

DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NITRÓGENO TOTAL EN SUELOS DE CIMAZ-MACAGUAL, PUERTO RICO Y EL DONCELLO (CAQUETÁ, COLOMBIA)

Helberth Hernán¹, Cruz-Sánchez¹, Wilson Rodríguez-Pérez^{1*}, Gelber Rosas-Patiño¹

RESUMEN

En suelos del departamento de Caquetá, se determinó si hay diferencia significativa en la determinación de materia orgánica (MO) por los métodos de Walkley-Black (W-B) y pérdida por ignición (PI). Se evaluó si hay diferencia significativa en la determinación de nitrógeno total (Nt) por los métodos de Kjeldahl (K) y estimado a partir de MO y se revisó los factores usados para determinar MO a partir de COT (1,724) y Nt a partir de MO (1/20=0,05). Se siguieron las metodologías para estimación de MO según Carreira (2005) y para pérdida por ignición (PI), según La Manna et al. (2007). Con respecto a los suelos estudiados, no se encontró diferencia significativa ($p < 0,05$) en la determinación de Nt por K y estimación de MO, tampoco en la determinación de MO por los métodos de W-B y PI. Se estableció que el factor medio de estimación de Nt a partir de MO (W-B) es 0,06 y MO (W-B) a partir de COT es 1,55. La correlación entre los métodos W-B y PI fue 0,915.

Palabras clave

Carbono orgánico, Walkley-Black, perdida por ignición, Kjeldahl, factor de Van Bemmelen

ABSTRACT

In soils of Caqueta department, it was determined if there is no significant difference in the determination of organic matter (OM) by the methods of Walkley-Black (W-B) and loss on ignition (LI). We assessed whether there is significant difference in the determination of total nitrogen (Nt) by Kjendhal methods and estimated using MO and reviewed the factors used to determine TOC from OM (1,724) and Nt from OM (1/20=0,05). The followed methodologies for estimating OM were Carreira *et al.* (2005) and La Manna *et al.* (2007) for loss on ignition (PI). Respecting to the studied soils, there was no significant difference ($p < 0,05$) in the determination of Nt by Kjendhal and estimation of OM, either in determining MO by WB and LO methods. It was established that the average factor Nt estimation from OM (W-B) is 0,06 and OM (W-B) from TOC is 1,55. The correlation between the methods W-B and PI was 0,915.

Keywords

Organic matter, total nitrogen, Walkley-Black, loss on ignition, Kjeldhal.

¹ Grupo de investigación en Geociencias (GIGEO). Universidad de la Amazonia, Florencia (Caquetá). Colombia
* w.rodriguez@udla.edu.co

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) es de mayor interés debido a su papel en la estructura y a su reconocida influencia en la dinámica de solutos. Su caracterización es por tanto, un aspecto de gran interés en edafología. La importancia de la MO se debe a su intervención en procesos de formación y estabilización de agregados, el ciclo biogeoquímico de nutrientes, el pH del suelo y el balance de agua y energía (García *et al.* 2003). Así, la MO tiene un papel importante en la retención de humedad, dado su carácter hidrofóbico (Nelson & Sommers 1996). La cuantificación de los flujos de nutrientes en el estudio de la MO, es un paso importante en el desarrollo de sistemas de manejo sostenible del suelo (Schroth *et al.* 2001), especialmente en suelos de baja fertilidad como es el caso de los órdenes Ultisol y Oxisol, propios del Caquetá (Malagón *et al.* 1995), en los cuales, la disponibilidad de los nutrientes del suelo se basa principalmente en los procesos de ciclaje de la materia orgánica (Montagnini & Jordan, 2002). De otro lado, la relación C/N informa sobre la velocidad de descomposición de residuos orgánicos en el suelo (mineralización) y se sabe que en la transformación de bosque a suelo agrícola disminuye la relación C/N (Yan *et al.* 2012). Estas apreciaciones demuestran la importancia de determinar adecuadamente los contenidos de carbono y nitrógeno del suelo.

La MO del suelo es una mezcla heterogénea, que incluye fracciones de bajo peso molecular (compuestos no húmicos) y fracciones de alto peso molecular (sustancias húmicas) (Prentice & Webb 2010). La fracción no húmica se descompone fácilmente por microorganismos (Marinari *et al.* 2010), por otro lado, las sustancias húmicas son altamente resistentes a la biodegradación y están asociadas fuertemente a la fase mineral del suelo (Abril *et al.* 2013), no obstante la captura del carbono orgánico se refleja en las sustancias húmicas (Leng *et al.* 2009). Se ha demostrado que los suelos ácidos de Colombia de origen mineral, tienen al aluminio como responsable de la acidez intercambiable (Julca *et al.* 2006). La MO es un amortiguador de la acidez intercambiable del suelo (Fassbender & Bornemisza 1994).

