



Comparación de métodos analíticos para determinar materia orgánica en suelos cultivados con cacao, pasto y palma aceitera en el Sur del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela

Jhoen Atencio-Pulgar¹, Betty García¹, y Ana Francisca González-Pedraza¹ *✉.

¹Grupo de Investigaciones en Agroecología Tropical, GIAT. Laboratorio de Suelos. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago (UNESUR). Santa Bárbara de Zulia. Venezuela.

Código: 2011/01/AA/03

Recibido Enero-2013/aprobado Octubre-2013

RESUMEN

Existen diferentes métodos analíticos para determinar la materia orgánica (MO) de los suelos, entre ellos: digestión húmeda de Walkley-Black y pérdidas de MO por ignición. El objetivo de este estudio fue comparar ambos métodos en suelos cultivados con cacao (C), pasto (P), palma aceitera (PA) y un bosque natural (B) de la Zona Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. Se tomaron muestras de suelo de 0-20 cm de profundidad y se determinó la MO mediante el método de digestión húmeda (%MODH) y pérdidas de MO por ignición (%MOPI). Se utilizó un diseño totalmente al azar, se aplicó un análisis de varianza de una vía y pruebas de comparación de medias de Tukey con la ayuda del programa Statistica versión 6,0 para Windows. El %MODH resultó estadísticamente menor ($F < p = 0,05$) en C, mientras que entre B, P y PA no hubo diferencias. El %MOPI resultó significativamente más alto ($F < p = 0,05$) en B con respecto a PA, mientras que entre B, C y P no hubo diferencias. El %MODH fue menor al %MOPI, en todos los tipos de vegetación. Debido a que no se pudo establecer una relación entre ambos métodos, es necesario realizar más estudios, incluir más sitios con otros tipos de vegetación y aumentar el número de muestras de suelo.

Palabras clave: materia orgánica en suelos cultivados; método Walkley-Black; pérdidas de materia orgánica por ignición.

ABSTRACT

Comparison of analytical methods for determining soil organic matter in crop with cocoa, pastures and oil palm at the Sur del lago de Maracaibo, Zulia state, Venezuela.

There are different analytical methods to determine the organic matter (OM) of soils, including: wet digestion by Walkley-Black and OM losses by ignition. Therefore, the aim of this study was to compare these two methods in soils with cocoa (C), pasture (P), oil palm (OP) and natural forest (F) in the part of Sur del lago de Maracaibo, Venezuela. Soil samples were taken from 0-20 cm depth and OM was determined by using wet digestion methods (% OMWD) and OM losses by ignition (% OMLI). A completely randomized design was used; An analysis of variance for one-way was applied and mean comparison test by tukey with the help of the "Statistic" program from Windows version 6.0. The %OMWD was statistically lower ($p < F = 0.05$) in C, while among F, P and OP there were no differences. The % OMLI was significantly higher ($p < 0.05$) in F with respect to OP, while between F, C and P there were no differences. The % OMWD was less than % OMLI, in all different vegetation types. Due to it could not establish a relationship between both methods, more studies are necessary, include more sites with other vegetation type and increase the number sample of soil.

Keywords: soil organic matter crops; Walkley-Black method; loss ignition organic matter.

INTRODUCCIÓN

En el Sur del Lago de Maracaibo en Venezuela, se han incorporado grandes extensiones de tierras para pastizales,

palma aceitera y en menor extensión otras plantaciones, entre ellas el Cacao (Romero y Monasterio, 1996).



En la mayoría de los casos la siembra de estos cultivos se ha hecho sin considerar las características de los suelos, en especial porque se trata de suelos fértiles originados por la deposición de sedimentos arrastrados por los ríos provenientes de la Cordillera de Los Andes (COPLANARH, 1975).

El establecimiento de cultivos agrícolas en zonas tropicales causa importantes cambios en las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Se ha hecho notorio que la siembra de diferentes cultivos conlleva al deterioro significativo de los suelos, evidenciado por las pérdidas de la materia orgánica total, disminución de su capacidad de intercambio catiónico y del porcentaje de saturación con bases, aumento en la densidad aparente en detrimento de la estructura del suelo, entre otros (González-Pedraza *et al.*, 2011a; González-Pedraza *et al.*, 2011b; González-Pedraza y Dezzeo, 2011c; Lepsch *et al.*, 1994; Emadi *et al.*, 2008). Tales pérdidas conducen a una disminución en la fertilidad de los suelos con el consecuente deterioro de sus condiciones físicas, químicas y biológicas, lo cual reduce su capacidad para suministrar nutrientes en cantidades adecuadas para el crecimiento normal de las plantas (Bonde *et al.*, 1992; Mosier, 1998).

