

# Introducción de un método de estimación del contenido de materia orgánica en el campo (Bowman, 1997)

*Introduction of a method for estimating organic matter in the field (Bowman, 1997)*

 Sol Santander-Mendoza\*,  Luis A. Gómez-Jorrín and  Leamnet Sánchez-Pedroso

*Instituto de Suelos, Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: gomezjo@isuelos.cu, leamnetsanchezpedroso@gmail.com*

\*Autora para correspondencia: Sol Santander-Mendoza, e-mail: [sol.santander@isuelo.cu](mailto:sol.santander@isuelo.cu)

**RESUMEN:** La materia orgánica del suelo (MOS) es fundamental para la salud edáfica y la productividad agrícola, al mejorar propiedades físicas, químicas y biológicas, siendo su medición clave para un manejo sostenible de los suelos. Los métodos tradicionales (Walkley-Black y pérdida por ignición) presentan limitaciones críticas en entornos con recursos limitados: uso de reactivos tóxicos y cancerígenos (ácido sulfúrico, dicromato), manejo complejo de residuos, alto consumo energético y requerimiento de equipos especializados. Ante esto, se validó el método de extracción con EDTA (ácido etilendiaminetetraacético) propuesto por Bowman en 1997, como alternativa segura, rápida y aplicable in situ. Se compararon los resultados de ambos métodos en 17 muestras de suelos cubanos con variabilidad en agrupamientos, texturas, colores y grado de agregación, encontrándose i) Alta correlación lineal ( $R^2 = 0.76$ ) entre las densidades ópticas (DO), con DO (EDTA) 2.3 veces superiores a DO (Walkley-Black), ii) validez confirmada para suelos con MOS < 6%, similar a estudios internacionales y iii) Eliminación de reactivos peligrosos y reducción de costos operativos. Se identificó además la influencia de la textura, los porcentajes de agregación como factores que pueden afectar la lectura de los valores, realizándose las recomendaciones técnicas pertinentes. Los resultados sustentan el desarrollo de un kit de campo estandarizado con estándares locales, ofreciendo una solución técnicamente robusta, segura y accesible para el monitoreo de la MOS en Cuba.

**Palabras clave:** validación técnica, medición in situ, indicadores edáficos.

**ABSTRACT:** Soil organic matter (SOM) is essential for soil health and agricultural productivity, improving physical, chemical, and biological properties. Its measurement is key for sustainable soil management. Traditional methods (Walkley-Black and loss on ignition) have critical limitations in resource-limited environments: the use of toxic and carcinogenic reagents (sulfuric acid, dichromate), complex waste management, high energy consumption, and the requirement for specialized equipment. Given this, the EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) extraction method proposed by Bowman in 1997 was validated as a safe, rapid, and applicable alternative in situ. The results of both methods were compared in 17 Cuban soil samples with variability in groupings, textures, colors and degree of aggregation, finding i) High linear correlation ( $R^2 = 0.76$ ) between optical densities (OD), with OD (EDTA) 2.3 times higher than OD (Walkley-Black), ii) confirmed validity for soils with SOM < 6%, similar to international studies and iii) Elimination of hazardous reagents and reduction of operating costs. In addition, the influence of texture and aggregation percentages were identified as factors that may affect the reading of the values, and pertinent technical recommendations were made. The results support the development of a standardized field kit with local standards, offering a technically robust, safe and accessible solution for SOM monitoring in Cuba.

**Keywords:** Technical Validation, In Situ Medition, Edaphic Indicators.

## INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) comprende todos los materiales orgánicos de origen vegetal o animal, en diferentes grados de descomposición (Silva y Mendonça, 2007; Nilo, 2019). En suelos tropicales, su degradación es más rápida que en climas templados debido a temperaturas y humedades elevadas, resultado de precipitaciones intensas y condiciones cálidas (Ross, 1993; Craswell y Lefroy, 2001; Castro *et al.*, 2015).

El incremento en los contenidos de materia orgánica del suelo genera múltiples efectos en el suelo como hábitat. Entre éstos se encuentran la mejoría en la agregación de partículas del suelo, lo cual resulta en una mejor estructura. Esta a su vez, permite optimizar el movimiento de aire y agua en el suelo, y el aumento de la capacidad de retención de ésta última. Una estructura del suelo más estable resulta en menor erosión, lo cual retiene nutrientes y protege la calidad de agua.

