

## ÍNDICES DE CALIDAD DEL SUELO EN DIFERENTES TIPOS DE UTILIZACIÓN DE LA TIERRA

George Martín Gutiérrez<sup>1\*</sup>, Pablo Pablos Reyes<sup>2</sup>, Juan Alejandro Villazón Gómez<sup>3</sup>, Yakelín Cobo Vidal<sup>1</sup> y Adrián Serrano Gutierrez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Holguín Guaro S/N, Mayarí, Holguín, Cuba.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Santiago de Cuba, Los Coquitos. Palma Soriano. Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>3</sup>Universidad de Holguín, Sede José de la Luz y Caballero, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Holguín, Cuba.

\*Autor para la correspondencia: [george.martin@inicahl.azcuba.cu](mailto:george.martin@inicahl.azcuba.cu).

Recibido: 5 de agosto de 2023; Aceptado: 8 de noviembre de 2023

### RESUMEN

El objetivo del trabajo fue aplicar índices de calidad de suelo basados en el carbono orgánico, para determinar los cambios que se producen en el suelo por los diferentes tipos de utilización de la tierra. En el Punto de Observación Permanente, ubicado en la localidad de Guaro, Municipio de Mayarí, provincia de Holguín. Se tomaron muestras de suelos a la profundidad de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, en tres tipos de utilización de la tierra Bosque de Neem, Pasto Natural y Caña de Azúcar. Se determinó el carbono orgánico total, el carbono particulado grueso, fino y el asociado a los minerales, posterior al fraccionamiento físico granulométrico de las muestras. Además, se calcularon las relaciones COPG/COT y COT/arc; los índices de calidad: estratificación, labilidad, índice de labilidad, índice de reserva de carbono y el índice de manejo de carbono. Las fracciones orgánicas se vieron favorecidas de forma significativa en los TUT Bosque de Neem (48%) y Pasto Natural (20%) con respecto al TUT Caña de Azúcar. Los índices de calidad del suelo diferenciaron bien los TUT con una alta intensificación agrícola (caña de azúcar), de los TUT con ninguna labor agrícola (Bosque de Neem y Pasto Natural). Mostrando tendencias de recuperación en los TUT Bosque de Neem y Pasto Natural y de degradación en el TUT Caña de Azúcar. Estos índices basados en el carbono orgánico del suelo son una herramienta útil para determinar los efectos de los tipos de utilización de la tierra sobre la calidad de los suelos.

**Palabras clave:** carbono orgánico; fracciones orgánicas; vertisol.

## SOIL QUALITY INDICES IN DIFFERENT TYPES OF LAND USE

### ABSTRACT

The objective of the work was to apply soil quality indices based on organic carbon, to determine the changes that occur in the soil due to different types of land use. At the Permanent Observation Point, located in the town of Guaro, Municipality of Mayarí, province of Holguín. Soil samples were taken at depths of 0-20, 20-40 and 40-60 cm, in three types of land use: Neem Forest, Natural Grass and Sugar Cane. Total organic carbon, coarse and fine particulate carbon, and carbon associated with minerals were determined after the granulometric physical fractionation of the samples. In addition, the COPG/COT and COT/arc ratios were calculated; quality indices: stratification, lability, lability index, carbon reserve index and carbon management index. The organic fractions

were significantly favored in the Neem Forest TUT (48%) and Natural Grass (20%) with respect to the Sugarcane TUT. The soil quality indices differentiated well the TUTs with high agricultural intensification (sugar cane) from the TUTs with no agricultural work (Neem Forest and Natural Grass). Showing recovery trends in the Neem Forest and Natural Grass TUT and degradation trends in the Sugar Cane TUT. These indices based on soil organic carbon are a useful tool to determine the effects of land use types on soil quality.

**Keywords:** organic carbon; organic fractions; vertisol.

## INTRODUCCIÓN

La pérdida de la fertilidad de los suelos provocada por el cambio del tipo de utilización de la tierra<sup>1</sup> (TUT), la explotación agrícola continuada e intensiva, con aplicación de maquinarias y fertilizantes y las prácticas agrícolas inadecuadas, provocan la pérdida del carbono orgánico del suelo (COS), y disminuye la capacidad productiva de los agroecosistemas (Olorunfemi *et al.*, 2019; Hernández *et al.*, 2021).