Existen diferentes métodos analíticos para la determinación de MO en suelo, entre estos el, método

volumétrico Walkley-Black (W-B) (combustión húmeda), espectrofotométrico W-B (combustión húmeda), pérdida por ignición (PI) (430 a 480°C, combustión seca) (García *et al.* 2003, La Manna *et al.* 2007) y análisis automático elemental (Jankauskas *et al.* 2006). La determinación por combustión húmeda método volumétrico, requiere del uso de factores de conversión de las formas del carbono, tal como 1.3 (100/77) según reporta Jankauskas *et al.* (2006), pero en el cual no hay calentamiento externo durante la digestión de la muestra. Otro factor es, 1,724 (100/58) (Pribyl 2010) para convertir los valores de carbono oxidable (COX) y carbono orgánico total (COT) a MO, respectivamente (Pribyl 2010). De otro lado, se han registrado dos metodologías para determinar nitrógeno total (Nt) del suelo, la primera corresponde al método de Kjendhal (Qi *et al.* 2009) y la segunda, es una estimación a partir del dato de MO (0,05) (Julca *et al.* 2006). Es evidente que el uso de estos factores debe ser revisado dado que las condiciones agroclimáticas varían de sitio a sitio de muestreo (Pribyl 2010). Es de notar que el contenido de nitrógeno del suelo es afectado por la temperatura y la humedad ambiental (Fassbender & Bornemisza 1994). Se ha indicado que el calor de disolución del ácido sulfúrico en el método de W-B es suficiente para oxidar la MO y por tanto no se requiere de calor externo (Walkley & Black 1934), apreciación discutida por otros autores (Henao 2007).

Por lo anterior, en el presente trabajo se evaluó: a) si hay diferencia significativa en la determinación de Nt por los métodos de el método K y estimación a partir de MO; b) si hay diferencia significativa en la determinación de MO por los métodos W-B y PI, y c) revisar los factores usados para determinar MO a partir de COT(1,724) y Nt a partir de MO (1/20=0,05) con el fin de iniciar estudios formales de establecimiento de los respectivos factores para suelos del piedemonte amazónico.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Comparación de dos métodos (estimación de %MO y método K) para determinación de nitrógeno

total (%Nt), relación C/N y factor de estimación en suelo.

Área de estudio 1. Centro de Investigaciones Amazónicas Macagual (CIMAZ) de propiedad de la Universidad de la Amazonia, ubicado a 20 km sobre la vía que de Florencia conduce al municipio de Morelia en el Departamento de Caquetá, sobre el bosque húmedo tropical, a una altura de 250 m.s.n.m., una temperatura media de 25,5 °C, una humedad relativa promedio de 76,3%, y una precipitación media de 3 793 mm.año⁻¹ (Estrada & Rosas, 2008). Las referencias de los sitios son: **A**, **B**, **C** y **D**. (García et al. 2012). Para otro punto de comparación de donde se recolectaron muestras fue en el municipio de Puerto Rico, Ubicado a 96 km de Florencia hacia el norte del departamento, zona perteneciente al piedemonte de la cordillera oriental a 249 msnm y a temperatura promedio de 26°C, muestras identificadas como cn1 a cn8.

Evaluación del factor de conversión de %COX (COT) a % MO.

Área de estudio 2. Se colectaron muestras en CIMAZ Macagual, en bosque natural semi-intervenido. Las coordenadas de los sitios de muestreo fueron: **M1**, N 01°29'52" W75°39'08"; **M2**, N 01°29'50" W75°39'08"; **M3**, N 01°29'49" W 75°39'09"; **M4**, N 01°29'48,4" W 75°39'10,9"; **M5**, N 01°29'47,7" W 75°39'13,7"; **M6**, N 01°29'46,6" W 75°39'16,3"; **M7**, N 01°29'46,9" W 75°39'18,7"; **M8**, N 01°29'51,1" W 75°39'19,5"; **M9**, N 01°29'55,5" W 75°39'19,8"; **M10**, N 01°29'42,4" W 75°39'13,8". Se les determinó a estas muestras %MO por combustión seca (pérdida por ignición a 480°C) (La Manna et al. 2007), y por combustión húmeda W-B (Carreira 2005), a 28 y 120°C durante 10 minutos. Análisis por triplicado. Se le determinó humedad gravimétrica (%HG) por duplicado.