Recibido: 20/04/2025

Aceptado: 18/09/2025

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

**Author contributions:** **Conceptualization:** S. Santander-Mendoza, L.A. Gómez-Jorrín. **Data curation:** S. Santander-Mendoza, L. Sánchez Pedroso. **Formal analysis:** L.A. Gómez-Jorrín. **Investigation:** S. Santander-Mendoza, L.A. Gómez-Jorrín. L. Sánchez-Pedroso.

**Methodology:** S. Santander-Mendoza. **Supervision:** S. Santander-Mendoza, L.A. Gómez-Jorrín. **Validation:** S. Santander-Mendoza, L.A. Gómez-Jorrín. L. Sánchez-Pedroso. **Redacción-borrador original:** S. Santander-Mendoza, L.A. Gómez-Jorrín, L. Sánchez-Pedroso.

**Redacción-revisión y edición:** S. Santander-Mendoza y L.A. Gómez-Jorrín.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Desde el punto de vista químico, el carbono orgánico del suelo contribuye a la capacidad de intercambio catiónico del mismo, la cual es necesaria para la retención de nutrientes tales como calcio, magnesio y potasio (van der Wal y De Boer, 2017). Por otra parte, el aumento del carbono orgánico del suelo incrementa la biomasa y diversidad de la biota del suelo, al constituir la fuente de nutrientes disponible para estos organismos, los cuales, al transformarlos, los hacen disponibles para las plantas (Nilo, 2019).

Por todas estas razones, la determinación de la materia orgánica (MO) resulta fundamental para el conocimiento de la calidad y salud del suelo, constituyendo el indicador primario de éstas (Schloter *et al.*, 2003; Weil y Magdoff, 2004; Obalum *et al.*, 2017), y es indispensable para evaluar la productividad agrícola y forestal de los suelos (La Manna *et al.*, 2007) y definir condiciones de manejo agrícola relacionadas con la labranza, la fertilización y el riego (Reeves, 1997; Conceição *et al.*, 2005; Roscoe, 2006; Silva y Mendonça, 2007; Madari *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2016).

Entre los métodos analíticos más usados para cuantificar carbono orgánico en suelos destacan la pérdida por ignición y la combustión húmeda (Walkley y Black, 1934). La pérdida por ignición mide la pérdida de peso de una muestra al incinerarla a 430 °C por 24 horas, oxidando la MOS en todas sus formas (Davies, 1974). Este método, económico y sencillo, no requiere el uso de reactivos químicos, pero es energéticamente demandante (La Manna *et al.*, 2007).

Por otro lado, la combustión húmeda (Walkley y Black, 1934) emplea dicromato de potasio en ácido sulfúrico, oxidando parcialmente el carbono orgánico. Se corrige su subestimación mediante factores ajustados según tipo y horizonte del suelo (Rosell *et al.*, 2001; Certini *et al.*, 2002; De Vos *et al.*, 2007). Este método, aunque limitado en cobertura, es sencillo, accesible y estandarizado por GLOSOLAN (Nilo, 2019).

Sin embargo, se reconoce que el uso de este método implica un riesgo elevado para la salud humana y ambiental. El ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ , CAS: 7664-93-9) puede ocasionar quemaduras en la piel y genera vapores corrosivos, tóxicos e irritantes. De acuerdo a (Nilo, 2019) requiere que su manipulación sea realizada bajo campana de extracción y que sus residuos no sean descargados al sistema de desagües, condiciones que pueden ser difíciles de cumplir en los laboratorios cubanos en la actualidad. En cuanto al dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ , CAS: 7778-50-9) se señala que es un compuesto inorgánico, altamente corrosivo y fuertemente oxidante, que emite vapores tóxicos de cromo por calentamiento y debido a tales características y fácil reactividad con materiales combustibles presenta elevados riesgos en su almacenamiento. Además, es un conocido carcinógeno humano y se encuentra asociado con un mayor riesgo a contraer cáncer de pulmón.

