

Cambios en las reservas de carbono orgánico en Vertisoles pélicos, según su manejo**Changes in organic carbon stocks in pellic Vertisols, according to their management**

Dagoberto López-Pérez¹ <https://orcid.org/0000-0003-4953-193X>, Alberto Hernández-Jiménez^{2*} <https://orcid.org/0000-0002-6138-0620>, Greter Carnero-Lazo² <https://orcid.org/0000-0003-0830-9785> y Marisol Morales-Díaz³ <https://orcid.org/0000-0003-2698-5285>

¹Granja La Rosita, Comité Nacional de la Unión de Jóvenes Comunistas (UJC). ²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Ministerio de Educación Superior, Cuba. ³Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical (INIFAT), Ministerio de la Agricultura, Cuba. *Correo electrónico: ahj@inca.edu.cu, greter@inca.edu.cu

Resumen

Objetivos: Evaluar los cambios en las reservas de carbono orgánico en un suelo Vertisol pélico mullido bajo arboleda de *Mangifera indica* L. con pastizales de *Paspalum notatum* Flügge en el pediplano Campo Florido a Jaruco, en la provincia Mayabeque, Cuba.

Materiales y Métodos: Se parte de investigaciones sobre la caracterización y diagnóstico de un perfil de suelo en el año 2006. Se seleccionaron dos perfiles de suelo con diferentes condiciones de manejo y se realizó el muestreo duplicado para determinar los contenidos de carbono orgánico por el método de cilindros cortantes de 100 cm³, en el 2020. La materia orgánica se cuantificó mediante el método de combustión húmeda de Walkley y Black. La comparación entre ambos muestreos permitió obtener ganancias o pérdidas de carbono orgánico en el suelo.

Resultados: Las ganancias en carbono orgánico en el suelo, después de catorce años en condiciones conservadas, fueron de +0,43; +0,21; +0,14 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Las pérdidas bajo cultivo continuado durante diez años mostraron valores de -0,64; -1,40; -1,92 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para las capas de 0-10, 0-20 y 0-30 cm del espesor superior del suelo, respectivamente. Según el manejo, en condiciones conservadas, la acumulación de materia orgánica y carbono orgánico en los bloques prismáticos fue mayor en la superficie con respecto al interior. No obstante, en condiciones agrícolas, las concentraciones resultaron menores y alcanzaron el mismo valor en la superficie como en la parte interna.

Conclusiones: Al igual que lo que sucede con los suelos Ferralíticos y Pardos, en los Vertisoles disminuyen las reservas de carbono orgánico por el cultivo continuado, lo que conlleva, a su vez, al deterioro de sus propiedades.

Palabras clave: cambio climático, captación y almacenamiento de dióxido de carbono, cobertura de suelos

Abstract

Objectives: To evaluate the changes in the organic carbon stocks in a Vertisol pellic mulched soil under *Mangifera indica* L. grove with *Paspalum notatum* Flügge grassland in the Campo Florido to Jaruco pediplain, Mayabeque province, Cuba.

Materials and Methods: The research was based on the characterization and diagnosis of a soil profile in 2006. Two soil profiles with different management conditions were selected and duplicate sampling was carried out to determine the organic carbon contents by the method of cutting cylinders of 100 cm³, in 2020. Organic matter was quantified by the Walkley and Black wet combustion method. The comparison between both samplings allowed obtaining organic carbon gains or losses in the soil.

Results: Soil organic carbon gains after fourteen years under conserved conditions were +0,43; +0,21; +0,14 Mg ha⁻¹ yr⁻¹. Losses under continued cultivation for ten years showed values of -0,64; -1,40; -1,92 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ for the 0-10, 0-20 and 0-30 cm layers of the top soil thickness, respectively. According to management, under conserved conditions, the accumulation of organic matter and organic carbon in the prismatic blocks was higher on the surface with regards to the inner part. However, under agricultural conditions, the concentrations resulted lower and reached the same value on the surface as in the inner part.

Conclusions: As in the case of Ferralitic and Brown soils, organic carbon stocks in Vertisols decrease due to continued cultivation, which in turn leads to deterioration of their properties.