Muestreo

Área de estudio 1. Se tomaron sub-muestras disturbadas en zig-zag a una profundidad de 10 cm con la ayuda de palín, previamente flameado con alcohol 70% y se evitó el contacto directo con las

muestras, que fueron secadas a 70°C durante 48h. **Área de estudio 2.** Bloques al azar, muestras disturbadas en zig-zag a 10 cm tomadas con palín, las muestras fueron secadas a temperatura ambiente 28°C durante 60 horas (Muñoz et al. 2011).

En todos los casos, las muestras fueron tamizadas a 2 mm, empacadas y rotuladas en bolsas de polietileno (Fernández et al. 2005) para posterior análisis fisicoquímico en la unidad de apoyo de Geociencias (UAGEO) de la Universidad de la Amazonia (UA).

Diseño experimental

Área de estudio 1. Puerto Rico: Bloques completos al azar, con arreglo factorial 8x2 (muestra x método) y CIMAZ Macagual: Bloques completos al azar, con arreglo factorial 4x2 (muestra x método).

Área de estudio 2. Bloques completos al azar, con arreglo factorial 10x2 (muestra x método).

Análisis físicos y químicos

Área de estudio 1. Nitrógeno total (Nt) a partir de (%MO) mediante los métodos W-B (Carreira 2005) y K (Orden et al. 2011). Los análisis se realizaron por triplicado para las muestras de CIMAZ, y por duplicado para las muestras provenientes de suelos de Puerto Rico. **Área de estudio 2.** Humedad Gravimétrica (%HG) método gravimétrico (Gardner 1986) Carbono Orgánico Total (%COT) (Walkley & Black 1934, Carreira 2005) y Cenizas por el método de pérdida por ignición (Davies 1974, La Manna et al. 2007).

Análisis estadístico

Para los datos de las áreas de estudio 1 y 2, se reportó media (\pm) desviación estándar, luego se realizó análisis de varianza (ANAVA) y prueba *t student*. Las diferencias entre medias fueron evaluadas usando DMS (Di Rienzo et al. 2010). Para área de estudio 2, se realizó análisis de correlación entre métodos de determinación de MO. Con respecto al área de estudio 1, a las muestras de Puerto Rico se reportó media de dos determinaciones. Se usó el paquete estadístico Statgraphics plus 4.0.

RESULTADOS

Comparación de dos métodos (estimación de %MO y K) para determinación de nitrógeno total (%Nt) y C/N

Se ha establecido que el 5% de la MO ($MO/20=Nt$) del suelo corresponde a Nt (Julca *et al.* 2006). Al comparar los contenidos de Nt del suelo de CIMAZ Macagual por método K y estimado de MO (W-B), no se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$). Los valores de Nt estimado a partir de MO, estuvieron por debajo del valor de Nt determinado por el método K (Tabla 1); los resultados de las muestras de Puerto Rico presentaron un comportamiento similar (Tabla 2). De

otro lado, el factor medio de estimación de Nt a partir de MO en muestras de CIMAZ Macagual tuvo menor variación (%CV 4,60) comparado con las de Puerto Rico (%CV 18,54). Estos factores medios ($1/18,11=0,05$ y $1/15,01=0,07$, valor medio $1/16,65=0,06$) son menores al reportado ($1/20=0,05$) por Julca *et al.* (2006). Posiblemente la diferencia se atribuye a la distancia entre los sitios de muestreo (García *et al.* 2003, Lugo 2013). Estos resultados permiten suponer que en Caquetá, probablemente el %Nt corresponde puede oscilar entre el 6-7% respecto de la MO. Se encontró menor variación de la relación C/N en muestras de suelo de CIMAZ Macagual (%CV 5,13) respecto de las muestras de Puerto Rico (%CV 18,65), ambas usando Nt determinado por K.

TABLA 1. COMPARACIÓN DE PORCENTAJE NITRÓGENO TOTAL Y RELACIÓN C/N DETERMINADO POR DOS MÉTODOS (K Y ESTIMADO DE MO) EN MUESTRAS DE SUELO DE CIMAZ MACAGUAL.

