

Artículo de Investigación

Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS) por el método químico y por calcinación

Determination of soil organic matter SOM by the chemical method and by calcination

Jaime Izquierdo Bautista

<https://orcid.org/0000-0002-3464-4483>

Doctorado en planificación y manejo ambiental de cuencas hidrográficas–
Profesor Asociado de la Universidad Surcolombiana.

Email: jaimeizquierdo@usco.edu.co

John Jairo Arévalo Hernández

<https://orcid.org/0000-0002-9884-5030>

Master en Ingeniería Agrícola
Profesor Asociado de la Universidad Surcolombiana

Email: john.arevalo@usco.edu.co

Fecha de recibo: mayo 27 de 2020

Fecha de revisión: noviembre 10 de 2020

Fecha de aprobación: agosto 10 de 2021

DOI: 10.25054/22161325.2527

Resumen

La materia orgánica es un parámetro importante, que se utiliza como indicador de calidad del suelo y está relacionado directamente con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Además, su cuantificación se requiere para recomendar la cantidad y el tipo de enmiendas que se debe aplicar al suelo. En el presente artículo se compararon dos procedimientos para cuantificar este parámetro. El primero se hizo determinando la materia orgánica por un método químico de la norma NTC 5403 oxidación húmeda propuesto por Walkley y Black en 1934. El segundo método utilizado fue por calcinación llevando las muestras a una mufla por un periodo de dos horas a 360 °C y obteniendo los valores por diferencias de peso. Se compararon las muestras encontrando una alta correlación entre los dos métodos con un coeficiente de determinación de 0.902. Lo anterior indica que se puede obtener los contenidos de materia orgánica por calcinación ahorrando tiempo y recursos, pues su determinación está relacionada con el contenido de humedad del suelo, la densidad aparente y la calidad del suelo.

Palabras clave: materia orgánica; calcinación; textura; retención de humedad.

Abstract

Organic matter is an important parameter, which is used as an indicator of soil quality and is directly related to the physical, chemical and biological properties of the soil. Furthermore, its quantification is required to recommend the quantity and type of amendments that should be applied to the soil. In this article, two procedures were compared to quantify this parameter. The first was done by determining organic matter by a chemical method of NTC 5403 wet oxidation proposed by Walkley and Black in 1934. The second method used was by calcination taking the samples to a muffle for a period of two hours at 360 °C and obtaining the values for weight differences. The samples were

compared finding a high correlation between the two methods with a determination coefficient of 0.902. The aforementioned indicates that the organic matter contents can be obtained by calcination saving time and resources, since its determination is related to the moisture content of the soil, the apparent density and the quality of the soil.

Keywords: organic material; calcination; texture; moisture retention

1. Introducción

El carbono orgánico del suelo (COS) es el carbono (C) que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos (FAO, 2017.) Los suelos contienen más C que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera, este carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica (Martínez, *et al.*, 2008) Influye en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, formando agregados que interactúan con los minerales de arcillas mejorando la estructura, y liberando nutrientes para la planta (Cargua, *et al.*, 2015); también como agente que interviene en la infiltración, suministro y retención de humedad, (Villa & Tobón, 2012); (Ordóñez, *et al.*, 2013) y relacionado con la presencia de diferentes grupos de microorganismos que ayudan a mineralizar la materia orgánica (Pardo, *et al.*, 2019). Por otra parte, la materia orgánica del suelo (MOS) se conoce como los residuos de origen vegetal o animal que están en diferentes etapas de descomposición y se acumula a lo largo del perfil del suelo, según Martínez, *et al.*, 2008, suelo confundirse mucho con el término de COS. la MOS se estima a partir del COS multiplicado por factores empíricos como el de Van Benmelen equivalente 1,724 (Jackson, 1964 reportado por Martínez, *et al.*, 2008). Como existe una considerable variación entre diferentes suelos y horizontes en el factor de conversión COS – MOS, es preferible informar el valor de COS sin transformar.

