propuesto por Walkley & Black (1934) (W&B) es el más difundido en la Argentina y consiste en la oxidación húmeda de la muestra de suelo con dicromato de potasio en medio ácido. El calor desprendido, durante la incorporación del ácido sulfúrico, es el que permite la oxidación parcial del C. En este proceso se produce una reducción del dicromato, equivalente al contenido de C que es oxidado. El dicromato residual es luego titulado con sal ferrosa (Carreira, 2005). Este método solo estima el CFO, por lo que se utiliza un factor de corrección que varía del 63 al 86%, dependiendo del tipo de suelo y horizonte, para estimar el COT (Rosell *et al.*, 2001; Certini *et al.*, 2002; De Vos *et al.*, 2007). El factor de corrección generalmente utilizado es 1,32 debido a que se asume que en promedio se oxida el 76% del COT (Rosell *et al.*, 2001). Amacher *et al.* (1986), sugirió un factor de conversión de 1,41 para los suelos de Louisiana. Gasparoni (2008), en cambio, sugiere que debería utilizarse un factor de recuperación específico para cada tipo de suelo y situación. Por su parte Schlichting *et al.* (1995), propuso una modificación a la técnica de Walkley-Black (W&B modificado), aplicando calor externo (120 °C), lo que permitiría determinar el COT en lugar del CFO. La cuantificación de C por el método de W&B puede verse afectada por distintas interferencias, por ejemplo, presencia de iones cloruro o ferroso y óxidos de manganeso. A pesar de ello, este método es ampliamente utilizado porque requiere un equipamiento mínimo, puede adaptarse para la manipulación de gran número de muestras y no es costoso (Rosell *et al.*, 2001). En cuanto a las desventajas, utiliza grandes cantidades de ácido sulfúrico y presenta como producto de

desecho tóxico al ion cromo, el cual es altamente cancerígeno. Sin embargo, si la titulación del dicromato de potasio es completa, el residuo contiene sólo cromo trivalente, no cancerígeno y de muy baja toxicidad.

El método de Dumas o de combustión seca (Grewal *et al.*, 1991), permite determinar si el COT, es exacto y preciso (McCarty *et al.*, 2002), pero requiere personal calificado y es relativamente costoso. Una desventaja de esta metodología es que en suelos con presencia de carbonatos, sobrestima el contenido de COT. Para convertir el COT a MO, se utiliza el factor propuesto por Van Bemmelen de 1,724, el cual asume que el 58% de la MO está compuesta por C (Tabatabai, 1996). Sin embargo, como este contenido deriva de la composición elemental promedio de los ácidos húmicos no contempla la composición de todas las sustancias orgánicas del suelo (Ponomareva & Plotnikova, 1967). Muchos autores han cuestionado la aplicación indiscriminada de este factor (Ponomareva & Plotnikova, 1967; Ranney, 1969), demostrando que tiene alta variabilidad entre tipos de suelos y aún dentro de un mismo perfil. Galantini *et al.* (1994) informaron que se pueden encontrar concentraciones de C del 58% en la MO humificada y hasta del 40-42% en la MO joven o de residuos vegetales. Dado que la proporción de MO lábil o particulada/MO humificada cambia con la textura del suelo (Diovisalvi *et al.*, 2010) es probable que este factor cambie entre suelos.

El método de calcinación o pérdida por ignición (loss on ignition, LOI) (Schulte & Hopkins, 1996) cuantifica directamente el contenido de MO y se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a elevadas temperaturas. Existen numerosos trabajos donde se utilizan temperaturas de ignición que van desde los 250 a los 600 °C en mufla y diferentes períodos de tiempo, desde 2 hasta 24 h (Combs & Nathan, 1998). Mitchell (1932) informó que temperaturas de ignición entre 350 y 400 °C eran adecuadas. Davies (1974) concluyó que 430 °C podría ser utilizada en suelos con presencia de carbonatos. Schulte & Hopkins (1996), para muestras de suelo de la región central del norte de los EEUU, desarrollaron el método de LOI que incluye como pretratamiento el secado a 105 °C durante 24 h y luego 2 h de ignición a 360 °C. Por otro lado, Rosell *et al.* (2001) y Konare *et al.* (2010), reportaron que temperaturas mayores a 500 °C pueden implicar importantes errores en la determinación de MO por pérdida de dióxido de carbono de los carbonatos, agua estructural de los minerales de arcilla, oxidación del ión ferroso, descomposición de sales hidratadas y óxidos. No obstante, la técnica de LOI es propuesta como exacta y de