Muestra	Nt ⁴ K%	COT ^{2,4} %	MO ³ %	%Nt estimado (%MO/20)	Factor (MO/NtK)	Factor medio	C/N	
							Kjeldahl	Estimado
A	0,30±0,04a ¹	3,27±0,01	5,64±0,02	0,28±0,01a	18,80	18,11±0,93	11,0	11,6
B	0,34±0,06a	3,62±0,10	6,25±0,02	0,31±0,01a	18,38		10,6	11,6
C	0,36±0,04a	3,49±0,32	6,03±0,56	0,30±0,03a	16,75		9,8	11,6
D	0,32±0,05a	3,44±0,17	5,93±0,29	0,30±0,02a	18,53		10,8	11,6

1, igual letra minúscula a la derecha de desviación estándar en la misma fila indica no diferencia significativa ($p<0,05$).

2, determinado según W-B, 3, COT x 1,724

4, tomado de García *et al.* 2012.

La relación C/N, fue menor en las muestras de Puerto Rico comparado con las muestras de CIMAZ Macagual, lo que indicó que el grado de humificación fue mayor (Bai *et al.* 2005). Nótese que los valores de la relación C/N (Tabla 1 y Tabla 2), muestran similitud con suelos de la región amazónica (7,4-13,5) (Batjes & Dijkshoorn 1998, Fonte *et al.* 2013), del norte de China (8,7-10,28) (Yan *et al.* 2012) y están en el rango a nivel mundial (9,8-17,5) (Kirkby *et al.* 2011). Se ha sugerido que la relación C/N entre 10-12 es la más adecuada ya que coincide con la relación C/N de hongos (8-25) y bacterias (5-10) (Castro 1998, Kirkby *et al.* 2011).

La variabilidad presentada en los contenidos de Nt y MO en los diferentes puntos de muestreo, es decir, variabilidad espacial (CIMAZ y Puerto Rico), podría depender en parte a la textura del suelo derivada del material parental como han reportado otros autores (Fonte *et al.* 2013, Huang *et al.* 2007). La variación en el contenido de Nt, podría atribuirse principalmente a los diferentes niveles de descomposición y mineralización de la MO. La pérdida de Nt presentada en muestras de Puerto Rico, puede deberse a fenómenos de absorción de las plantas, inmovilización, lixiviación, volatilización de amoníaco y desnitrificación (Bai *et al.* 2005).

TABLA 2. COMPARACIÓN DE % NITRÓGENO TOTAL EN SUELO DETERMINADO POR DOS MÉTODOS (K Y ESTIMADO DE MO) DE MUESTRAS DEL MUNICIPIO DE PUERTO RICO.

Muestra	% Nt K	COT %	MO %	Nt MO/20 %	Factor (MO/ Nt K)	Factor medio	C/N	
							Kjeldahl	Estimado
cn ₁	0,17	1,22	2,1	0,11	12,35	15,01±2,80	7,09	11,6
cn ₂	0,16	1,51	2,6	0,13	16,25		9,56	11,6
cn ₃	0,18	1,62	2,8	0,14	15,55		9,05	11,6
cn ₄	0,19	1,10	1,9	0,10	10,00		5,85	11,6
cn ₅	0,19	1,51	2,6	0,13	13,68		8,12	11,6
cn ₆	0,12	1,28	2,2	0,11	18,33		10,76	11,6
cn ₇	0,22	2,20	3,8	0,19	17,27		9,82	11,6
cn ₈	0,21	2,03	3,5	0,18	16,66		9,67	11,6

cn: código de muestra. C/N: relación carbono nitrógeno. Promedio de dos determinaciones.

Efecto de la temperatura en la determinación de MO por Walkley - Black (W-B)

Se ha indicado que el calor de disolución del ácido sulfúrico en el método de W-B es suficiente para oxidar la MO y por tanto no se requiere de calor externo (Walkley & Black 1934). Así, al comparar el efecto de la temperatura en la determinación de MO en muestras de suelo de CIMAZ Macagual no se encontró diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las dos temperaturas evaluadas (Tabla 3). Por esto en la comparación de métodos para determinar MO por W-B y PI, se optó por calentar las muestras a 120°C durante 10 min cuando se usó el método de W-B con el fin de garantizar la oxidación completa de la MO de las muestras de suelo. En el método W-B, la MO es oxidada por acción del dicromato de potasio, que junto con la adición de ácido sulfúrico genera una reacción exotérmica que aumenta la temperatura hasta los 120°C (Rosell *et al.* 2001). No obstante, al sostener la temperatura de 120°C y durante 10 min, en este trabajo, permitió obtener mayor contenido medio de MO respecto al ensayo a 28°C (Tabla 3), esto posiblemente debido a la inclusión de formas condensadas de carbono elemental, entre 90-95%, que normalmente no son oxidadas a baja temperatura (Jackson 1976). Es de notar, que aparte de la variación que conlleva la metodología analítica para determinar MO, también

