



Reservas y dinámica de carbono orgánico en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados con pastizales en el occidente de Cuba

Organic carbon stocks and dynamics in Ferrallitic Red leached soils with grasslands in western Cuba

^{ID}Alberto Hernández Jiménez^{1*}, ^{ID}Greter Carnero Lazo¹,
^{ID}Pedro José González Cañizares¹, ^{ID}Marisol Morales Díaz²

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, carretera a Tapaste, km 31/2, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Código Postal 32700, Gaveta Postal No 1.

²Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT) MINAG. Calle 188 #38754 e/ 397 y Linderos, Santiago de las Vegas, Boyeros. La Habana, Cuba.

RESUMEN: La agricultura enfrenta el desafío de ser productiva y, al mismo tiempo, sostenible, lo que requiere prácticas que mejoren la calidad del suelo y contribuyan a la mitigación del cambio climático. La acumulación de carbono orgánico en el suelo es un factor clave en este proceso, ya que favorece la estabilidad de los ecosistemas y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. En este estudio se determinaron las reservas de carbono orgánico (RCO) y su dinámica temporal (2004-2017) en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados bajo diferentes sistemas de uso (pastizales en monocultivo y sistemas silvopastoriles con frutales) en tres provincias del occidente de Cuba (Mayabeque, Artemisa y Pinar del Río). Se analizaron nueve perfiles de suelo en áreas cubiertas por el pasto jiribilla (*Dichanthium caricosum*), encontrando reservas de hasta 58 Mg ha⁻¹ en la capa de 0-20 cm y hasta 80 Mg ha⁻¹ en la capa de 0-50 cm, mientras que en la capa de 50-100 cm los valores fueron menores (17-36 Mg ha⁻¹). La evaluación temporal en cinco perfiles mostró una acumulación significativa, con tasas de hasta 2,62 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en la profundidad de 0-30 cm. Los sistemas silvopastoriles (asociados a mango, cítricos y guayaba) presentaron mayores RCO que los pastizales en monocultivo. Estos resultados proporcionan información relevante para el desarrollo de estrategias agrícolas orientadas a la captura y secuestro de carbono, promoviendo la conservación del suelo y la sostenibilidad ambiental en suelos tropicales.

Palabras Clave: Cambio climático, Cuba, edafología, carbono orgánico, sostenibilidad.

ABSTRACT: Agriculture faces the challenge of being both productive and sustainable, requiring practices that improve soil quality and contribute to climate change mitigation. The accumulation of organic carbon in soil is a key factor in this process, as it enhances ecosystem stability and reduces greenhouse gas emissions. This study determined the organic carbon (SOC) stocks and their temporal dynamics (2004-2017) in Ferrallitic Red Leached soils under different land-use systems (monoculture grasslands and silvopastoral systems with fruit trees) in three provinces of western Cuba (Mayabeque, Artemisa, and Pinar del Río). Nine soil profiles were analyzed in areas covered by *Dichanthium caricosum* grass, revealing stocks of up to 58 Mg ha⁻¹ in the 0-20 cm layer and up to 80 Mg ha⁻¹ in the 0-50 cm layer, while values in the 50-100 cm layer were lower (17-36 Mg ha⁻¹). Temporal evaluation in five profiles showed significant accumulation, with rates of up to 2.62 Mg ha⁻¹ year⁻¹ at a depth of 0-30 cm. Silvopastoral systems (associated with mango, citrus, and guava) showed higher SOC stocks than monoculture grasslands. These findings provide valuable insights for developing agricultural strategies aimed at carbon capture and sequestration, promoting soil conservation and environmental sustainability in tropical soils.

Key words: Climate change, Cuba, soil science, organic carbon, sustainability.

*Autor para correspondencia: ahj@inca.edu.cu

Recibido: 24/10/2025

Aceptado: 26/02/2026

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** Alberto Hernández Jiménez, Greter Carnero Lazo. **Investigación:** Alberto Hernández Jiménez, Greter Carnero Lazo, Marisol Morales. **Metodología:** Pedro José González Cañizares. **Supervisión:** Greter Carnero Lazo, Marisol Morales Díaz. **Redacción - borrador original:** Alberto Hernández Jiménez, Marisol Morales Díaz. **Redacción - revisión y edición:** Greter Carnero Lazo. **Curación de datos:** Greter Carnero Lazo, Pedro José González Cañizares.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la problemática del carbono del suelo ha adquirido relevancia a escala global debido a su impacto en la seguridad alimentaria y el cambio climático. La pérdida de carbono orgánico del suelo (COS) en los ecosistemas agrícolas, junto con las alteraciones climáticas, representa una amenaza crítica para la producción agropecuaria. Estudios indican que los suelos agrícolas a nivel mundial han perdido entre el 30 y 75 % de sus reservas originales de COS, equivalentes a 30-40 Mg C·ha⁻¹ (1). Esta disminución ha contribuido significativamente al aumento de los gases de efecto invernadero (GEI), exacerbando el calentamiento global y sus consecuencias, como fenómenos climáticos extremos (sequías, inundaciones) y mermas en la productividad agrícola (2).