El COS es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como en sus funciones ambientales como la captura de C y calidad del aire (Andrilo & Irizar, 2017). El COS es un componente clave de cualquier ecosistema terrestre (Batjes, 1996 reportado por Cargua, *et al.*, 2015). La determinación es importante para caracterizar la relación que tiene con la cantidad de nitrógeno (N) orgánico, la densidad y estabilidad de agregados del suelo, con altos contenidos de materia orgánica la densidad aparente disminuye, aumenta la porosidad y la cantidad de agua retenida. En los suelos sueltos la humedad aumenta y la disponibilidad de los nutrientes está disponible, diferente cuando se presenta compactación donde se ve reducida la difusión y absorción (Wolf & Snyder, 2003; Salamanca & Sadeghian, 2005) y se le considera con un indicador de la actividad biológica, que influye en la diversidad, la cantidad y la actividad de la fauna del suelo (Andrilo & Irizar, 2017).

El COS es el principal elemento que forma parte de la MOS, y existe métodos analíticos para su determinación, el presente estudio compara dos métodos para determinar el MOS, el primero es el método de calcinación, consiste en la obtención de la materia orgánica por LOI (Loss On Ignition, calcinación) se siguió el método propuesto por Schulte & Hopkins (1996) citado por Eyherabide *et al.* (2014). El segundo método es la cuantificación del COS usando el método químico de la oxidación húmeda, siguiendo la técnica de Walkley Black y después multiplicar por el factor de Van Benmelen. En estudios realizados por Cargua, *et al.*, (2015), encontró una relación lineal sin diferencias significativas al comparar los métodos de ignición LOI y de combustión DUMAS (método de combustión), siendo este último el que presentó mayor eficiencia al analizar un gran número de muestras. Arenas J., (1959), obtuvo correlaciones altas al comparar tres métodos combustión seca, combustión humedad e ignición LOI para determinar COS, sin embargo, concluye que el método de combustión húmeda tiene relativa exactitud y alta rapidez de aplicación de la prueba, mientras, el método de ignición solo es recomendable en el caso que se quiera hacer una prueba rápida del contenido de MO, debido a que el valor de la humedad higroscópica de la muestra afecta de forma relevante los resultados.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio consistió en comparar los resultados obtenidos por los dos métodos, (calcinación y el método químico de la oxidación húmeda) a través de un análisis estadístico descriptivo y una

regresión lineal para obtener un factor que relacione la efectividad de los dos métodos aplicados. Estos métodos difieren en complejidad como también en la cantidad de reactivos químicos y el tiempo necesario para obtener los valores, por lo tanto, se puede analizar los costos de análisis y seleccionar el método más eficiente para realizar el análisis de CO presente en el suelo.

2. Materiales y métodos

La determinación analítica de la MOS se realizó en el laboratorio de suelos LABGAA de la Universidad Surcolombiana, para ello se tomaron 20 muestras de suelo de una masa aproximado de 500 gramos, las primeras diez (10) muestras fueron extraídas del departamento del Tolima y las otras diez (10) fueron extraídas del departamento del Quindío. Estas muestras son de diferentes horizontes del suelo y se tuvo en cuenta que presentarían diversos contenidos de materia orgánica, para ver una dispersión de los datos. Los perfiles de suelo no superan los 100 cm de profundidad, aunque la mayoría de las muestras fueron tomadas en los primeros 30 centímetros de profundidad, donde se presentan los mayores niveles de materia orgánica.

Inicialmente todas las muestras fueron sometidas de la misma manera, se extendieron y fueron sometidas a un secado natural, para luego ser tamizadas en abertura de dos (2) milímetros, a cada muestra se determinó la humedad inicial en porcentaje tomando una submuestra de aproximadamente 10 gramos y secándola en horno eléctrico Gilson® a 105 °C por 24 horas, después las muestras se enfriaron en un desecador de vidrio y se pesaron en la balanza analítica digital OHAUS® de 0,0001 gr de precisión, este valor de humedad en (%) es necesario para realizar la cuantificación del COS.