Por lo que es necesario acumular COS para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas y paralelamente disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera (Barrezueta, 2021), característica particular de los suelos naturales.

Las pérdidas de las reservas de carbono orgánico por el cambio de uso de bosques a cultivos agrícolas, en una amplia variedad de suelos, varían entre un 25 y 75 % del carbono orgánico inicialmente presente, y la mayor parte de estas pérdidas ocurre en los primeros 20 años del cambio de uso de la tierra (Lal *et al.*, 2007).

Por tal motivo, resulta indispensable el conocimiento de los inventarios de carbono entre los usos de suelo antropogénicos y los naturales, principal indicador de la calidad y productividad, así como, su comportamiento con el cambio de TUT, manejo de la tierra y la biomasa vegetal generada por las plantas, debido al impacto que tienen sobre las diferentes fracciones orgánicas del suelo (Torres *et al.*, 2021; Colque *et al.*, 2022).

Según Zilio *et al.* (2018), el cambio de TUT obliga a realizar monitoreos de la calidad del suelo (CS). Es necesario, cuantificar los cambios e identificar degradaciones edáficas, en etapas tempranas mediante el uso de indicadores de calidad de suelo adaptados localmente e investigar los valores umbrales a partir de los cuales deben tomarse medidas de conservación.

Para determinar la degradación y pérdida de la CS, se usa para su diagnóstico y evaluación tempranas los estudios de las propiedades físicas, químicas y biológicas como indicadores de su calidad, aunque la mayoría no son universales, varían en función del ambiente, el tipo de suelo y la escala de estudio (Álvarez *et al.*, 2020).

La calidad del suelo no puede ser medida directamente, pero sí puede ser inferida a través de propiedades que sirvan como indicadores. Al evaluar los efectos del manejo sobre indicadores de calidad de los suelos es de importancia considerar la influencia de variaciones en la fracción granulométrica fina sobre propiedades edáficas. Si bien los indicadores físicos, químicos y biológicos no determinan independientemente la calidad del suelo, la mayoría de los estudios coinciden en que el carbono orgánico, es el principal

---

<sup>1</sup> Una clase de uso de la tierra que está descrita o definida en un grado de detalle (físico, económico y social), mayor que un uso general de tierra

indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Fernández *et al.*, 2016).

Franzluebbers *et al.* (2002), propusieron para la evaluación del efecto del uso de las tierras, la distribución del carbono orgánico del suelo (COS), con la profundidad (estratificación) y sus relaciones, como indicadores de calidad.

Duval *et al.* (2016), propone otros índices y relaciones basados en el carbono orgánico total (COT), para evaluar la calidad del suelo, indicadores de cambios dados por el sistema de producción, incluso antes que cambien los contenidos de COT. Entre ellos se encuentran el índice de manejo del carbono (IMC), el índice de labilidad (IL) y el índice de reserva de carbono (IRC), donde relaciona los niveles de COT y su labilidad.

El objetivo del trabajo fue aplicar índices de calidad de suelo basados en el carbono orgánico, para determinar los cambios que se producen en el suelo por los diferentes tipos de utilización de la tierra.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el punto de observación permanente<sup>2</sup> (POP), en la latitud: 20° 40' 21".73 y longitud: 75° 46' 25".05. Montado en el año 2010 en la localidad de Guaro, municipio Mayarí, provincia Holguín.

El suelo de estudio se clasificó como Vertisol Crómico cálcico y gléyico según Hernández *et al.* (2015), en tres tipos de utilización de la tierra (TUT), Bosque de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss), Pasto Natural (*Paspalum notatum* L.) y Caña de Azúcar (*Saccharum spp.*). El Bosque y Pasto Natural fueron reconvertidos en el 2002, ambos proceden de áreas de caña de azúcar.

