

Evaluación de indicadores de calidad de suelos en la finca “Los Olivas”, provincia Matanzas



Evaluation of Soil Quality Indicators on the Farm “Los Olivas”, Matanzas Province

<https://cu-id.com/2284/v14n2e09>

✉ Clara García-Ramos^{1*}, ✉ Francisco Martínez-Rodríguez¹, ✉ Luis Beltrán Rivero-Ramos¹,
✉ Amalia Natacha Morales-Valdés¹, ✉ Graciela Dueña-Vega¹, ✉ Abdiel Carballoso-Johnson^{II},
Daniel Oliva-Dávila^{III}, Danilo Oliva-Dávila^{III}

^IInstituto de Suelos, Capdevila, Boyeros. La Habana, Cuba.

^{II}Centro Nacional de Áreas Protegidas, Playa. La Habana, Cuba.

^{III}Polígono de Suelos, Agua y Bosque Los Olivas, municipio Jagüey Grande, provincia Matanzas, Cuba.

RESUMEN: La determinación de indicadores de calidad de suelos permite evaluar su salud y tomar decisiones en cuanto a un manejo adecuado, que permita obtener cultivos con elevados rendimientos y productos de alta calidad. La investigación se realizó en la finca “Los Olivas” ubicada en el municipio Jagüey Grande, provincia Matanzas y su objetivo consistió en determinar los siguientes indicadores: densidad aparente, pH, contenido de materia orgánica, carbono orgánico total, nitrógeno mineral, y grupos microbianos para establecer una línea base para la continuación de estudios en la zona muestreada. Los valores de densidad aparente se incrementaron a medida que aumentó la profundidad del suelo, mostrando la presencia de capas compactadas en las profundidades de 10-20 cm, con valores mayores a 1,25 gcm⁻³. El contenido de materia orgánica de acuerdo a la categoría de abastecimiento resultó medio, lo que se corresponde con la explotación agrícola intensiva que demandan los cultivos establecidos. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los campos agrícolas y en correspondencia con el tipo de suelo y los valores de materia orgánica encontradas, este suelo puede considerarse dentro de la categoría de abastecimiento medio de N mineral. La distribución cuantitativa de los valores por grupo microbiano en las tres áreas de trabajo se apreció de la siguiente manera: bacterias totales > actinomicetos > hongos, lo cual refleja un equilibrio adecuado de la composición y diversidad microbiana de estos suelos.

Palabras clave: servicios ecosistémicos, salud del suelo, agroecosistemas.

ABSTRACT: The determination of soil quality indicators allows evaluating its health and making decisions regarding adequate management, which allows obtaining crops with high yields and high quality products. The research was carried out on the “Los Olivas” farm located in the Jagüey Grande municipality, Matanzas province and its objective was to determine the following indicators: apparent density, pH, organic matter content, total organic carbon, mineral nitrogen, and microbial groups to establish a baseline for continued studies in the sampled area. The apparent density values increased as the soil depth increased, showing the presence of compacted layers at depths of 10-20 cm, with values greater than 1.25 gcm⁻³. The content of organic matter according to the supply category was medium, which corresponds to the intensive agricultural exploitation demanded by established crops. Taking into account the results obtained in agricultural fields and in correspondence with the type of soil and the values of organic matter found, this soil can be considered within the category of medium supply of mineral N. The quantitative distribution of values by microbial group in the three work areas was seen as follows: total bacteria > actinomycetes > fungi, which reflects an adequate balance of the composition and microbial diversity of these soils.

Keywords: ecosystem services, soil health, agroecosystems.

INTRODUCCIÓN

Los suelos agrícolas realizan múltiples servicios ecosistémicos y fueron definidos por Costanza *et al.* (2007), como los beneficios que proveen los

ecosistemas a los seres humanos. Estos son de gran importancia e incluyen la producción de biomasa, almacenamiento y filtración de agua, almacenamiento y reciclaje de nutrientes, suministro de hábitat y almacenamiento de carbono (Portela *et al.*, 2019;

*Autora para correspondencia: Clara García-Ramos, e-mail: claragarciar74@gmail.com

Recibido: 13/11/2023

Aceptado: 20/02/2024

Vogel et al., 2018). El suelo es un recurso natural finito y no renovable Milera (2021) y constituye el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad (Burbano, 2016).