El Primer método utilizado para la determinación del MOS fue el de oxidación húmeda desarrollado por Walkley y Black en 1934. Siguiendo la norma ICOTEC NTC 5403:2013. Para este análisis se requiere de suelo seco y tamizado por un tamiz de 2 mm de apertura. Como hay que pesar una muestra pequeña de suelo que varía entre 0.1g para colores negros u orgánicos, hasta 1.0 g para suelos de color claros y arenosos, se utilizó una balanza analítica digital OHAUS® de 0,0001 g de precisión. Una vez pesado el suelo se depositó en un Erlenmeyer de 250 ml donde se le agregó una solución de dicromato de potasio 1N, cerca de 20 ml, se agita y seguidamente se adicionó ácido sulfúrico concentrado, alrededor de 40 ml con una bureta digital TECNORATE®. Todo este procedimiento se debe hacer bajo campana extractora de gases MEX120®, y con los equipos de seguridad necesarios.

El suelo y los reactivos analíticos se agitaron vigorosamente por 30 segundos, cuando la mezcla se enfrió se adiciono 100 ml de agua destilada, para ayudar a clarificar la muestra para su posterior titulación, se pone en reposo por 30 minutos, siempre bajo campana extractora de gases volátiles inorgánicos MEX120®.

Transcurridos los treinta minutos de reposo, con una pipeta se agrega un (1) ml de ácido fosfórico, se agita la solución y se adicionan cinco gotas de indicador ortofenantrolina y se procede a realizar la titulación. Una bureta de 25 ml llena con sulfato ferroso amonio a 0.5 N. Se midió el volumen gastado hasta observar el viraje de color de verde esmeralda a marrón. Esto también se hace con la muestra de control y el blanco que no contiene suelo, con el fin de comparar la reacción de los reactivos en presencia del carbono orgánico.

El cálculo del porcentaje de carbono orgánico se presenta en la ecuación 1.

$$\%C.O = \frac{(B-M) \times N \times 0.003 \times (100+pW)}{Wm} \quad (1)$$

Donde M es el volumen de solución titulante empleada en la muestra en ml, B es el volumen de solución titulante empleada en el blanco en ml, N es la normalidad del sulfato ferroso en eq.1-1, pW es el % (fracción masa) humedad de la muestra expresada en base seca, 0.003 es un factor estequiométrico y Wm es el peso de la muestra en gramos (IGAC, 2003; Soil Survey, 2014, 2002; Arrieché & Pacheco, 1998; Walkley, 1947). Posterior se determina el % de MOS usando la ecuación 2.

$$\% MOS = 1,724 \times \%C.O \tag{2}$$

Para el método de la determinación de la materia orgánica por calcinación LOI se siguió el método propuesto por Schulte & Hopkins (1996) citado por Eyherabide, *et al.*, (2014). Se pesó cinco (5) gramos de suelos depositados en capsulas de porcelana taradas, posteriormente se secaron por 24 horas en el horno eléctrico Gilson® a una temperatura de 105°C, lo anterior para retirar la humedad remanente en las muestras, y que permanezca solo el agua constitutiva de los elementos de la muestra. Transcurrido 24 horas y con las muestras estables, se enfriaron en desecador de vidrio y se obtuvo el peso inicial en una balanza analítica digital OHAUS® de 0,0001 g de precisión. Luego se introdujeron en la mufla multipropósito para calcinación MM10 a una temperatura de 360°C por 2 horas, nuevamente se enfriaron en desecador de vidrio y se pesó la muestra en balanza analítica digital OHAUS®. La materia orgánica contenida en la muestra se encuentra por la diferencia de los pesos iniciales y finales.

El cálculo del porcentaje de materia orgánica se presenta en la ecuación 3.

$$\% MOS = \frac{\text{peso a } 105^{\circ}\text{C} - \text{peso a } 360^{\circ}\text{C}}{\text{peso a } 105^{\circ}\text{C}} * 100 \tag{3}$$

Para encontrar la relación entre los métodos se utilizó regresión lineal. La regresión establece un comportamiento lineal entre las variables, se plantea un modelo matemático y se estima los parámetros. Lo anterior se usa para obtener la mejor estimación de la variable respuesta, sin embargo, las variables de las cuales se derive el modelo deben estar disponibles, se deben ajustar adecuadamente para el buen funcionamiento. Siempre se debe tener en cuenta los rangos de los datos, pues la extrapolación o la utilización fuera de las áreas establecidas pueden llevar a errores de predicción (Pachensky, *et al.*, 2004).

