

Efecto de diferentes tipos de uso de la tierra en las fracciones del carbono orgánico del suelo Effect of different land use types on soil organic carbon fractions

George Martín-Gutiérrez¹ <https://orcid.org/0000-0003-4631-3013>, Pablo Pablos-Reyes² <https://orcid.org/0000-0003-1820-0142>, Yakelín Cobo-Vidal¹ <https://orcid.org/0000-0002-9377-2397>, Juan Alejandro Villazón-Gómez³ <https://orcid.org/0000-0002-2436-0591> y Adrián Serrano-Gutiérrez¹ <https://orcid.org/0000-0002-3020-9396>

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín, Guaro, Código Postal 80100. Holguín, Cuba. ²Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar Santiago de Cuba, Carretera Central, km 2^º, Los Coquitos, Palma Soriano. Santiago de Cuba, Cuba. ³Universidad de Holguín. Avenida de los Internacionalistas. Holguín, Cuba. Correo electrónico: george.martin@inicahl.azcuba.cu, pablo.pablos@inicasc.azcuba.cu, yakelin.cobo@inicahl.azcuba.cu, villazon@uho.edu.cu, adrian.serrano@inicahl.azcuba.cu

Resumen

Objetivos: Evaluar el efecto de diferentes tipos de usos de la tierra en las fracciones del carbono orgánico de un suelo vertisol crómico.

Materiales y Métodos: La investigación se desarrolló en un punto de observación permanente, ubicado en la provincia Holguín. Se tomaron muestras de suelos a profundidad de 0-20 cm, en tres tipos de usos diferentes de la tierra: bosque de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss), pasto natural (*Paspalum notatum* L.) y caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido). Se determinó el carbono orgánico total, carbono particulado grueso, fino y asociado a los minerales, posterior al fraccionamiento físico granulométrico de las muestras.

Resultados: Hubo diferencias significativas en el carbono orgánico total y sus fracciones en los distintos usos de la tierra y entre ellos mismos ($p \leq 0,05$). En cuanto al carbono orgánico total, el bosque de *A. indica* fue superior (16 y 32 %) al pasto natural y a la *Saccharum* spp. híbrido, respectivamente. Ello se debió a la cantidad y calidad de la biomasa vegetal que aportó cada cultivo y al aumento de la actividad antrópica en los diferentes usos de la tierra.

Conclusiones: A medida que se incrementaron las prácticas de manejo, disminuyeron los contenidos de carbono orgánico total y sus fracciones. Los mayores contenidos de carbono orgánico se encontraron en la fracción asociada a los minerales y al particulado fino con respecto al grueso en los diferentes usos de la tierra. El bosque de *A. indica* presentó los contenidos más altos, seguido del pasto natural y *Saccharum* spp. híbrido, respectivamente.

Palabras clave: carbono orgánico particulado, vertisoles, agroecosistemas

Abstract

Objectives: To evaluate the effect of different types of land use on the organic carbon fractions of a chromic vertisol soil.

Materials and Methods: The research was developed in a permanent observation point, located in Holguín province. Soil samples were taken at a depth of 0-20 cm, in three different types of land uses: Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) forest, natural pasture (*Paspalum notatum* L.) and sugarcane (hybrid *Saccharum* spp.). Total organic carbon, coarse particulate carbon, fine particulate carbon and carbon associated with minerals were determined after physical particle size fractionation of the samples.

Results: There were significant differences in total organic carbon and its fractions in the different land uses and among them ($p \leq 0,05$). In terms of total organic carbon, the *A. indica* forest was superior (16 and 32 %) to natural grass and hybrid *Saccharum* spp., respectively. This was due to the quantity and quality of plant biomass contributed by each crop and the increase in anthropogenic activity in the different land uses.

Conclusions: As management practices increased, total organic carbon contents and its fractions decreased. The highest organic carbon contents were found in the fraction associated with minerals and fine particulate matter with regards to coarse particulate matter in the different land uses. The *A. indica* forest showed the highest contents, followed by natural pasture and hybrid *Saccharum* spp., respectively.