Se realizó un muestreo aleatorio estratificado con tres repeticiones en cada uno de los TUT en el 2015, donde se tomaron las muestras de suelos a la profundidad de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, estas dos últimas para ser utilizadas en el índice de estratificación.

Se realizó un fraccionamiento físico granulométrico por tamizado en seco (Andriulo *et al.*, 1990). Con el uso de tamices, de 53 µm y 105 µm se obtuvo la fracción gruesa (FG, >105 µm) que contiene el carbono orgánico particulado grueso (COPG); fracción media (FM, 53-105 µm) constituida por el carbono orgánico particulado medio (COPF) y la fracción fina (FF < 53 µm) la cual contiene el carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COM). El carbono orgánico se determinó por el método de Walkley-Black (ININ y ONN, 1999).

Las relaciones e índices de calidad edáficos se evaluaron para la profundidad de 0-20 cm<sup>3</sup>:

- ✓ Se calcularon las relaciones COP/COT y COT/arcilla.
- ✓ Índice de estratificación (Franzluebbers *et al.*, 2002), por la formula siguiente:  
$$IE_1 = \text{COT}_{0-20 \text{ cm}} / \text{COT}_{20-40 \text{ cm}} \text{ y } IE_2 = \text{COT}_{0-20 \text{ cm}} / \text{COT}_{40-60 \text{ cm}}$$
- ✓ Labilidad Vieira *et al.* (2007):  $L = C_{\text{lábil}} / C_{\text{no lábil}}$
- ✓ Índice de Labilidad de Blair *et al.* (1995):  $IL = L_{\text{tratamiento}} / L_{\text{referencia}}$
- ✓ Índice de Reserva de Carbono de Blair *et al.* (1995):  $IRC = \text{COT}_{\text{tratamiento}} / \text{COT}_{\text{referencia}}$

<sup>2</sup> Puntos de observación permanentes, son puntos estacionarios en diferentes tipos, usos y manejo del suelo, que se muestrea el suelo todos los años en la misma fecha y en el mismo punto.

<sup>3</sup> Es la capa más afectada por el manejo agrícola del suelo, el clima y donde ocurren todos los procesos de acumulación, descomposición y pérdida del carbono orgánico.

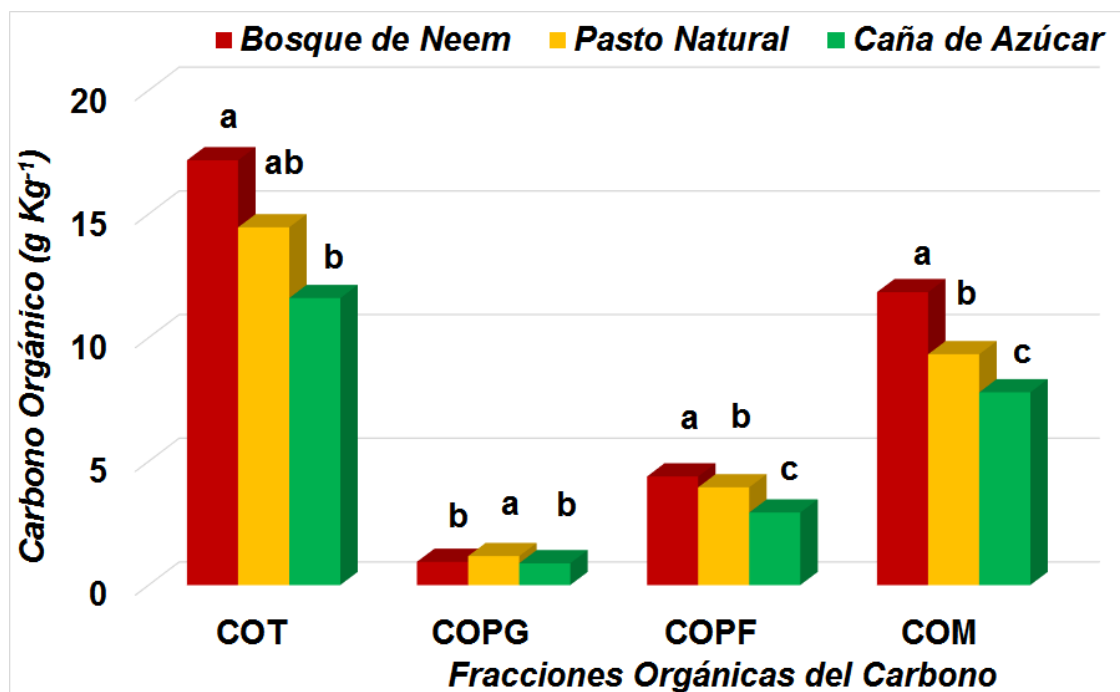
✓ Índice de Manejo de Carbono de Blair *et al.* (1995):  $IMC = IRC \times IL \times 100$ .