El criterio estadístico de la aceptabilidad del modelo es el coeficiente de determinación R², este evalúa el desempeño del modelo y la variación de los datos. Es de recordar que este varía entre cero y uno, con valores cercanos a cero tiene muy poco poder de predicción y cuando se aproxima a uno el poder de predicción se hace fuerte.

El cálculo del R² se presenta en la ecuación 4.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{estimado} - Y_{medio})^2}{\sum_{i=1}^n (Y - Y_{medio})^2} \tag{4}$$

3. Resultados y discusión

En la tabla 1 se presentan los resultados de la materia orgánica del suelo MOS por los dos métodos estudiados, para las veinte (20) muestras de suelo recolectadas, en la tabla 2 se muestran los datos estadísticos descriptivos de los datos de la tabla 1.

Tabla 1. Valores de Materia organiza del suelo por el método de calcinación y método químico

Muestra de suelo	% M.O calcinado	% MO Químico
1	59,61	17,58
2	85,23	24,48
3	34,78	18,76
4	49,60	23,78

5	68,34	19,72
6	22,71	12,20
7	33,31	12,98
8	55,46	17,96
9	65,89	19,77
10	35,00	14,25
11	3,22	0,29
12	2,16	0,16
13	2,74	0,50
14	1,41	0,27
15	3,03	0,63
16	5,25	1,24
17	3,04	1,03
18	3,75	1,35
19	2,29	1,15
20	2,50	1,42

Tabla 2. Características estadísticas de las muestras analizadas por los dos métodos de obtención de MOS

	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza de la muestra	Coficiente de asimetría	Mínimo	Máximo	Datos
% MOS calcinado	26,966	13,981	28,077	788,346	0,6840	1,406	85,234	20
% MOS método químico	9,476	6,812	9,350	87,425	0,2869	0,155	24,483	20

Al comparar los datos de la tabla 2, la media y la desviación estándar en los dos métodos de cuantificación de MOS, se observa la alta dispersión que existen entre los valores, lo que significa que se cumplió con el objetivo de muestrear con una alta heterogeneidad de MOS en los sitios de Tolima y Quindío. Este comportamiento es similar cuando se observa los datos de mínimo y máximo de MOS en los dos métodos.

En la tabla 2, también se puede observar que los valores de varianza y coeficiente de asimetría son menores con el método químico lo que demuestra mayor exactitud en el procedimiento analítico y cuantificación de la MOS.

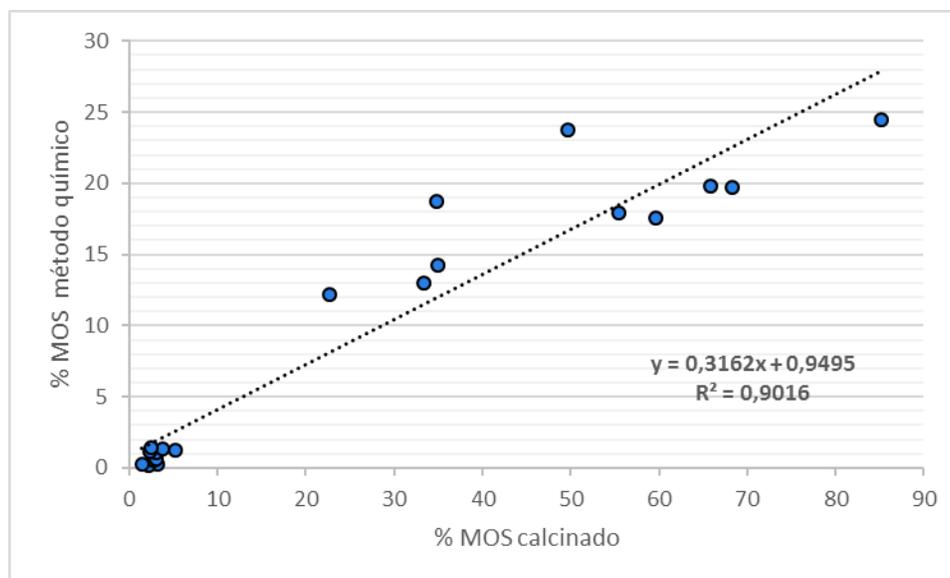


Figura 1. Relación lineal de la MOS entre los métodos de calcinación y método químico