Keywords: climate change, carbon dioxide sequestration and storage, soil cover

Introducción

En la actualidad, el problema del carbono orgánico en los suelos (COS) resulta de gran interés, ya que en los ecosistemas los suelos constituyen el componente más importante para la captura y se-

questración del carbono (C), más si se considera que con la implementación de buenas prácticas de manejo se puede disminuir la emisión de CO₂ a la atmósfera, lo que contribuye a la mitigación del cambio

Recibido: 28 de marzo de 2024

Aceptado: 03 de julio de 2024

Como citar este artículo: López-Pérez, Dagoberto; Hernández-Jiménez, Alberto; Carnero-Lazo, Greter & Morales-Díaz, Marisol. Cambios en las reservas de carbono orgánico en Vertisoles pélicos, según su manejo. *Pastos y Forrajes*. 47:e11, 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.

climático (Guerra, 2021). Se conoce que con el cultivo continuado tienen lugar pérdidas del CO en los suelos, mientras que cuando se conservan bajo bosques, pastizales y frutales con pastizales, el CO aumenta (Carnero-Lazo *et al.*, 2019; Shakoor *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2020).

Hay que considerar también la acción conjunta que pueden ocasionar las pérdidas de C en los suelos de los ecosistemas y el cambio climático, que influyen de forma sinérgica en la producción agrícola. En el mundo, los suelos agrícolas han perdido entre 30 y 75 % (30 a 40 Mg C ha⁻¹) de las reservas de COS (Lal *et al.*, 2007), lo que contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) y al calentamiento de la atmósfera, ocasionando además, no solo desastres naturales como sequías extremas e inundaciones, sino grandes pérdidas en la producción agrícola (Amores-Mena, 2020).

En Cuba, las pérdidas de CO por el cambio de uso de la tierra se informan en suelos Ferralíticos rojos lixiviados cultivados de forma continuada, con valores entre 50 y 55 % del COS para la capa de 0-20 cm del espesor superior del suelo (Hernández-Jiménez *et al.*, 2017). Además, según el manejo, se estiman pérdidas de CO por año (Carnero-Lazo *et al.*, 2019). Asimismo, se ha estudiado también el impacto negativo que tienen las pérdidas de CO en la mesofauna y macrofauna del suelo (Hernández-Fundora *et al.*, 2020).

También se dispone de informes sobre las pérdidas de CO por el cultivo en suelos Pardos vérticos, que pueden llegar a -0,60 t ha⁻¹año⁻¹ en los primeros 20 cm del espesor superior del suelo (Vargas-Blandino *et al.*, 2022).

Con respecto al cambio climático, se conoce que en Cuba el aumento de la temperatura media de las llanuras en 0,9 °C (Paz-Castro, 2019) tiene su causa, en parte, en el aumento del pH en suelos Ferralíticos rojos y Ferralíticos rojos lixiviados de la Llanura Roja de La Habana, que comprende las provincias de Mayabeque y Artemisa (Hernández-Jiménez *et al.*, 2020a). Además, se ha elaborado una hipótesis que plantea que en Cuba el cambio climático y el cultivo continuado en suelos Ferralíticos rojos lixiviados tiene impacto negativo en otras propiedades del suelo, como es el caso de la formación de una capa compacta en el horizonte Bt que, según la caracterización que se ha hecho de ella, tiende a aumentar su espesor con el tiempo (Grandio-de-Armas *et al.*, 2020; Hernández-Jiménez *et al.*, 2020b).

No obstante, a lo anterior, la problemática del CO y sus reservas en los suelos Vertisoles ha sido poco abordada en Cuba. Este tipo de suelo constituye parte del fondo agrícola del país, con extensión de 9 060 ha, y entre ellos los Vertisoles pélicos ocupan un área de 8 200 ha (Hernández-Jiménez, 2021). Los Vertisoles, conjuntamente con los Pardos, húmicos, calcimórficos y Ferralíticos rojos, son los principales suelos agrícolas del país. Además, son relativamente extensivos en el ecosistema del pediplano de Campo Florido a Jaruco en la provincia Mayabeque (Reyes-Pérez *et al.*, 2024).

En Cuba, los Vertisoles se consideran como suelos poco productivos relativamente, por lo que se utilizan principalmente en los cultivos de *Oryza sativa* L., *Saccharum officinarum* L. y pastos. Sin embargo, en México, se valoran como suelos de gran importancia para la agricultura y la producción de alimentos por sus propiedades físicas y químicas, en particular en los municipios Almoloya de Juárez, Ixtlahuaca, Aculco y Acambay, ya que ocupan gran parte de la superficie (10,4 %, 241 485 ha) sujeta a actividades productivas agropecuarias (Sotelo-Ruiz *et al.*, 2020).

