

Reservas de carbono orgánico en diferentes tipos de utilización de la tierra

Organic carbon stocks in different types of land use

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> y Juan Alejandro Villazón-Gómez³ <https://orcid.org/0000-0002-2436-0591>

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Holguín, Cuba. ²Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Santiago de Cuba, Cuba. ³Universidad de Holguín. Holguín, Cuba. Correo electrónico: george.martin@inicahl.azcuba.cu, pablo.pablos@inicasc.azcuba.cu, yakelin.cobo@inicahl.azcuba.cu, villazon@uho.edu.cu

Resumen

Objetivo: Evaluar el efecto de diferentes tipos de utilización de la tierra en las reservas de carbono orgánico en un suelo Ferrítico Rojo oscuro típico.

Materiales y Métodos: La investigación se desarrolló en un punto de observación permanente, ubicado en la localidad de Guaro, municipio Mayarí, provincia Holguín. Se tomaron muestras de suelo a la profundidad de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, en tres tipos de utilización de la tierra: bosque de *Pinus cubensis* Griseb., pasto natural (*Paspalum notatum* Alain ex Flügge) y *Saccharum* spp., a los que se les determinó el carbono orgánico total. Además, se tomaron muestras sin disturbar para determinar la densidad aparente.

Resultados: Se encontraron diferencias significativas en las reservas de carbono orgánico del suelo entre los tres tipos de utilización de la tierra, a una profundidad de 0-20 cm. En el pasto natural fue donde hubo mayor reserva. Le siguió *Saccharum* spp y el bosque de *P. cubensis*. Hubo incremento en la tasa de acumulación de carbono edáfico con la profundidad en todos los tipos de utilización de la tierra. Se encontraron los mayores valores en la profundidad de 0-20 cm, que disminuyeron con el perfil. Solo hubo cifras negativas en el bosque de *P. cubensis*, a profundidad de 40-60 cm.

Conclusiones: Las mayores reservas de carbono se hallaron en terrenos con *P. notatum*. Le siguieron *Saccharum* spp. y *P. cubensis*. Los tipos de uso de la tierra con menor actividad humana mostraron las tasas más altas de acumulación de carbono y mejor calidad del suelo.

Palabras clave: densidad del suelo, fertilidad, profundidad

Abstract

Objective: To evaluate the effect of different types of land use on organic carbon stocks in a typical dark red ferritic soil.

Materials and Methods: The research was developed in a permanent observation point, located in the Guaro locality, Mayarí municipality, Holguín province. Soil samples were taken at 0-20, 20-40 and 40-60 cm depth, in three types of land use: *Pinus cubensis* Griseb. forest, natural pasture (*Paspalum notatum* Alain ex Flügge) and *Saccharum* spp. to which total organic carbon was determined. In addition, undisturbed samples were taken to determine the bulk density.

Results: Significant differences in soil organic carbon stocks were found among the three types of land use, at a depth of 0-20 cm. The natural pasture had the highest stock. It was followed by *Saccharum* spp and *P. cubensis* forest. There was increase in the rate of edaphic carbon accumulation with depth in all types of land use. The highest values were found in the 0-20 cm depth, which decreased with profile. There were negative figures only in the *P. cubensis* forest, at 40-60 cm depth.

Conclusions: The highest carbon stocks were found in soils with *P. notatum*. This was followed by *Saccharum* spp. and *P. cubensis*. Land use types with less human activity showed the highest rates of carbon accumulation and better soil quality.

Keywords: soil density, fertility, depth

Introducción

El suelo es el reservorio más importante de carbono en la biosfera, ya que contiene tres veces más que la vegetación y la atmósfera (Cerri *et al.*, 2021).

Más de 1 500 millones de hectáreas de ecosistemas naturales se han convertido en tierras de

cultivos, con solo 25 % de la superficie terrestre en su estado natural, que contiene más de la mitad de las reservas mundiales de carbono y se estima una reducción por debajo de 10 % para el 2050 (Chang *et al.*, 2012; Lorenz y Lal, 2018; FAO, 2022).