La capacidad que tiene un suelo para desarrollar sus funciones en el ecosistema está relacionada con su calidad, lo que depende de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas que también han sido utilizadas como indicadores de la calidad del suelo (Acevedo et al., 2021; Álvarez et al., 2020; Tovar, 2023).

Bünemann et al. (2018); Sarmiento et al. (2018); Nuñez et al. (2023) mencionan los indicadores de calidad de suelos más empleados en la literatura: biológicos [respiración microbiana, C de la biomasa microbiana, nitrógeno mineral y lombrices], químicos [materia orgánica, pH, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico] y físicos [almacenamiento de agua, densidad aparente y textura].

El objetivo del trabajo consistió en determinar los indicadores de calidad del suelo: densidad aparente, pH, contenido de materia orgánica, carbono orgánico total, nitrógeno mineral y grupos microbianos [bacterias, hongos y actinomicetos] para establecer una línea base para la continuación de los estudios en la zona muestreada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del área muestreada

La investigación se desarrolló en la finca “Los Olivas” situada en el municipio Jagüey Grande, provincia Matanzas. La ubicación de los sitios se

realizó a partir de los datos aportados por la Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes del Ministerio de la Agricultura y éstos fueron georreferenciados con un GPS de la marca MAP 64-GARMIN. Se utilizó el sistema de coordenadas Longitud/Latitud (WGS 84) (EPSG: 4326), adecuado por Rivero et al. (2022), con utilización de imágenes de Google y el programa QGIS. En la Tabla 1 se encuentran representados la unidad productiva, el tipo de cultivo y el tipo de suelo predominante, de acuerdo con la II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández et al., 1975).

Las muestras se tomaron a una profundidad de 0 a 30 cm con tres repeticiones, siguiendo los criterios de la Norma Cubana 37:1999 y fueron enviadas a los laboratorios de química y biología pertenecientes al Instituto de Suelos del MINAG para las determinaciones químicas, físicas y biológicas.

En la Tabla 2 se muestran los indicadores y las metodologías empleadas para su evaluación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ubicación geográfica de los sitios de muestreo

La Figura 1 muestra la ubicación de sitios evaluados en las inmediaciones de Jagüey Grande, en una zona de abundante actividad agropecuaria

TABLA 1. Características de los sitios muestreados

Finca	Unidad productiva	Tipo de cultivo	Tipo de suelo
Los Olivas	CCS Israel León	cultivos varios (campo 1) cultivos varios (campo 2) Aguacate y mamey (campo 3)	Ferralítico Rojo compactado

TABLA 2. Normas y métodos empleados para evaluar los indicadores químicos, físicos y biológicos

Indicadores	Normas y métodos
Densidad aparente	ISO 11272 (2003).
pH (KCl)	NC 2001 (2015).
Materia orgánica y carbono orgánico del suelo	NC 1043 (2014).
Reserva de Carbono Orgánico del suelo (RCOS).	$RCOS = \sum_{i=1}^{i=n} COS(i) * ds(i) * h(i) * (1 - I(i))$ técnica de destilación según Bremner (1965)
Nitrógeno mineral	Medio de cultivo: Agar Nutriente y las Diluciones para siembra microbiana: 10 ⁻⁵ , 10 ⁻⁶ y 10 ⁻⁷
Bacterias	Medio de cultivo: Agar Rosa de Bengala y las Diluciones para siembra microbiana: 10 ⁻³ , 10 ⁻⁴ y 10 ⁻⁵
Hongos	Medio de cultivo: Gauze y las diluciones para siembra microbiana: 10 ⁻⁵ , 10 ⁻⁶ y 10 ⁻⁷
Actinomicetos	

Leyenda: RCOS: Reserva de Carbono Orgánico del Suelo (t. ha⁻¹), COS (i): es el contenido de carbono orgánico de cada capa u horizonte de suelo considerada, expresada en porcentaje del peso seco al aire, ds (i): es la densidad del suelo en el horizonte i, h(i): es la potencia del horizonte i, expresado en cm, I(i): es el contenido de inclusiones, expresado en partes de la unidad.

favorecida por la existencia de suelos que, por lo general, presentan buena aptitud agroproductiva.