bajo costo para determinar MO (Abella & Zimmer, 2007). Sin embargo, si se quiere estimar el COT a partir de la MO se debe utilizar el factor Van Bemmelen que como se mencionó, puede variar para distintos tipos de suelos.

Para algunos suelos de la Región pampeana y extra-pampeana, no se cuenta con información acerca de la relación entre las metodologías mencionadas para la determinación de COT, CFO y MO. Por lo tanto, para los suelos de dichas regiones se plantean como objetivos: 1) comparar las metodologías de W&B (1934), W&B modificado (Schlichting *et al.*, 1995) y LOI, con respecto al método de combustión de Dumas, tomado como método de referencia, 2) verificar el factor de corrección 1,32 para convertir el CFO en COT, y 3) verificar la validez del factor de corrección 1,724 para convertir el COT en MO.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron 60 muestras de suelo provenientes de las provincias de Córdoba, Corrientes y Buenos Aires (Tabla 1). Las muestras fueron tomadas de 0 a 20 cm de profundidad, secadas en estufa a 30 °C y tamizadas por 0,5 mm. Dichas muestras no contenían carbonatos (datos no mostrados).

Para la determinación de C según W&B (combustión húmeda), a 0,5 g de suelo se le agregaron 10 mL de una solución 1 N de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) en medio ácido (20 mL de  $H_2SO_4$ ). Luego de 45 minutos se agregó agua destilada y unas gotas de indicador ferroín (0,696 g de sulfato ferroso y 1,485 g de ortofenantrolina monohidratada en 100 mL de agua destilada). Se realizó la titulación del exceso de  $Cr^{+6}$  con la sal de Mohr ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) 0,5 N. El viraje de color del verde oscuro al rojo indica la presencia del punto final. Con esta técnica se cuantifica el CFO.

En el método de W&B modificado (combustión húmeda) a 0,25 g de suelo se le agregó 5 mL de una solución de  $K_2Cr_2O_7$

en medio ácido (10 mL de  $H_2SO_4$ ). Luego se calentó a 120 °C por 90 minutos. En la reacción de oxidación el  $Cr^{+6}$  se transforma en  $Cr^{+3}$  y la cantidad formada de este último es equivalente al C orgánico oxidado en la reacción. La concentración del  $Cr^{+3}$  de color verde fue medida por espectrofotometría a  $\lambda=578$  nm.

Para la determinación de COT mediante el método de Dumas (combustión seca), se pesaron 0,2 g de suelo. La combustión de la muestra se realizó a 950 °C utilizando oxígeno de alta pureza (99,9%). El producto de la combustión,  $CO_2$  es filtrado, secado y cuantificado por medio de una celda de radiación infrarroja. Se utilizó un analizador TruSpec CN (LECO, 2008). Para la calibración del equipo se utilizaron estándares de suelo certificados, provistos por la empresa Leco.

Para la cuantificación de MO por LOI (calcinación) se siguió el método propuesto por Schulte & Hopkins (1996). Se pesaron 5 g de muestra en crisoles de 15 mL, posteriormente fueron colocados en estufa durante 24 h a 105 °C. Las muestras fueron enfriadas en desecador y pesadas. Luego se colocaron durante 2 h en una mufla a 360 °C, posteriormente se transfirieron a un desecador y luego de enfriarse se registró el peso nuevamente. El cálculo de MO se realizó por diferencia de peso en las distintas temperaturas, según:

$$\% \text{ MO} = ((\text{peso } 105 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{peso } 360 \text{ } ^\circ\text{C}) * 100) / \text{peso } 105 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La exactitud de un método está definida por la veracidad (parámetro de posición) y la precisión (parámetro de dispersión). Se empleó un estándar interno de suelo (Leco Corp. C =  $2,99g \text{ } 100g^{-1} \pm 0,06$ ) para evaluar dichos parámetros en los métodos de W&B, W&B modificado y Dumas. Se realizaron 15 repeticiones por técnica. No se incluyó la técnica de LOI en esta evaluación, por la gran cantidad de estándar a pesar y el elevado costo que esto implica.