La variabilidad encontrada en el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) en diferentes ecosistemas ha sido asociada con la cantidad de residuos orgánicos que ingresan al suelo, así como con la velocidad a la que estos residuos son descompuestos (Jaramillo y Sanford, 1995). Los residuos orgánicos acumulados en el suelo son sometidos a diferentes tasas de recambio del carbono (C), que definirán las reservas de la MOS. Esas reservas han sido divididas en dos fracciones: una activa o lábil y la otra pasiva o estable. La fracción lábil está compuesta de restos vegetales frescos sometidos a una rápida descomposición. Esa fracción es particularmente importante en el ciclaje de nutrientes en los suelos de ecosistemas naturales y cultivados (Tisdall y Oades, 1982; Stevenson, 1994) y es la primera que se pierde como resultado de las perturbaciones (Stevenson, 1994; Gregorich *et al.*, 1996). La fracción pasiva o estable está compuesta por materiales húmicos provenientes de la descomposición, los cuales están a menudo acomplexados con las arcillas (Christensen, 1992; Stevenson, 1994).

Existen diferentes técnicas analíticas para la determinación de la MOS, que van desde los métodos cualitativos entre ellos, espectroscopía de resonancia magnética nuclear (NMR por sus siglas en inglés), hasta los métodos cuantitativos tales como: digestión húmeda de Walkley-Black (Walkley y Black, 1934) y pérdidas de materia orgánica por ignición (Davies, 1974). Estos dos últimos han sido usados y comparados con éxito en otras regiones utilizando diferentes tipos de vegetación y clases de suelos (Jankauskas *et al.*, 2006; La Manna *et al.* 2007; Sanmanee y Suwannaooin, 2009).

El método de digestión húmeda de Walkley-Black se basa en la oxidación de la MOS del suelo mediante el tratamiento de la muestra con una mezcla de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, provocando un exceso de calor que conduce a la formación de CO_2 y un exceso de $Cr_2O_7^{2-}$. Este último es titulado con una solución ferrosa donde el $Cr_2O_7^{2-}$ reducido es equivalente al C orgánico presente en la muestra (Walkley y Black, 1934). Con este método solamente es posible determinar una parte del C orgánico del suelo debido a que no se logra una completa oxidación de la MO (Jackson, 1976). Por ello, se usa un factor de corrección que suele variar dependiendo del tipo de suelo y del horizonte considerado (Rosell *et al.*, 2001; Certini *et al.*, 2002; De Vos *et al.*, 2007).

La determinación de la MO a través del método de pérdidas por ignición (%MOPI) involucra la destrucción de toda la MO del suelo a través del sometimiento de una muestra de peso conocido a una temperatura no mayor de $430^\circ C$ en un horno-mufla durante 24 h con el fin de lograr una completa oxidación de la MO, incluyendo formas condensadas, humus, humatos y residuos orgánicos poco alterados (Davies, 1974). También a esta temperatura se evita la destrucción de algunos carbonatos y de grupos hidroxilos que pudieran estar presentes en la muestra y la pérdida de agua estructural de los minerales de arcilla (Davies, 1974; Nelson y Sommers, 1996). Una vez enfriada la muestra es colocada en un desecador y el contenido de MO es calculado por la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra dividido entre el peso inicial y multiplicado por 100. Este peso es corregido mediante la determinación del contenido de humedad previo al cálculo de la MOS. Debido a que no se usan reactivos y el tiempo requerido para su análisis es menor, este método representa una alternativa económicamente viable y bastante preciso para cuantificar la MO del suelo en los laboratorios (Rosell *et al.*, 2001).