El Bosque de Neem se utilizó como suelo de referencia, con un IMC de 100. El carbono orgánico lábil se considera como la porción de carbono orgánico del suelo en la fracción orgánica  $> 53 \mu m$ , es decir, COPG + COPGF. El contenido de carbono no lábil fue el contenido de COM.

Se comprobó la calidad y validación de las bases de datos, mediante la normalidad de los datos, con el uso de la prueba de *Shapiro-Wilk's* y para la homogeneidad de la varianza, se realizó la prueba de *Bartlett*. Se utilizó la prueba de comparación de medias de rango múltiple de Duncan, cuando el análisis de varianza detectó diferencias significativas. El procesamiento estadístico de la información, se realizó con el empleo del programa Statistica v.8 y Microsoft Excel 2019.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis del contenido total del carbono orgánico del suelo (Figura 1), mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), entre los TUT. En los TUT Bosque de Neem y Pasto Natural mostraron los mayores contenidos con un 48 y 20%, con respecto al TUT Caña de Azúcar. Lo que puede estar influenciado por la perturbación del suelo, durante la preparación de suelo para la plantación del cultivo lo que ocurre como media cada tres años, al romperse los agregados, le quita la protección de los complejos órgano-minerales, aumentando más de esta forma su ciclado que el de las fracciones física o químicamente protegidas.



Letras diferentes en cada fracción orgánica indican diferencias significativas entre TUT ( $p < 0,05$ ).

COT: carbono orgánico total, COPG: carbono orgánico particulado grueso, COPF: carbono orgánico particulado fino, COM: carbono orgánico asociado a los minerales.

**Figura 1.** Contenido del carbono orgánico total (COT) por profundidad en los diferentes tipos de utilización de las tierras.

Pineda *et al.* (2023), encontraron que el manejo convencional al que fue sometido un Pardo Mullido plantado con caña de azúcar, provocó la pérdida gradual de carbono, debido a la perturbación del mismo durante la preparación para la plantación durante los ciclos de reposición.

Los incrementos del COS en el pasto se puede relacionar con los altos aportes de carbono mediante una vigorosa producción de biomasa por debajo del suelo de los pastos, debido al crecimiento de las raíces en los primeros 40 cm de profundidad, en dependencia del tipo de pasto y que la distribución del carbono orgánico en el suelo pueden estimularse con ausencia de labores agrícolas y un pastoreo moderado con una carga ganadera adecuada, aumentando a largo plazo estos contenidos en el suelo (Bonini *et al.*, 2019; Rivera *et al.*, 2021; Rojas *et al.*, 2022).

La máxima capacidad de almacenamiento de COS requiere de mayor incorporación de biomasa vegetal, que, en términos dinámicos, al menos el 13% del carbono orgánico del suelo total es lábil y se perderá cuando el suelo reduzca la cobertura vegetal y se produzca cambios en los usos de suelo (Bell *et al.*, 2021).

Las diferentes fracciones orgánicas muestran que aumentó significativamente ( $p < 0,05$ ), en los TUT con menos actividad antrópica, Bosque de Neem y Pasto Natural, decreciendo en el TUT Caña de Azúcar (Figura 1).

El carbono orgánico particulado grueso (COPG), se reduce sensiblemente de acuerdo al TUT, a medida que aumentan las prácticas agronómicas que favorecen su transformación y descomposición. Además de depender de la cantidad y calidad del material orgánico que cada cultivo sea capaz de aportar que suministre el carbono orgánico necesario al suelo.