La veracidad indica la proximidad entre el promedio de los resultados y el valor verdadero (OAA, 2008). Se evaluó a través de la medición del sesgo (bias) (diferencia entre el valor

Tabla 1. Clasificación, textura y cantidad de muestras de suelo de los sitios evaluados.

Table 1. Classification, texture and quantity of soil samples from the sites evaluated.

Sitio	Orden	Grupo	Textura	Cantidad muestras
Balcarce	Molisol	Paleudol petrocálcico	Franca	10
Bolívar	Molisol	Hapludol_éntico	Franca arenosa	8
Lobería	Molisol	Argjudol típico	Franca	6
Olavarría	Molisol	Paleudol petrocálcico	Franca	4
Tres Arroyos	Molisol	Paleudol petrocálcico	Franca	5
Tandil	Molisol	Argjudol típico	Franca	9
Villa Dolores	Molisol	Haplustol típico	Franca arenosa	9
Corrientes	Alfisol	Albacualf típico	Arcillosa	9

Fuente: INTA. 1990. Atlas de suelo República Argentina.

medio observado y el valor de referencia) y de la diferencia relativa porcentual (DRP) (INTI, 2013).

La precisión es la proximidad entre los resultados de mediciones independientes. Una forma de evaluarla es por medio de la repetibilidad: precisión aplicando un mismo procedimiento, sobre una misma muestra, con el mismo operador, en intervalos cortos de tiempos, utilizando el mismo equipamiento, dentro de un mismo laboratorio (OOA, 2008). Por medio del coeficiente de variación (CV%) se evaluó la repetibilidad de los métodos.

Para comparar las medias de los porcentajes de COT cuantificado por los métodos de W&B, W&B modificado y Dumas (Tabla 2) se utilizó un diseño completamente aleatorizado y se realizó el análisis de varianza utilizando el procedimiento PROC GLM incluido en las rutinas del programa Statical Analysis System (SAS Institute, 1996). Cuando hubo diferencia significativa entre los tratamientos se empleó el test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de significancia del 0,05%. Para calcular el COT a partir de W&B, se multiplicaron los valores de CFO por el factor de 1,32. Se realizó análisis de correlación y regresión de los métodos y se evaluó si las regresiones difieren en pendiente y ordenada al origen con la recta 1:1, mediante la utilización de variable Dummy, al nivel de significancia del 0,05%. Para comparar si las pendiente entre CFO y COT (Dumas), y LOI (calcificación) y COT (Dumas) difieren de los factores reportados por la bibliografía (1,32 y 1,724) se utilizaron los límites de confianza al 95% de dichas pendientes (SAS Institute, 1996).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras se seleccionaron con el objetivo de cubrir un amplio rango de concentración de COT (0,63 a 8,99

g 100g<sup>-1</sup>). En la Tabla 2 se presentan los resultados para evaluar la veracidad y precisión de los métodos, W&B, W&B modificado y de Dumas. El método más exacto fue el de Dumas debido a que presentó el menor sesgo, DRP y CV%, resultados que concuerdan con los obtenidos por McCarty *et al.* (2002) y Konare *et al.* (2010). Si bien existen diferencias significativas entre los contenidos de COT según las técnicas, las mismas surgen como consecuencia de la baja variabilidad y por utilizar una gran cantidad de repeticiones (n=15). De todos modos, desde el punto de vista agronómico, la diferencia entre las medias son pequeñas (4 y 6% respecto del método de Dumas). Aunque, los métodos W&B y W&B modificado presentaron un CV mayor al obtenido por el método de Dumas, se consideran aceptables ya que los mismos fueron menores al 5% (Tabla 2).