Recibido: 08 de noviembre de 2023

Aceptado: 01 de marzo de 2024

Como citar este artículo: Martín-Gutiérrez, George; Pablos-Reyes, Pablo; Cobo-Vidal, Yakelín & Villazón-Gómez Juan Alejandro. Reservas de carbono orgánico bajo diferentes tipos de utilización de la tierra. *Pastos y Forrajes*. 47:e04, 2024.

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.

Los suelos en estado natural mantienen vegetación autóctona y características físicas adecuadas para el desarrollo normal de las plantas que conforman su ecosistema. Cuando el tipo de uso cambia hacia la explotación agrícola, ocurre la ruptura del equilibrio, la drástica modificación de sus propiedades y la alteración desfavorable del crecimiento vegetal (Ovalle-Molina, 2020).

El carbono orgánico se acumula en la biomasa viva (tallos, hojas, raíces) y en la muerta (restos de vegetales, hojarasca, materia orgánica del suelo). Cualquier actividad que afecte al volumen de la biomasa en la vegetación y el suelo tiene capacidad para retener o liberar carbono de la atmósfera o hacia la atmósfera (Velásquez-Escobedo, 2019; Jiménez-Torres, 2021).

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

El carbono que permanece en el suelo se incorpora y se estabiliza en los diferentes reservorios de carbono orgánico del suelo (COS), como el carbono orgánico particulado o lábil, que se puede acumular infinitamente en el suelo; pero se mineraliza con más rapidez (corto tiempo de residencia en el suelo), por lo que contribuye al ciclo de nutrientes y al sostenimiento de la actividad biológica, pero se modifica por el manejo agrícola. En contraste, la fracción de carbono orgánico asociada con los minerales está sujeta a saturación, aunque tiene mayor estabilidad y persistencia en el suelo y, por ende, es clave para la estructura del suelo y para secuestrar el carbono durante más tiempo. A fin de sustentar suelos saludables, ambas fracciones son importantes, pues cada una de ellas lleva a cabo funciones específicas (Hoffland *et al.*, 2020; Lavalée *et al.*, 2020).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes tipos de utilización de la tierra (TUT) en las reservas de carbono orgánico de un suelo Ferrítico Rojo oscuro típico.

Materiales y Métodos

Localización. El trabajo se realizó en el punto de observación permanente (POP), durante el año 2010 en la localidad de Pinares de Mayarí, municipio Mayarí, provincia Holguín, ubicado en los 20°48'33" de latitud Norte y 75°73'33" de longitud Oeste.

Características del suelo. El suelo se clasificó como Ferrítico Rojo oscuro típico, según Hernández-Jiménez *et al.* (2015) y se enmarcó en tres tipos de utilización de la tierra: bosque de pinos (*Pinus cubensis* Griseb.), pasto natural (*Paspalum notatum* Alain ex Flügge) y caña de azúcar (*Saccharum* spp.).

Procedimiento experimental. Desde el 2010, se realizó todos los años, en junio, un muestreo de suelo aleatorio estratificado con tres repeticiones en cada uno de los TUT, a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. A las muestras del 2015, se le determinó el carbono orgánico total (COT) por el método de Walkley-Black (ININ y ONN, 1999). Además, se tomaron muestras sin disturbar con cilindros de 105,35 cm³ de volumen, y se colocaron en pesafiltros para determinar la densidad aparente (DA), por el método del anillo (ININ y ONN, 2003).

Para el cálculo de la reserva de carbono orgánico del suelo (RCOS) en los suelos sin disturbar, se utilizó la ecuación (FAO, 2020):

$$RCOS = COS \times DA \times p \times 10^4 \text{ mg ha}^{-1},$$

RCOS - Reserva de carbono, mg ha⁻¹

COS - Carbono orgánico del suelo según datos determinados, %

DA - Densidad aparente, mg m⁻³

p - Espesor considerado, m

En suelos disturbados, se calculó según la metodología de Solomon *et al.* (2002) para comparaciones entre masas equivalentes de suelo. Las correcciones se efectuaron por profundidad equivalente.

