TECNOLOGÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE

Vol.46 (2026)
ISSN: 2224-6185

Efecto de *Canavalia ensiformis* en la materia orgánica y contribución al carbono de un suelo Fluvisol

Effect of *Canavalia ensiformis* on organic matter and carbon contribution of a Fluvisol soil

Osmara Renté-Martí[1*] https://orcid.org/0000-0003-3178-1017

Sabrina Carbonell-Marshall [2] https://orcid.org/0009-0008-6441-6132

Siannah María Más-Diego [3] https://orcid.org/0000-0002-1464-3585

Pablo Domingo Pablos-Reyes [4] https://orcid.org/0000-0003-1820-0142

[1] Facultad Ingeniería Química y Agronomía. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba

[2] Empresa agropecuaria Santiago de Cuba. Cuba

[3] Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA). Santiago de Cuba. Cuba

[4] Unidad Empresarial de Base Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar Santiago de Cuba. Cuba

*Autor para correspondencia. Correo electrónico: osmara@uo.edu.cu.

RESUMEN

El balance de carbono orgánico y la materia orgánica del suelo son claves en la sostenibilidad de los ecosistemas edáficos. El empleo de abonos verdes como *Canavalia ensiformis* ha mostrado resultados positivos en la mejora de las propiedades edáficas. En la presente investigación se evaluó el efecto de *Canavalia ensiformis* como abono verde/cultivo de cobertura en la materia orgánica y el carbono orgánico de un suelo Fluvisol del municipio Santiago de Cuba. Se utilizó un diseño completamente al azar en arreglo factorial 2 x 3 (cobertura × tiempo de evaluación), con un testigo en barbecho (Cn) y una cobertura permanente de *Canavalia* (CCp), evaluados a los 0, 200 y 280 días. El suelo presentó un estado de fertilidad heterogéneo, con bajos contenidos de materia orgánica y nitrógeno, y altos contenidos de fósforo y potasio asimilables. La cobertura permanente alcanzó 17,3 $t \cdot ha^{-1}$ de biomasa fresca a los 200 días y 6,0 $t \cdot ha^{-1}$ de biomasa seca a los 280 días. A los 280 días, el carbono acumulado

CC BY NC

en la biomasa fue superior al testigo (3,01 frente a 1,10 t C·ha^{-1}), y la materia orgánica del suelo aumentó 66,4 % respecto al testigo en ese mismo momento. *Canavalia ensiformis* constituye una estrategia eficaz para incrementar la materia orgánica y el carbono orgánico en suelos Fluvisoles, contribuyendo a la fertilidad y los servicios ecosistémicos en suelos tropicales.

Palabras clave: c*anavalia ensiformis*; carbono orgánico del suelo; secuestro de carbono.

ABSTRACT

The balance of soil organic carbon and soil organic matter are key factors in the sustainability of agroecosystems, since carbon reserves and soil fertility depend on the management practices applied. Conversion or changes in ecosystems may lead to losses or gains of carbon, conditioned by soil use. Among the alternatives studied, the use of green manures such as *Canavalia ensiformis* has shown positive effects on soil properties. The objective of this research was to evaluate the effect of *Canavalia ensiformis* as green manure/cover crop on the organic matter and organic carbon of a Fluvisol soil located in Santiago de Cuba municipality. A completely randomized design was applied in a 2 x 3 factorial arrangement (cover × evaluation time), with a fallow control (Cn) and a permanent cover of *Canavalia* (CCp), evaluated at 0, 200, and 280 days. At the start of the study, the soil showed a heterogeneous fertility status, with low organic matter and nitrogen content and high available phosphorus and potassium content. Results revealed increases in soil organic carbon and organic matter compared to the initial condition, with the highest values in the treatments with permanent legume coverage, as their life cycle remained uninterrupted. *Canavalia ensiformis* represents an effective strategy to increase organic matter and organic carbon in Fluvisols, contributing to fertility conservation and edaphic ecosystem services in tropical environments.