El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios en las reservas de carbono orgánico en un suelo Vertisol pélico mullido bajo arboleda de *Mangifera indica* L. con pastizales de *Paspalum notatum* Flügge en el pediplano Campo Florido a Jaruco, en la provincia Mayabeque, Cuba.

Materiales y Métodos

Localización. El estudio se llevó a cabo en la granja La Rosita, con coordenadas geográficas N 365 500 E 383 700, ubicada en el municipio Habana del Este, en el consejo popular de Campo Florido. Posee una superficie total de 45,7 ha. El área de estudio presenta un clima tropical subhúmedo, relativamente seco, con precipitación anual de 1 200 mm, temperatura media de 24,5 °C y relieve ondulado. El material de origen es roca caliza dura de edad Oligocena.

Trabajo en gabinete, campo y laboratorio. Se partió de investigaciones del año 2006 (López-Pérez, 2006) y se seleccionaron dos perfiles de suelo con diferentes condiciones de manejo. En el 2020 se realizó un muestreo aleatorio estratificado por duplicado para las profundidades 0-10, 0-20 y 0-30 cm. La clasificación de suelos que se utiliza es la última versión de la Clasificación de suelos de Cuba (Hernández-Jiménez *et al.*, 2015).

El muestreo se realizó en las siguientes condiciones de manejo:

- *Condiciones naturales o conservadas (arboleda)*: perfil de suelo Vertisol pélico (Perfil D-2), ubicado en la parte baja del relieve bajo una arboleda de *M. indica* sembrada hace más de veinticinco años, con *P. notatum* (pasto natural), sin intervención del hombre en la cosecha y mantenimiento y sin poda. Los animales no entran en esta arboleda.
- *Condiciones agrícolas (cultivo intensivo)*: perfil de suelo Vertisol pélico (Perfil D-12), ubicado en la parte baja del relieve en preparación para la siembra, cultivado por diez años durante los cuales se establecieron cultivos varios.

Las ganancias o pérdidas de COS se calcularon al comparar los resultados obtenidos en perfiles estudiados previamente (catorce años) por López-Pérez (2006) y las evaluaciones realizadas en el 2020. Al dividir las ganancias o pérdidas informadas entre el número de años que han transcurrido, se obtuvo la tasa anual de incremento o pérdida en COS. Al mismo tiempo, en las dos condiciones de manejo, se tomaron bloques prismáticos por duplicado y se determinó el contenido de COS en la parte interior y exterior de cada bloque. En ambos casos, se compararon las diferencias.

La materia orgánica (MO) se determinó mediante el procedimiento de combustión húmeda (Walkley y Black). Luego, a partir del porcentaje de MO, aplicando el factor empírico equivalente a 1,724, se determinó el porcentaje de CO.

El cálculo del contenido de COS se realizó por la determinación de las reservas de COS mediante la ecuación siguiente:

$$\text{COS} = Dv (\text{Mg m}^{-3}) \times \text{CO} (\%) \times \text{espesor (en cm)} \times (1-I)$$

donde:

Dv: es la densidad de volumen

I: es el porcentaje de inclusiones (nódulos ferruginosos, gravas o piedras).

La densidad de volumen del suelo se calculó en campo por el método del cilindro de 100 cc de volu-

men y con la determinación de la humedad en estufa a 105° C por 24 h hasta alcanzar peso constante.

En los suelos que se estudiaron no hubo inclusiones para las capas superiores del perfil, por lo que no se aplicó esta parte de la fórmula.

Resultados y Discusión

Los Vertisoles son suelos muy arcillosos, con predominio de esmectitas entre los minerales arcillosos, generalmente en relieve llano, que se dilatan en época de lluvia y se compactan en época seca. Durante su formación, presentan un horizonte variable en profundidad, pero con una estructura prismática grande con caras de deslizamiento (IUSS Working Group WRB, 2022; Soil Survey Staff, 2022).

En Cuba, los Vertisoles se presentan en relieve llano, caracterizados por un horizonte vértico, según la última versión de clasificación de suelos (Hernández-Jiménez *et al.*, 2015). Hasta el momento no se informan resultados sobre la ganancia o pérdida de CO en estos suelos, según su manejo.