se puede presentar variabilidad en la determinación por factores externos, como los tipos de cobertura vegetal (La Manna *et al.* 2007). Otros estudios han reportado menor contenido de COT al disminuir la concentración de ácidos sulfúrico de 24N a 12N en el ensayo de W-B, evidenciando el efecto del ácido mineral sobre la determinación de MO (Orden *et al.* 2011)

TABLA 3. COMPARACIÓN DE % MO CON EL MÉTODO DE W-B USANDO EL FACTOR 1,724, A DOS TEMPERATURAS (28 Y 120°C) EN MUESTRAS DE SUELO DE CIMAZ, MACAGUAL. TIEMPO=10 MIN.

Muestra	MO	
	28°C	120°C
M ₁	3,32±0,28 ^{a1}	3,99±0,36 ^a
M ₂	4,66±0,24 ^a	4,68±0,41 ^a
M ₃	3,88±0,20 ^a	4,36±0,34 ^a
M ₄	3,92±0,28 ^a	5,18±0,44 ^a
M ₅	6,13±0,22 ^a	6,70±0,07 ^a
M ₆	5,48±0,32 ^a	6,37±0,04 ^a
M ₇	4,81±0,52 ^a	5,91±0,38 ^a
M ₈	5,60±0,14 ^a	6,08±0,33 ^a
M ₉	4,72±0,43 ^a	5,69±0,07 ^a
M ₁₀	6,05±0,24 ^a	6,56±0,17 ^a

1, igual letra minúscula a la derecha de desviación estándar en la misma fila indica no diferencia significativa ($p < 0,05$).

Evaluación del factor de conversión de COT a MO

Teniendo en cuenta que en el estudio de variación de temperatura en el método de W-B no se presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las dos temperaturas evaluadas (28 y 120°C), y que se registró mayor valor medio de MO a 120°C (Tabla 3), se usó W-B con calentamiento a 120°C en la revisión preliminar del factor de Van Bemmelen para Caquetá (Tabla 4). El factor 1,724 está basado en el supuesto de que el 58% de la MO del suelo corresponde al Carbono orgánico total (Van Bemmelen, 1890). Estudios publicados a finales del siglo XIX y a principios del siglo XX han demostrado variabilidad en el factor indicando que no es propio en todos los casos variando de 1,74 en suelos minerales y orgánicos alrededor del mundo hasta 3.45 en suelos minerales y agrícolas de Inglaterra. Es de notar que el 61% de los factores para estimar MO de COT por W-B corresponde a un valor medio de 2,2 (Pribyl 2010). Antes de evaluar el factor de Van Bemmelen para las muestras de suelo aquí analizadas, se procedió a comparar el método de W-B y PI para determinar MO del suelo, encontrándose que no se presentó diferencia significativa ($p < 0,05$) (Tabla 4). Estos resultados presentaron tendencias diferentes a las reportadas para suelos del sur de Argentina con diferentes coberturas (MO PI > MO W-B) cuando se compararon las mismas metodologías aquí evaluadas (La Manna *et al.*, 2007).

El factor de conversión de COT a MO es de 1,3 para método W-B (sin calentamiento) y de COT a

MO es de 1,724 por método Tyurina (W-B con calentamiento) (Jankauskas *et al.* 2006, Pribyl 2010). Para los suelos estudiados del Caquetá, el factor de conversión medio de COT a MO fue de 1,555 (Tabla 4). Esto indicaría que el contenido de COT en la MO de los suelos aquí estudiados corresponde al 64,3%, un valor superior al promedio mundial de 58% dado por Van Bemmelen (Van Bemmelen, 1890). Las diferencias presentadas en los contenidos de MO por PI y W-B según la ecuación propuesta por Galantini (1994) (Tabla 4), en donde las determinaciones pueden arrojar resultados variables. Dichas estimaciones (% Dif), arrojaron valores que oscilaron entre -28 y 79%, indicando que la variabilidad puede ser mayor o menor a lo estimado realmente. En promedio, la diferencia está alrededor del 16%, dentro del rango reportado por Galantini (1994) (Dif: 10-17%).