$$RCOS = COS \times DA \times Z_c \times 10$$

El espesor de los suelos cultivados (Z) se corrigió (Z_c) al asumir que la densidad aparente y la profundidad de los suelos cultivados fueron originalmente iguales a los que correspondieron a los suelos naturales:

$$Z_c = (DA \text{ del suelo del bosque} / DA \text{ del suelo cultivado}) \times Z$$

El cálculo de la tasa de acumulación de carbono edáfico (TACOS) se determinó según Amado *et al.* (2006). Se obtuvo mediante las diferencias de RCOS entre la situación original, la actual y los años de los TUT.

$$TACOS (\text{mg C ha}^{-1}\text{año}^{-1}) = (RCOS \text{ actual} - RCOS \text{ original}) / \text{años}$$

Análisis estadístico. La normalidad se comprobó con la prueba W de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de la varianza, según Bartlett. Se utilizó la

prueba de comparación de medias de rango múltiple de Duncan para analizar las diferencias significativas registradas durante el análisis de varianza. El procesamiento estadístico de la información se realizó con el programa Statistica v.8 y Microsoft Excel 2019.

Resultados y Discusión

En la figura 1 se muestran las RCOS. En las diferentes profundidades en cada tipo de utilización de la tierra se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la profundidad de 0-20 cm. En el resto de las profundidades, no hubo diferencias estadísticas entre los TUT. Los contenidos de RCOS fueron mayores en la profundidad de 0-20 cm y los valores disminuyeron con la profundidad. Estos altos contenidos se deben a que en esta profundidad se depositan los restos orgánicos de los cultivos, existe mayor concentración de raíces de las plantas y es donde ocurren todos los procesos de transformación y descomposición por parte de los microorganismos (Allauca Ortega y Ayala Sánchez, 2021; Georgiou *et al.*, 2022).

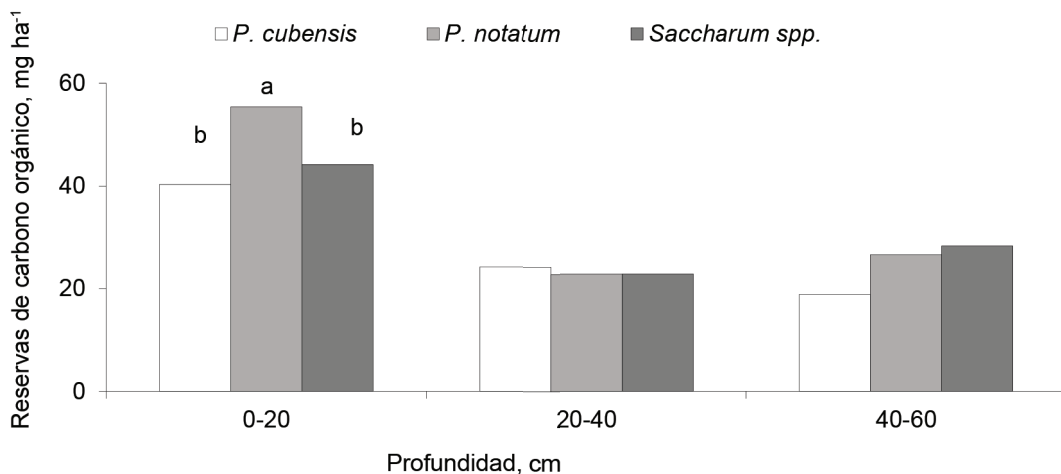
La máxima capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo requiere de mayor incorporación de biomasa vegetal. En términos dinámicos, al menos 13 % del carbono orgánico total es lábil y se perderá cuando el suelo reduzca la cobertura vegetal y se produzcan cambios de otros factores (ambientales, labores agrícolas, periodicidad de los aportes, propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo), que determinan los márgenes a almacenar por el suelo (Bell *et al.*, 2021).