La cubierta vegetal

En la [Figura 2](#) se muestra la distribución geoespacial de los principales tipos de cubierta vegetal que existen dentro de los límites del entorno. Sobresale la gran superficie ocupada por cultivos permanentes, en lo que inciden las extensas áreas de cítricos, estos cultivos son protectores de los suelos y otros componentes claves de los agroecosistemas, siempre que se manejen adecuadamente. Aunque en los últimos años los cítricos han sufrido un gran deterioro, el efecto que causaron sobre los suelos puede permanecer durante un largo período de tiempo, siempre que no haya cambios bruscos desfavorables en el uso y manejo. Lo contrario, sucede con los cultivos varios, en cuyas áreas los suelos, por lo general, permanecen desnudos durante una parte del

ciclo anual, con lo que se exponen a la ocurrencia de procesos degradativos.

Indicadores físicos, químicos y biológicos evaluados en los suelos

[Cid et al. \(2021\)](#) comentan que la densidad aparente es una de las propiedades físicas del suelo más importante, no solo porque a partir de ella se pueden determinar otras propiedades, si no por los cambios a la que es sometida constantemente, ya sea por el asentamiento que sufre el suelo después de ser removido, por la compactación que ocurre en el suelo debido a los cambios que experimenta la porosidad antes fuerzas externas como puede ser el peso ejercido por los implementos que se utilizan sobre el mismo en las labores agrotécnicas, o el peso ejercido por las láminas de riego aplicadas por lo que resulta un importante indicador de la calidad de los suelos. [Urriola \(2020\)](#) también refiere que permite analizar la

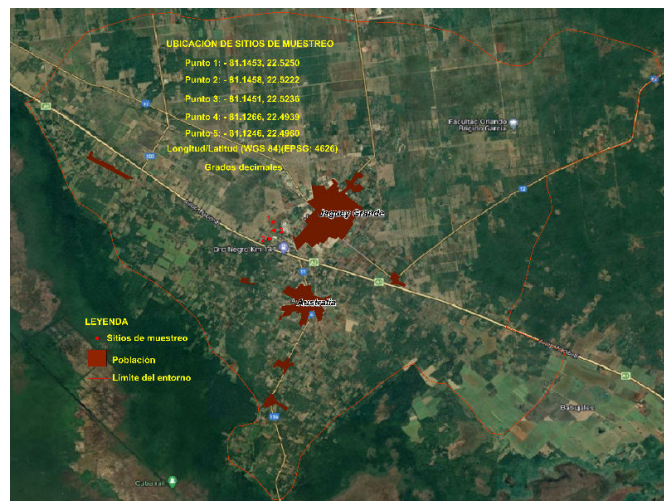


FIGURA 1. Ubicación de los sitios de muestreo en la Finca “Los Olivos”, municipio Jagüey Grande (puntos 1, 2 y 3).

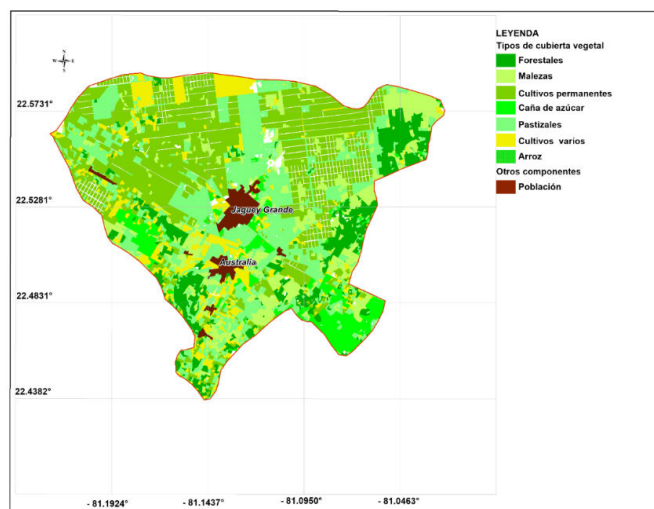


FIGURA 2. Distribución geoespacial de la cubierta vegetal.

facilidad de penetración de las raíces al suelo, la predicción de la transmisión de agua y la transformación de los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica.

En la [Tabla 3](#) se muestran los valores de densidad aparente y la humedad en las tres profundidades estudiadas.

Nótese como se incrementan los valores de densidad aparente a medida que aumenta la profundidad del suelo, mostrando la presencia de capas compactadas en las profundidades de 10-20 cm, con valores superiores a 1,25 g cm⁻³. [Escobar et al. \(2021\)](#) y [Socarrás et al. \(2022\)](#) reportan también mayor compactación con el incremento de la densidad del suelo, lo que reduce los espacios porosos de los macroporos y, disminuye la capacidad de permitir que el agua entre al suelo (infiltración), se mueva a través del perfil (permeabilidad) y se almacene de forma disponible en la zona radicular (retención).