Salehi *et al.* (2011) afirman, que las variaciones de las temperaturas al momento de determinar los contenidos de MO por PI, señalan además que las temperaturas óptimas para determinar MO en comparación con el método de W-B, deben ser mayores a 360°C pero menores que 500°C, con el fin de garantizar una combustión completa, pero que a su vez, no presente pérdidas de carbonatos. Por esta razón en el presente estudio se calcinó la muestra seca de suelo a 480°C.

Según la correlación planteada por (La Manna *et al.* 2007), se encontró una correlación alta (R^2 0,915) (Figura 1) entre los dos métodos evaluados (W-B y PI) para la determinación del contenido de MO.

TABLA 4. COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS (W-B Y PI) PARA DETERMINAR % MO EN MUESTRAS DE SUELO DE CIMAZ MACAGUAL.

Muestra	COT (W-B)	% MO (PI) (bs)	% MO (W-B)	MO (PI)/COT	Factor medio	Diferencia (%)
M ₁	2,31	5,11±2,80a	3,99±0,36a	2,21		-28
M ₂	2,72	5,16±1,10a	4,68±0,41a	1,90		-9
M ₃	2,53	5,28±0,75a	4,36±0,34a	2,09		-17
M ₄	3,01	5,92±0,71a	5,18±0,48a	1,97		-12
M ₅	3,89	5,56±0,49a	6,70±0,07a	1,43	1,55	21
M ₆	3,70	5,44±0,41a	6,37±0,04a	1,47		17
M ₇	4,43	4,44±0,49a	5,91±0,38a	1,00		33
M ₈	3,53	3,40±2,07a	6,08±0,33a	0,96		79
M ₉	3,30	3,61±0,42a	5,69±0,07 ^a	1,09		58
M ₁₀	3,80	5,45±0,47a	6,56±0,17a	1,43		20

1, igual letra minúscula a la derecha de desviación estándar en la misma fila indica no diferencia significativa ($p < 0.05$). bs: base seca

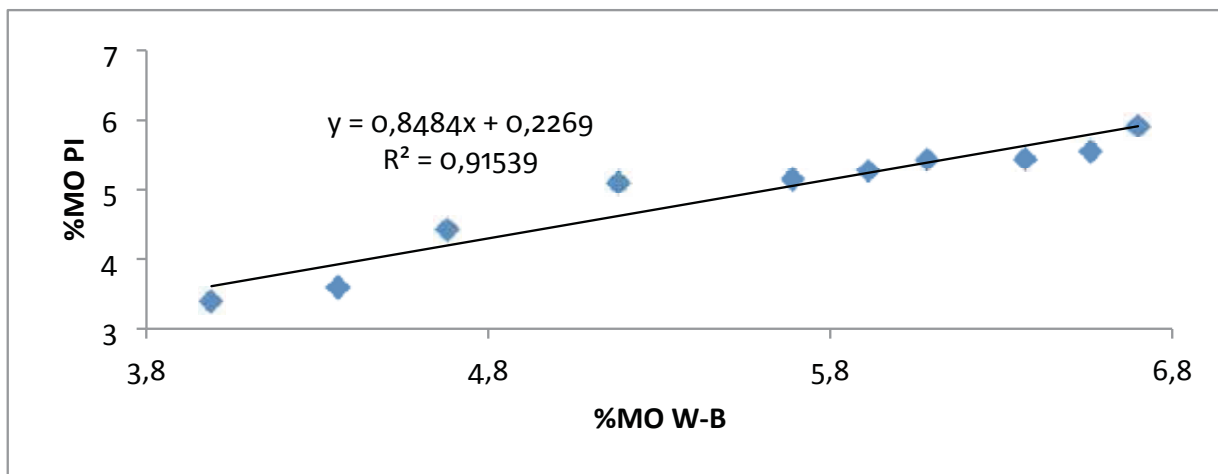


FIGURA 1. CORRELACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS PI Y W-B PARA DETERMINAR MO DEL SUELO.

Trabajos similares han reportado correlaciones entre 0,89-0,96 (Pribyl 2010), 0,67-0,70 (Salehi *et al.* 2011), 0,67-0,74 (Jankauskas *et al.* 2006).