En la mayoría de los laboratorios de suelos a nivel nacional con frecuencia tienden a utilizar aún el método de digestión húmeda de Walkley-Black. Sin embargo, en Venezuela en los últimos años ciertas restricciones han originado inconvenientes para la adquisición de reactivos de uso regulado, entre ellos el ácido sulfúrico, que requiere una tramitación especial para su utilización. Esta situación ha conllevado a la búsqueda de alternativas para la determinación de la MO del suelo que no implique el uso de reactivos de alto costo, de difícil adquisición y altamente contaminantes al ambiente y de riesgos a la salud pública. Es por ello que el objetivo central de este trabajo fue evaluar de manera preliminar dos métodos analíticos para la determinación de la MOS, a saber, digestión húmeda de Walkley-Black y pérdidas de MO por ignición (MOPI), en sitios con diferentes tipos de cobertura vegetal: bosque natural, cacao, pastizales, y palma aceitera de la planicie del Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron cuatro sitios con diferente tipo de cobertura vegetal: bosque natural (B), cacao (C), pastizales (P) y palma aceitera (PA), representativos del Sur del Lago de Maracaibo,

estado Zulia, Venezuela. Los suelos bajo los cuales se desarrolla este tipo de vegetación son de origen aluvial, cuyos sedimentos de manera eluvial han sido depositados

por los ríos que provienen de la Cordillera de Los Andes (MARNR, 1978). Dada esas condiciones, los suelos se caracterizan por ser relativamente fértiles, pero con problemas de mal drenaje, asociado a la predominancia de partículas finas, en especial la arcilla. La zona de vida corresponde a un bosque seco tropical. El paisaje es una planicie aluvial, la precipitación y temperatura promedio anual es de 1897 mm y 27°C, respectivamente (Estación met. La Glorieta, 2011).

En cada sitio se delimitaron parcelas de 1000 m² (50m x 20m), cuyo número dependió del tamaño de cada sitio de estudio (2 parcelas para el bosque, 1 parcela para el cacao, 2 parcelas para pastizal y 4 parcelas para la palma aceitera). Dentro de cada parcela se tomaron muestras simples de suelos de 0-20 cm de profundidad a las que se les determinó el porcentaje de materia orgánica mediante el método de digestión húmeda de Walkley-Black (Walkley y Black, 1934) y pérdidas por ignición propuesta por Davies, (1974).

Para la determinación de la MO por el método de digestión húmeda (%MODH) de Walkley y Black (1934) se pesaron 0,25 g de suelo tamizado por una malla N° 100 con diámetro menor a 150 µm; se usó el factor convencional de 1,724 para convertir los valores de C orgánico en MO, basado en la premisa de que el 58% del C es oxidado (1/0,58) (Fassbender y Bornemisza, 1987; De Vos *et al.*, 2007).

Para determinar la materia orgánica (MO) a través del método de pérdidas por ignición (%MOPI) se utilizaron cinco (5) g. de suelo con un diámetro < 2mm y se colocaron en una estufa a 105°C durante 24 horas (h.) con el fin de estimar y eliminar la humedad higroscópica. Luego, la muestra fue colocada en el horno-mufla a 430 °C durante 24 h. Antes de pesar, las muestras fueron colocadas en un desecador con sílica gel para enfriarlas e impedir que absorban humedad (Davies, 1974).

Para el análisis estadístico se escogió la técnica univariante de análisis de varianza (AUDV) de una vía (factor), por separado se contrastó cada variante del factor cobertura con el fin de evaluar las diferencias estadísticas significativas en los contenidos de MOS en cada tipo de vegetación determinados con ambos métodos. La diferencia relativa entre los métodos de determinación de MO fue calculada con la siguiente ecuación: $[(MOPI - MODH) * 100 / MOPI]$, donde: MOPI = contenido de MO obtenido por el método de pérdida por ignición; MODH = contenido de MO conseguido por el método de digestión húmeda. La relación entre ambos métodos fue analizada para cada tipo de vegetación mediante la técnica estadística de regresión lineal simple. El análisis estadístico de la data fue realizado utilizando el programa estadístico STATISTICA compatible a Windows (Statistica, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El porcentaje de materia orgánica determinado por el método de digestión húmeda (%MODH) mediante la agrupación de los diferentes tipos de vegetación (B, C, P y

PA), resultó significativo que B es estadísticamente menor en C ($F > p = 0,05$), mientras que al compararse B, P y PA no se observaron diferencias significativas ($F < p = 0,05$), **Figura 1**.