Keywords: particulate organic carbon, vertisols, agroecosystems

Introducción

El suelo es el reservorio más importante de carbono en la biosfera, ya que contiene tres veces más carbono que la vegetación y la atmósfera (FAO,

2022). La degradación del suelo, la pérdida de la diversidad biológica y el cambio climático son tres caras distintas del mismo desafío (Arteaga y Burbano, 2018;

Recibido: 04 de julio de 2023

Aceptado: 09 de noviembre de 2023

Como citar este artículo: Martín-Gutiérrez, George; Pablos-Reyes, Pablo; Cobo-Vidal, Yakelín; Villazón-Gómez, Juan Alejandro & Serrano-Gutiérrez, Adrián. Efecto de diferentes tipos de uso de la tierra sobre las fracciones del carbono orgánico del suelo. *Pastos y Forrajes*. 46:e23, 2023.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

Arias-Ortega y Rosales-Romero, 2019; IPBES, 2022).

La cantidad de carbono orgánico del suelo (COS, mg/ha) en un momento dado es un balance entre las tasas de entrada y salida de este mineral. En este simple balance intervienen factores interrelacionados (clima, posición topográfica, calidad del material vegetal a degradarse, biota, tiempo de duración de determinada cobertura vegetal y actividad humana) que controlan procesos complejos que varían temporal y espacialmente en el cuerpo del suelo, en forma horizontal como vertical (Peri *et al.*, 2022).

En Cuba, aproximadamente 57 % (6 226 700 ha) de la superficie geográfica del país se dedica a la agricultura, según estadísticas del 2021 (ONEI, 2022) y, aproximadamente 76,9 % tiene un factor asociado que limita su productividad. Se destaca 70 % con baja materia orgánica y 45 % con baja fertilidad (Muñiz-Ugarte, 2015). Entre las causas más importantes de la disminución de la productividad de los suelos, se informa la administración inadecuada e inapropiada de nutrientes, el monocultivo y las malas prácticas en el manejo de los suelos y la vegetación. Ello provoca la pérdida de suelo y de su calidad, lo que se manifiesta en la cantidad, calidad y dinámica de las reservas de carbono en suelo (Rodríguez, 2022).

La pérdida de la fertilidad de los suelos, provocada por el cambio del uso, la explotación agrícola continuada e intensiva con aplicación de maquinarias y fertilizantes, así como por las prácticas agrícolas inadecuadas, originan la pérdida del carbono orgánico del suelo y disminuyen la capacidad productiva de los agroecosistemas (Olorunfemia *et al.*, 2019; Hernández-Núñez *et al.*, 2021).

Por lo antes referido, es necesario acumular carbono orgánico en el suelo para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas y, paralelamente, disminuir las emisiones de CO₂ hacia la atmósfera (Barreuzeta-Unda, 2021), característica particular de los suelos naturales.

La restauración de tierras degradadas tiene el potencial de almacenar hasta tres millones de toneladas de carbono por año (Dickinson, 2019; Cerri *et al.*, 2021).

Ante estas condicionantes, resulta indispensable el conocimiento de los inventarios de carbono

entre los usos antropogénicos del suelo y los naturales, así como su comportamiento con el cambio de uso, el manejo de la tierra y la biomasa vegetal generada por las plantas (Torres-Feijoo *et al.*, 2021). Por ello, es necesario buscar formas adecuadas de manejo agrícola, que mantengan y enriquezcan el carbono en el suelo, con vistas a desarrollar y establecer estrategias, metodologías y prácticas de manejo que permitan mitigar el cambio climático, mantener la diversidad biológica y proteger los suelos dedicados a la seguridad alimentaria (Pool-Novelo *et al.*, 2019).