Considerando todo esto, la espectroscopía de visible e infrarrojo cercano VIS/NIR se ha propuesto recientemente en una técnica probada como método alternativo rápido y relativamente preciso de los análisis de laboratorio de las propiedades del suelo (Stenberg, 2010). Estas técnicas poseen como principales ventajas su rapidez, relativa precisión y su carácter no destructivo (Nduwamungu *et al.*, 2009; Stenberg, 2010; Volkman, 2010), y como desventaja fundamental el elevado costo de los equipos necesarios y la alta especialización que requiere el personal dedicado a esta actividad.

Por otra parte, el contexto socioeconómico actual requiere ofrecer respuestas rápidas y eficientes a un elevado número de agricultores provenientes de diversas formas productivas, enfatizando el uso racional de recursos materiales y humanos. En este sentido, resulta preferente la implementación de métodos de campo, los cuales se caracterizan por requerir pasos básicos que sean fáciles de seguir por cualquier operador, independientemente de su nivel técnico, en condiciones de campo. Por lo tanto, suele sacrificarse cierto nivel de precisión en búsqueda de la simplicidad y la facilidad de implementación, a través del uso de observaciones visuales o con instrumentos portátiles, que no son tan sensibles como el instrumental de laboratorio.

Por su parte, Bowman (1997) propone un método para la determinación de materia orgánica en suelo para ser utilizado en condiciones de campo. Dicho método está basado en la capacidad de extracción del EDTA (ácido etilendiaminotetraacético, CAS 60-00-4) donde se obtiene un líquido cuyo color es directamente proporcional a la intensidad de esta extracción. Así, mientras más oscuro es el extracto, mayor es su contenido de materia orgánica. Posteriormente, se realiza la comparación del color de la muestra “problema” con estándares de campo, suelos cuyo contenido de materia orgánica es conocido, a fin de realizar una estimación rápida y poco costosa del contenido de materia orgánica del mismo, de tipo semicuantitativo (empleando rangos).

Bowman (1997) también propone que la sensibilidad de este análisis puede incrementarse filtrando el extracto y leyendo su absorbancia a 520 nanómetros, empleando un espectrofotómetro (si se cuenta con un equipo portátil, esto puede realizarse en campo). En este caso, se realizaría una curva de calibración empleando los estándares conocidos y el valor del contenido de la materia orgánica se calcularía mediante el uso de la ecuación de la regresión obtenida, tratándose de una determinación cuantitativa.

Por su parte, el EDTA presenta baja toxicidad por ingestión y se considera un irritante medio de la piel, y no presenta riesgos asociados a su almacenamiento. El hidróxido de sodio (NaOH, CAS: 1310-73-2) si bien es reconocido como un material irritante y corrosivo, en este método es empleado a bajas concentraciones, lo que disminuye el riesgo humano y ambiental de este método.

De acuerdo a esto, el siguiente trabajo tiene dos objetivos fundamentales: i) la validación del método propuesto por Bowman (1997) en suelos cubanos provenientes de varios agrupamientos, comparando los resultados obtenidos por este método con los obtenidos a través del método

de Walkey y Black y ii) confección de un kit para la estimación del contenido de materia orgánica en campo, seleccionando los suelos empleados para estándares.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 17 muestras cuya descripción se anexa (**Tabla 1**). La selección se realizó en función de mostrar la mayor heterogeneidad posible en relación a los agrupamientos de suelos representados, las clases texturales, colores, porcentajes de agregación y contenidos de materia orgánica.

A todas las muestras se les determinó el porcentaje de materia orgánica tanto por el método de digestión húmeda, desarrollado por **Walkley y Black (1934)** y estandarizado según norma cubana (**NC 51, 1999**), como a través de la extracción con EDTA (**Bowman, 1997**). Para esto último, se pulverizó en un mortero entre 5 a 10 gramos de suelo seco, se tomaron 0,5 gramos del mismo, se añadieron 20 ml de EDTA básico y se agitó vigorosamente por 30 segundos. Este extracto se filtró y se midió su absorbancia a 520 nm. Posteriormente, se calculó el porcentaje de correlación entre los resultados obtenidos en ambos casos, empleando el programa SPSS V. 20.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