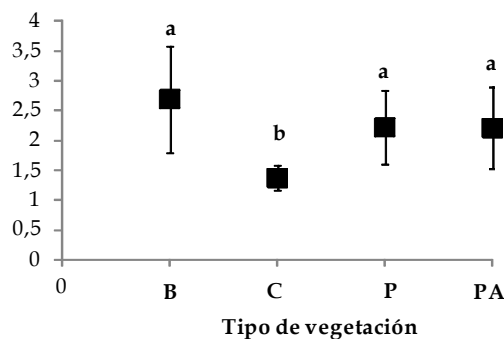


Figura 1. Materia orgánica determinada por digestión húmeda (%MODH) en suelos bajo diferentes tipos de vegetación de la zona Sur del Lago de Maracaibo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). B: bosque, n=18; C: cacao, n=8; P: pasto, n=18; PA: Palma aceitera, n=28, las líneas verticales indican la desviación estándar.

La MO obtenida por el método de pérdidas por ignición (%MOPI) solamente presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre B y PA, mientras que entre B, C y P no hubo diferencias. El %MOPI en PA fue 21,54% más bajo con respecto a B, **Figura 2**.

En las **Figuras 1 y 2**, se puede apreciar que el %MODH resultó en todos los casos evaluados, inferior al obtenido por el método de pérdidas por ignición. Estas diferencias obedecen a que la combustión de la muestra a 430°C permite la determinación de la MO total del suelo, incluyendo las formas muy condensadas de composiciones próximas al carbono elemental, humus, humatos y residuos orgánicos

poco alterados, mientras que el método de digestión húmeda discrimina las formas de carbono fuertemente condensadas, excluyendo en un 90 a 95% el carbono elemental (Jackson, 1976), especialmente porque la temperatura que alcanza la reacción producida entre el dicromato y el ácido sulfúrico no excede los 120°C. Bajo esas condiciones no es posible oxidar toda la MO, razón por la cual se usa el factor convencional de 1,724 para convertir los valores de C orgánico en MO, tal consideración se debe a que el 58% del C que es oxidado, solo ocurre bajo estas condiciones (1/0,58) (Jackson, 1976; Fassbender y Bornemisza, 1987; Rosell *et al.*, 2001; De Vos *et al.*, 2007).

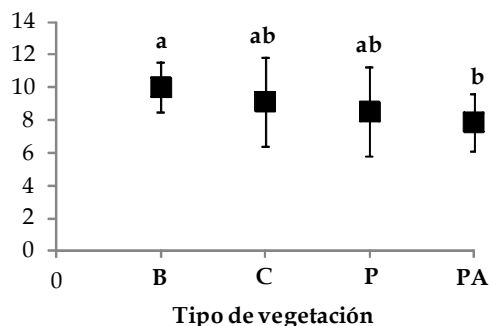


Figura 2. Materia orgánica determinada por pérdidas por ignición (%MOPI) en suelos bajo diferentes tipos de vegetación de la zona Sur del Lago de Maracaibo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). B: bosque, $n=18$; C: cacao, $n=8$; P: pasto, $n=18$; PA: palma aceitera, $n=28$.

Un comportamiento similar fue reportado por La Manna *et al.*, (2007) en suelos con diferentes tipos de vegetación en la región Andino-Patagónica en donde la composición del tipo de residuo vegetal incorporado al suelo (pino, hierba, arbusto, ciprés), fue diferente, en especial en los contenidos de formas de carbono condensadas.

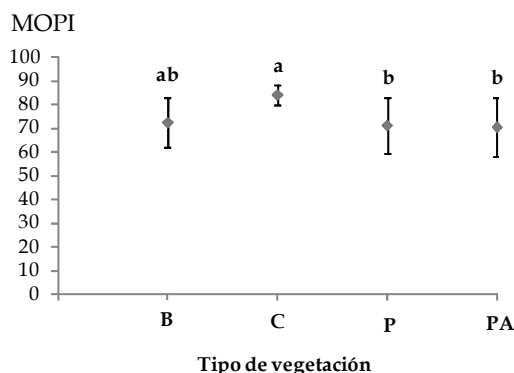


Figura 3. Diferencia relativa entre los métodos de determinación de materia orgánica (%) por digestión húmeda (MODH) y pérdidas por ignición (MOPI) en suelos bajo diferentes tipos de vegetación de la zona Sur del Lago de Maracaibo. Letras distintas indican diferencias significativas ($F > p = 0,05$). B: bosque, $n=18$; C: cacao, $n=8$; P: pastizales, $n=18$; PA: palma aceitera, $n=28$.