El carbono orgánico es un indicador clave de la salud edáfica, ya que influye directamente en propiedades físicas y químicas del suelo, como la densidad aparente, la estructura, la porosidad y la capacidad de retención de agua (3,4). Por el contrario, su degradación conlleva el deterioro de estas propiedades, comprometiendo la sostenibilidad de los agroecosistemas (3,5). Investigaciones en diversas regiones como México (6,7), la Amazonía peruana, brasileña y colombiana (8-11), Ecuador (12-15) y Rusia (16-18) evidencian la universalidad de este desafío y la necesidad de abordarlo.

En este contexto, en suelos tropicales, aunque existen estudios en *Nitisoles* de Brasil (19-21) y sistemas silvopastoriles en América Latina (22,23), los Ferralíticos cubanos clasificados como *Nitisoles ródicos* (24) han sido poco investigados, especialmente bajo manejo silvopastoril. Esta brecha de conocimiento limita el diseño de estrategias locales de manejo sostenible y captura de carbono. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el contenido y la dinámica temporal (2004-2017) de carbono orgánico en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (25) bajo diferentes sistemas de uso (pastizales en monocultivo y sistemas silvopastoriles con frutales) en el occidente de Cuba, con el fin de aportar datos base sobre la evolución de las reservas de carbono en diferentes sistemas de manejo a lo largo del tiempo, para el diseño de estrategias de manejo sostenible y mitigación del cambio climático en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y caracterización de los perfiles

El estudio se realizó en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (25), predominantes en la región occidental de Cuba, bajo un clima tropical subhúmedo. Se evaluaron 9 perfiles de suelo bajo sistemas de pastizales (asociados o no a frutales), distribuidos en tres provincias y en dos periodos de muestreo inicial (2004 y 2010) y un muestro final en 2017 para evaluación temporal. Los perfiles se ubicaron en las siguientes localidades (coordenadas UTM):

Provincia Mayabeque

- Perfiles 1, 8 y 36: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas.
 - Perfil 1: N 353250, E 383225
 - Perfil 8: N 353125, E 383100
 - Perfil 36: N 353300, E 383300
- Perfil 6: Finca "Las Papas", San José de las Lajas (N 351800, E 383250).
- Perfil 38: Localidad Jamaica, San José de las Lajas (N 350600, E 380100).

Provincia Artemisa

- Perfiles 11, 12 y 13: Municipio de San Antonio de los Baños.
 - Perfil 11: Finca de Héctor (N 341000, E 344700)
 - Perfil 12: Finca de Bernardo (N 341900, E 345800)
 - Perfil 13: Finca estatal de ganadería (N 339650, E 342550)

Provincia Pinar del Río

- Perfil 28: Empresa "Niña Bonita", Pinar del Río (N 358600, E 346000).

Los sistemas de uso de la tierra se mantuvieron constantes durante todo el período de estudio (2004-2017):

- Perfiles 1 y 36: Pasto jiribilla (*Dichanthium caricosum*) bajo arboleda de mango (*Mangifera indica*) por más de 40 años.
- Perfil 6: Pasto jiribilla bajo arboleda de cítricos (*Citrus spp.*) durante 30 años.
- Perfil 8: Pasto jiribilla bajo arboleda de guayaba (*Psidium guajava*) durante 20 años.
- Perfil 28: Pasto jiribilla en monocultivo durante 30 años.
- Perfiles 11, 12, 13 y 38: Pasto jiribilla en monocultivo durante 15-20 años.

Muestreo de suelos

Distribución espacial: Los perfiles se ubicaron en parcelas representativas del ecosistema de suelos Ferralíticos Rojos formados de caliza dura bajo clima tropical subhúmedo.

Profundidad de muestreo

- Perfiles completos (2004 y 2010): Se describieron hasta 1 m de profundidad, divididos por horizontes (A, B, C), teniendo en cuenta el manual cubano para la descripción de perfiles (26).
- Monitoreo de COS (2017): Se tomaron muestras adicionales a 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm, en triplicado (en triángulo alrededor del punto original del perfil, con 1 m de separación entre puntos) para evaluar la variabilidad espacial.

Método de muestreo

- Extracción con barrena y cilindro volumétrico (100 cm³) para densidad aparente.
- El muestreo se realizó en condiciones de humedad natural del suelo durante la época de estudio.
- Muestras secadas a 105 °C hasta peso constante para determinar el contenido de humedad gravimétrica.

Análisis de laboratorio

Las muestras de suelo se analizaron en el Laboratorio de Análisis Químico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, mediante los métodos estandarizados según el manual de métodos analíticos para suelos tropicales (27) que se detallan en la [Tabla 1](#).