Se determinó una estrecha relación ( $p < 0,01$ ) entre los contenidos de CFO, COT y MO, determinados por medio de los métodos de W&B, W&B modificado y el método de LOI, con los contenidos de COT determinados por el método de Dumas (Fig. 1). En todas las regresiones de la Figura 1 se obtuvieron  $r^2 > 0,98$ . Cuando se eliminaron las dos muestras (puntos) con elevado contenido de COT, no se observó diferencia significativa en los coeficientes de las relaciones ni en el  $r^2$  con respecto a los gráficos mostrados (datos no mostrados). Grewal *et al.* (1991) reportaron también elevados coeficientes de correlación trabajando en suelos de Nueva Zelanda de textura arenosa a arcillosa. Si bien los resultados de la Tabla 2 indican que el método de Dumas es el más exacto, aunque el más costoso, los

Tabla 2. Promedio (g 100g<sup>-1</sup>), desvío estándar (DS), coeficiente de variación, sesgo (%), diferencia relativa porcentual (DRP) de carbono orgánico total (estándar de referencia Leco), determinado por los métodos Walkley & Black, Walkley & Black modificado y Dumas.

Table 2. Mean (g 100g<sup>-1</sup>), standard deviation (DS), coefficient of variation (CV%), trueness (%), percent relative difference (DRP) of total organic carbon (Leco standard reference), determined by Walkley & Black, modified Walkley & Black and Dumas methods.

	Método		
	Walkley & Black	Walkley & Black mod.	Dumas
Media (g 100g <sup>-1</sup> )	3,18*a	3,12*b	3,00*c
DS	0,04	0,07	0,03
CV (g 100g <sup>-1</sup> )	1,13	2,21	0,95
Sesgo (g 100g <sup>-1</sup> )	0,19	0,13	0,01
DRP	6,35	4,35	0,33

\*Valor de Referencia del estándar Leco, Carbono (g 100g<sup>-1</sup>) = 2,99+/-0,06.

Valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente según el test de la mínima diferencia significativa (LSD) al 5% de probabilidad.

resultados de la Figura 1 sugieren que cualquiera de las otras metodologías pueden ser usadas con elevado grado de confiabilidad.

La mayoría de las muestras utilizadas en este estudio correspondieron a suelos de textura franca (Tabla 2). La inversa de la pendiente de la relación entre el CFO determinado por la metodología de W&B y el COT determinado por el método de Dumas fue de 1,317 (Fig. 1a). Dicho valor, no difirió del factor 1,32 recomendado por Walkley & Black (1934) para convertir CFO en COT, esto se debe a que el coeficiente 1,32 se encuentra dentro del intervalo de confianza (1,26 a 1,35) con una probabilidad del 95%. Grewal *et al.* (1991), determinaron un factor de corrección de 1,25 para suelos de textura franco arcillosa y franco arenosa de Nueva Zelanda. Galantini *et al.* (1994) demostraron que para suelos de textura arenosa se oxida un mayor porcentaje del C y por ende el factor de conversión es menor que en suelos de textura más fina.

La pendiente de la relación entre el COT determinado por la metodología de W&B modificado y el COT deter-

minado por el método de Dumas no difirió de 1 ( $p < 0,01$ ); y la ordenada al origen no difirió de 0 ( $p < 0,05$ ), indicando que ambas metodologías no difieren en la cuantificación de COT (Fig. 1b). Estos resultados difieren de los informados por Konare *et al.* (2010), para suelos de Malí (este de África), quienes indicaron que el método de combustión seca sobrestimó ligeramente la concentración de C respecto de la metodología de W&B modificado (en promedio  $1,08 \text{ g kg}^{-1}$ ).