En el presente estudio se compararon las reservas de carbono orgánico (RCO) por duplicado, obtenidas en el 2020 en un perfil de suelo Vertisol pélico mullido, bajo arboleda de *M. indica* con pastizales en relieve bajo, con pendiente menor de 2 % (tabla 1). Se obtuvo un promedio de 25, 40 y 56 Mg ha⁻¹

En la tabla 2 se muestran los resultados de la determinación de RCO en ese perfil en el año 2006.

Al analizar comparativamente los resultados de los dos muestreos (tablas 1 y 2), hubo ganancia de 6, 3 y 2 Mg ha⁻¹ de CO para las profundidades de 0 a 10, 20 y 30 cm del espesor superior del suelo en catorce años en el Vertisol pélico mullido, conservado bajo arboleda de *M. indica* s con pastizales. Estos resultados demostraron que en estos suelos la ganancia en CO en condiciones conservadas se acumula en los primeros 10 cm del perfil, lo que concuerda con lo informado por Álvarez-Arteaga

Tabla 1. Valores de la reserva de carbono orgánico en Vertisoles en el año 2020 (Mg ha⁻¹).

Perfil	Año de estudio	Profundidad, cm	MO, %	C, %	W, %	Dv, Mg m ⁻³	RCO, Mg ha ⁻¹	RCO, Mg ha ⁻¹		
								0-10 cm	0-20 cm	0-30 cm
D-2	2020	0 - 10	3,7	2,2	38,3	1,3	28,9	29	46	63
		10 - 30	2,1	1,2	41,7	1,4	33,8			
		0 - 10	3,2	1,9	40,8	1,1	19,6	20	34	48
		10 - 30	2,0	1,1	38,4	1,2	28,7			

MO: materia orgánica, C: carbono; W: Humedad; Dv: densidad de volumen; RCO: reserva de carbono orgánico

Tabla 2. Valores de reserva de carbono orgánico en Vertisoles en el 2006 (mg ha⁻¹).

Perfil	Año de estudio	Profundidad, cm	MO, %	C, %	W, %	Dv, Mg m ⁻³	RCO, Mg ha ⁻¹	RCO, Mg ha ⁻¹		
								0-10 cm	0-20 cm	0-30 cm
D-2	2006	0 - 17	3,02	1,75	41,0	1,10	32			
		17 - 29	2,41	1,40	39,0	1,18	20	19	37	54
		29 - 78	2,07	1,20	37,0	1,34	79			

MO: materia orgánica, C: carbono; W: Humedad; Dv: densidad de volumen; RCO: reserva de carbono orgánico.

et al. (2020), quienes señalaron que una misma unidad de suelo responde de manera diferencial a su manejo.

Los resultados para el suelo Vertisol pélico mullido (Perfil D-12), cultivado hace diez años se presentan en la tabla 3. Se obtuvieron, como promedio, 10, 18 y 27 Mg ha⁻¹ de RCO, valores que al compararlos con los del 2006 mostraron pérdidas netas de 9, 19 y 27 Mg ha⁻¹ para las capas de 10, 20 y 30 cm del espesor superior del suelo, respectivamente.

Se demostró que ese agroecosistema del suelo Vertisol pélico mullido en la llanura, bajo arboleda de *M. indica* con pastizales, gana en RCO cuando se conserva durante varios años. Por el contrario, cuando se pone bajo cultivo pierde en sus RCO (tabla 4).

Los resultados de la pérdida o ganancia para ambos perfiles se muestran en la tabla 5.

Estos resultados evidenciaron que cuando este tipo de suelo se pone bajo cultivo pierde mucho más RCO en comparación con lo que gana cuando está conservado. Esto se debe a que el Vertisol es un suelo muy arcilloso, pero con arcilla del grupo de las esmectitas, que son de alta dispersión y, por tanto, en la época de lluvia se rompen los agregados estructurales y no hay una retención fuerte de las sustancias húmicas en el suelo (Khan, 1969). Por esto, se puede asumir que cuando se pone bajo cultivo, con las araduras se invierte el prisma y los bloques prismáticos subyacentes salen a la superficie del terreno. Además, el CO se oxida rápidamente y se emite en forma de CO₂ a la atmósfera. Resultados similares se han informado en un Vertisol crómico en el municipio Mayarí, en la provincia Holguín, Cuba (Martín-Gutiérrez *et al.*, 2023a; 2023b).