Los datos se presentan con algún grado de dispersión, sin embargo, el ajuste por el coeficiente de determinación alcanza el 90%, lo cual muestra que al utilizar el método de la calcinación hace una representación del contenido de materia orgánica por el método de digestión húmeda, que es más costoso, usa mayor cantidad de reactivos analíticos, requiere equipo de laboratorio certificado y personal calificado en la norma y equipo de protección. Esto representa una gran ventaja en la determinación de la MOS, variable importante para calificar la calidad biológica del suelo, la transmisión de nutrientes y la capacidad de retención de agua por el suelo (Figura 1).

La materia orgánica contenida en el suelo es una variable para hacer las clasificaciones de los suelos. Como lo expresa Pachepsky (2004), la materia orgánica se puede utilizar como elemento para ayudar a clasificar el suelo. En el estudio se determinó que la cantidad de MOS por método de calcinación LOI, no difirió significativamente del método químico al encontrar un $R^2 = 0,90$.

La retención de agua en el suelo, o la cantidad de agua que puede almacenar el suelo y que está disponible para las plantas, es una variable importante para las cuencas en las zonas naturales o desarrolladas por el hombre. Algunos autores (Hudson, 1994; De Jong, 1983; Bauver & Black, 1981; Riley, 1979), han estudiado la influencia de la materia orgánica con el agua disponible en el suelo, esta relación es relevante, que el punto de marchitez permanente es importante, mientras que para la capacidad de campo no lo es (Bell & Van Keulen, 1995; Beke & Mc Cormick, 1985; McBride & Macistonsh, 1984). Finalmente, Calounth, *et al.*, (1973), en sus investigaciones encontró que en el punto de capacidad de campo influye mientras que en la marchitez permanente no.

Lo anterior, combinado con las propiedades físicas del suelo como la textura del suelo, la agregación del suelo, la porosidad permite a los investigadores generar herramientas matemáticas, principalmente ecuaciones lineales que les permiten estimar el contenido de agua en el suelo con gran precisión, ahorrando tiempo y recursos, una correlación positiva entre el porcentaje de estabilidad de los agregados y el contenido de MO (Martínez, *et al.*, 2008). Estas ecuaciones se denominan funciones de edafotransferencia y son una gran ayuda en las diversas investigaciones que se realizan sobre las necesidades hídricas de cultivos o la humedad del suelo en el cálculo de la escorrentía superficial y sub superficial en las cuencas dadoras de agua.

Con respecto a la densidad aparente, la materia orgánica es primordial. Rawls, *et al.*, (2003), tomaron muestras en Estados Unidos, más de 12000, de todos los tipos de texturas e hicieron análisis de laboratorio para observar el

comportamiento de la retención de agua, la predicción del contenido de esta y la derivación de ecuaciones para este comportamiento. Determinaron que la inclusión de la materia orgánica como variables aumentó considerablemente la predicción de los contenidos de agua en el suelo, comparando con las ecuaciones que solo incluyen la textura y la densidad aparente. Salamanca y Sadeghian en 2005 determinaron que, para densidades bajas, alrededor del 0.8%, con contenidos de materia orgánica alta, del orden del 20%, la humedad gravimétrica se presenta con valores del 85%; en la zona opuesta se presentan con humedades de 20%, densidades aparentes de 1.5 gr/cm³ con materia orgánica de 5%.