La cantidad y calidad de la biomasa vegetal define el aporte de COS. En la caña de azúcar las prácticas de manejo continuas incrementan la mineralización del CO afectando la calidad y fertilidad del suelo, además de la estabilidad estructural del suelo; mientras que en los dos restantes TUT, se acumulan en la superficie con más lenta mineralización de la misma, coincidiendo con Wiesmeier *et al.* (2019) y Cano (2020).

En cuanto al carbono orgánico particulado fino (COPF), esta fracción constituye un material de transición, por lo que no es tan variable como COPG, ni tan estable como COM.

La fracción mineral del carbono orgánico (COM) presentó la menor variación en comparación con las restantes dos fracciones, lo que se atribuye a la mayor estabilidad entre los agregados que le confiere mayor resistencia a su descomposición física y biológica. Los resultados muestran una disminución de la fracción orgánica más lábil (COPG), en favor de la más humificada y estables (COM).

En la tabla 1 se muestra los valores promedios de los índices de calidad del suelo. En la relación entre el COP/COT, indicador usado para evaluar los cambios del CO asociado a los TUT y al potencial productivo de los suelos no muestra diferencias significativas, siendo el TUT Pasto Natural el de mayor relación con respecto al TUT Caña de Azúcar y Bosque de Neem en ese orden.

Los pastos tienen un efecto comprobado sobre el secuestro de carbono, al poseer un sistema radicular muy agresivo donde se produce la rizodeposición, las raíces se encuentran constantemente renovando su biomasa radicular, incluyendo los rizodepósitos, representando el 50 % de la biomasa total en los forrajes perennes y 20 % en los cultivos anuales (Lopresti *et al.*, 2020).

**Tabla 1.** Índices edáficos basados en el carbono orgánico total y sus fracciones en los diferentes tipos de utilización de la tierra en la profundidad de 0-20 cm.

| TUT                   | Bosque de Neem | Pasto Natural | Caña de Azúcar |
|-----------------------|----------------|---------------|----------------|
| <b>COPG/COT</b>       | 1,00           | 1,05          | 1,01           |
| <b>COT/Arc</b>        | 6,07 a         | 3,52 b        | 2,57 b         |
| <b>IE<sub>1</sub></b> | 1,30 a         | 1,47 a        | 1,24 a         |
| <b>IE<sub>2</sub></b> | 2,18 a         | 2,73 a        | 1,52 b         |
| <b>L</b>              | 0,92 b         | 1,02 a        | 0,80 c         |
| <b>IL</b>             |                | 1,11 a        | 0,87 b         |
| <b>IRC</b>            |                | 0,85          | 0,69           |
| <b>IMC</b>            |                | 94,13         | 61,08          |

Para cada índice, letras diferentes indican diferencias significativas entre los TUT ( $p < 0,05$ ).

**Leyenda:**

IE<sub>1</sub> y IE<sub>2</sub>: índice de estratificación

L: labilidad

IL: índice de labilidad

IRC: índice de reserva de carbono

IMC: índice de manejo de carbono

A pesar de que los TUT tienen la misma clase textural, arcillosa, se encontraron variación en los contenidos de arcilla y de a+i (arcilla + limo). Mostrando diferencias significativas entre los TUT en la relación COT/arc, donde el Bosque de Neem fue superior al Pasto Natural y la Caña de Azúcar.

Resultados similares fueron encontrados por Duval *et al.* (2016), en tres tipos de suelos, Haplustol Entico, Argiudol Típico y Hapludert Típico, con tres tratamientos, buenas prácticas agrícolas sostenible bajo siembra directa (en rotación con varios cultivos), malas prácticas agrícolas no sostenibles bajo siembra directa (monocultivo de soya), y ambientes naturales sin uso antrópico (pastos naturales), en Argentina.

Cuando las reservas de COS aumentan, significa que mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y paralelamente disminuyen las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera (Barrezueta, 2021); característica particular de los suelos bajo TUT de poca acción antrópica (Bosques y Pastos naturales).