Tabla 3. Reserva de carbono orgánico en el suelo Vertisol pélico mullido cultivado hace diez años (suelo estaba en preparación para la siembra).

Perfil	Año de estudio	Profundidad, cm	MO, %	C, %	W, %	Dv, Mg m ⁻³	RCO, Mg ha ⁻¹	RCO, Mg ha ⁻¹		
								0-10 cm	0-20 cm	0-30 cm
D-12	2020	0 - 10	1,67	0,97	38,5	1,10	10,67			
		10 - 30	1,05	0,61	41,6	1,47	17,93	11	20	29
		0 - 10	1,31	0,76	32,6	1,05	7,98			
		10 - 30	1,05	0,61	42,2	1,34	16,35	8	16	24

MO: materia orgánica, C: carbono; W: Humedad; Dv: densidad de volumen; RCO: reserva de carbono orgánico

Tabla 4. Promedio de las reservas de carbono orgánico (RCO) en perfiles del suelo Vertisol pélico de la granja La Rosita (Mg ha⁻¹).

Perfil	Año de estudio	RCO, Mg ha ⁻¹			Uso del suelo
		0-10 cm	0-20 cm	0-30 cm	
D-2	(0) 2006	19	37	54	Arboleda de <i>M. indica</i> con pastizales
	14 (Conservado hasta el 2020)	25	40	56	Arboleda de <i>M. indica</i> con pastizales de muchos años
D-12	10 Cultivado desde el 2010	10	18	27	Cultivado desde hace diez años

Tabla 5. Ganancia o pérdida de RCO por año en Vertisoles pélicos, Mg ha⁻¹.

Perfil	Año de estudio	Diferencia de años	Ganancia o pérdida neta			Ganancia o pérdida, t ha ⁻¹ año ⁻¹			Uso del suelo
			0-10	0-20	0-30	0-10	0-20	0-30	
D-2	2006 Perfil de referencia	0	0	0	0	No	No	No	Arboleda de <i>M. indica</i> con pastos
	2020 Conservado	14	+6	+3	+2	+0,43	+0,21	+0,14	Arboleda de <i>M. indica</i> con pastos
D-12	2020 Cultivado desde 2010	10	-9	-19	-27	-0,64	-1,40	-1,92	Cultivo desde hace diez años

El contenido de MO en los bloques prismáticos del suelo se muestra en la tabla 6. El muestreo se realizó en el perfil D-2, conservado bajo arboleda de *M. indica* s con pastos. Se tomaron tres bloques prismáticos. De cada uno se obtuvo una muestra en la superficie y otra en la parte interior.

El promedio del porcentaje de MO de los bloques se muestra en la tabla 7. Estos datos demostraron que en la parte interior de los bloques el

contenido en MO fue menor que en la superficie. Se asume que es debido a que estos bloques en época de sequía se compactan y se ponen duros, por lo que las raíces de las plantas no lo penetran y se adhieren a su superficie. Por ello es mayor el enriquecimiento en sustancias orgánicas en la superficie.

Una situación diferente se presenta en los bloques prismáticos del Vertisol, cuando está bajo cultivo por varios años (tablas 8 y 9).

Tabla 6. Contenido de materia orgánica (MO) de la parte exterior e interior de los bloques prismáticos.

Bloque	Lugar en el bloque	pH, H ₂ O	MO, %	C, %
1	Interior	7,3	1,58	0,92
	Superficial	7,4	2,02	1,17
2	Interior	7,3	2,90	1,68
	Superficial	7,4	3,49	2,02
3	Interior	7,2	2,73	1,68
	Superficial	7,2	3,52	2,04

Tabla 7. Contenido promedio de MO de la parte superficial e interior de los bloques prismáticos.

Lugar en el bloque	pH, H ₂ O	MO, %	C, %
Interior	7,26	2,40	1,39
Superficial	7,33	3,01	1,75

Tabla 8. Contenido en materia orgánica y carbono de la parte exterior e interior de los bloques prismáticos en el perfil D-12.

Bloque	Lugar en el bloque	pH, H ₂ O	MO, %	C, %
1	Interior	7,2	1,50	0,87
	Superficial	7,3	1,44	0,84
2	Interior	7,3	1,89	1,10
	Superficial	7,2	2,75	1,60
3	Interior	7,1	2,62	1,52
	Superficial	7,3	2,60	1,51

Tabla 9. Contenido promedio de MO de la parte superficial e interior de los bloques prismáticos.