En la [Tabla 4](#) se muestran los valores de pH (KCl), así como los criterios de clasificación de [Valdés et al. \(1993\)](#) para suelos cubanos.

Se puede observar que los valores de pH en estos suelos resultaron neutros; lo que favorece la mejor disponibilidad de nutrientes para los cultivos ([Romero et al., 2009](#)).

La materia orgánica (MO) es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como ambientales, entre ellas captura de carbono y la

calidad del aire. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su fertilidad biológica.

La cantidad, la diversidad y la actividad de la macro, meso y microfauna del suelo están directamente relacionadas con la materia orgánica. Los contenidos de materia orgánica y la actividad biológica que esta produce, tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos y también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas lo que ha sido comentado por [Ferreiro et al. \(2008\)](#) y [Robert \(2002\)](#).

En tal sentido [Porcuna \(2015\)](#) señaló: sin la materia orgánica la vida en el suelo va desapareciendo al no disponer de energía, y al desaparecer la vida, también se va deteriorando su estructura, disminuye su capacidad de retener agua y minerales esenciales para el desarrollo equilibrado de las plantas, disminuye la actividad macro y microbiana y por tanto la cubierta vegetal que estos sostienen. Al mismo tiempo el suelo va dejando de hacer una de las funciones más importantes para mantener la estabilidad del agroecosistema la de filtro biológico.

En la [Tabla 5](#) se presentan los valores de materia orgánica (M.O.), carbono orgánico del suelo (COS) y reserva de carbono orgánico del suelo (RCOS) en las profundidades estudiadas.

Estos suelos presentaron contenidos medio de materia orgánica según informan [Valdés et al. \(1993\)](#), lo que se corresponde con la explotación agrícola intensiva que demandan los cultivos establecidos.

TABLA 3. Valor de densidad aparente y humedad tomados a diferentes profundidades del suelo (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm)

Provincia	Área de muestreo	Profundidad (cm)	densidad aparente (g cm ⁻³)	Humedad (%)
Matanzas	cultivos varios (campo 1)	0 - 10	1.06± 0.15	15.82±2.30
		10 - 20	1.25± 0.10	20.70±2.80
		20 - 30	1.60± 0.17	6.62±2.57
	cultivos varios (campo 2)	0 - 10	1.13± 0.16	14.48±2.31
		10 - 20	1.32± 0.05	16.66±0.58
		20 - 30	1.24± 0.05	19.59±2.03
	Aguacate y Mamey (campo 3)	0 - 10	0.97± 0.05	14.03±1.05
		10 - 20	1.32± 0.04	18.55±1.63
		20 - 30	1.30± 0.06	17.53±1.04

TABLA 4. Valor de pH (KCl) tomados a diferentes profundidades del suelo (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm)

Provincia	Área de muestreo	Profundidad (cm)	pH(KCl)	Clasificación
Matanzas	cultivos varios (campo 1)	0 - 10	6,28± 0.16	Neutro (6.0-7.0)
		10 - 20	6,18± 0.24	
		20 - 30	6,05± 0.17	
	cultivos varios (campo 2)	0 - 10	6,78± 0.10	
		10 - 20	6,74± 0.20	
		20 - 30	6,70± 0.18	
	Aguacate (campo 3)	0 - 10	6,75± 0.20	
		10 - 20	6,34± 0.16	
		20 - 30	6,40± 0.24	

Nótese como los valores de COS tienden a disminuir con la profundidad, independiente del agroecosistema que se trate, lo cual fue observado también por [Burbano \(2016\)](#) y [Pérez, H. I., y Rodríguez, I. \(2019\)](#). [Rivero et al. \(2021\)](#) comentan que el contenido de COS (% COS) en los primeros 30 cm de profundidad en los suelos minerales de Cuba, se encuentra entre 0.5 y 5.0 %. Los valores de la reserva de carbono orgánico en la profundidad de 0-30 cm de estos suelos fueron considerados de bajo-medio según mencionan estos autores.