Las técnicas de fraccionamiento del carbono orgánico son adecuadas para cuantificar sus fracciones y caracterizar el estado del sistema. Permiten profundizar en el conocimiento de la complejidad de las transformaciones que experimenta el carbono orgánico. También brindan herramientas para el manejo y monitoreo de los sistemas productivos y para optimizar el almacenamiento, mejorar la calidad y sincronizar los ciclos de mineralización con los requerimientos de los cultivos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes tipos de usos de la tierra en las fracciones del carbono orgánico de un vertisol crómico en el municipio Mayarí, provincia Holguín, Cuba.

Materiales y Métodos

Localización. El trabajo se realizó en el punto de observación permanente¹ (POP), en la latitud: 20° 40' 21".73 y longitud: 75° 46' 25".05. Se estableció en el año 2010 en la localidad de Guaro, municipio Mayarí, provincia Holguín.

Características del suelo. El suelo se clasificó como vertisol crómico cálcico y gléyico (Hernández-Jiménez *et al.*, 2015) en diferentes tipos de usos de la tierra (TUT): bosque de *Azadirachta indica* A. Juss, pasto natural (*Paspalum notatum* L.) y *Saccharum* spp. híbrido. El bosque y el pasto natural se convirtieron en el 2002. Ambos proceden de áreas de *Saccharum* spp. híbrido.

Procedimiento experimental. Se realizó un muestreo aleatorio estratificado con tres repeticiones en cada uno de los TUT, en el 2010 y 2015. Se tomaron las muestras de suelos de 0-20 cm de profundidad.

Se realizó un fraccionamiento físico granulométrico por tamizado en seco (Andriulo *et al.*, 1990; Galantini *et al.*, 2008). Con el uso de

¹ 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.

tamices, de 53 y 105 μm , se obtuvo la fracción gruesa (FG, > 105 μm), que contiene el carbono orgánico particulado grueso (COPG), arenas medias y gruesas y fracción media (FM, 53-105 μm) constituida por el carbono orgánico particulado medio (COPF) y las arenas muy finas y la fracción fina (FF < 53 μm) que tienen el carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COM) más limo y arcilla. El carbono orgánico se determinó por el método de *Walkley-Black* (ININ y ONN, 1999).

Análisis estadístico. 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. Para la homogeneidad de la varianza se aplicó la prueba de *Bartlett*. Se utilizó la comparación de medias de rango múltiple de Duncan, cuando el análisis de varianza halló 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

La influencia de los TUT en los contenidos de carbono orgánico total y sus fracciones (figura 1) fue evidente, ya que se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$).

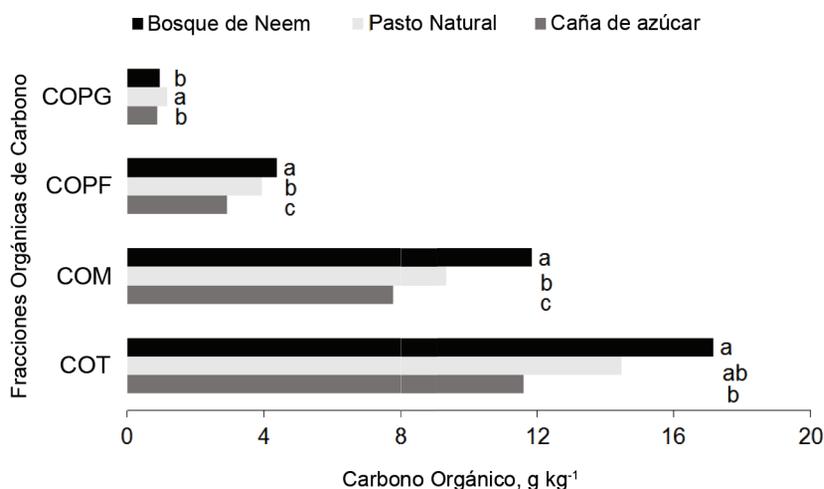
Al analizar la influencia de los TUT en las fracciones orgánicas del carbono total del suelo, se pudo observar que los contenidos de COPG en el pasto natural fueron superiores en 20 y 25 % a los TUT bosque de *A. indica* y *Saccharum* spp. híbrido, respectivamente. Las variaciones pueden

ser atribuidas a la contribución de la biomasa vegetal y su calidad, factores que influyen en las actividades de los microorganismos del suelo. Estos se benefician de las propiedades del suelo asociadas a la disponibilidad de nutrientes y la humedad. Además, esta fracción es muy sensible a la degradación por las prácticas agrícolas a que se somete *Saccharum* spp. híbrido.