Indistintamente del método utilizado, evaluar la MO es muy importante porque permite determinar la productividad de los ecosistemas (Post *et al.*, 2000). Cuando los bosques son deforestados para establecer cultivos agrícolas y pastizales, ocurre una perturbación de la dinámica natural del ciclo del C, ocasionando con ello una disminución del contenido de MO y en consecuencia un deterioro de las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos (Trumbore *et al.*, 1995; Emadi *et al.*, 2008; Yimer *et al.*, 2008).

La diferencia relativa entre el %MODH y %MOPI mediante ADVA fue significativamente ($F > p = 0,05$) mayor en C comparado a P y PA, mientras que B fue similar a C, P y PA, **Figura 3**. La mayor diferencia promedio encontrada entre los dos métodos estudiados se evidenció en los resultados arrojados en los suelos cultivados con cacao (84,05%), mientras que en los suelos bajo B, P y PA arrojaron un 72,34%, 71,16% y 70,48%, respectivamente tal como se muestra en la **Figura 3**.

El análisis de regresión lineal simple utilizado para evaluar la relación entre ambos métodos de determinación de la MO resultó no significativo ($F < p = 0,05$) para los distintos tipos de vegetación, a pesar que en la literatura se ha encontrado una fuerte relación entre los distintos métodos de determinación de la MO (Steel y Torrie, 1993; La Manna *et al.*, 2007). Las ecuaciones de las rectas de regresión generadas son presentadas en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Ecuaciones de regresión lineal simple entre el método de determinación de materia orgánica por digestión húmeda (%MODH) y pérdidas por ignición (%MOPI).

TIPO DE VEGETACIÓN	n	Ecuación	p-valor	*R
Bosque (B)	18	MO pi=10,8722-0,3147*MODH	0,466294	0,183417
Cacao (C)	8	MO pi=1,569+5,5075**MODH	0,310258	0,41216
Pastizales (P)	18	MO pi=9,5789-0,4819*MODH	0,665544	0,109437
Palma aceitera (PA)	28	MO pi=7,308+0,2543*MODH	0,616461	0,098934

B: Bosque; C: Cacao; P: Pasto; PA: Palma Aceitera; n: número de muestras; p: valor de probabilidad. *R: Coeficiente de regresión lineal simple (muy bajo para el nivel explicativo de los datos en función del modelo)

La falta de relación entre los dos métodos estudiados probablemente se deba a los pocos datos utilizados para cada tipo de vegetación, además es necesario considerar otras

variables de clima, suelo y vegetación. Por lo tanto, se deben realizar más estudios incluyendo otros sitios representativos así como otros tipos de vegetación. Es importante continuar

evaluando el método de determinación de pérdidas de materia orgánica por ignición, puesto que constituye una herramienta útil, de fácil aplicación y de bajo costo en comparación con otros métodos de uso frecuente como

Walkley-Black, donde se requiere el uso de reactivos químicos que son de costos elevados, además de ser altamente contaminantes y de difícil adquisición en las condiciones actuales.

CONCLUSIÓN

El método pérdidas por ignición permitió obtener valores más altos de MO que por digestión húmeda, en todos los tipos de vegetación. La temperatura empleada de 430°C