Bloque	Lugar en el bloque	pH, H ₂ O	MO, %
Interior	7,20	2,00	1,16
Superficial	7,27	2,26	1,31

Con el cultivo, los bloques se exponen a la superficie y comienza la oxidación de la materia orgánica y la consiguiente emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, sobre todo a expensas de la materia orgánica que se encuentra en el exterior de los bloques que se oxida más rápido que la del interior. Por ello, la materia orgánica y el carbono tienden a igualarse en la superficie y en el interior de los bloques prismáticos.

Conclusiones

Los resultados mostraron que un Vertisol pélico mullido, bajo diversos sistemas de uso, presenta diferencias en los contenidos de materia orgánica y carbono del suelo.

En este suelo en condiciones conservadas, con pasto y arboleda de *M. indica*, hay ganancia en las reservas de carbono orgánico, mientras que en condiciones bajo cultivo intensivo (diez años) se producen pérdidas.

Los bloques prismáticos del Vertisol presentaron un contenido mayor de materia orgánica y el carbono en su superficie que en el exterior, cuando el suelo estaba bajo condiciones conservadas. Sin embargo, cuando se cultiva, los contenidos de materia orgánica y carbono fueron menores y alcanzaron el mismo valor en la superficie como en su parte interna.

Recomendaciones

Se recomienda continuar con estos estudios en el tiempo y en otras regiones donde se distribuyen suelos Vertisoles, de modo que se pueda contar con información adecuada para la toma de decisiones sobre su mejor manejo y aprovechamiento.

Agradecimientos

Se agradece a los directivos de la granja La Rospita por el apoyo en la logística del trabajo de campo y en otras tareas. Asimismo, se expresa gratitud al Laboratorio de Análisis Químico de Suelos del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) por su valiosa contribución en el procesamiento de las muestras.

Conflicto de intereses

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

Contribución de los autores

- Dagoberto López-Pérez. Toma de muestras en campo, interpretación de los resultados y redacción del manuscrito.
- Alberto Hernández-Jiménez. Diseño y dirección de la investigación, toma de muestras en campo, interpretación de los resultados y redacción del manuscrito.
- Greter Carnero-Lazo. Interpretación de los resultados y redacción del manuscrito.
- Marisol Morales-Díaz. Interpretación de los resultados y redacción del manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Alvarez-Arteaga, G.; Ibáñez-Huerta, A.; Orozco-Hernández, María E. & García-Fajardo, Belina. 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, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36677/qret.v22i2.13302>.
- Amores-Mena, Melida M. *Efecto de prácticas de manejo del suelo y sus interacciones en la dinámica del carbono orgánico del suelo: Revisión de literatura*. Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el grado académico de Licenciatura. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6738/1/IAD-2020-T002.pdf>, 2020.
- Carnero-Lazo, G.; Hernández-Jiménez, A.; Terry-Alfonso, Elein & Bojórquez-Serrano, J. I. Cambios en las reservas de carbono orgánico en suelos ferralíticos rojos lixiviados de Mayabeque, Cuba. *Revista bio ciencias*. 6:e564, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e564>.
- Grandio-de-Armas, D.; Hernández-Jiménez, A.; Bernal-Fundora, A.; Carnero-Lazo, G. & Hernández, A. Caracterización y génesis del “piso de arado” en el suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (FRL). En: *Nuevos resultados sobre el cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la “Llanura Roja de La Habana”*. Mayabaque, Cuba: Ediciones INCA. p. 159, 2020.
- Guerra, Valeria I. Carbono: El elemento que determina la sustentabilidad del agro. *RIA*.