En la Figura 1c se puede observar que la pendiente de la relación entre la MO determinada por LOI y el COT determinado por el método de Dumas (1,697) no difirió significativamente del valor de 1,724 propuesto por Van Bemmelen y ampliamente utilizado para la conversión de COT a MO, debido a que este factor se encuentra dentro del intervalo de confianza (1,67 a 1,72) con una probabilidad del 95%. La inversa de la pendiente indica que la concentración de C en la MO fue de 58,9% en lugar de 58%. Desde el punto de vista agronómico esta diferencia es muy poco relevante (menos del 2%). Konen *et al.* (2002), utili-

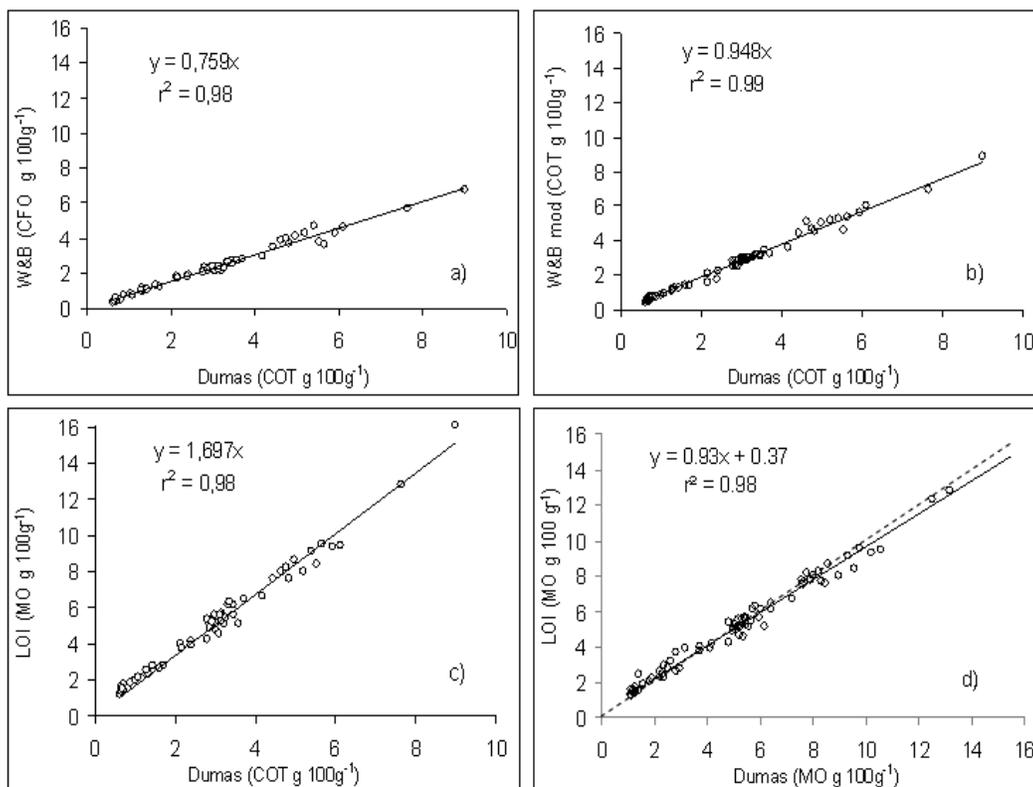


Figura 1. Relación entre el porcentaje de: carbono fácilmente oxidable (CFO) (Walkley & Black) (a), carbono orgánico total (COT) (Walkley & Black modificado) (b), materia orgánica (MO) (calcinación, LOI) (c), y el porcentaje de COT determinado por el método de Dumas. (d) Relación entre el contenido de materia orgánica (MO) determinado por calcinación (LOI) y por el método de Dumas (valores estimados). Línea punteada equivale a la recta 1:1.

zando este método, informaron relaciones de regresión que van desde  $r^2$  de 0,94 a 0,98, pero las pendientes de las regresiones difieren entre grupos de suelos de diferentes texturas. Como se mencionó, Galantini *et al.* (1994) reportaron que se pueden encontrar concentraciones de C desde el 58% en la MO humificada hasta 40-42% en la MO joven o restos vegetales, por lo que es probable que este factor sea mayor en suelos de textura más gruesa debido a la mayor proporción de MO joven. En línea con estos resultados Konare *et al.* (2010), trabajando con suelos que en su mayoría presentaban bajo contenidos de arcilla (4 a 18%), informaron un factor de conversión de COT a MO de 2,8. Por otra parte, es conveniente aclarar que de utilizar la metodología de Dumas en suelos con presencia de carbonatos se sobrestima el contenido de C y por lo tanto, se obtendría un menor factor de conversión (Abella & Zimmer, 2007).