Keywords: *Canavalia ensiformis*; soil organic carbon; carbon sequestration

Recibido: 24/02/2026

Aceptado: 14/05/2026

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define que los cambios en el suelo, y en sus características afectan sus funciones y ocasionan la reducción de los rendimientos de los agroecosistemas.(1) La fertilidad

del suelo es un concepto amplio que integra los atributos químicos, físicos y biológicos asociados a su capacidad para generar beneficios al medio ambiente y a la sociedad humana.[2] Una forma de mantener al máximo los ciclos naturales del suelo, es mediante la restitución de la materia orgánica o fomentando su formación en el ecosistema edáfico.

El abonamiento vegetal con abono verde constituye una práctica agrícola que aprovecha la energía solar por medio de la fotosíntesis. La materia orgánica que regresa al suelo juega un rol clave para mantener y mejorar su fertilidad.[3] Los terrenos que han sido perturbados con pérdida de suelo y vegetación generan ecosistemas simplificados y poco resilientes.

Como respuesta a la degradación de los ecosistemas agrícolas, ha aumentado el interés por prácticas que mejoren la producción y, al mismo tiempo, contribuyan a restaurar la salud del suelo.[4] En este contexto, la agricultura regenerativa se basa en manejos orientados a optimizar el uso del agua, fomentar la biodiversidad y reducir el deterioro de este recurso.[5-6]

El uso de leguminosas constituye una alternativa para conservar los suelos y mejorar su fertilidad, debido a su capacidad para fijar N_2 atmosférico y aportar materia orgánica de rápida descomposición.[7]

La leguminosa *Canavalia ensiformis* (L.), empleada como abono verde, mejora las propiedades del suelo y se considera una especie promisoria para afrontar sequías frecuentes, debido a su resistencia a períodos secos y a terrenos deteriorados.

Además, su manejo puede contribuir al secuestro e incremento del contenido de carbono en el suelo.[8]

Los suelos sufren pérdidas de carbono orgánico, con limitada reposición en el corto plazo. Este trabajo evalúa el secuestro de carbono orgánico del suelo (COS) en un ecosistema edáfico de Santiago de Cuba, específicamente en un suelo Fluvisol manejado con *Canavalia ensiformis (L*.) como abono verde/cultivo de cobertura.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en áreas de la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) 40 Aniversario, localizada en el municipio Santiago de Cuba, provincia homónima. El estudio se realizó sobre un suelo Fluvisol agrogénico, según la nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba.[9-10]

Las principales variables climáticas que incidieron sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo durante el período experimental se muestran en la tabla 1. Los datos fueron proporcionados por el Instituto Provincial de Meteorología (ISMET).

Tabla 1. Comportamiento de las variables climáticas en el periodo evaluado

Variables climáticas	Año	Meses									
		J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Temperatura Prom. (°C)	2022	27,3	27,8	28,1	27,9	26,7	24,8	24,5	25,0	25,6	27,3
	2023	29,0	29,0	30,0	30,0	29,0	27,0	27,0	28,0	29,0	29,0
Precipitaciones (mm)	2022	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
	2023	39	51	65	63	68	25	15	15	23	39
Humedad Relativa (%)	2022	80,6	78,6	75,6	76,1	79,7	72,6	76,5	75,3	74,5	80,6
	2023	79,0	79,0	79,0	80,0	82,0	80,0	79,0	77,0	76,0	79,0

Fuente: Instituto Provincial de Meteorología, Santiago de Cuba, 2022-2023.

La temperatura promedio anual fue de 26,0 °C. La temperatura máxima absoluta de la zona de estudio fue de 33,2 °C, con valores de 31,0 a 32,6 °C, mientras que la mínima registró un valor de 20,5 °C, con rangos entre 22,6 y 23,0 °C.[11-13] Estos valores son típicos de la zona para el período estudiado. Según la clasificación Köppen-Geiger, el clima en Cuba es cálido tropical y húmedo, con influencia marítima y rasgos de semicontinentalidad.[11]

La leguminosa se estableció en el período óptimo de siembra, que corresponde a los meses entre mayo - octubre.[14] Las parcelas contaron con un área total de 30 m^2, con seis metros de ancho cada una y ocho surcos de cinco metros de largo. Se sembró la leguminosa a una distancia de 0,75 m entre hileras y 0,25 m entre plantas. La siembra se realizó sin la aplicación de biofertilizantes ni bioestimulantes y el experimento se desarrolló en condiciones de secano.