Cálculo de las reservas de carbono orgánico (COS)

Las reservas de COS se calcularon por horizonte mediante la fórmula estándar descrita por (28):

$$COS \text{ (mg ha}^{-1}\text{)} = \frac{(Mg \text{ m}^{-3}) \times (Espesor \text{ (cm)} \times (1 - I))}{CO \text{ (\%)}}$$

Donde:

ρ: Densidad volumétrica (determinada *in situ* con cilindro de 100 cm³, secado a 105 °C hasta peso constante).

CO: Carbono orgánico, calculado como MO/1,724 (factor de conversión para suelos tropicales).

I: Fracción de inclusiones (nódulos ferruginosos, gravas). En este estudio, I = 0 para los horizontes superficiales.

Evaluación temporal del COS

En 2017, se evaluó la dinámica del RCO comparando datos históricos (2004-2010) vs. muestras recientes (0-30 cm), con énfasis en cambios por manejo (silvopastoril vs. pastizal puro). Para ello, se re-muestreó en las

mismas coordenadas originales, controlando la variabilidad espacial mediante triplicados. La tasa de ganancia anual se calculó como:

$$Tasa \text{ (Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}\text{)} = \frac{[RCO_{final} - RCO_{inicial}]}{[Años transcurridos]}$$

Análisis estadístico

Los datos se procesaron con el software STATGRAPHICS Centurion. Se calcularon medias y desviaciones estándar para cada parámetro. Las diferencias entre sistemas de uso se evaluaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey (p < 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física y química de los suelos

Las descripciones de los perfiles analizados confirman que los suelos estudiados poseen una composición ferralítica, caracterizados por su color rojo, profundidad y textura arcillosa. Presentan un perfil A-Bt-BC-C, con estructura granular y nuciforme-granular en el horizonte A, mientras que en el horizonte Bt predominan estructuras poliédricas con la presencia de cutanes.

En la [Tabla 2](#) se presentan los valores promedio (± desviación estándar) de las partículas mecánicas según la profundidad de los nueve perfiles de suelo, junto con la clasificación de su textura. Se observa que los suelos son predominantemente arcillosos, con una disminución progresiva de la arcilla y el limo en profundidad, mientras que en la parte media del perfil se evidencia un enriquecimiento en arcilla debido a la presencia del horizonte argílico, resultado del proceso de lixiviación.

Con base en estas características, los suelos analizados se clasifican como Ferralíticos Rojos Lixiviados (25). No obstante, según la clasificación del World Reference Base, se consideran Nitisoles ródicos líticos ferralíticos (24).

Tabla 1. Métodos analíticos empleados para la caracterización de suelos

Parámetro	Método	Número de réplicas
pH	Potenciométrico (relación suelo:agua 2:1)	3
Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Extracción con acetato de amonio (NH ₄ CH ₃ CO ₂ 1 mol L ⁻¹ , pH 7), complejometría	3
K ⁺	Extracción con acetato de amonio (NH ₄ CH ₃ CO ₂ 1 mol L ⁻¹ , pH 7), fotometría de llama	3
P asimilable	Extracción con H ₂ SO ₄ 0,1 mol L ⁻¹ (relación suelo:solución 1:25)	3
Materia orgánica	Walkley-Black	3
Textura	Método de la pipeta	2

Tabla 2. Composición mecánica y textura promedio (± DE) de los 9 perfiles estudiados

Profundidad (cm)	% de las partículas			Textura
	Arena	Limo	Arcilla	
0-20	19,2 ± 2,1	16,4 ± 1,8	65,3 ± 3,2	Arcillosa
20-50	16,1 ± 1,9	9,3 ± 1,2	74,9 ± 2,8	Arcillosa
50-90	12,4 ± 1,5	9,1 ± 1,1	78,8 ± 2,5	Arcillosa

El incremento del contenido de arena y limo en el horizonte superior de estos suelos se debe al enriquecimiento relativo causado por el traslado de la arcilla hacia el horizonte Bt inferior, como resultado del proceso de lixiviación. Además, estos suelos presentan un pH en el horizonte húmico acumulativo que oscila entre 6,7 y 7,2, con un promedio de $6,96 \pm 0,15$. Esta condición influye en la distribución de las bases cambiables, especialmente calcio y magnesio, cuyos valores promedio para los nueve perfiles analizados se presentan en la [Tabla 3](#).

Los resultados muestran que el pH en superficie es más alto de lo esperado, con algunos perfiles que superan 7,0, lo cual resulta inusual para suelos Ferralíticos. Sin embargo, comparaciones con estudios realizados en suelos similares hace 30-40 años evidencian un incremento del pH en la capa superficial. Diversas hipótesis han sido planteadas para explicar este fenómeno, entre ellas, el impacto del cambio climático en Cuba, que ha generado aumentos de temperatura (29), así como el efecto del riego con aguas duras provenientes del manto acuífero de las calizas miocénicas subyacentes, las cuales aportan calcio y magnesio (5,30).