Cuando se estimó la MO multiplicando el contenido de COT (Dumas) por el factor de Van Bemmelen (1,724) y se relacionó con el contenido de MO (LOI), la pendiente no difirió de 1 ( $P < 0,01$ ) y la ordenada al origen fue diferente de cero (Fig. 1d). Estos resultados indican que la MO se puede estimar con elevada exactitud con cualquiera de las dos metodologías. Cuando se separó la población de datos en contenidos bajos (0 a 2%), medios (2 a 4%) y altos (mayor que 4%) de COT se obtuvieron ajustes similares (datos no mostrados), pero se observó que, para las muestras con contenidos de 0 al 2% de COT, las cuales provinieron de suelos de textura arenosa, el factor de conversión 1,724 no fue el más adecuado (Fig. 1d). Con lo cual, se esperaba obtener un factor de conversión de COT (Dumas) a MO mayor a 1,724 para este tipo de suelos, pero el escaso número de muestras de este trabajo no permite realizar este análisis y obtener resultados confiables. Esto sugiere que deberían realizarse estudios que determinen este factor en suelos con diferentes texturas. Abella & Zimmer (2007), trabajando en suelos con presencia de carbonatos determinaron una baja asociación entre estas metodologías y una pendiente menor a 1. Estos autores sugieren que el método de Dumas sobrestimó la concentración de COT en suelos con presencia de carbonatos.

Los resultados obtenidos son promisorios en vista de la no producción de residuos tóxicos del método de LOI respecto de la metodología de W&B y del menor costo comparado con el método de Dumas. Además, como el método de LOI utiliza una temperatura de 360 °C, esta metodología podría utilizarse en suelos con o sin carbona-

tos. Sin embargo, para la conversión de MO por LOI a COT sería necesario estimar el factor para suelos de diferentes texturas.

## CONCLUSIONES

Para los suelos ensayados de la Región pampeana y extrapampeana de textura franca y sin presencia de carbonatos la metodología de determinación de COT de Dumas mostró mayor veracidad y precisión respecto de las demás técnicas evaluadas, pudiéndose utilizar como método de referencia. No obstante, se determinó una elevada asociación entre las distintas metodologías de determinación de COT, lo que habilita el uso de cualquiera de los demás métodos evaluados. Para el método de W&B se confirmó el factor de 1,32 para convertir CFO a COT. Para el método de LOI es factible utilizar el factor de 0,58 para convertir MO a COT.

## 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.
- Amacher, MC.; RE Henderson; RH Brupbacher & JE Sedberry. 1986. Dichromate-oxidizable and total organic carbon contents of representative soils of the major soil areas of Louisiana. *Comm. Soil Sci. and Plant Anal* 17: 1019-1032.
- Atlas de suelo de la Republica Argentina. 1990. Escala 1:500000 y 1:1000000. Tomo I y II. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. INTA. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Buenos Aires.
- Carreira, D. 2005. Carbono oxidable. Una forma de medir la materia orgánica del suelo. *En: L Marbán & S Ratto (eds). Tecnologías en análisis de suelos. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.* Pp. 91-102.
- Certini, G; G Corti & M Fernández Sanjurjo. 2002. Comparison of two soil organic matter extractants and determination of the «Walkley-Black» correction factors for organic fractions from a volcanic soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 685-693.
- Combs, SM & MV Nathan. 1998. Soil Organic Matter. *In: Brown, JR (ed) Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region.* North Central Regional Research Publication Bull. No. 221 (revised). Missouri Agricultural Experiment Station SB 1001, Univ. of Missouri, Columbia, Mo. p. 53-58.
- Davies BE. 1974. Loss-'on-ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J. Proceedings* 38:150-151.
- Diovisalvi NV; GA Studdert; NI Reussi Calvo & GF Domínguez. 2010. Relación entre el contenido de carbón orgánico particulado y total en suelos con diferente textura. XXII Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Rosario. Argentina. Actas en CDDe Vos, B; S Lettens;