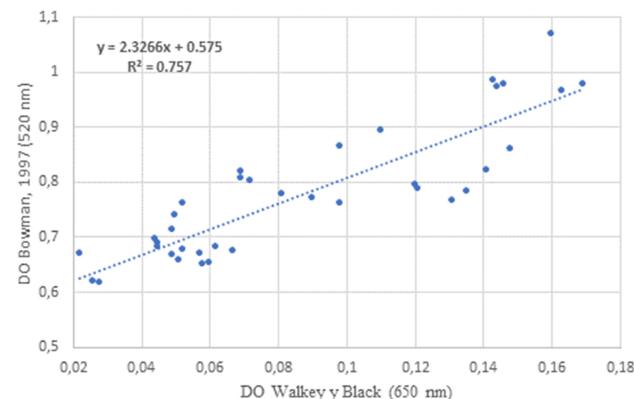
En la **Tabla 2** se muestran los resultados obtenidos al aplicar los dos métodos de determinación del porcentaje de materia orgánica del suelo, midiendo la densidad óptica de los extractos a 650 y 520 nm respectivamente, de acuerdo a señalado en los protocolos de cada método.

**Tabla 2.** Valores obtenidos de densidad óptica y contenidos de materia orgánica, empleando los métodos de **Walkley y Black (1934)** y extracción por EDTA **Bowman (1997)**

Muestra	DO 650 nm (digestión húmeda)	DO 520 nm (extracción EDTA)	% MOS	Estándares
1 Tbc 1020	0.026	0.636	0.99	1%
2 Tbl 1020	0.045	0.689	1.76	
3 Tbl 010	0.050	0.739	1.97	
4 Tbc 010	0.053	0.659	2.05	2%
5 CnVC 1020	0.056	0.667	2.19	
6 Mq6C4	0.070	0.678	2.68	2.5%
7 Pul 010	0.070	0.810	2.70	
8 Hlg 010	0.076	0.651	2.92	
9 Mq6C3	0.085	0.774	3.27	3%
10 Hlg 1020	0.081	0.724	3.44	3.5%
11 Mq6C1	0.095	0.689	3.62	
12 Vin 1020	0.102	0.840	3.88	
13 Mq5C2	0.121	0.791	4.57	4.5%
14 BautaP5	0.133	0.775	5.03	
15 Cfg 1020	0.144	0.978	5.45	5.5%
16 Mq5C3	0.144	0.841	5.46	
17 Hbn 010	0.164	1.004	6.18	≥5%

Utilizando estos valores, se calculó la ecuación que evidencia la existencia de una correlación de tipo lineal entre ambas variables, cuya gráfica se muestra en la **Figura 1**. En esta se evidencia una relación directamente proporcional, obteniéndose valores 2,3 veces mayores en la densidad óptica del extracto con EDTA básico medido a 520 nm en contraste a los determinados en el extracto  $\text{H}_2\text{SO}_4^- \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  a 650 nm. El coeficiente de correlación ( $R^2 = 0,76$ ) resultó similar al obtenido por (**Card, 2004**) al realizar una comparación parecida en 41 suelos de Alberta, Canadá ( $R^2 = 0,67$ ), siendo válida dicha relación en suelos con contenidos de materia orgánica inferiores al 6%.

Correlación entre las densidades ópticas obtenidas por el método de **Walkley y Black (1934)** y extracción por EDTA **Bowman (1997)** para la determinación de materia orgánica.



**Figura 1.** Correlación entre las densidades ópticas obtenidas por el método de **Walkley y Black (1934)** y extracción por EDTA **Bowman (1997)** para la determinación de materia orgánica.

El grafico muestra el resultado de 54 determinaciones con amplio rango de contenidos de materia orgánica.

Los elevados resultados obtenidos en los coeficientes de correlación permiten utilizar este método como alternativa a la digestión húmeda, evitando los riesgos asociados a la manipulación de reactivos de elevada toxicidad, así como el impacto ambiental proveniente de la generación de residuales tóxicos.