El aumento del pH en superficie está acompañado por una mayor concentración de bases intercambiables, principalmente calcio y magnesio. Además, no se descarta la contribución de las raíces de los pastizales, particularmente de gramíneas, al incremento del calcio en el suelo. En contraste, el contenido de sodio es insignificante, ya que durante el proceso de ferralitización es prácticamente eliminado por lixiviación, mientras que el potasio se mantiene en niveles de medianos a bajos debido a este mismo proceso.

Reservas de carbono orgánico en los perfiles estudiados

Respecto al contenido y reservas de carbono orgánico en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, bajo pastizales o frutales con pastizales, se observa una acumulación significativa en la capa de 0-20 cm, alcanzando hasta 56 Mg ha^{-1} . En la capa de 0-50 cm, los valores pueden superar los 80 Mg ha^{-1} en algunos casos, como se muestra en la [Tabla 4](#).

Los resultados sobre la acumulación de reservas de carbono orgánico (RCO) en suelos bajo pastizales coinciden con lo planteado por (31-34). Según estos estudios, en la capa de 0-100 cm, los suelos pueden acumular entre 80 y 149 Mg ha^{-1} de RCO, valores consistentes con los hallazgos en este estudio.

Sin embargo, en la profundidad del suelo entre 50-100 cm, la acumulación es considerablemente menor, con valores que oscilan entre 17 y 36 Mg ha^{-1} . Esto se debe al desarrollo radical de los pastizales, cuyas raíces finas no alcanzan grandes profundidades, a diferencia de cultivos como la caña de azúcar o el maíz, que presentan sistemas radiculares más profundos y extensos.

Dinámica temporal de las reservas de carbono orgánico

En seis de los perfiles de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados analizados, se ha determinado la ganancia anual de RCO, cuyos resultados se presentan en la [Tabla 5](#), en un período de 7 a 13 años. Para la capa de 0-30 cm, la captura total de RCO varía entre 12 y $34 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el periodo evaluado, lo que demuestra el potencial de estos suelos para el almacenamiento de carbono a mediano y largo plazo.

Un hallazgo relevante de este estudio es la diferencia en las RCO entre sistemas de uso. Los perfiles asociados a árboles frutales (mango, cítricos, guayaba) mostraron mayores reservas de COS en comparación con pastizales en monocultivo ([Tablas 4 y 5](#)). Esta diferencia puede atribuirse a varios factores:

1. Aporte adicional de biomasa: Los sistemas silvopastoriles reciben aportes de hojarasca y raíces de los árboles, que se suman a los del pasto, incrementando la entrada de carbono al suelo.
2. Microclima favorable: La sombra parcial proporcionada por los árboles reduce la temperatura del suelo y la tasa de descomposición de la materia orgánica.
3. Sistema radical más diverso: La combinación de raíces de pastos (superficiales) y árboles (más profundas) explora un mayor volumen de suelo, incorporando carbono en diferentes profundidades.

Estos resultados coinciden con estudios previos en sistemas silvopastoriles tropicales (35,36), que reportan mayores stocks de carbono en sistemas diversificados comparado con monocultivos.

La [Tabla 6](#) presenta la ganancia anual de reservas de carbono orgánico en el suelo (RCO), que puede alcanzar hasta $2,62 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el pasto jiribilla (*Dichanthium caricosum*) en la capa de 0-30 cm, durante un período de 13 años. Estos resultados coinciden con estudios previos, como los realizados por (37), quienes reportaron resultados similares en suelos bajo pastizales, lo que refuerza la relevancia de estas especies vegetales en la acumulación y secuestro de carbono.

Tabla 3. Algunas características químicas promedio ($\pm$ DE) de los 9 perfiles estudiados

Profundidad (cm)	pH (H ₂ O)	Bases intercambiables (cmol kg ⁻¹)				P asimilable (mg kg ⁻¹)	
		Ca	Mg	Na	K	Suma	
0-20	$6,96 \pm 0,15$	$17,0 \pm 2,3$	$5,0 \pm 0,8$	$0,1 \pm 0,02$	$0,42 \pm 0,07$	$22,52 \pm 3,1$	$25,0 \pm 3,5$
20-50	$6,92 \pm 0,18$	$12,0 \pm 1,9$	$4,0 \pm 0,6$	$0,1 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,03$	$16,22 \pm 2,4$	$18,0 \pm 2,8$
50-90	$6,71 \pm 0,21$	$9,0 \pm 1,5$	$4,0 \pm 0,7$	$0,1 \pm 0,02$	$0,17 \pm 0,04$	$13,27 \pm 2,1$	$16,0 \pm 2,4$

Tabla 4. Reservas de Carbono Orgánico en Mg ha^{-1} , en los 9 perfiles de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (FRL) estudiados

No. Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	MO (%)	CO (%)	Humedad (%)	ρ (Mg m^{-3})	RCO (Mg ha^{-1})	RCO por capas (cm)			
								0-20	0-50	0-100	50-100
1	A ₁₁	0-8	3,55	2,06	35,7	0,98	6,99	38 62 90 28			
	A ₁₂	8-22	3,12	1,81	34,2	1,00	6,05				
	B ₁₁ t	22-41	1,38	0,80	32,7	1,09	5,12				
	B ₁₂ t	41-64	0,70	0,40	33,6	1,04	5,26				
	B ₂	64-100	0,50	0,60	33,8	1,03	5,34				
8	A ₁	0-12	3,58	2,08	34,1	1,08	6,50	41 63 80 17			
	B ₁ t	12-28	2,70	1,57	33,4	1,13	6,40				
	B ₂ t	28-50	0,55	0,32	34,8	1,10	6,50				
	B ₃	50-70	0,45	0,26	35,1	1,08	6,60				
	BC	70-100	0,60	0,34	34,2	1,10	-				
11	Agr	0-24	4,20	2,44	36,1	1,05	61,5	51 89 115 26			
	B11	24-50	1,64	0,95	35,1	1,10	27,2				
	B12p	50-67	1,29	0,75	34,2	1,12	14,3				
	B2	67-85	0,55	0,32	34,7	1,15	12,1				
12	A	0-18	3,82	2,22	37,4	1,07	42,8	46 81 116 35			
	B _{1t}	18-38	2,31	1,34	39,5	1,10	29,5				
	B ₂ t	38-100	1,08	0,63	33,2	1,13	44,1				
6	A ₁₁	0-3	4,07	2,36	Nd	Nd	6,7	41 84 110 26			
	A ₁₂	3-16	4,00	2,32	35,9	0,95	28,7				
	B ₁ t	16-52	2,23	1,29	34,6	1,10	51,1				
	B ₂₁ t	52-78	0,95	0,55	34,2	1,11	15,9				
	B ₂₂ t	78-105	0,55	0,32	33,9	1,12	9,7				
13	A	0-18	4,23	2,45	34,9	1,04	45,9	49 78 113 35			
	AB	18-30	2,23	1,29	34,1	1,09	16,9				
	B ₁ t	30-52	1,21	0,70	33,7	1,12	17,2				
	B ₂ t	52-100	1,06	0,61	33,8	1,14	33,4				
28	A	0-20	4,59	2,66	34,9	1,09	58,0	58 87 115 28			
	AB	20-32	2,12	1,23	32,5	1,12	16,5				
	B ₁ t	32-47	1,03	0,60	32,8	1,13	10,2				
	B ₂ t	47-84	0,89	0,52	30,2	1,20	23,1				
	B ₃	84-130	0,60	0,35	28,8	1,22	19,6				
36	A	0-19	3,59	2,08	33,8	1,04	41,1	43 81 112 31			
	AB	19-29	3,23	1,87	32,6	1,07	20,0				
	B ₁ t	29-59	1,34	0,78	31,5	1,17	29,0				
	B ₂ t	59-92	0,86	0,50	30,2	1,19	19,6				
	B ₃	92-120	0,45	0,26	29,8	1,20	8,7				
38	A	0-15	4,74	2,75	35,1	1,09	44,96	56 109 149 40			
	AB	15-40	3,39	1,97	33,6	1,14	56,14				
	B ₁ t	40-100	1,14	0,66	28,5	1,22	48,31				
	B ₂ t	100-200	0,70	0,41	29,4	1,19	48,79				

MO (%): Materia Orgánica, CO (%): Carbono Orgánico, ρ (Mg m^{-3}): Densidad aparente (símbolo internacional rho), RCO_horiz (Mg ha^{-1}): Reserva de Carbono Orgánico por horizonte individual, RCO_capa (Mg ha^{-1}): Reserva de Carbono Orgánico acumulada por capa de profundidad (0-20, 0-50, 0-100, 50-100 cm), Nd: No determinado, -: No calculado o no aplicable

Tabla 5. Ganancia en RCO en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados en el Municipio de San José de las Lajas con pastizales (2004-2017)

Momentos de muestreo	Fecha	Reserva de CO (Mg ha ⁻¹)		
		0-10 cm	0-20 cm	0-30 cm
Perfil 1: Pastizal de jiribilla entre arboleda de mango				
Muestreo inicial	22-04-2010	54	86	107
Muestreo final	07-03-2017	65	102	140
Diferencia	(7 años)	+11	+16	+33
Perfil 36: Pastizal de jiribilla entre arboleda de mango				
Muestreo inicial	22-07-2010	22	43	62
Muestreo final	06-03-2017	28	49	74
Diferencia	(7 años)	+6	+6	+12
Perfil 8: Pastizal de jiribilla entre arboleda de guayaba				
Muestreo inicial	2004	20	41	56
Muestreo final	2017	37	62	71
Diferencia	(13 años)	+17	+21	+15
Perfil 6: Pastizal de jiribilla entre arboleda de cítricos				
Muestreo inicial	2004	21	41	55
Muestreo final	2017	29	55	89
Diferencia	(13 años)	+8	+14	+34
Perfil 38: Pastizal de jiribilla en potrero a la entrada de Jamaica				
Muestreo inicial	2010	28	56	80
Muestreo final	2017	38	61	92
Diferencia	(7 años)	+10	+5	+12