La importancia del estudio del N en los sistemas agrícolas se debe a que el N es uno de los nutrientes más limitantes, en la producción de cultivos. Por otra parte, el N es uno de los elementos que más transformaciones sufren en los suelos, que responde rápidamente a diferentes manejos, [Cristóbal et al. \(2011\)](#). La evaluación de la concentración de las formas minerales del N en un momento del ciclo del cultivo permite, de forma cualitativa y en relación al tipo de suelo y contenido de materia orgánica del mismo, caracterizar el comportamiento de estas fracciones, tan importantes para la nutrición de las plantas. La evaluación cuantitativa requiere de estudios más complejos ([Snyder, 2009](#)).

Los resultados obtenidos se muestran en la [Tabla 6](#), las concentraciones de amonio y nitrato encontradas están en correspondencia con los obtenidos por [Dueñas, \(1997\)](#), para este tipo de suelo y % MO, sembrados con papa, maíz y tomate. Al comparar los

valores de amonio y nitrato obtenidos en los campos 1 y 2 (cultivados con cultivos varios) con los del campo 3 (cultivado con frutales) se aprecian, como promedio, tenores semejantes, a pesar de la sobreexplotación que sufren los campos dedicados a los cultivos anuales, lo que hace pensar que estos suelos recibieron fertilización nitrogenada, ya fuese mineral u orgánica, las concentraciones menores de nitrato se encontraron por debajo de la capa 0-10 debido a que esta es la zona de mayor extracción de N, por los cultivos, incluyendo al aguacate,

La relación amonio y nitrato durante el ciclo del cultivo depende, entre otros factores, del momento de muestreo, desarrollo vegetativo y aplicación del fertilizante, tanto mineral como orgánico; en este caso los contenidos de amonio superaron los de nitrato en las tres capas de suelo evaluadas. Considerando el contenido de MO de este suelo, puede esperarse un aporte considerable del proceso de mineralización de la misma. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los campos agrícolas y en correspondencia con el tipo de suelo y los valores de MO encontradas, este suelo puede considerarse dentro de la categoría de abastecimiento medio de N mineral.

Los microorganismos que habitan en el suelo juegan un rol primordial en mantener la salud ecosistémica del suelo. Estos servicios comprenden sustento de la fertilidad en los suelos por medio de actividades metabólicas relacionadas con ciclo de nutrientes; establecimiento de una estructura de los

TABLA 5. Contenido de Materia Orgánica, Carbono Orgánico de Suelos y Reserva de Carbono Orgánico de Suelos a diferentes profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm)

Provincia	Área de muestreo	Profundidad (cm)	M.O. %	COS %	RCOS T ha ⁻¹
Matanzas	cultivos varios (campo 1)	0 - 10	3,42 [media]	1.98	75.27 [bajo-medio]
		10 - 20	3,36 [media]	1.95	
		20 - 30	3,22 [media]	1.87	
	cultivos varios (campo 2)	0 - 10	4.38 [media]	2.54	80.01 [bajo-medio]
		10 - 20	3,84 [media]	2.23	
		20 - 30	3,12 [media]	1.81	
	Aguacate y Mamey (campo 3)	0 - 10	3,72 [media]	2.16	69.46 [bajo-medio]
		10 - 20	3,62 [media]	2.10	
		20 - 30	2,76 [media]	1.60	

TABLA 6. Valores de amonio y nitrato a diferentes profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm)

Provincia	Área de muestreo	Profundidad (cm)	NH ₄ ⁺ mg/100 g	NO ₃ ⁻ mg/100 g
Matanzas	cultivos varios (campo 1)	0 - 10	1,33	1,33
		10 - 20	1,68	1,105
		20 - 30	1,89	0,84
	cultivos varios (campo 2)	0 - 10	0,91	1,33
		10 - 20	1,4	0,98
		20 - 30	1,68	1,05
	Aguacate y Mamey (campo 3)	0 - 10	1,68	1,54
		10 - 20	1,64	0,98
		20 - 30	1,4	0,84

suelos apropiada para el sostén de las plantas, y también metabolizando contaminantes orgánicos. Igualmente, se considera un servicio ecosistémico la capacidad de antagonizar microorganismos e invertebrados que habitan los suelos y que causan patologías en las plantas. Estos servicios ecosistémicos son pilares fundamentales para el soporte de una vida sana para todos los niveles tróficos. Un suelo sano puede equilibrar o aportar mejoras para el impacto del cambio climático o para la restricción de surgimiento de nuevas enfermedades.