En cuanto al principio del método, el NaOH trabaja solubilizando el carbón orgánico y el EDTA actúa como quelante, incrementando la eficiencia de este proceso (**Bowman y Moir, 1993**). No obstante, la textura y el porcentaje y tamaño de los agregados del suelo, puede afectar el resultado de la determinación, sobre o subestimando sus contenidos. Ello ocurre debido al efecto protector físico de los agregados sobre la materia orgánica (**Balesdent et al., 2000; Le Bissonnais, 2023; Even y Cotrufo, 2024**) y a la mayor dificultad de dispersión existente en los suelos arcillosos debido a sus características mineralógicas y la interacción de las arcillas con la materia orgánica (**Plante et al., 2006; Nduwamungu et al., 2009; Huang y Hartemink, 2020**). Así, consideramos que, en los suelos con textura arcillosa, características vítreas o altos niveles de agregación debe incrementarse la pulverización en el mortero y los tiempos de agitación y filtración.

**Tabla 1.** Selección de las muestras en función de mostrar la mayor heterogeneidad posible en relación a los agrupamientos de suelos representados, las clases texturales, colores, porcentajes de agregación y contenidos de materia orgánica

Muestra	Lugar	Coordenadas	Manejo	Agrupamiento	WRB <sup>1</sup>	Textura	pH	% agregación
1 Tbc 010	Víñales, Pinar del Río	N 22° 34.376' W 83° 42.491'	Cultivo de tabaco	Alítico	Rhodic, Xanthic, Alumic Alisol	Franco arenoso	6,72	20,44
2 Cfg 1020	Manicaragua, Cienfuegos	N 22° 09.401' W 80° 06.266'	Bosque	Pardo grisáceo	Dystric Cambisol	Franco limoso	6,08	57,43
3 Vin 1020	Víñales, Pinar del Río	N 22° 34.578' W 83° 42.758'	Bosque	Alítico	Rhodic, Xanthic, Alumic Alisol	Arcillo arenoso	4,86	77,93
4 Pul 010	Alquízar, Artemisa	N 22° 46.399' W 82° 36.463'	Cultivo de frijol	Ferralsítico	Ferralsítico, Rhodic, Lixic, Eutric Nitisol	Arcilloso	6,73	77,79
5 Hbn 010	Hanabamilla, Cienfuegos	N 22° 06.904' W 80° 04.845'	Bosque	Gley	Eutric, Clayey, Humic Gleysol	Are arc limoso	6,30	48,28
6 Tbc 1020	Víñales, Pinar del Río	N 22° 34.376' W 83° 42.491'	Cultivo de tabaco	Alítico	Rhodic, Xanthic, Alumic Alisol	Franco arenoso	6,68	25,82
7 Tbl 010	Manicaragua, Cienfuegos	N 22° 15.772' W 80° 10.651'	Pastos naturales	Pardo grisáceo	Dystric Cambisol	Are arc limoso	6,25	22,46
8 Tbl 1020	Manicaragua, Cienfuegos	N 22° 15.772' W 80° 10.651'	Pastos naturales	Pardo grisáceo	Dystric Cambisol	Are arc limoso	6,67	32,14
9 CnVC 1020	Santo Domingo, Villa Clara	N 22° 38.522' W 80° 14.546'	Cultivo de caña de azúcar	Pardo grisáceo	Dystric Cambisol	Franco limoso	79,83	
10 Hlg 010	Antilla, Holguín	N 20° 51' 1.76' W 75° 39' 54.29'	Bosque	Vertisol crómico	Pellic Vertisol	Arcillo limoso	7,47	86,64
11 Hlg 1020	Antilla, Holguín	N 20° 51' 1.76' W 75° 39' 54.29'	Bosque	Vertisol crómico	Pellic Vertisol	Arcillo limoso	7,25	90,59
12 Mq5C2	Empresa Pecuaria Niña Bonita, Artemisa	N 22° 59.618' W 82° 30.903'	Caña de azúcar (en barbecho)	Gley nodular ferruginoso	Petroferric Gleysol	Arcillo limoso	7,04	59,62
13 Mq5C3	Empresa Niña Bonita, Artemisa	N 22° 59.031' W 82° 30.606'	Caña de azúcar (en barbecho)	Gley nodular ferruginoso	Petroferric Gleysol	Arcillo limoso	6,25	61,64
14 Mq6C1	Empresa Niña Bonita, Artemisa	N 22° 59.091' W 82° 30.603'	Pastos naturales	Fersáltico Pardo Rojizo	Eutric Cambisol	Arcilloso	7,58	72,45
15 Mq6C3	Empresa Niña Bonita, Artemisa	N 22° 59.091' W 82° 30.603'	Pastos naturales	Fersáltico Pardo Rojizo	Eutric Cambisol	Arcilloso	7,26	77,81
16 Mq6C4	Empresa Niña Bonita, Artemisa	N 22° 59' 5.46' W 82° 30' 36.47'	Pastos naturales	Fersáltico Pardo Rojizo	Eutric Cambisol	Arcilloso	7,47	75,25
17 PtoBt5	Carretera Bauta Barcoa	N 23° 1' 26.18'' W 82° 32' 58.52''	Pastos naturales	Ferralsítico Rojo Compactado	Ferralsítico, Rhodic, Lixic, Eutric Nitisol	Arcilloso	6,55	76,24