Tabla 6. Ganancia anual de RCO en suelos FRL en el occidente de Cuba

Período del muestreo en años	Tasa de Ganancia de RCO (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)		
	0-10 cm	0-20 cm	0-30 cm
Perfil 1: Pastizal de jiribilla entre arboleda de mango			
7	+1,07	+0,86	+1,07
Perfil 36: Pastizal de jiribilla entre arboleda de mango			
7	+0,86	+0,86	+1,71
Perfil 8: Pastizal de jiribilla entre arboleda de guayaba			
12	+1,42	+1,75	+1,25
Perfil 6: Pastizal de jiribilla entre arboleda de cítricos			
13	+0,61	+1,08	+2,62
Perfil 38: Pastizal de jiribilla en potrero a la entrada de Jamaica			
9	+1,11	+0,96	+1,33

Estos resultados son altamente relevantes para la gestión sostenible del suelo y deben considerarse en la planificación de rotaciones con pastizales a largo plazo, especialmente en suelos que tienden a degradarse debido al cultivo continuo, como lo señala (5). La implementación de prácticas de manejo conservacionista puede contribuir significativamente a la restauración de la fertilidad del suelo y a la optimización de la acumulación de carbono orgánico.

Además, proporcionan una base científica para el desarrollo futuro de una política de captura y secuestro de carbono en los suelos con pastizales de la provincia. La adopción de estrategias orientadas a mejorar la retención de carbono no solo beneficiaría la productividad agrícola, sino que también representaría un avance importante en los esfuerzos de mitigación del cambio climático, fortaleciendo la resiliencia de los ecosistemas locales frente a las condiciones ambientales cambiantes.

CONCLUSIONES

El estudio realizado en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ródicos) bajo pastizales en la región occidental de Cuba, demuestra el potencial de estos sistemas para la acumulación de carbono orgánico (COS) y su contribución a la sostenibilidad agrícola y mitigación del cambio climático. A partir de los resultados obtenidos, se destacan las siguientes conclusiones:

- Estos resultados resaltan la capacidad de los pastizales, especialmente el pasto jiribilla (*Dichanthium caricosum*), para almacenar carbono en horizontes superficiales a mediano plazo.
- Los perfiles asociados a árboles frutales (mango, cítricos, guayaba) mostraron mayores reservas de COS en comparación con pastizales en monocultivo, sugiriendo que los sistemas diversificados favorecen la estabilidad del carbono.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados de este estudio, se formulan las siguientes recomendaciones para el manejo sostenible de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados en Cuba y regiones tropicales similares:

1. Promover sistemas agroforestales y silvopastoriles: Se recomienda la integración de árboles frutales (especialmente mango y cítricos) en los pastizales, ya que estos sistemas demostraron una mayor capacidad de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo.
2. Implementar rotaciones de largo plazo: En áreas de cultivo anual, se sugiere introducir rotaciones que incluyan períodos prolongados (mínimo 5-7 años) con pastizales de jiribilla (*Dichanthium caricosum*) para permitir la recuperación de las reservas de carbono del suelo.
3. Establecer un programa de monitoreo: Se recomienda crear una red de parcelas de observación permanente para dar seguimiento a la dinámica del carbono en diferentes sistemas de uso del suelo, lo que permitiría ajustar las prácticas de manejo y validar estrategias de mitigación.
4. Considerar el secuestro de carbono en políticas agrícolas: Los resultados proporcionan una base cuantitativa para incluir el manejo de pastizales y sistemas silvopastoriles en estrategias locales y nacionales de pagos por servicios ecosistémicos relacionados con la mitigación del cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lal R, Follett RF, Stewart BA, Kimble JM. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Science*. 2007;172(12):943. Available from: <https://doi.org/10.1097/ss.0b013e31815cc498>
2. Muñoz-Rojas M, Abd-Elmabod SK, Zavala LM, De la Rosa D, Jordán A. Climate change impacts on soil organic carbon stocks of Mediterranean agricultural areas: a case study in Northern Egypt. *Agric Ecosyst Environ*. Elsevier; 2017;238:142-52. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880916304406>
3. Garcia-Franco N, Wiesmeier M, Buness V, Berauer BJ, Schuchardt MA, Jentsch A, *et al*. Rapid loss of organic carbon and soil structure in mountainous grassland topsoils induced by simulated climate change. *Geoderma*. 2024;442:116807. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116807>
4. Hernández-Fundora Y, Hernández-Jiménez A, Cabrera-Dávila G, Socarrás AA. Impactos del cultivo continuado e la fauna del suelo FRL en huertos intensivos de la agricultura urbana del municipio Boyeros. En *Nuevos Result Sobre El Cambio Las Propiedades Los Suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados "Llanura Roja Habana"* Mayabeque Cuba Ediciones INCA. 2020;33-68. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu>
5. Hernández A, Morales M, Camero G, Hernández Y, Terán Z, Grandío D, *et al*. Nuevos Resultados sobre el cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la "Llanura Roja de la Habana" [Internet]. Ediciones INCA. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas del Ministerio de Educación Superior de Cuba; 2020. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu>
6. Martínez RG, Bañuelos LAL, Jiménez JCM, Calixto MT. Almacén de carbono en las plantaciones forestales como estrategia para la mitigación del cambio climático. *Cienc Lat Rev Científica Multidiscip*. 2025;9(1):6762-78. Available from: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16368
7. Aparicio CM, Arteaga GÁ, Tapia MM, Zuazo MAR. Uso de suelo, propiedades edáficas y almacenes de carbono en el Parque Estatal El Ocotil, México. *Rev Mex Cienc For* [Internet]. 2025 [citado 19 de mayo de 2025];16(88). Available from: <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/174-197>
8. Llanos Sánchez GX. Dinámica del stock del carbono orgánico del suelo en los ecosistemas del área de conservación privada Tilacancha, Amazonas, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2024 [citado 19 de mayo de 2025]. Available from: <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/6469>
9. Praça JIS, Enck BF, Campos MCC, Pereira MG, Souza FG de, Mantovanelli BC, *et al*. Variabilidad espacial de las fracciones de carbono orgánico del suelo en áreas de cultivo de especies amazónicas en la región sur del estado de Amazonas, Brasil. *Int J Agric Nat Resour*. Pontificia Universidad Católica de Chile.Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal; 2023;50(2):58-74. Available from: <https://doi.org/10.7764/ijanr.v50i2.2446>
10. Vallejos Torres G, Mendoza López KL, Ordoñez Sánchez L, Lozano Sulca YT, Gaona Jimenez N, Baselly-Villanueva JR. Niveles de glomalina y carbono en función de los agregados del suelo en la Amazonía peruana. *Bioagro*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA); 2024;36(3):375-82. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9682934>
11. Rosas-Patiño G, Muñoz-Ramos J, Sánchez-Castillo V. Incidencia de Hevea brasiliensis sobre las propiedades químicas del suelo en la Amazonia colombiana. *Rev Cuba Cienc For* [Internet]. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca; 2024 [citado 19 de mayo de 2025];12(2). Available from: <http://scielo.sld.cu>
12. Minchalo Castillo JM, Iñiguez Reyes MS. Determinación del stock de carbono orgánico y distribución espacial en los suelos de los valles de la microcuenca "Cuevas" páramo altoandino de Cancán, Azuay, Ecuador. Universidad de Cuenca; 2025 [citado 19 de mayo de 2025]. Available from: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/13b81398-ac85-4322-b1c5-747580df2fbb>
13. Florin ADL, Álvarez PNC, Luna DAP, Cabrera KVR, Pucha BLG, Morales RAZ. Almacenamiento y distribución de carbono orgánico en suelos de bosque natural y sistemas agrícolas de cacao en Palenque, Pasaje - Ecuador. *Ciencia Tecnología*. 2025;18(1):71-81. Available from: <https://doi.org/10.18779/cyt.v18i1.838>
14. Pinos-Morocho D, Morales-Matute O, Durán-López ME. Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los

- servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador. *Rev Cienc Ambient.* <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>; 2021;55(2):151-73. Available from: <https://www.scielo.sa.cr>
15. Naranjo Ulloa CR, Calle Cabrera AM. Identificación de los controladores hidrometeorológicos en la concentración de carbono orgánico disuelto (COD) en humedales del páramo del norte de Ecuador. Universidad de Cuenca; 2022 [citado 19 de mayo de 2025]. Available from: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/fb95e034-cbc9-41a9-af2e-eb6da47f5336>
16. Chernova OV, Golozubov OM, Alyabina IO, Schepaschenko DG. Integrated Approach to Spatial Assessment of Soil Organic Carbon in the Russian Federation. *Eurasian Soil Sci.* 2021;54(3):325-36. Available from: <https://doi.org/10.1134/S1064229321030042>
17. Abakumov E, Petrov A, Polyakov V, Nizamutdinov T. Soil Organic Matter in Urban Areas of the Russian Arctic: A Review. *Atmosphere. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*; 2023;14(6):997. Available from: <https://doi.org/10.3390/atmos14060997>
18. Alekseev I, Abakumov E. Soil organic carbon stocks and stability of organic matter in permafrost-affected soils of Yamal region, Russian Arctic. *Geoderma Reg.* 2022;28:e00454. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.e00454>
19. Oliveira CV, Vicente LC, Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC, Marques JRB, Barreto-Garcia PAB. Carbon and nitrogen stock of Acrisols and Nitisols in South Bahia, Brazil. *Geoderma Reg.* 2019;16:e00218. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.e00218>
20. Wuaden CR, Nicoloso R da S, Cassol PC, Matias CA, Paweukiewicz L. Carbon and nitrogen stocks in a Rhodic Nitisol under different tillage methods and mineral and organic fertilizers. *Rev Bras Ciênc Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*; 2023;47:e0230041. Available from: <https://doi.org/https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230041>
21. Medeiros A de S, Cesário FV, Santos TC dos, Ferreira Maia SM. Differences in the storage of soil organic carbon in Brazil's agricultural land: A meta-analysis. *CATENA.* 2025;249:108680. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108680>
22. Cisneros-Saguilán P, Hernández-Salinas G, Hernández MH, Cisneros-Saguilán P, Hernández-Salinas G, Hernández MH. Sistemas silvopastoriles, una alternativa para atenuar el impacto del cambio climático en la ganadería. *Idesia Arica. Universidad de Tarapacá. Facultad de Ciencias Agronómicas*; 2024;42(2):51-8. Available from: <https://doi.org/10.4067/s0718-34292024000200051>
23. Robles-Rodríguez R, Aguirre-Terrazas L, Abreu MHS de, Villanueva-Najarro C, Flores-Mariaza E. Degradación de pasturas y sistemas silvopastoriles predominantes en la Amazonía peruana. *Agroindustrial Sci.* 2024;14(3):185-93. Available from: <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2024.03.01>
24. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps [Internet]. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria; 2022. Available from: https://wrb.isric.org/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18_errata_correction_2024-09-24.pdf
25. Hernández A, Pérez JM, Bosch D, Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba [Internet]. Mayabeque: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 2015 [citado 23 de julio de 2020]. Available from: <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5349549>
26. Hernández A, Pérez JM, Morales M, Carnero G, Bosch D, Cabrera JA, et al. Manual para la descripción de perfiles de suelos de Cuba. Ediciones INCA Habana Cuba. 2023. Available from: <https://scholar.google.com>
27. Paneque VM, Calaña JM, Calderón M, Borges Y, Hernández T, Caruncho M. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque: Ediciones INCA. 153 pp. Available from: <https://www.google.com>
28. Batjes NH. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur J Soil Sci.* 1996;47(2):151-63. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01386.x>
29. Planos EO, Guevara AV, Rivero R. Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Habana Cuba Inst Meteorol Agencia Medio Ambiente Minist Cienc Tecnol Medio Ambiente [Internet]. 2015. Available from: https://www.researchgate.net/publication/367204816_Impactos_del_Cambio_Climatico_y_Medidas_de_Adaptacion_en_Cuba
30. Hernández A, Morales M, Borges Y, Vargas D, Cabrera JA, Ascanio MO, et al. Degradación de las propiedades de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la «Llanura roja de La Habana», por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento [Internet]. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 2014. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/files/libros/librodegradacion.pdf>
31. Carnero-Lazo G, Hernández-Jiménez A, Terry-Alfonso E, Bojórquez-Serrano JI. Changes in organic carbon stocks in leached red ferralitic soils from Mayabeque, Cuba. *Rev Bio Cienc [Internet]. Universidad Autónoma de Nayarit*; 2019 [citado 19 de mayo de 2025];6. Available from: <https://www.scielo.org.mx>
32. Khedim N, Poulenard J, Cécillon L, Baudin F, Barré P, Saillard A, et al. Soil organic matter changes under experimental pedoclimatic modifications in mountain grasslands of the French Alps. *Geoderma.* 2023;429:116238. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116238>
33. Li Y-T, Zhu C-M, Yang R-M, Xu L, Zhang X. Spatial patterns of soil organic carbon stocks and its controls in Chinese grassland ecosystems. *Geoderma.* 2024;448:116970. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116970>
34. Vela Alvarado JW, Clavo Z-M, Ramirez-Flores N, Villegas Panduro PP, Saito Villanueva C. Contribución de los fragmentos de vegetación al almacenamiento de carbono

- en paisajes agrícolas de la Amazonía peruana. *Rev Peru Biol* [Internet]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2024 [citado 19 de mayo de 2025];31(2). Available from: <http://www.scielo.org.pe>
35. Cisneros-Saguilán P, Hernández-Salinas G, Hernández MH, Cisneros-Saguilán P, Hernández-Salinas G, Hernández MH. Sistemas silvopastoriles, una alternativa para atenuar el impacto del cambio climático en la ganadería. *Idesia Arica*. Universidad de Tarapacá. Facultad de Ciencias Agronómicas; 2024;42(2):51-8. Available from: <https://doi.org/10.4067/s0718-34292024000200051>
 36. Robles-Rodríguez R, Aguirre-Terrazas L, Abreu MHS de, Villanueva-Najarro C, Flores-Mariaza E. Degradación de pasturas y sistemas silvopastoriles predominantes en la Amazonía peruana. *Agroindustrial Sci*. 2024;14(3):185-93. Available from: <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2024.03.01>
 37. Jensen JL, Eriksen J, Christensen BT. Pre-conversion soil organic carbon level did not affect accumulation rate following conversion from arable land to semi-natural grassland. *Geoderma*. 2024;447:116930. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116930>