- Gasparoni, JC. 2008. Determinación de la materia orgánica del suelo. *En: Galantini, JA (ed). Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Vol. 1. 1ra edn. Pp.41-50. Edi.UNS. Bahía Blanca. Argentina. 309pp.*
- Galantini JA; RA Rosell; JO Iglesias. 1994. Determinación de materia orgánica en fracciones granulométricas de suelos de la región semiárida bonaerense. *Ciencia del Suelo* 12: 81-83.
- Grewal, KS; GD Buchan & RR Sherlock. 1991. A comparison of three methods of organic carbon determination in some New Zealand soil. *Journal of Soil Sci.* 42: 251-257.
- INTI. 2013. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Disponible en <http://www.inti.gov.ar/>, verificado 26/6/2013.
- Konare, H; RS Yost; M Doumbia; GW McCarty; A Jarju & R Kablan. 2010. Loss on ignition: Measuring soil organic carbon in soils of the Sahel, West Africa. *Afr. J. Agric. Res.* 5(22): 3088-3095.
- 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.
- LECO. 2008. Organic application notes. Disponible en <http://www.leco.com/>, verificado 5/01/2012.
- McCarty, G; JB Reeves; VB Reeves; RF Follet & JM Kimble. 2002. Mid-Infrared and Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy for Soil Carbon Measurement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 640-646.
- Mitchell J. 1932. The origin, nature, and importance of soil organic constituents having base exchange properties. *J. Am. Soc. Agron.* 24: 256-275.
- Muys, B & JA Deckers. 2007. Walkley-Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. *Soil Use and Manage.* 23: 221-229.
- OAA. 2008. Organismo Argentino de Acreditación. Guía para la validación de métodos de ensayo. Código: DC-LE-05. Versión: 2. Pp: 5.
- Ponomareva, VV & TA Plotnikova. 1967. Data on degree of intramolecular oxidation of humus in various soil groups (problem of the carbon to humus conversion factor). *Soviet soil Sci.* 2: 924-933.
- Picone, LI. 2006. Propiedades del suelo relacionadas con la fertilidad. *En: Fertilidad de suelo y Fertilización de Cultivos (eds. HE Echeverría & FO García). Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. p. 3-18.*
- Ranney, RW. 1969. An organic carbon-organic matter. Conversion equation for Pennsylvania surface soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33: 809-810.
- Rosell, RA; JC Gasparoni & JA Galantini. 2001. Soil organic matter evaluation. *En: R Lal; J Kimble; R Follett & B Stewart (eds). Assessment Methods for Soil Carbon. Lewis Publishers, USA. Pp. 311-322.*
- SAS Institute. 1996. SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition. Cary, NC.
- Schlichting, E; HP Blume & K Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum, Berlin/Wien. Blockwell. Wissenschafts-Verlag, 1995, 295p.*
- Schulte, EE & BG Hopkins. 1996. Estimation of organic matter by weight loss-on-ignition. *In: FR Magdoff et al. (ed) Soil organic matter: Analysis and interpretation. SSSA Spec. Publ. 46. SSSA, Madison, WI. P 21-31.*
- Tabatabai, MA. 1996. Soil organic matter testing: An overview. p. 1-10. *In: F Magdoff et al. (eds), Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation. SSSA Spec. Pub. 46. American Society of Agronomy, Madison, WI.*
- Varvel, GE. 1994. Rotation and nitrogen fertilization effects on changes in soil carbon and nitrogen. *Agron. J.* 86: 319-325.
- 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.