Las mayores reservas de carbono orgánico del suelo, en la profundidad de 0-20 cm, se registraron en el TUT *P. notatum*, donde se encontraron diferencias significativas con incrementos de 15,09 y 11,21 mg ha⁻¹ con respecto a los TUT *P. cubensis* y *Saccharum spp.*, aunque no hubo diferencias estadísticas entre estos dos últimos. Los contenidos de COS en el TUT *Saccharum spp.* fueron mayores (3,88 mg ha⁻¹) que en *P. cubensis*. Este comportamiento se atribuye a la cantidad y calidad de la biomasa vegetal acumulada en la superficie del suelo, en dependencia del cultivo y por el manejo agrícola de los TUT.

La distribución de la acumulación de las reservas de carbono en profundidad a través del perfil disminuyó hasta los 60 cm y llegó a ser de 52 % en los TUT *P. cubensis* y *P. notatum*. En tanto, en el TUT *Saccharum spp.* fue de 36 %. Esta distribución vertical del carbono tiene fuerte asociación con la vegetación por la cantidad de residuos en la superficie que puede generar cada planta y por el tamaño de su sistema radical, principalmente raíces finas (< 2 mm). La presencia de raíces vivas y muertas a través del perfil del suelo indican un constante ciclaje y transformación de la materia orgánica.

Landriscini *et al.* (2020) demostraron el efecto significativo de los cultivos de cobertura sobre el COS. Su fracción lábil estuvo fuertemente relacionada con la mayor producción de residuos y su calidad en la capa superficial del suelo.

Lopresti *et al.* (2020) añaden que el sistema radical de los pastos es muy agresivo y está en



Letras diferentes en cada profundidad indica diferencias significativas ($p < 0,05$).

Figura 1. Reservas de carbono orgánico (mg ha⁻¹) en los diferentes tipos de utilización de la tierra en las diferentes profundidades.

constante renovación de las raíces, lo que produce rizodeposición. Los rizodepositos representan 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. Una gran parte del carbono orgánico de los pastos se secuestra, principalmente, a través de las raíces que gradualmente van pasando a formar parte de la biomasa del suelo (Rivera *et al.*, 2021; Rojas-Solano *et al.*, 2022).

La biomasa aportada por *P. cubensis*, formada por las acículas, es bastante resistente a la descomposición. Están conformadas por 7 % de compuestos hidrosolubles de fácil descomposición (azúcares solubles y compuestos nitrogenados) más lignina, lo que conjuga bajas y lentas tasas de descomposición y se liberan ácidos orgánicos que disminuyen la actividad biológica, como la colonización de hongos y bacterias (Cano-Flores *et al.*, 2020).

Saccharum spp. es un cultivo que aporta gran cantidad de biomasa de acuerdo al rendimiento que se logra. Rubio-González *et al.* (2019) informan un aporte de 10-14 t ha⁻¹ de biomasa. A pesar de ello, los valores descienden, debido a la actividad agrícola que se desarrolla en el TUT. Ello demuestra que los suelos cultivados de forma continua dismi-

nuyen el RCOS en pocos años, con respecto a aquellos donde la actividad agrícola es menor o nula.

Transcurrido cinco años de estudio, el aporte de los residuos vegetales favoreció las reservas de carbono orgánico del suelo en los TUT (figura 2). Hubo incremento en el TACOS en todos los TUT con la profundidad. Se encontraron los mayores valores en la profundidad de 0-20 cm, que disminuyeron con el perfil. Solo hubo valores negativos en *P. cubensis*, a la profundidad de 40-60 cm, a causa de que la mayor cantidad de raíces son gruesas a esa profundidad (> 2 mm).

Las raíces finas desempeñan una función determinante en el COS, al transferir anualmente grandes cantidades de carbono al suelo mediante la liberación de exudados y la necromasa de las raíces. Dada su alta tasa de recambio (Chang *et al.*, 2012), estimulan la actividad biológica del suelo y la construcción de biomasa microbiana de carbono (de-Oliveira-Pessoa-Paes *et al.*, 2018), mientras que el aporte al COS de las raíces gruesas, por su lenta tasa de descomposición, ocurre a largo plazo (Robinson, 2007).