Durante el pastoreo, la remoción de la biomasa aérea origina la pérdida de parte de las raíces, lo que favorece el rebrote y genera un sistema radical extenso, que permanece a baja profundidad y aporta carbono orgánico, sólo en los primeros 20 cm. Este carbono orgánico es lábil (COPG), aumenta los exudados radiculares que generan un crecimiento de 10 a 20 % más rápido de las plantas (Casal *et al.*, 2018).

El sistema radical de los pastos es muy agresivo y sus raíces están en constante renovación, lo que ocasiona la rizodeposición, que representa 50 % de la biomasa total en los forrajes perennes y 20 % en los cultivos anuales, lo que convierte a los pastos en una buena opción para aumentar el secuestro de C en los trópicos. Lopresti *et al.* (2020) añaden que una gran parte del carbono orgánico de los pastos se secuestra a través de las raíces, que gradualmente van pasando a formar parte de la biomasa del suelo (Rivera *et al.*, 2021).

Landriscini *et al.* (2020) demostraron el efecto significativo de los cultivos de cobertura en el COS. Estos autores señalan que la fracción lábil (COPG)



Letras diferentes en cada fracción orgánica indica 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 la fracción mineral.

Figura 1. Contenido del carbono orgánico total y sus fracciones por TUT.

estuvo fuertemente relacionada con la mayor producción de residuos y de su calidad en la capa superficial del suelo.

En cuanto al COPF, esta fracción constituye un material de transición, por lo que no es tan variable como COPG ni tan estable como COM, de acuerdo con lo referido por (Duval, 2015).

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

Márquez-San-Emeterio (2016), en un suelo regosol eútrico, en tres TUT (*Mangifera indica* L., *Annona cherimola* Mill. y *Persea americana* Mill.) informó que el contenido en carbono varía de acuerdo con el tipo de fracción presente. La fracción fina tiene mayor proporción con respecto a la fracción gruesa del suelo. Se trata de carbono fuertemente unido a la fracción mineral.

El bosque de *A. indica* fue superior (16 y 32 %) al pasto natural y a *Saccharum* spp. híbrido en el COT, respectivamente. Estos cambios en la dinámica del COT están relacionados con el tipo de utilización de la tierra, que determina la cobertura vegetal y su calidad. Torres-Feijoo *et al.* (2021) concluyeron que las transformaciones relacionadas con el cambio de uso y de cobertura afectan directamente las reservas de carbono del suelo.

En los TUT bosque de *A. indica* y pasto natural todas las fracciones orgánicas fueron mayores en comparación con el TUT *Saccharum* spp. híbrido, en lo que pudo influir el uso frecuente de implementos agrícolas durante la preparación de suelo para la plantación del cultivo, que como media ocurre cada tres años. Además, con la inversión de los horizontes superiores se rompen los agregados y disminuye la protección de los complejos orgánico-minerales. También se realizan labores de cultivos anuales, entre ellas el cultivo profundo (35-40 cm), específicamente en el vertisol, donde se cosecha de forma mecanizada.

Pineda-Ruiz *et al.* (2023) encontraron que el manejo convencional al que se sometió un suelo plantado con *Saccharum* spp. híbrido provocó la pérdida gradual de carbono, que se acentuó a medida que transcurrió el tiempo. Esto se manifestó en el comportamiento de los ciclos de reposición, debido a la perturbación del suelo durante la pre-

paración para la plantación, donde se pierden las reservas de carbono acumuladas durante todo un ciclo, que alcanzan 47 % en más de 30 años.