<sup>1</sup> La correlación con del sistema de clasificación cubano de suelos (2015) con el sistema World Reference Base (WRB) fue realizada de acuerdo a (Hernández et al., 2019).

Por otra parte, si bien existe una elevada correlación entre el color del suelo y su contenido de materia orgánica (Schulze *et al.*, 1993; Wu *et al.*, 2018), las evidentes diferencias de coloración del suelo relacionada con características mineralógicas y de procesos pedológicos también deben ser tomadas en cuenta en la implementación en campo de este método.

## CONCLUSIONES

El trabajo realizado permitió evidenciar que la determinación del contenido de materia orgánica en el suelo a través del método de extracción con EDTA referido por Bowman en 1997 constituye una alternativa sencilla, económica y de fácil implementación, tanto en condiciones de campo como de laboratorio, haciendo posible ofrecer respuestas rápidas y eficaces en relación a este indicador fundamental de la calidad y salud del suelo. No obstante, existen limitaciones a su aplicación en condiciones determinadas de textura, agregación y coloración del suelo, que deben ser analizadas con mayor detalle con la finalidad de proponer variaciones estandarizadas de la metodología.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALESIDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M.: “Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage”, *Soil and tillage research*, 53(3-4): 215-230, 2000, ISSN: 0167-1987.
- BOWMAN, R.: *Field Methods to Estimate Soil Organic Matter*, [en línea], 1997, Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30100000/1990-1999documents/336%201997%20Bowman%20Conserv%20Tillage%20Fact%20Sht.pdf>.
- BOWMAN, R.; MOIR, J.: “Basic EDTA as an extractant for soil organic phosphorus”, *Soil Science Society of America Journal*, 57(6): 1516-1518, 1993, ISSN: 0361-5995.
- CARD, S.: *Evaluation of two field methods to estimate soil organic matter in Alberta soils*, Ed. AESA Soil Quality Monitoring Program AB, Canada, 2004.
- CASTRO, G.S.; CRUSCIOL, C.A.; CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A.: “Management impacts on soil organic matter of tropical soils”, *Vadose Zone Journal*, 14(1): vzh2014-07, 2015, ISSN: 1539-1663.
- CERTINI, G.; CORTI, G.; FERNÁNDEZ SANJURJO, M.J.: “Comparison of two soil organic matter extractants and determination of the “Walkley-Black” correction factors for organic fractions from a volcanic soil”, *Communications in soil science and plant analysis*, 33(5-6): 685-693, 2002, ISSN: 0010-3624.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E.: “Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados”, *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 29: 777-788, 2005, ISSN: 1806-9657.
- CRASWELL, E.; LEFRAY, R.: “The role and function of organic matter in tropical soils”, *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 61(1): 7-18, 2001, ISSN: 1385-1314.
- DAVIES, B.E.: “Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter”, *Soil Science Society of America Journal*, 38(1): 150-151, 1974, ISSN: 0361-5995.
- DE VOS, B.; LETTENS, S.; MUYS, B.; DECKERS, J.A.: “Walkley-Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty”, *Soil Use and Management*, 23(3): 221-229, 2007, ISSN: 0266-0032.
- EVEN, R.J.; COTRUFO, M.F.: “The ability of soils to aggregate, more than the state of aggregation, promotes protected soil organic matter formation”, *Geoderma*, 442: 116760, 2024, ISSN: 0016-7061.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.D.; CASTRO, S.: “La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015”, *Cultivos Tropicales*, 40(1): Publisher: Ediciones INCA, 2019, ISSN: 0258-5936.
- HUANG, J.; HARTEMINK, A.E.: “Soil and environmental issues in sandy soils”, *Earth-Science Reviews*, 208: 103295, 2020, ISSN: 0012-8252.
- LA MANNA, L.; BUDUBA, C.; ALONSO, V.; DAVEL, M.; PUENTES, C.; IRISARRI, J.: “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”, *Ciencia del suelo*, 25(2): 179-188, 2007, ISSN: 1850-2067.
- LE BISSONNAIS, Y.: “Soil characteristics and aggregate stability”, En: *Soil erosion, conservation, and rehabilitation*, Ed. CRC Press, pp. 41-60, 2023.
- MADARI, B.E.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.; MARTIN, N.L.; BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; SANTOS, G.A.: *Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio: suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo)*, Teixeira WG, Kern DC, Madari BE, Lima HN, Woods W, editores. As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas ed., Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Brasil, 172-188 p., 2009.
- NC 51: *Calidad de suelo. Determinación de la materia orgánica*, Inst. Oficina Nacional de Normalización La Habana, Cuba., La Habana, Cuba, publisher: Oficina Nacional de Normalización La Habana, Cuba., 1999.
- NDUWAMUNGU, C.; ZIADI, N.; TREMBLAY, G.F.; PARENT, L.-É.: “Near-infrared reflectance spectroscopy prediction of soil properties: Effects of sample cups and preparation”, *Soil Science Society of America Journal*, 73(6): 1896-1903, 2009, ISSN: 0361-5995.
- NILO, G.: “Procedimiento operativo estándar para el análisis de carbono orgánico del suelo: Walkley-Black [GLOSOLAN]”, 2019.
- OBALUM, S.; CHIBUIKE, G.; PETH, S.; OUYANG, Y.: “Soil organic matter as sole indicator of soil degradation”, *Environmental monitoring and assessment*, 189(4): 176, 2017, ISSN: 0167-6369.