permitió una mejor combustión de la muestra de suelo. Es necesario realizar más estudios, incluir más sitios con otros tipos de vegetación y ampliar el muestreo de suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonde, T., Christensen, B. y Cerri, C. (1992).** Dynamics of soil organic matter as reflected by natural ^{13}C abundance in particle size fractions of forested and cultivated Oxisols. *Soil Biology and Biochemistry* 24(3): 275-277.
- Certini, G., Corti, G. y Fernández, M. (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.
- COPLANARH. (1975).** Atlas Inventario Nacional de Tierras. Región Lago de Maracaibo. Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Ministerio de Agricultura y Cría. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Caracas, Venezuela.
- Davies, B. (1974).** Loss-on ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Sci. Proc.* 38: 150.
- De Vos, B., Lettens, S., Muys, B. y Deckers, J. (2007).** Walkley-Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. *Soil Use and Management* 23: 221-229.
- Emadi, M., Baghernejad, M. y Memarian, H. (2008).** Effect of land use change on soil fertility characteristics within water-stable aggregates of two cultivated soils in northern Iran. *Land Use Policy* 26: 452-457.
- Estación meteorológica La Glorieta (2011).** Datos climáticos mensuales estación la Glorieta (2007- 2010). Página web en línea. Consulta en línea: 30 oct., 2011. Disponible en: <http://www.unesur.edu.ve>.
- Fassbender, H. y Bornemisza, E. (1987).** Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2da. Ed. Rev. San José, Costa Rica. Pp 45-120.
- González-Pedraza, A. y Dezzeo, N. (2011).** Efecto del cambio de uso de la tierra sobre las características de algunos suelos en los Llanos Occidentales de Venezuela. *Rev. Interciencia* 36(2): 135-141.
- González-Pedraza, A., Atencio-Pulgar, J. y García, B. (2011a).** Efecto del cultivo de palma aceitera y pastizales sobre algunas propiedades de los suelos. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia.* 28(1): 478-491.
- González-Pedraza, A., Piñero-Calixtro, E. y Atencio-Pulgar, J. (2011b).** Actividad microbiana en suelos cultivados con palma aceitera, cacao, pasto y bosque natural. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia.* 28(1): 492-504.
- Gregorich, E., Drury, C., Ellert, B. y Liang, B. (1996).** Fertilization effects on physically protected light fraction organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 472-476.
- Jackson, M. (1976).** Análisis químico de suelos. Ed. Omega. Barcelona. 662 pp.
- Jankauskas, B., Jankauskiene, G., Slepeliene, A., Fullen, M. y Booth, C. (2006).** International comparison of analytical methods of determining the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37: 707-720.
- Jaramillo, V. y Sanford, R. (1995).** Nutrient cycling in tropical deciduous forests. In: Bullock, S.H., Mooney, H.A. & Medina, E. (Ed.). "Seasonally dry tropical forest". Cambridge University Press, USA. Pp. 346-361.
- La Manna, L., Buduba, C., Alonso, V., Davel, D., Puentes, C. y Irisarri, J. (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 (Argentina)* 25(2): 179-188.
- Lepsch, I., Menk, J. y Oliveria, J. (1994).** Carbon storage and other properties of soils under agriculture and native vegetation in São Paulo State Brazil. *Soil Use and Management* 10: 34-42.
- MARNR. (1978).** Hacia un plan rector de ordenación del territorio. Zona Sur del Lago de Maracaibo. Serie informe Técnicos DGPOA/IT/16. Caracas.
- Mosier, A. (1998).** Soil processes and global change. *Biology and Fertility of Soils* 27: 221-229.
- Nelson, D. y Sommers, J. (1996).** Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks D.L., AL Page., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soluanpour, P.N., Tabatabai., M.A., Johnston, C.T, Sumner, M.E. (Ed). *Methods of soil analysis part 3: Chemical methods.* Soil Science Society of America, Inc. and American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA. pp. 961-1010.
- Post, W., Emanuel, W., Zinke, P. y Stangenberger, A. (1982).** Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298:156-159.
- Rosell, R, Gasparoni, J. y Galantini, J. (2001).** Soil organic matter evaluation. In: Lal, R., Kimble, J., Follett, R. & Stewart. B. (Ed). *Assessment Methods for Soil Carbon.* Lewis Publishers, USA. Pp. 311-322.
- Sanmanee, N. y Suwannaoain, P. (2009).** Investigation of organic carbon using rapid dichromate oxidation in comparison with

- dry combustion techniques among three groups of two different sizes of soils. *Environmet Asia*, 2:11-14.
- Statistica.** (2001). *Basic Statistical Analysis Methods*. Versión 6.0. StatSoft, Tulsa, OK.
- Stevenson, F.** (1994). *Humus chemistry*. 2nd Edition. John Wiley and Sons, New York. Pp. 1-55.
- Stevenson, F. y Cole, M.** (1999). *Cycles of Soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. Ed. Second. 427 pp.
- Tisdall, J. y Oades, J.** (1982). Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.
- Trumbore, S., Davidson, E., de Camargo, E., Nepstad, D. y Martinelli, L.** (1995). Belowground cycling of carbon in forest and pastures of Eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles* 9(4): 515-528.
- Walkley, A. y Black, A.** (1934). An examination of the digestion method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Yimer, F., Ledin, S. y Abdelkadir, A.** (2008). Concentrations of exchangeable bases and cation Exchange capacity in soils of cropland, grazing and forest in the Bale Mountains, Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 256: 1298-130.