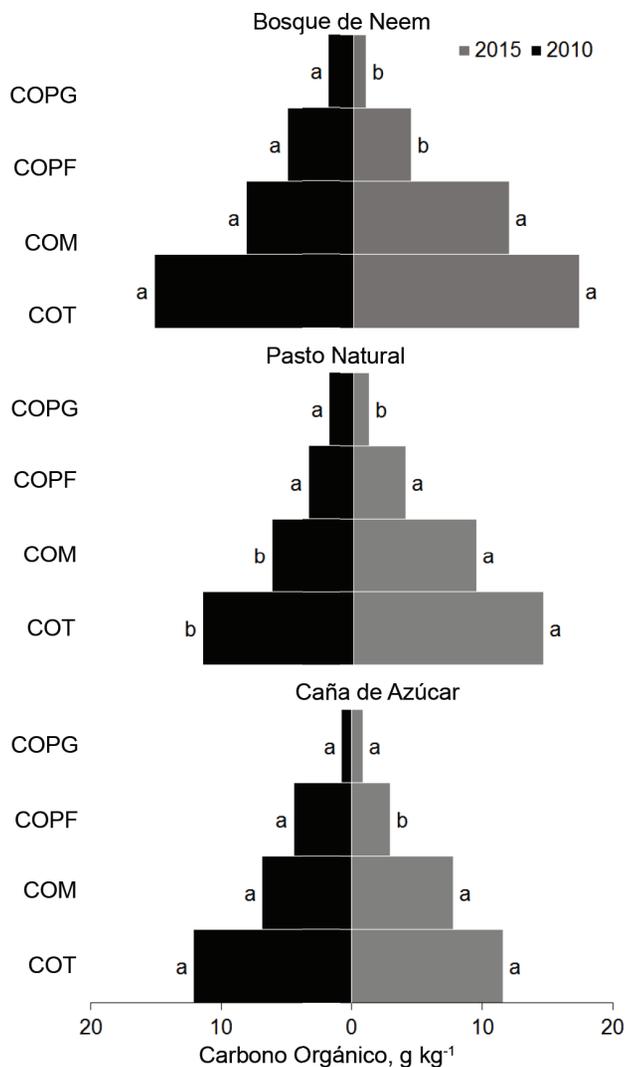
Los efectos de la reconversión de los agroecosistemas han contribuido a restablecer el equilibrio dinámico de las formas del carbono orgánico en el tiempo (10 años), a partir de la descomposición del material orgánico propio de los nuevos usos.

Al final del período, las fracciones del COPG y COPF resultaron inferiores ($p < 0,05$) en los TUT bosque de *A. indica* y pasto natural y en COPF bosque de *A. indica* y *Saccharum* spp. híbrido. Solo en el TUT pasto natural se obtuvo incremento ($p < 0,05$) del COM (figura 2). En todos los TUT, se observó tendencia a una mineralización más rápida de los residuos. Por ello, el COM y COT resultaron muy estables, debido a una mayor humificación del material orgánico, atribuible a mayor estabilidad entre los agregados que le confieren más resistencia a su descomposición física y biológica.

Quedó demostrada la dependencia de las fracciones de la cantidad y calidad de la entrada de material orgánico, según el tipo de planta y manejo agrícola. Se manifestó la diferencia entre los TUT de menor actividad antrópica (bosque de *A. indica* y pasto natural), que expresan los mayores incrementos (13 y 26 %). Mientras, el TUT *Saccharum* spp. híbrido decreció 4 %, debido a que el cultivo está sometido a mayor actividad agrícola. Estos resultados coinciden con los de Pérez-Iglesias *et al.* (2021) en agroecosistemas tropicales de la región costa ecuatoriana, quienes encontraron disminución de los contenidos de carbono orgánico en 3, 20, 31 y 79 % en los usos *Musa* sp., *Theobroma cacao* L., pastos y *Zea mays* L., respectivamente, con relación al bosque secundario. *Z. mays* fue el de menor contenido, debido a los excesos de labranza a los que se somete por ser un cultivo de ciclo corto.