- PLANTE, A.F.; CONANT, R.T.; STEWART, C.E.; PAUSTIAN, K.; SIX, J.: "Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions", *Soil Science Society of America Journal*, 70(1): 287-296, 2006, ISSN: 0361-5995.
- REEVES, D.: "The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems", *Soil and Tillage research*, 43(1-2): 131-167, 1997, ISSN: 0167-1987.
- ROSCOE, R.: "Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares.", 2006.
- ROSELL, R.; GASPARONI, J.; GALANTINI, J.: "Soil organic matter evaluation", *Assessment methods for soil carbon*, : 311-322, 2001.
- ROSS, S.M.: "Organic matter in tropical soils: current conditions, concerns and prospects for conservation", *Progress in physical geography*, 17(3): 265-305, 1993, ISSN: 0309-1333.
- SCHLOTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J.: "Indicators for evaluating soil quality", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3): 255-262, 2003, ISSN: 0167-8809.
- SCHULZE, D.G.; NAGEL, J.L.; VAN SCOYOC, G.E.; HENDERSON, T.L.; BAUMGARDNER, M.F.; STOTT, D.: "Significance of organic matter in determining soil colors", *Soil color*, 31: 71-90, 1993.
- SILVA, I.; MENDONÇA, E.S.: *Matéria orgânica do solo*, Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL editores Fertilidade do solo ed., Viçosa, MG, Brasil, 275-374 p., 2007.
- SOUZA, D.M. de; MORAIS, P.A. de O.; MATSUSHIGE, I.; ROSA, L.A.: "Development of alternative methods for determining soil organic matter", *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 40: e0150150, 2016, ISSN: 1806-9657.
- STENBERG, B.: "Visible and near infrared spectroscopy in soil science", *Advances in Agronomy*, 107: 163-215, 2010, ISSN: 0065-2113, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)07005-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)07005-7).
- VAN DER WAL, A.; DE BOER, W.: "Dinner in the dark: illuminating drivers of soil organic matter decomposition", *Soil Biology and Biochemistry*, 105: 45-48, 2017, ISSN: 0038-0717.
- VOLKAN, A.: "Visible near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in a semi-arid area of Turkey", *Journal of Arid Environments*, 74: 229-238, 2010, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.08.011>
- WALKLEY, A.; BLACK, I.: "Anexamination of the Degtjareff method and a proposed modification of thechromic matter and a proposed modification of thechromic acid titration method", *Soil Science*, 37: 29-38, 1934.
- WEIL, R.R.; MAGDOFF, F.: "Significance of soil organic matter to soil quality and health", *Soil organic matter in sustainable agriculture*, : 1-43, 2004.
- WU, C.; XIA, J.; YANG, H.; YANG, Y.; ZHANG, Y.; CHENG, F.: "Rapid determination of soil organic matter content based on soil colour obtained by a digital camera", *International journal of remote sensing*, 39(20): 6557-6571, 2018, ISSN: 0143-1161.