Los mayores valores de estratificación se encontraron en el Pasto Natural, seguido por el Bosque de Neem y Caña de Azúcar respectivamente (Tabla 1). En el primer índice de estratificación, IE<sub>1</sub> (0-20/20-40 cm), no hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), estando por debajo de COT<2, lo que significa que el suelo está degradado y hay pérdida de la calidad del mismo, según Franzluebbers *et al.* (2002).

En IE<sub>2</sub> (0-20/40-60 cm), se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), esta vez el índice sobrepasa el COT>2, en los TUT Pasto Natural y Bosque de Neem, presentando los valores más altos 2,73 y 2,18 respectivamente, indicio de que la calidad del suelo está mejorando después de la reconversión. Demostrando que el cambio de uso y manejo puede revertir la degradación del suelo, ya que estos fueron en un principio áreas monocultivadas con caña de azúcar durante más de 80 años. Mientras que el TUT Caña de Azúcar, es el más degradado de los tres, debido al exceso de labores agrícolas que

favorecen la ruptura de los agregados, lo que disminuye de esta forma los contenidos de carbono, con pérdidas de la fertilidad del suelo.

Bispo *et al.* (2023), encontraron que después de ocho años de reforestación utilizando especies de vegetación nativa, es posible aumentar significativamente el contenido de COS.

Franzluebbers *et al.* (2002), plantearon que cuando el índice de estratificación es mayor que dos es síntoma de que el suelo está mejorando su calidad y, por lo tanto, los impactos económicos y ecológicos de ese sistema de gestión de la tierra en particular debe ser más analizado a fondo por su contribución a la sostenibilidad agrícola.

La labilidad (L), que relaciona el COP y el COM se observa diferencias significativas, donde el TUT Pasto Natural nuevamente presenta los valores más altos con respecto a los otros TUT. Con respecto al índice de labilidad (IL), el Pasto Natural por no tener ninguna labor agrícola y los residuos no son destruidos principalmente los aportados por las raíces es que difiere significativamente con el cultivo de la Caña de Azúcar.

Ramos y Martínez (2020), encontraron que el almacenamiento de carbono en los pastizales de *Paspalum notatum* es de 74,50 % en la parte radicular y 25,50 % en la parte aérea, mientras que en los pastizales de *Urochloa decumbens* es de 56,50 y 43,50 %, respectivamente.

Para saber que quedo de COT en el suelo con respecto al bosque, se usa el IRC, y el IMC mide la tasa de cambio de C entre el bosque y los TUT de Pasto Natural y Caña de Azúcar, donde no difieren significativamente en ambos índices, pero los valores más altos se encuentran en el pasto natural evidenciando lo que hasta ahora se ha venido discutiendo, que el suelo tiene mejor calidad, al conservar y acumular la biomasa vegetal en la superficie del suelo. La caña de azúcar al tener el suelo más degradado, por el efecto del monocultivo, y el uso intensivo de malas prácticas agrícolas, es lo que favorece a la pérdida en la calidad del suelo. El uso agrícola (monocultivo), de los suelos resultó en una marcada disminución de ambos índices, IMC y IRC (Duval *et al.*, 2016).

Mir *et al.* (2023), encontraron que los suelos con uso forestal y pastos tuvieron el valor más alto de IMC, en comparación con otros usos, demostrando que este índice sirve para estimar variaciones en las fracciones del CO, así como calidad del suelo.

## CONCLUSIONES

1. Las fracciones orgánicas se vieron favorecidas de forma significativa en los TUT Bosque de Neem (48%) y Pasto Natural (20%) con respecto al TUT Caña de Azúcar.
2. Los índices utilizados para medir la calidad del suelo diferenciaron bien los TUT con una alta intensificación agrícola (monocultivo de caña de azúcar), de los TUT con ninguna labor agrícola (Bosque de Neem y Pasto Natural). Mostrando tendencias de recuperación en los TUT Bosque de Neem y Pasto Natural y de degradación en el TUT Caña de Azúcar.
3. Estos índices basados en el carbono orgánico del suelo son una herramienta útil para determinar los efectos de los tipos de utilización de la tierra sobre la calidad de los suelos, por su sencillez y facilidad de cálculo.

## BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, G.; IBÁÑES, A.; OROZCO, M.E. y 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 (S.I.)*, 22(2), pp 5-19. ISSN 2594-102X
- ANDRIULO, A.; GALANTINI, J. A.; PECORARI, P. y TORIONI, E. (1990). Materia Orgánica del suelo de la región Pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica* 34: 475-489. ISSN 0002-1857
- BARREZUETA UNDA, S. 2021. Efecto de diversos atributos topográficos sobre el carbono orgánico en varios usos del suelo. *Ciencia UNEMI*, 14(35), 43–53.
- BELL, S. M.; TERRER, C.; BARRIO CANAL, C.; JACKSON, R. B. and ROSELL, A. 2021. Soil organic carbon accumulation rates on Mediterranean abandoned agricultural lands. *Science of the Total Environment*, 759.
- BISPO, D.F.A.; GUIMARÃES, D.V.; MARQUES, J.J.G.D.S.E.M.; BENIAICH, A.; ACUÑA GUZMAN, S.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. 2023. Soil Organic Carbon as Response to Reforestation Age and Land Use Changes: A Qualitative Approach to Ecosystem Services. *Sustainability* 15, 6863. <https://doi.org/10.3390/su15086863>
- BLAIR, J.G.; ROB, D.B.; LEFROY and LEANNE LISLE. 1995. Soil Carbon Fractions Based on their Degree of Oxidation and the Development of a Carbon Management Index for Agricultural Systems. *Aust. J. Agric. Res.*, 1995, 46, 1459-1466 pp.
- BONINI DA LUZ, F.; RODRIGUES DA SILVA, V.; KOCHER MALLMANN, F. J.; BONINI PIRES, C. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. and CHERUBIN, M. R. 2019. Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 281. pp 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.05.006>.
- CANO, O.; VELA, G.; ACEVEDO, O.A. y VALERA, M.Á. 2020. Concentraciones de carbono orgánico en el arbolado y suelos del Área Natural Protegida El Faro en Tlalmanalco, Estado de México. *Terra Latinoamericana* 38, 895-905. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.757>
- COLQUE, R. A.; ARACENA, G. E.; LEAÑO, M. C.; MEDINA, D. E.; MENDOZA, J. y RODAS, A. 2022. Estabilidad Estructural bajo diferentes Sistemas de Manejo en Palma Sola-Jujuy. *XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente. Tomo I. Asociación Argentina del Suelo. Argentina*. pp 342. ISBN 978-987-48396-7-1
- DUVAL, M. E.; GALANTINI, J. A.; MARTÍNEZ, J. M. y IGLESIAS, J. O. 2016. Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. *Revista Ciencia del Suelo (Argentina)* 34(2). 197-209 pp.
- FERNÁNDEZ, ROMINA; QUIROGA, A.; ÁLVAREZ, C.; LOBARTINI, C.Y. y NOELLEMEYER, E. 2016. Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en molisoles de la región semiárida pampeana. *Revista Ciencia del Suelo (Argentina)* 34(2). 279-292 pp. ISSN 1850-2067 (versión electrónica).
- FRANZLUEBBERS, A. J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil 460 quality. *Soil & Tillage Research*. 66: 95-106. ISSN 0167-1987.
- HERNÁNDEZ JIMÉNEZ, A.; PÉREZ JIMÉNEZ, J.M.; BOSCH INFANTE, D. y CASTRO SPECK, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. San José de Las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 91 pp.
- HERNÁNDEZ NÚÑEZ, H.E.; ANDRADE, H.J.; SUÁREZ SALAZAR, J.C.; SÁNCHEZ A., J.R.; GUTIÉRREZ S., D.R.; GUTIÉRREZ GARCÍA, G.A.; TRUJILLO TRUJILLO, E. y CASANOVES, F. 2021. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en