CONCLUSIÓN

Los resultados no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la determinación de Nt por K y estimación a partir de MO, tampoco en la determinación de MO por los métodos de W-B y PI. Se estableció que el factor medio de estimación de Nt a partir de MO (W-B) es 0,06 y MO (W-B) a partir de COT es 1,55. La correlación entre los métodos W-B y PI fue 0,915. Al comparar el efecto de la temperatura en la determinación de MO en muestras de suelo de CIMAZ Macagual no se encontró diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las dos temperaturas evaluadas. La implementación del factor de Van Bemmelen amerita ser repensado, como herramienta para la determinación de MO que presenten fuentes de variación por geoforma y cobertura, dado que el factor de estimación en este caso fue menor a 1,724. El factor de estimación de Nt a partir de MO, también debe ser reevaluado para estos suelos, puesto que fue mayor a 0,05. Se hace necesario realizar un estudio más detallado y con mayor número de repeticiones, con el propósito de encontrar el modelo de la curva más ajustado para determinar MO en Oxisoles y Ultisoles bajo diferentes tipos de uso en la Amazonia colombiana.

AGRADECIMIENTOS

Vicerrectoría de Investigaciones, Universidad de la Amazonia, por la financiación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A., Merlo, C. & Noe, L. 2013. Realistic soil C sink estimate in dry forests of western Argentina based on humic substance content. *Journal of Arid Environments*, 91: 113-118.
- Batjes, N.H. & Dijkshoorn, J.A. 1998. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. *International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Wageningen, Netherlands. Geoderma*, 89: 273-286.
- Bai, J., Ouyanga, H., Dengb, W., Zhub, Y., Zhangb, X. & Wang, Q. 2005. Spatial distribution characteristics of organic matter and total nitrogen of marsh soils in river marginal wetlands. *Geoderma*, 124: 181-192.
- Cameron, F.K. & Breazeale, J.F. 1904. The organic matter in soils and sub-soils. *Journal of the American Chemical Society*, 26: 29-45.
- Castro, H. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Manual técnico. Tunja. Instituto Universitario Juan de Castellanos. Colombia.
- Carreira D. 2005. Carbono oxidable: Una forma de medir la materia orgánica del suelo. In: Marbán L, Ratto SE, eds. *Tecnologías en análisis*

- de suelos. Alcance a laboratorios agropecuarios, Buenos Aires (Argentina): Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 91-98.
- Davies, B. 1974. Loss-on ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Sci. Proc*, 38: 150.
- Di Rienzo, J., Casonaves, F., Balzarini, M., Gonzales, L. & Tablada, C.W. InfoStat. 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infoestat.com.ar>.
- Estrada, C. A. & Rosas, G. 2008. Centro de investigaciones amazónicas Macagual. *Rev. Momentos de Ciencia*, Vol. 5. 1-2. 9.
- Fassbender, H. W. & Bornemisza, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. San Jose de Costa Rica.
- Fernández, L., Zalba, P. & Gómez, M. 2005. Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. *En:Ct. Suelo (Argentina)*. Vol 23: 1.
- Fonte, S., Nesper, M., Hegglin, D., Velásquez, J., Ramirez, B., Rao, I., Bernasconi, S., Bünemann, E., Frossard, E. & Oberson, A. 2013. Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 68: 150-157.
- Galantini, J.A., Rosell, A.L. & Iglesias, J.O. 1994. Determinación de materia orgánica empleando el método de Walkley y Black, en fracciones granulométricas del suelo. *Ciencia del Suelo*, 12: 81-83.
- García, D., Moreno, C. M., Atienza, J. & Marinero, D.P. 2003. Variabilidad espacial del contenido de materia orgánica en el suelo de una plantación de viñedo. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. Álvarez-Benedí J. & Marinero P. Vol. 6.
- García, R. A., Rodríguez, P. W., Rosas, P. G. & Velásquez, R.J. 2012. Caracterización física, química y microbiológica de dos tipos de suelo del piedemonte amazónico. *Ingeniería & Amazonia*. En prensa.
- Gardner, W. H. 1986. *Methods of soil analysis*. Part 1. Ed. Klute. A.S.A. Inc. SSS. Alnc. Madison. Wisconsin. USA.
- Henao, M.C. 2007. Procedimientos operativos estándar para análisis de suelos en el laboratorio de suelos de la facultad de agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 57.
- Huang, B., Sun, W., Zhao, Y., Zhu, J., Yang, R., Zou, Z., Ding, F. & Su, J. 2007. Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices. *Geoderma*, 139: 336-345.
- Jackson, M. 1976. *Análisis químico de suelos*. Ed. Omega. Barcelona.
- Jankauskas, B., Slepeliene, A., Jankauskiene, G., Fullen, M. A. & Booth, C. A. 2006. A comparative study of analytical methodologies to determine the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols. *Geoderma*, 136: 763-773.
- Julca, O.A., Meneses, F.L., Blas, S.R. & Bello, A.S. La materia orgánica, importancia y experiencias de uso en la agricultura. *Idesia*. Vol 24. 1: 49-61.
- Kirkby, C.A., Kirkegaard, J.A., Richardson, A.E., Wade, L.J., Blanchard, C. & Batten, G. 2011. Stable soil organic matter: A comparison of C:N:P:S ratios in Australian and other world soils. *Geoderma*, 163: 197-208.
- La Manna, L., Buduba, C., Alonso, V., Davell, M., Puentes, C. & Irisarri, J. 2007. Comparison of analytical methods for determining soil organic matter in Patagonian Andean region: effects of vegetation and soil types. *Ci*, 25(2): 179-188.
- Leng, L. Y., Ahmed, O. H., Majid, N. M. & Jalloh, M. B. 2009. Organic matter, carbon and humic acids in rehabilitated and secondary forest soils. *American Journal of Applied Sciences*, 6: 711-715.
- Lugo, A. E. 2013. Comparison of Tropical Tree Plantations with Secondary Forests of Similar Age. *Ecological Society of America*, Vol. 62 N° 1: 1-41.
- Malagón, D., Pulido, C., Llinas, R. & Chamorro, C. 1995. *Suelos de Colombia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá.
- Marinari, S., Dell'Abate, M. T., Brunetti, G. & Dazzi, C. 2010. Differences of stabilized organic carbon fractions and microbiological activity along a Mediterranean aridisols and alfisols profiles. *Geoderma*, 156: 379-388.
- Montagnini, F. & Jordan, C. 2002. Reciclaje de nutrientes. *In Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Eds. M. Guariguata; G. Kattan. Cartago, CR, Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.
- Muñoz, J., Rosas, G. & Rodríguez, W. 2011. Manual de prácticas de análisis físico de suelos manual de prácticas de análisis físico de suelos. En: UA-GEO-guías física y química de suelos.