Según los resultados de Solano-Pinzon *et al.* (2018) y Huamán-Carrión *et al.* (2021), los suelos con cobertura de pasto natural representan mayores tasas en la acumulación de carbono orgánico, en comparación con bosques y demás cultivos del mismo piso ecológico.

El comportamiento del carbono en las diferentes fracciones orgánicas mostró aumentos de forma inversa al diámetro de la fracción, en el orden $COM > COPF > COPG$. Esto se relaciona con el contenido de arcillas o partículas finas de la textura, las cuales favorecieron los mecanismos de protección del carbono.



Letras diferentes en las fracciones orgánicas indica diferencias significativas entre años ($p < 0,05$).
COT-carbono orgánico total; COPG-carbono orgánico particulado grueso; COPF-carbono orgánico particulado fino; COM-carbono orgánico asociado a la fracción mineral

Figura 2. Contenido medio del carbono orgánico total y sus fracciones por diferentes tipos de uso de la tierra.

Ello evidenció que son las fracciones más sensibles de experimentar transformaciones con los cambios y manejo de los TUT, por lo que afectan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Duval *et al.* (2016) y Fernandez *et al.* (2016), demostraron que estas fracciones orgánicas se pueden utilizar para medir los efectos de los TUT y

las propiedades de los suelos, así como su índice de calidad.

Conclusiones

A medida que se incrementaron las prácticas de manejo, disminuyeron los contenidos de carbono orgánico total y sus fracciones. Se encontraron diferencias entre los tipos de uso de la tierra, siendo

mayor en el bosque de *A. indica*. Le siguió el pasto natural y *Saccharum* spp. híbrido.

Los mayores contenidos de carbono orgánico se encontraron en las fracciones asociadas a los minerales y al particulado fino con respecto al grueso en todos los tipos de uso de la tierra. El bosque de *A. indica* presentó los contenidos más altos, seguido del pasto natural y *Saccharum* spp. híbrido, respectivamente.

Agradecimientos

Al proyecto nacional “Evolución de la fertilidad del suelo a largo plazo bajo diferentes tipos de uso y manejo” por el financiamiento para la investigación, así como al laboratorio de suelos del INICA de Santiago de Cuba, por su valiosa contribución.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

Contribuciones de los autores

- George Martín-Gutiérrez. Diseñó la investigación, dirigió y realizó la toma de muestras en campo, realizó el análisis estadístico e interpretación de los resultados y redactó el manuscrito.
- Pablo Pablos-Reyes. Diseñó la investigación y colaboró en el análisis e interpretación de los resultados y en la redacción del manuscrito.
- Yakelin Cobo-Vidal. Colaboró en el análisis e interpretación de los resultados y en la redacción del artículo.
- Juan Alejandro Villazón-Gómez. Realizó la toma de muestras en campo, colaboró en el análisis e interpretación de los resultados y en la redacción del manuscrito.
- Adrián Serrano-Gutiérrez. Realizó la toma de muestras en campo y colaboró en la redacción del manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Andriulo, A.; Galantini, J. A.; Pecorari, P. & Torioni, E. Materia orgánica del suelo en la región pampeana argentina. 1. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica*. 34:475-489, 1990.
- Arias-Ortega, M. Á. & Rosales-Romero, Sonia. Educación ambiental y comunicación del cambio climático. Una perspectiva desde el análisis del discurso. *RMIE*. 24 (80):247-269. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662019000100247&lng=es&tln=es, 2019.
- Arteaga, L. E. & Burbano, J. E. Efectos del cambio climático: Una mirada al campo. *Revi. Cienc.*

Agr. 35 (2):79-91, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183502.93>.