En *P. notatum* y *P. cubensis* se registraron las mayores tasas de acumulación, en la profundidad de 0-20 cm, con 4,94 y 4,19 mg ha⁻¹ año⁻¹, lo que

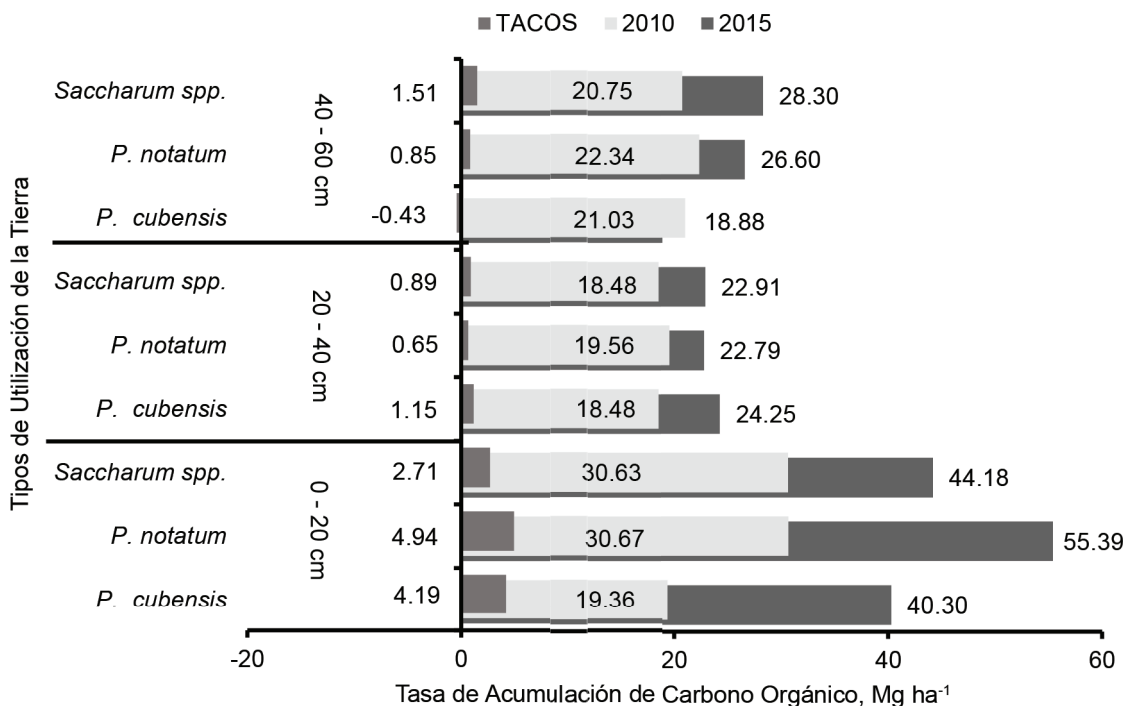


Figura 2. Tasa de acumulación de carbono edáfico (TACOS) en los diferentes tipos de utilización de la tierra por profundidad.

incrementó las reservas de carbono en el suelo en 51,96 y 44,63 %, respectivamente, mientras que *Saccharum* spp. las aumentó en 30,67 %, por tener menor tasa de acumulación. Desde el punto de vista del secuestro de carbono, los TUT con menos actividad antrópica fueron los más favorecidos, lo que mejora la calidad de los suelos.

Cuando las reservas de COS aumentan, significa que mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y, paralelamente, disminuyen las emisiones de CO₂ hacia la atmósfera (Barrezueta-Unda, 2021). Esta característica es particularmente de los suelos con TUT de poca acción antrópica (bosques y pastos naturales).

En Brasil, Cerri *et al.* (1996) informaron que dos años después de convertir superficies de selva en la Amazonía a pastizales, se encontraron pérdidas en las reservas de carbono orgánico de 23,30 % a la profundidad de 20 cm, el cual fue recuperado al cabo de ocho años por las entradas de biomasa (96 t de C ha⁻¹). Cuando el cambio de la selva fue al uso de *Saccharum* spp. el CO se redujo 47,2 % en un período de 50 años.