Rawls, *et al.*, en 2004, reportan contenidos de materia orgánica con valores máximos de 8.7% y lo relaciona con la densidad aparente, la textura y los contenidos de agua disponible que tienen los suelos de Norte América, en Colombia Salamanca y Sadeghian en 2005 reportan contenidos hasta 16% que influyen en gran medida la densidad aparente. Mientras Rawls, *et al.*, (2003), no tomó densidades menores a 0.5 gr/cm³, Salamanca y Sadeghian en 2005 tuvieron densidades aparentes menores a este valor y relacionan estos valores con los contenidos de materia orgánica, dándole gran importancia a esta variable.

Heyherabyde, *et al.*, en 2014, compararon varias metodologías de análisis químico con el método de calcinación encontraron alta relación entre las medidas halladas. Con R² por encima del 92% afirman que el método de calcinación representa una buena metodología pues no tiene residuos químicos que requieren un tratamiento especial, el personal especializado para la realización de los análisis y el tiempo empleado, todos recursos escasos y costosos. Sin embargo, hay que aclarar que estos resultados se obtuvieron de suelos francos, en este estudio el predominio de los suelos son arenosos francos con diferentes concentraciones de materia orgánica, extraídos de la cordillera andina que es de origen volcánico con suelos inceptisoles, entisoles y andisoles. Estos suelos son poco evolucionados, jóvenes y derivados de cenizas volcánicas lo cual les da unas características especiales que no se han estudiado a profundidad, por lo tanto, estos resultados son un aporte al entendimiento del comportamiento de estos suelos donde se asienta la mayor cantidad de personas en Colombia y donde se desarrolla el principal renglón económico, la agricultura.

En cuanto a las temperaturas usadas para una (l) determinación del carbono total por calcinación, Zhipeng, *et al.*, en 2019, experimentaron con varias muestras en China, alrededor de 285, de diferentes suelos y con temperaturas que rondan los 400°C, se encontró una alta relación del contenido de carbono por este método comparado con las extracciones químicas.

4. Conclusiones

Los suelos evaluados, provenientes de la zona andina, con origen volcánico, presenta alta correlación de los métodos evaluados. Se puede evaluar el contenido de materia orgánica de una muestra por el método de calcinación ahorrando recursos y reduciendo residuos químicos.

Estudios realizados en otras latitudes muestras igualmente que la determinación de los contenidos de materia orgánica se puede hacer a través del método de la calcinación, hay que tener en cuenta el origen de los suelos, su textura y su densidad aparente que son variables que influyen en la cantidad de materia orgánica que contienen las muestras.

El contenido de humedad del suelo se ve influenciada por los valores de materia orgánica contenida. La determinación de esta de manera rápida y a bajo costo es una alternativa para las investigaciones y la estimación de los contenidos de agua en el suelo, para la disponibilidad para las plantas, para la evaluación del agua que puede contener una cuenca y que cede como caudal base, escorrentía superficial y sub superficial.

Con el contenido de materia orgánica se puede usar como variables para hacer la clasificación de suelos o la jerarquización de estos. Principalmente en suelos de textura franca y arenosa representa un valor que ayuda a la clasificación de estos, es una variable adicional y no solo basándose en la textura.

La materia orgánica representa la calidad del suelo. La capacidad de transporte de diferentes sustancias, la retención de humedad, la aireación, la porosidad, la densidad aparente entre otras variables se ven favorecidas con el incremento del contenido de materia orgánica en el suelo.

Es necesario realizar nuevos análisis de muestras de suelos en Colombia para poder tener un modelo matemático sencillo pero que refleje las condiciones reales de los suelos de la región, pues la mejor predicción se establece con muestras que son proveniente de la misma zona, que presenten características similares.