## **ANEXO 1. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE CARBONO EN CAMPO**

Equipamiento.

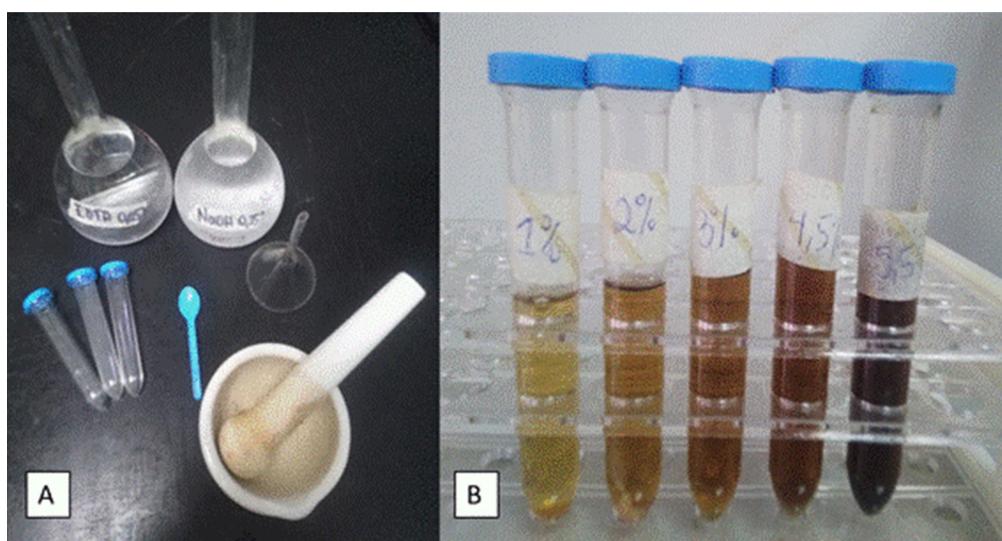
- Cuchara con medida aproximada de 0.5 g
- Mortero y pistilo
- Tubos con tapas.
- Papel de filtro cortado
- Embudos
- Cilindro graduado de 25 ml.
- Gradilla.

Reactivos:

- Agua destilada.
- Hidróxido de sodio (NaOH) 0,25 M (10g/L)
- Sal de disodio EDTA (Na<sub>2</sub>EDTA) 0,05M (18,6 g/L)
- EDTA básico: mezclar NaOH y Na<sub>2</sub>EDTA en proporciones iguales (v/v)

Anteriormente, se identificaron seis suelos con contenidos variables de MOS (1%, 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, 4%, 4,5%, 5%, y mayor a 5%) calculado mediante el método de extracción con EDTA con lectura de espectrofotómetro, los cuales servirán como estándares ([Tabla 1](#)). Las variaciones de estos estándares deben ser fácilmente distinguibles para los operadores de campo.

## **ANEXO 2. (A) EQUIPAMIENTO NECESARIO PARA LLEVAR A CABO EL MÉTODO DE DETERMINACIÓN CUALITATIVA DE MATERIA ORGÁNICA EN CAMPO (BOWMAN 1997). (B) ESTÁNDARES PREPARADOS PARA SU UTILIZACIÓN.**



Para realizar la determinación, se tomará una muestra de suelo seco y se procederá a moler. Luego, con la cuchara se tomará una muestra aproximada de 0,5 g, la cual se mezclará con 20 ml de EDTA básico, agitando vigorosamente por 30 segundos, tras lo que se procederá a filtrar. El color de la mezcla obtenida se comparará visualmente con los estándares a fin de determinar el porcentaje de materia orgánica por comparación.