- Miyazawa, M., Pavan, M.A., De Oliveira, E.L., Ionashiro, M. & Silva, A. K. 2000. Gravimetric Determination of Soil Organic Matter. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol. 43. 5:475-478.
- Nelson, D. W. & L. E. Sommers. 1996. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. pag 1001-1062. In D. L. Sparks (ed.). *Method of Soil Analysis, Part 3 Chemical Methods*. SSSA Book Series N°5, Madison, WI.
- Orden L., Mandolesi M. E., Kiessling R. J. S. & Ron M. M. 2011. Spatial Variability of Soil Fertility in a Block Design. Argentina. *Spanish journal of soil science*, Vol 1.1.
- Prentice, A. J. & Webb, E. A. 2010. A comparison of extraction techniques on the stable carbon-isotope composition of soil humic substances. *Geoderma*, 155: 1-9.
- Pribyl, D. W. 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. Department of Soil, Water, Climate, University of Minnesota, United States. *Geoderma*, 156: 75-83.
- Salehi, M. H., Hashemi, O., Beigi H. H., Esfandiarpour, I. & Motaghian, H. R. 2011. Refining soil organic matter determination by loss-on-ignition. Published by Elsevier B.V. and Science Press. *Pedosphere*, 21(4): 473-482.
- Scroth, G., Elias, M., Uguen, K., Seixas, R. & Zech, W. 2001. Nutrient fluxes in rainfall, throughfall and stemflow in tree-based land use systems and spontaneous tree vegetation of Central Amazonia. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 87:37-49.
- Rosell, R. A., Gasparoni, C. & Galantini, J. A. 2001. Soil organic matter evaluation. pag. 311-322. *En: R Lal; J Kimble; R Follett & B Stewart (eds.). Assessment Methods for Soil Carbon*. Lewis Publishers, USA
- Van Bemmelen, J. M. 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 & Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*, 34: 29-38.
- Yan, Y., Tian, J., Fan, M., Zhang, F., Li, X., Christie, P., Chen, H., Lee, J., Kuzyakov, Y. & Six, J. 2012. Soil organic carbon and total nitrogen in intensively managed arable soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 150: 102-110.
- Qi, Y., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W. & Gu. Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149: 325-334.