Conclusiones

Se hallaron las mayores reservas de carbono en terrenos utilizados con *P. notatum*. Le siguió *Saccharum* spp. y *P. cubensis*. Los tipos de uso de la tierra con menor actividad humana mostraron las tasas más altas de acumulación de carbono y mejor calidad del suelo.

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, y al laboratorio de suelos del INICA de Santiago de Cuba, por su valiosa contribución. Se expresa gratitud a todo el personal de la subdirección de Investigación + Desarrollo del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín, que ha participado en el proyecto para garantizar el desarrollo de esta investigación.

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, participó 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 manuscrito.
- 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.

Referencias bibliográficas

- Allauca Ortega, Lizbeth A. & Ayala Sánchez, Jennifer B. *Evaluación de carbono orgánico en diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo, Chambo y Pungalá*. Trabajo de Integración Curricular. Proyecto de investigación presentado para optar al grado académico de Química. Riobamba, Ecuador: Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.espoeh.edu.ec/handle/123456789/14802>, 2021.
- Amado, T. J. C.; Bayer, C.; Conceição, P. C.; Spagnollo, E.; Campos, B.-H. C. de & Veiga, M. da. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern. *Brazil J. Environ. Qual.* 35 (4):1599-1607, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0233>.
- Barrezueta-Unda, S. Efecto de diversos atributos topográficos sobre el carbono orgánico en varios usos del suelo. *Ciencia UNEMI.* 14 (35):43-53. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1214>, 2021.
- Bell, S. M.; Terrer, C.; Barriocanal, C.; Jackson, R. B. & Rosell-Melé, A. Soil organic carbon accumulation rates on Mediterranean abandoned agricultural lands. *Sci. Total Environ.* 759:143535, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143535>.
- Cano-Flores, O.; Vela-Correa, G.; Acevedo-Sandoval, O. A. & Valera-Pérez, M. Á. Organic carbon concentrations in the woodland and soils of the protected natural area “El Faro” in Tlalmanalco, Estado de Mexico. *Terra Latinoam.* 38 (4):895-905, 2020. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.757>.
- Cerri, C. C.; Bernoux, M. & Blair, G. J. Reservas y flujo de carbono en sistemas naturales y agrícolas del Brasil y las implicaciones para el balance global de CO₂. *Terra Latinoam.* 14 (1):1-12. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/issue/view/103/48>, 1996.
- Cerri, C. E. P.; Cherubin, M. R.; Damian, J. M.; Mello, F. F. C. & Lal, R. *Secuestro de carbono en el suelo mediante la adopción de prácticas de manejo sostenible: potencial y oportunidad para los países de las América*. (F. Villarreal, coord). San José, Costa Rica: IICA. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19315/BVE21128138e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 2021.
- Chang, R.; Fu, B.; Liu, Guohua; Yao, X. & Wang, S. Effects of soil physicochemical properties and