- Barrezueta-Unda, S. Efecto de diversos atributos topográficos sobre el carbono orgánico en varios usos del suelo. *Ciencia UNEMI*. 14 (35):43-53, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vo-114iss35.2021pp43-53p>.
- Casal, Alejandra; Jaimés, Florencia R.; Cesa, Ariela; Martinefsky, María J.; Otondo, J.; Quiñones-Martorello, Adriana *et al.* En la búsqueda de prácticas agroecológicas para la restauración y uso sustentable de los pastizales naturales pampeanos, recursos forrajeros multifuncionales. En: J. Ullé y Beatriz M. Díaz, eds. *El suelo como reactor de los procesos de regulación funcional de los agroecosistemas*. Buenos Aires: Ediciones INTA. p. 2-35. http://www.ciaorganico.net/documypublic/130_El_Suelo_como_Reactor_Libro_multiautores_para_SOCLA_2018_v5.pdf, 2018.
- Cerri, C. E. P.; Cherubin, M. R.; Damian, J. M.; Mello, F. F. C.; Lal, R. & Villareal, F., Coords. *Secuestro de carbono en el suelo mediante la adopción de prácticas de manejo sostenible: potencial y oportunidad para los países de las Américas*. San José, Costa Rica: IICA. <https://repositorio.usp.br/item/003097372>, 2021.
- Dickinson, D. *Unos 24.000 millones de toneladas de suelo fértil se pierden cada año por la desertificación*. Noticias ONU. Nueva York: ONU. <https://news.un.org/es/story/2019/06/1457861>, 2019.
- Duval, M. E. Contenido, calidad y dinámica de las fracciones orgánicas como indicadores de calidad de suelos bajo diferentes manejos en siembra directa. Tesis en opción al grado de Doctor en Agronomía. Argentina: Universidad Nacional del Sur. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2382>, 2015.
- Duval, M. E.; Galantini, J. A.; Martínez, J. M. & Iglesias, J. O. Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. *Cienc. suelo*. 34 (2):197-209. <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v34n2/v34n2a03.pdf>, 2016.
- FAO. *Día Mundial del Suelo. Primer informe mundial sobre suelos negros*. Roma: FAO, 2022.
- Fernández, Romina; Quiroga, A. R.; Alvarez, C. & Lobartini, J. C. Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en molisoles de la región semiárida pampeana. *Cienc. suelo*. 34 (2):279-292. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1850-20672016000200010, 2016.
- Galantini, J. A.; Iglesias, J.; Landriscini, María; Suñer, Liliana & Minoldo, Gabriela. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. En: J. A. Galantini, ed.

- Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Bahía Blanca, Argentina: Universidad Nacional del Sur. p. 71-96. <https://ediuns.com.ar/wp-content/uploads/2018/02/P%C3%A1ginas-desdeESTUDIO-DE-LAS-FRACCIONES.pdf>, 2008.
- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA, 2015.
- Hernández-Núñez, H. E.; Andrade, H. J.; Suárez-Salazar, J. C.; Sánchez, J. R.; Gutiérrez-S., David-R.; Gutiérrez-García, G. A. *et al.* Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. *Rev. biol. trop.* 69 (1):352-368, 2021 DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42959>.
- Huamán-Carrión, Mary L.; Espinoza-Montes, F.; Barral-Lujan, A. I. & Ponce-Atencio, Y. Influencia de la altitud y características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de pastos naturales altoandinos. *Sci. Agropecu.* 12 (1):83-90, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.010>.
- ININ & ONN. *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, 1999.
- IPBES. *Informe sobre la degradación y restauración del suelo*. Alemania: Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas. <https://www.ipbes.net/>, 2022.
- Landriscini, María R.; Duval, M. E.; Galantini, J. A.; Iglesias, J. O. & Cazorla, C. R. Changes in soil organic carbon fractions in a sequence with cover crops. *Spanish J. Soil Sci.* 10 (2):137-153, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3232/SJSS.2020.V10.N2.03>.
- Lopresti, M. F.; Milesi-Delays, L. A. & Andriulo, A. E. *Aumentó la superficie de maíz y trigo. ¿Aumentó el aporte de carbono al suelo? Informe técnico*. Argentina: EEA Pergamino, INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/7047>, 2020.
- Márquez-San-Emeterio, Layla. *Fraccionamiento de carbono orgánico y caracterización biológica de suelos en cultivos subtropicales bajo restos de poda*. Tesis para optar el grado Máster en Conservación, Gestión y Restauración de la Biodiversidad. España: Universidad de Granada, 2016.
- Muñiz-Ugarte, O. 50 Aniversario del Instituto de Suelo de Cuba. *Anales de la ACC.* 5 (2):1-9. <https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/214>, 2015.
- Olorunfemia, I. E.; Komolafeb, A. A.; Fasinmirina, J. T. & Olufayoa, A. A. Biomass carbon stocks of different land use management in the forest vegetative zone of Nigeria. *Acta Oecol.* 95: 45-56, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.01.004>.
- ONEI. *Anuario Estadístico de Cuba 2021*. La Habana: Oficina Nacional de Estadística e Información. https://www.onei.gob.cu/sites/default/files/publicaciones/2023-04/aec-2021-edicion-2022_compressed.pdf, 2022.
- Pérez-Iglesias, H. I.; Rodríguez-Delgado, I. & García-Batista, R. M. Secuestro de carbono por el suelo y sus fracciones en agroecosistemas tropicales de la región costa ecuatoriana. *Universidad y Sociedad.* 13 (2):141-149. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000200141&lng=es&tlng=es, 2021.
- Peri, P. L.; Maradei, D.; Lupi, Ana M.; Tato-Vazquez, Cecilia; Gyenge, J.; Gatica, M. G. *et al.* *Reporte Nacional: Estimación de las reservas de carbono orgánico del suelo con plantaciones forestales y otros usos de la tierra, en distintas regiones de Argentina*: INTA, Dirección Nacional de Desarrollo Foresto-Industrial del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/12650>, 2022.
- Pineda-Ruiz, Emma; González-Hidalgo, Mariabel; Villegas-Delgado, R.; León-Ortiz, M. de; Más-Martínez, R. & Mora-Varona, R. Variación del carbono orgánico en suelo Pardo mullido carbonatado monocultivado con caña de azúcar durante 35 años en Cuba. *Ingeniería Agrícola.* 13 (1):35-40. <https://rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/download/1668/3344>, 2023.
- Pool-Novelo, L.; Kú-Quej, V. M.; Chí-Quej, J. & Mendoza-Vega, J. Estimación del contenido de carbono orgánico en suelos y vegetación del estado de Campeche. Propuesta metodológica. *Terra Latinoam.* 37 (4):317-328, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.461>.
- Rivera, J. E.; Colcombet, L.; Santos-Gally, Rocío; Murgueitio, E.; Díaz, Maura; Mauricio, R. M., Eds. *et al.* 2021. *Sistemas silvopastoriles: ganadería sostenible con arraigo e innovación*. Cali, Colombia: CIPAV. <https://www.foa.org.ar/silvopastoril.pdf>, 2021.
- Rodríguez, P. Algunos aspectos ambientales y sociales de interés en la producción agrícola actual. *VIII Taller Nacional de la ETP y VI Coloquio de Formación Laboral*. Santiago de Cuba: UCP "Frank País", 2022.
- Solano-Pinzón, M. H.; Ramón-Contento, P. A.; Gurmán-Montalván, Elizabeth del C.; Burneo-Val-

divieso, J. I.; Quichimbo-Miguitama, P. G. & Jiménez-Alvarez, Leticia S. Efecto del gradiente altitudinal sobre las reservas de carbono y nitrógeno del suelo en un matorral seco en Ecuador. *Ecosistemas*. 27 (3):116-122, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1521>.

Torres-Feijoo, E. P.; Maza-Maza, J. E. & Barzueata-Unda, S. Impacto de dos usos de suelo en el almacenamiento de carbono orgánico en el litoral ecuatoriano. *Agroecosistemas*. 9 (2):78-85, <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/472>, 2021.