5. Referencias bibliográficas

- Andriulo Adrián E. & Irizar Alicia B. 2017. La materia orgánica como indicador base de calidad del suelo. Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina Marcelo G. Wilson ... [et al.]. - 1a ed. Entre Ríos: Ediciones INTA, 2017. Libro digital, PDF. ISBN 978-987-521-826-0
- Arrieche, I., Pacheco Y., 1998. Determination of Organic Carbon In Soil Samples Using Two Analytical Methods. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Estado Yaracuy. Volumen 6 N. 12.
- Beke, G. L., McCormick, M. J., 1985. Predicting volumetric water retention for subsoil materials from Colchester County, Nova Scotia. *Can. J. Soil Sci.* 65, p 233-236. <https://doi.org/10.4141/cjss85-026>
- Bell, A. M., Van-Keulen, H., 1995. Soil pedotransfer functions for four Mexican soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, p 865-871. <https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900030034x>
- Cargua Catagña, F.; Rodríguez Llerena, M.; Damián Carrión, D.; Recalde Moreno, C. y Guido Patricio Santillán Lima. 2015. Analytical methods comparison for soil organic carbon determination in Andean Forest of Sangay National Park-Ecuador. *Acta Agron.* (2017) 66 (3) p 408-413 ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52467>.
- De Jong, R., 1983. Soil water desorption curves estimated from limited data. *Can. J. Soil Sci.* 63, p. 697-703. <https://doi.org/10.4141/cjss83-071>
- Eyherabide, M., Saínez-Rozas, H., Barbieri, P., Echeverría, H., 2014. Comparación de Métodos para Determinar Carbono Orgánico en Suelo. *Ciencia del Suelo. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.* 32(1): p 13-19.
- FAO. 2019. Mapa de Carbono orgánico del suelo. <http://www.fao.org/3/i8195es/I8195ES.pdf>
- Hudson, B. D., 1994. Soil organic matter and available water capacity. *Journal Soil Water Conserv.* 49. p 189 – 194.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (IGAC)., 2003. Estudio General de Suelos, Evaluación y Zonificación de las Tierra del Departamento del Amazonas. p 340
- Martínez H, Eduardo; Fuentes E, Juan Pablo y Acevedo H, Edmundo. Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* [online]. 2008, vol.8, n.1 [citado 2020-08-08], pp.68-96. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-2791. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>.
- McBride, R. A., MacIntosh, E.E., 1984. Soil survey interpretations from water retention data: 1. Development and validation of a water retention model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, p. 1338-1343. <https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800060028x>

- Ordóñez, M., Bravo, I., Figueroa, A., 2013. Flujo de Carbono Orgánico Total (COT) en una cuenca andina: caso subcuenca Río Las Piedras. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 13, No. 24. p. 29- 42 <https://doi.org/10.22395/rium.v13n24a2>
- Pachepsky, Y., Rawls, W.J., 2004. Development of pedotransfer functions in soil hydrology. *Developments in Soil Science* Vol. 30. Editors book. Elsevier Science.
- Pardo-Plaza, Y.J.; Paolini Gómez, J.E.; Cantero-Guevara, M.E., 2019. Microbial biomass and basal soil respiration under agroforestry systems with coffee crops. *Rev. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. Volumen 22 No. 1:e1144 <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1144>
- Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchie, J.C., Sobecki, T.M., Bloodworth, H., 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*. p 116, 61-76. [https://doi.org/10.1016/s0016-7061\(03\)00094-6](https://doi.org/10.1016/s0016-7061(03)00094-6)
- Riley, H.C.F., 1979. Relationship between soil moisture holding properties and soil texture, organic matter content, and bulk density. *Agric. Res. Exp.* 30, p. 379-398.
- Salamanca, A., Sadeghian, S., 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera Colombiana. *Cenicafé*, vol 56. p 381 – 397.
- Soil Survey Laboratory Methods Manual., 2002. Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soil and Sediments. U.S.Environmental Protection Agency. Exposure Research Laboratory. Las Vegas.
- Soil Survey Staff., 2014 Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Villa, J., Tobón, C., 2012. Modeling hydrologic dynamics of a created wetland, Colombia. Elsevier. *Ecological Engineering*. vol. 40, p. 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.005>
- Walkley, A., 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263. <https://doi.org/10.1097/00010694-194704000-00001>
- Walkley, A., I.A. Black., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263. DOI: 10.1097/00010694-193401000-00003
- Wolf, B., Snyder, G., 2003. Sustainable soils; the place of organic matter in sustainable soils and their productivity. New York. Food Products Press. p. 352

La Revista Ingeniería y Región cuenta con la Licencia
Creative Commons Atribución (BY), No Comercial (NC) y Compartir Igual (SA)