- stand age on fine root biomass and vertical distribution of plantation forests in the Loess Plateau of China. *Ecol. Res.* 27 (4):827-836, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-012-0958-0>.
- de-Oliveira-Pessoa-Paes, Leocimara S.; Lima, M. R. de; Kaschuk, Glaciela & Machado-Veziani, Fabiane. Desarrollo de las raíces como indicador de la sustentabilidad del suelo de los sistemas de cultivo en el Bioma de la Mata Atlántica. *Cultivos Tropicales.* 39 (2):7-14. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000200001&lng=es&tlng=es, 2018.
- FAO. *Día mundial del suelo 2022: la FAO publica el primer informe mundial sobre suelos negros.* Roma: FAO. <https://www.fao.org/newsroom/detail/world-soil-day-2022-fao-global-report-black-soils/es>, 2022.
- FAO. *A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes.* Rome: FAO. <https://www.fao.org/3/cb0509en/CB0509EN.pdf>, 2020.
- Georgiou, Katerina; Jackson, R. B.; Vindušková, Olga; Abramoff, Rose Z.; Ahlström, A.; Feng, Wenting *et al.* Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon. *Nat. Commun.* 13:3797, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31540-9>.
- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba.* Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Ediciones INCA, 2015.
- Hoffland, Ellis; Kuyper, T. W.; Comans, R. N. J. & Creamer, Rachel E. Eco-functionality of organic matter in soils. *Plant Soil.* 455:1-22, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04651-9>.
- ININ & ONN. *Calidad del suelo. Análisis físico. Determinación de la densidad aparente o peso volumétrico base suelo seco. NC 11272.* La Habana: Oficina Nacional de Normalización, Instituto de Investigaciones en Normalización, 2003.
- 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. <https://ftp.isdi.co.cu/biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/1999/NC%2051.PDF>, 1999.
- Jiménez-Torres, Alexandra del C. La diversidad mejora el almacenamiento de carbono en los bosques tropicales. *RECIMUNDO.* 5 (3):316-323, 2021. DOI: [https://doi.org/10.26820/recimundo/5.\(3\).sep.2021.316-323](https://doi.org/10.26820/recimundo/5.(3).sep.2021.316-323).
- Lal, R.; Follett, R. F.; Stewart, B. A. & Kimble, J. M. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Sci.* 172 (12):943-956, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1097/ss.0b013e31815cc498>.
- 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. <https://pdfs.semanticscholar.org/2cdc/88c7174f4b7eae4e9b3f997790431a139eb0.pdf>, 2020.
- Lavallee, Jocelyn M.; Soong, Jennifer L. & Cotrufo, M. Francesca. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Glob. Chang. Biol.* 26 (1):261-273, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14859>.
- Lopresti, M. F.; Milesi-Delate, L. A. & Andriulo, A. E. *Partido de Pergamino: aumentó la superficie de maíz y trigo. ¿Aumentó el aporte de carbono al suelo? Informe técnico.* Pergamino, Argentina: EEA Pergamino, INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/7047>, 2020.
- Lorenz, K. & Lal, R. Carbon sequestration in cropland soils. In: *Carbon sequestration in agricultural ecosystems.* Cham, Switzerland: Springer. p. 137-173, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-92318-5_3.
- Ovalle-Molina, C., Ed. *Una Nama Agrícola para Chile mediante el secuestro de carbono orgánico en el suelo.* Serie Actas INIA No. 59. La Cruz, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8703/Serie%20Acta%20INIA%20N%C2%B0%2059?sequence=1&isAllowed=y>, 2020.
- Rivera, J. E.; Colcombet, L.; Santos-Gally, Rocío; Murgueitio, E.; Díaz, Maura; Mauricio, R. M. *et al.*, Eds. *Sistemas silvopastoriles: Ganadería sostenible con arraigo e innovación.* Cali, Colombia: CIPAV. <https://www.afoa.org.ar/silvopastoril.pdf>, 2021.
- Robinson, D. Implications of a large global root biomass for carbon sink estimates and for soil carbon dynamics. *Proc. R. Soc. B.* 274 (1626):2753-2759, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.1012>.
- Rojas-Solano, Jennifer; Brenes-Gamboa, S. & Abarca-Monge, S. Carbono en el suelo: comparación entre un área de pastos y un bosque. *InterSedes.* XXIII (47):184-205, 2022. DOI: <https://doi.org/10.7440/res64.2018.03>.
- Rubio-González, A. M.; Galindo-Galindo, P.; Pérez-Egusquiza, F. J.; Ríos-Billini, P.; Perdomo-González, L.; Pérez-Castellanos, E. & Rubio-Rodríguez, M. A. *Estudio sobre el empleo de los residuos agrícolas cañeros como combus-*

tibles para la generación de electricidad en la industria azucarera cubana. Santa Clara, Cuba: Editorial Feijóo, 2019.

Solomon, D.; Fritzsche, F.; Lehmann, J.; Tekalign, M. & Zech, W. Soil organic matter dynamics in the subhumid agroecosystems of the Ethiopian highlands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66 (3):969-978, 2002. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.9690>.

Velásquez-Escobedo, J. V. *Captura y almacenamiento de carbono relacionado con la totora (Schoenoplectus californicus) del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo-Végueta 2017*. Tesis en opción al grado de Master en Ecología y Gestión Ambiental. Huacho, Perú: Escuela de Posgrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/3622>, 2019.