Los servicios ecosistémicos nacen de la gran biodiversidad que se encuentra en los suelos. Con la aplicación directa de métodos de cultivo microbiológico directo, se demostró la diversidad existente en sistemas terrestres.

En la [Figura 3](#) se muestra que la distribución cuantitativa de los valores por grupo microbiano en las tres áreas de trabajo se corresponde con el escenario que reportan muchos autores para la mayoría de los ecosistemas agrícolas donde: bacterias totales > actinomicetos > hongos, lo cual refleja un equilibrio adecuado de la composición y diversidad microbiana de estos suelos.

Los datos de conteos de cada grupo microbiano reportados en las tres profundidades del suelo 0-10, 10-20 y 20-30 cm muestran una tendencia más homogénea de los valores en las áreas de cultivos varios, díjase en el orden de 5, 3 y 4 (log UFC/g suelo) para bacterias, hongos y actinomicetos respectivamente; mientras que en la zona de cultivos de frutales los conteos de bacterias y actinomicetos abarcan el orden de 6-7 y 4-5 (log UFC/g suelo) respectivamente.

Según [Swift et al. \(2012\)](#) el inventario de la biodiversidad bajo suelo en escalas de espacio y tiempo puede demostrar si la biota del suelo responde a intervenciones humanas como prácticas agrícolas, deforestación, contaminación y cambio climático. Si éste es el caso, las consecuencias pueden ser negativas, en términos de una disminución de los servicios del ecosistema; incluso puede producirse la pérdida de la productividad primaria, debido a cambios en la fertilidad del suelo. En toda evaluación biológica de la salud de los suelos, el componente microbiano refleja su contribución relativa a los procesos que apoyan a los servicios del ecosistema, contribuyendo al mantenimiento y a la productividad de los mismos, por su influencia en la calidad del suelo.

CONCLUSIONES

- La densidad aparente, pH (KCl), contenido de materia orgánica, carbono orgánico total, nitrógeno mineral, y los grupos microbianos [bacterias,

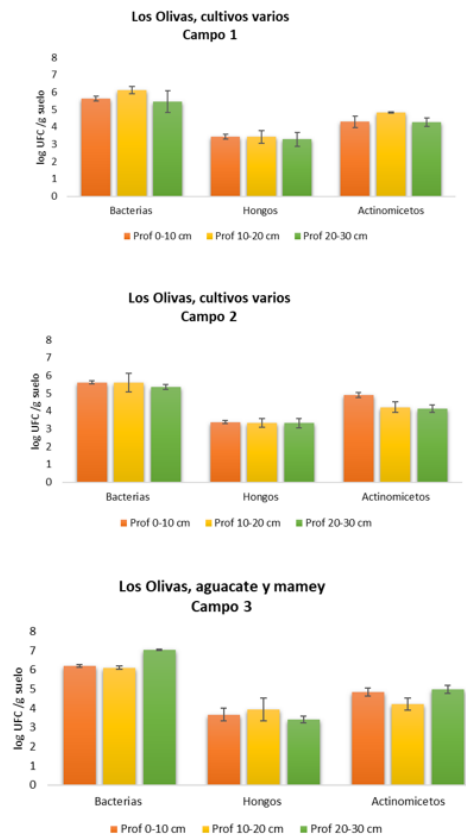


FIGURA 3. Valores medios del conteo de tres grupos microbianos: bacterias, hongos y actinomicetos, expresados como el logaritmo de base 10 de los valores de unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (log UFC/g suelo).

hongos y actinomicetos] resultaron indicadores de calidad de suelos adecuados, para establecer una línea base para la continuación de estudios en los Polígonos de Suelos, Agua y Bosques.