- 47 (2):150-154. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/10163>, 2021.
- Hernández-Fundora, Y.; Hernández-Jiménez, A.; Cabrera-Dávila, G. & Socarrás, Ana A. Impactos del cultivo continuado en la fauna del suelo FRL en huertos intensivos de la agricultura urbana del municipio Boyeros. En: *Nuevos resultados sobre el cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la "Llanura Roja de la Habana"*. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA. p. 33-68, 2020.
- Hernández-Jiménez, A. Área que ocupan los agrupamientos y tipos genéticos de los suelos en Cuba. *Cultivos Tropicales*. 42 (3):e13. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000300013&lng=es&tlng=es, 2021.
- Hernández-Jiménez, A.; Morales-Díaz, M.; Carneiro-Lazo, G.; Vargas-Blandino, D.; González-Cañizares, P. J.; Cabrera Rodríguez, J. A. *et al.* Aumentos en los valores de la reacción del suelo (pH), hasta valores de alcalinidad. En: *Nuevos resultados sobre el cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la "Llanura Roja de la Habana"*. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA, 2020a.
- Hernández-Jiménez, A.; Grandio-de-Armas, D.; Carneiro-Lazo, G.; Bernal-Fundora, A. & Hernández, A. Hipótesis sobre la génesis del "piso de arado" en el suelo FRL. En: *Nuevos resultados sobre el cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la "Llanura Roja de la Habana"*. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA. p. 96-108 2020b.
- 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-Jiménez, A.; Vargas-Blandino, Dania; Bojórquez-Serrano, J. I.; García-Paredes, J. D.; Madueño-Molina, A. & Morales-Díaz, Marisol. Carbon losses and soil property changes in feralic Nitisols from Cuba under different coverages. *Sci. Agric.* 74 (4):311-316, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0117>.
- IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. Vienna: International Union of Soil Sciences. https://wrb.isric.org/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf, 2022.
- Khan, D. V. *Organo-mineral compounds and soil structure*. Moscow: Nauka, 1969.
- 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>.
- López-Pérez, D. *Confección de un Sector de Referencia en la finca "La Rosita" de la UJC Nacional como fundamento para el manejo de los suelos en la producción agropecuaria*. Tesis de Maestría. San José de las Lajas, Cuba: Universidad Agraria de La Habana, 2007.
- Martín-Gutiérrez, G.; Pablos-Reyes, P.; Angarica-Baró, E.; Cobo-Vidal, Yakelín; Villazón-Gómez, J. A.; Serrano-Gutiérrez, A. *et al.* Reservas de carbono orgánico de un vertisol crómico bajo diferentes usos del suelo. *Ingeniería Agrícola*. 13 (4):3-8. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1748>, 2023a.
- Martín-Gutiérrez, G.; Pablos-Reyes, P.; Cobo-Vidal, Yakelín; Villazón-Gómez, J. A. & Serrano-Gutiérrez, A. Efecto de diferentes tipos de uso de la tierra en las fracciones del carbono orgánico del suelo. *Pastos y Forrajes*. 46:e23. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942023000100023&lng=es&nrm=iso, 2023b.
- Paz-Castro, L. R. *El cambio climático y la evolución de su conocimiento en Cuba*. La Habana: Editorial AMA. http://ccc.insmet.cu/cambioclimaticoencuba/sites/default/files/resultados/01%20CONOCIMIENTO%20EN%20CUBA_0.pdf, 2019.
- Reyes-Pérez, Y. K.; Hernández-Jiménez, A. & Márquez-Díaz, G. Ecosistemas y suelos como fundamento para la producción de alimentos en la provincia de Mayabeque. *IV Encuentro Científico Nacional de Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible*. Mayabeque, Cuba: Universidad Agraria de La Habana, 2024.
- Shakoor, A.; Shahbaz, M.; Farooq, T. H.; Sahar, N. E.; Shahzad, S. M.; Altaf, M. M. *et al.* A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield under no-tillage as compared to conventional tillage. *Sci. Total Environ.* 750:142299, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142299>.
- Soil Survey Staff. *Claves para la taxonomía de suelos*. USA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>, 2014.
- Sotelo-Ruiz, E. D.; Cruz-Bello, G.; González-Hernández, A. & Flores-López, R. Actualización de la cartografía edafológica del Estado de México: una herramienta para la planeación. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 11 (8):1775-1788, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.1975>.
- Vargas-Blandino, Dania; López-Pérez, D.; Hernández-Jiménez, A. & Morales-Díaz, Marisol. Comportamiento del carbono orgánico según el uso de suelos Pardos de la finca "La Rosita". *Cultivos Tropicales*. 43 (4). <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1714/3411>, 2022.

Wang, H.; Wang, S.; Yu, Q.; Zhang, Y.; Wang, R.; Li, J. *et al.* No tillage increases soil organic carbon storage and decreases carbon dioxide emission

in the crop residue-returned farming system. *J. Environ. Manag.* 261 110261, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110261>.