- los Llanos Orientales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 352-368. DOI 10.15517/rbt.v69i1.42959.
- ININ & ONN. 1999. Calidad del suelo. Análisis químico. Determinación del porcentaje de materia orgánica. NC 51. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, Instituto de Investigaciones en Normalización, Oficina Nacional de Normalización.
- LAL, R.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. and KIMBLE, J.M. 2007. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Science*, 172(12), 943-56. <https://doi:10.1097/ss.0b013e31815cc498>
- LOPRESTI, M. L.; MILESI DELAYE, L. A. y ANDRIULO, A. E. 2020. Partido de Pergamino: Aumentó la superficie de maíz y trigo. ¿Aumentó el aporte de carbono al suelo?. *Informe Técnico*. EEA Pergamino, INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/7047>.
- MIR, Y.H.; GANIE, M.A.; SHAH, T.I.; AEZUM, A.M.; BANGROO, S.A.; MIR, S.A.; DAR, S.R.; MAHDI, S.S.; BABA, Z.A.; SHAH, A.M.; MAJEED, U.; MINKINA, T.; RAJPUT, V.D. AND DAR, A.A. 2023. Soil organic carbon pools and carbon management index under different land use systems in North western Himalayas. *PeerJ*, 11:e15266 <http://doi.org/10.7717/peerj.15266>.
- OLORUNFEMI, I.E.; KOMOLAFE, A.A.; FASINMIRIN, J.T. and OLUFAYO, A.A. 2019. Biomass carbon stocks of different land use management in the forest vegetative zone of Nigeria. *Acta Oecologica*, 95, 45-56. DOI:10.1016/j.actao.2019.01.004.
- PINEDA RUI, E.; GONZÁLEZ HIDALGO, M.; DE LEÓN ORTIZ, M.; VILLEGAS DELGADO, R.; MÁS MARTÍNEZ, R. y MORA VARONA, R. 2023. Variación del carbono orgánico en suelo Pardo mullido carbonatado monocultivado con caña de azúcar durante 35 años en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*. Vol. 13, No. 1 (enero-febrero-marzo). pp. 35-40. ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761.
- RAMOS HERNÁNDEZ, E. y MARTÍNEZ SÁNCHEZ, J.L. 2020. Almacenes de biomasa y carbono aéreo y radicular en pastizales de *Urochloa decumbens* y *Paspalum notatum* (Poaceae) en el sureste de México. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 440-451.
- RIVERA, J.; COLCOMBET, L.; SANTOS-GALLY, R.; MURGUEITIO, E.; DÍAZ, M.; MAURICIO, R.; PERI, P. y CHARÁ, J. 2021. Sistemas Silvopastoriles: Ganadería Sostenible con Arraigo e Innovación. CIPAV. Cali, Colombia. ISBN: 978-958-9386-99-6.
- ROJAS SOLANO, J.; BRENES GAMBOA, S. y ABARCA MONGE, S. 2022. Carbono en el suelo: comparación entre un área de pastos y un bosque. *InterSedes*, 23(47), 184–205. DOI 10.15517/isucr.v23i47.47695.
- TORRES FEIJOO, E. P.; MAZA MAZA, J. E. y BARREZUETA UNDA, S. 2021. Impacto de dos usos de suelo en el almacenamiento carbono orgánico en el litoral ecuatoriano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 78-85.
- VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J. and HE, Z.L. 2007. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no till cropping systems. *Soil & Tillage Research* 96(1), 195-204.
- WIESMEIER, M.; URBANSKI, L.; HOBLEY, E.; LANG, B.; VON LÜTZOW, M.; MARIN SPIOTTA, E.; VAN WESEMAEL, B.; RABOT, E.; LIEß, M.; GARCIA FRANCO, N.; WOLLSCHLÄGER, U.; VOGEL, H.J. and KÖGEL KNABNER, I. 2019. Soil Organic Carbon Storage as A Key Function of Soils - A Review of Drivers and Indicators at

Various Scales. *Geoderma*, 333, 149-162.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026>.

ZILIO, JOSEFINA P.; MORRIS, D. G.; KRÜGER, H. R.; FROLLA, F. D. y ARROQUY, G.  
2018. Indicadores de calidad de suelo en sistemas productivos contrastantes. XXVI  
*Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. ISBN 978-987-46870-0-5