- Se muestra una tendencia hacia la compactación del suelo a partir de los 10 cm de profundidad lo que está asociado a los valores de densidad aparente obtenidos y los que son superiores a $1,25 \text{ g cm}^{-3}$.
- Los contenidos de materia orgánica en los campos muestreados presentaron valores de medio y se corresponde con la explotación agrícola intensiva que demandan los cultivos establecidos.
- El nitrógeno mineral en los campos muestreados se encuentra en la categoría de abastecimiento medio y está en correspondencia con los contenidos de materia orgánica obtenidos.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al proyecto ECOVALOR su patrocinio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, I., Sánchez, A., & Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. II. Calidad del suelo. *Bioagro*, 33(2), 127-134, ISSN: 2521-9693, Publisher: Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). DOI: <http://www.doi.org/10.51372/bioagro332.6>
- Álvarez, G., Ibáñez, A., Orozco, M. E., & García, B. (2020). Regionalización de indicadores de calidad para suelos degradados por actividades agrícolas y pecuarias en el altiplano central de México. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 22(2), 5-19, 1405-8626, Publisher: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., De Goede, R., Almeida, L. B., Geissen, V., Kuyper, T. W., & Mäder, P. (2018). Soil quality-A critical review. *Soil biology and biochemistry*, 120, 105-125, ISSN: 0038-0717, Publisher: Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Burbano, H. (2016). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96, ISSN: 0120-0135, Publisher: Universidad de Nariño.
- Cid, G., López, T., Herrera, J., & González, F. (2021). Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(2), 3-9, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- Costanza, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Paruelo, J., Raskin, R., & Sutton, P. (2007). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological economics*, 25(1), 3-15, ISSN: 0921-8009, Publisher: Elsevier Science Publishing Company, Inc.
- Cristóbal, D., Álvarez, M., Hernández, E., & Améndola, R. (2011). Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y T. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 325-332, ISSN: 2395-8030, Publisher: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, AC Chapingo, México.
- Dueñas, G. (1997). *El análisis de N fácilmente hidrolizable del suelo como método diagnóstico de la fertilidad nitrogenada del suelo*. [Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas]. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Ministerio de Educación Superior, La Habana, Cuba.
- Escobar, Y., Vargas, B., Ramos, Y. M., Rodríguez, E. J., Osoria, O. R., & Fonseca, R. R. (2021). Propiedades físicas del suelo en cuatro fincas suburbanas de Santiago de Cuba. *Centro Agrícola*, 48(2), 74-78, ISSN: 0253-5785, Publisher: 1977, Editorial Feijóo.
- Ferreiro, J., Ramil, P., Gómez, L., & Rodríguez, M. A. (2008). Valoración de servicios ecosistémicos en Galicia: Aplicación en las Reservas de la Biosfera. *IBADER*, 211, ISSN: 1988-8341.
- Hernández, A., Perez, J. M., Ascanio, O., Ortega, F., Avila, L., Cárdenas, A., Marrero, A., Castro, N., Baisre, J., & Obregon, A. (1975). Segunda clasificación genética de los suelos de Cuba. *Revista de Agricultura*, 8.
- ISO 11272. (2003). *Calidad del Suelo. Determinación de la densidad aparente* (p. 5). Oficina Nacional de Normalización.
- Milera, M. C. (2021). Funciones de los servicios ecosistémicos en los sistemas ganaderos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 44(e 22), ISSN: 0864-0394, Publisher: EEPFIH 2007.
- NC 1043. (2014). *Calidad del suelo. Determinación de los componentes orgánicos* (p. 5). Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba.
- NC 2001. (2015). *Calidad del suelo-determinación de pH* (p. 5). Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba.
- Núñez, J. L., Pérez, J., & Prado, J. V. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(6), 1-14, ISSN: 2007-0934, Publisher: Instituto Nacionales de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. DOI: <https://doi.org/10.29312/remex.ca.v14i6.3148>
- Pérez, H. I., y Rodríguez, I. (2019). Secuestro de carbono por el suelo en agroecosistemas tropicales muy secos de la provincia El Oro, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(2), 125-131.
- Porcuna, J. (2015). *El suelo como componente esencial en la salud de las plantas. Su función como "filtro biológico: Vol. Capítulo 6* (Manual de Agroecología. Recuperado de <http://bitly.ws/zKrv>). Sembrando en Tierra Viva. Manual de Agroecología, La Habana, Cuba.
- Portela, L., Rivero, A., & Portela, L. (2019). Valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos en montañas de Guamuhaya, Cienfuegos, Cuba. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(3), 47-55, ISSN: 2218-3620, Publisher: Editorial "Universo Sur".
- Rivero, L., Fuentes, E., Morales, R., & Pérez, J. M. (2022). *Informe Final del Proyecto: "Sistema informatizado de gestión integrada de suelos de Cuba y planificación de la Agricultura (SIGISPLAN)"* (p. 64). Instituto de Suelos, Ministerio de La Agricultura, La Habana, Cuba.
- Rivero, L., Muñiz, O., Andriolo, J. L., Farradaz, M., & Arcia, J. (2021). Línea Base para la obtención de Neutralidad en la Degradación de las Tierras en

- Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(4), 39-45, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- Robert, M. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra* (FAO: Informes sobre recursos mundiales de suelos, ISBN: 92-5-304690-2, Número 96). Food & Agriculture Org. Roma, Italia.
- Romero, M., Santamaría, D., & Zafra, C. (2009). Bioingeniería y suelo: Abundancia microbiológica, pH y conductividad eléctrica bajo tres estratos de erosión. *Umbral científico*, 15, 67-74, ISSN: 1692-3375, Publisher: Universidad Manuela Beltrán.
- Sarmiento, A., Fandiño, S., & Gómez, S. (2018). Índices de calidad de suelos. Índices de calidad. Una revisión sistemática. *Ecosistemas*, 27(3), 130-139. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1598>
- Snyder, C. F. (2009). Eficiencia de uso del nitrógeno: Desafíos mundiales, tendencias futuras. *Informaciones agronómicas*, 75(1), 1-6.
- Socarrás, Y., Olivera, D., Terry, E., Hernández, A., Bernal, A., & González, P. J. (2022). Efectos de diferentes sistemas de manejo sobre las propiedades físicas de un Cmbisol tropical, Cuba. *Universidad y Sociedad*, 14(S1), 565-571, ISSN: 2218-3620.
- Swift, M. J., Bignell, D. E., Moreira, F. M. S., & Huising, E. J. (2012). *El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: Conceptos y guía general*. Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE), México.
- Tovar, A. D. (2023). Servicios ecosistémicos del suelo en la producción de leche en Chitagá, Norte de Santander, Colombia. *Informador técnico*, 87(1), 53-64, ISSN: 0122-056X, Publisher: Servicio Nacional de Aprendizaje. SENA. DOI: <https://doi.org/10.23850/22565035.5319>
- Urriola, L. A. (2020). ¿Por qué estudiar las propiedades físicas del suelo? *Revista Semilla del Este*, 1(1), 23-26.
- Valdés, M., Martínez, F., Boch, D., Muñiz, O., Dueñas, G., & Nuviola, A. (1993). *Guía práctica para la interpretación del análisis químico de suelo* (p. 24). Instituto de Suelos, Ministerio de Agricultura, La Habana, Cuba.
- Vogel, H. J., Bartke, S., Daedlow, K., Helming, K., Kögel, I., Lang, B., Rabot, E., Russell, D., Stöbel, B., & Weller, U. (2018). A systemic approach for modeling soil functions. *Soil*, 4(1), 83-92, 2199-398X, Publisher: Copernicus Publications Göttingen, Germany. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-4-83-2018>

Clara García-Ramos, Lic, Biología, Investigador Auxiliar, Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.

Francisco Martínez-Rodríguez, Ing, Agrónomo, Investigador Auxiliar, Instituto de Suelos, La Habana, Cuba, e-mail: fmartinezrodriguez0616@gmail.com.

Luis Beltrán Rivero-Ramos, Ing, Agrónomo, Investigador Titular, Instituto de Suelos, La Habana, Cuba, e-mail: luisrrg235@gmail.com.

Amalia Natacha Morales-Valdés, Lic, Microbiología, Investigador Auxiliar, Instituto de Suelos, La Habana, Cuba, e-mail: moralesamalia711@gmail.com.

Graciela Dueña-Vega, Lic, Química, Investigador Auxiliar, Instituto de Suelos, La Habana, Cuba, e-mail: gracieladuenasvega@gmail.com.

Abdiel Caraballoso-Johnson, Dr. Medicina veterinaria, Investigador Auxiliar, Centro Nacional de Áreas Protegidas, La Habana, Cuba, yeironjcf@gmail.com.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: Conceptualization: C. García, **Data curation:** C. García, F. Martínez, L. B. Rivero, A. N. Morales, G. Dueñas. **Formal analysis:** C. García, F. Martínez. **Investigation:** C. García, F. Martínez, L. B. Rivero, A. N. Morales, G. Dueñas. **Methodology:** C. García. **Supervision:** C. García, F. Martínez, L. B. Rivero, A. N. Morales, G. Dueñas. **Validation:** C. García, F. Martínez, L. B. Rivero, A. N. Morales, G. Dueñas. **Writing-original draft:** C. García, F. Martínez. **Writing-review & editing:** C. García, F. Martínez, L. B. Rivero, A. N. Morales, G. Dueñas.

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 licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)