Se analizó el efecto de la cobertura vegetal y del tiempo de evaluación sobre la materia orgánica del suelo, la biomasa fresca y el aporte potencial de carbono al suelo.

Determinación de la caracterización química del suelo y del efecto del uso de *Canavalia ensiformis* en la materia orgánica del suelo

El análisis de las propiedades químicas del suelo se realizó en el laboratorio del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, perteneciente al municipio Palma Soriano, en la provincia Santiago de Cuba. Se utilizó la guía metodológica del laboratorio de la Caña de Azúcar[15], citada por Paneque Pérez *et al.*[16].

Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad de 0–20 cm, en zigzag sobre la diagonal de cada parcela, utilizando una barrena agroquímica. Las muestras estuvieron compuestas por 30 submuestras de 10–15 g de suelo.

El pH se determinó por potenciometría en KCl, para una relación suelo - solución de 1:2,5; la materia orgánica (MO), mediante el método de Walkley-Black [17] con H_2SO_4 y $K_2Cr_2O_4$ 1 N; el nitrógeno total (Ntotal), por el método de Kjeldahl.[16] El potasio asimilable (K_2O), se determinó mediante fotometría de llama y el fósforo asimilable (P_2O_5), por extracción con ácido sulfúrico 0,1 N, en una relación suelo-solución de 1:2,5 durante 3 minutos, según la norma GOST 26206-91.[18]

Determinación de la biomasa de *Canavalia ensiformis* y estimación del aporte potencial de carbono al suelo Fluvisol

El análisis de la producción de biomasa de *Canavalia ensiformis* permitió estimar el carbono acumulado en la biomasa vegetal y su aporte potencial al suelo Fluvisol. La biomasa vegetal se cuantificó mediante el método directo o destructivo, basado en la extracción, separación, pesaje y secado del material vegetal. Las plantas fueron cortadas y separadas en hojas, tallos y raíces para determinar la biomasa fresca por órgano y la biomasa fresca total.

La biomasa fresca se obtuvo a partir del peso del material vegetal recién colectado y se expresó en $g \cdot planta^{-1}$. Posteriormente, las muestras se secaron en estufa a 72 °C hasta alcanzar peso constante; el material seco se pesó en balanza analítica y los resultados se expresaron en $t \cdot ha^{-1}$. La biomasa seca total se empleó como base para la estimación del carbono acumulado en la biomasa de la leguminosa.

El carbono acumulado en la biomasa vegetal ($C_{BIOMASA}$) se estimó a partir de la biomasa seca y de la fracción de carbono considerada para especies herbáceas. Para ello se empleó la metodología propuesta para la estimación del carbono retenido en la vegetación, que relaciona el carbono promedio fijado por planta con la densidad absoluta de la especie.[19] Cuando no se dispone de análisis específicos de carbono por tejido vegetal, se asumió que 1 t de biomasa seca contiene aproximadamente 0,5 t de C, criterio utilizado como factor de conversión para especies herbáceas.[20]

El carbono acumulado por la especie se calculó mediante la expresión:

$$CA = d_{ae} \cdot C_t \quad (1)$$

donde:

CA = carbono acumulado por la especie, en toneladas de carbono por hectárea (t $C \cdot ha^{-1}$).

d_{ae} = densidad absoluta de la especie (plantas$\cdot ha^{-1}$).

C_t = carbono promedio fijado por planta (t $C \cdot planta^{-1}$).

El carbono estimado en la biomasa se convirtió posteriormente a dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq.) mediante la relación entre los pesos moleculares del carbono y del CO_2. Para ello se consideró que 1 t de C equivale a 3,67 t de CO_2, por lo que el CO_2 equivalente se calculó como CA × 44/12.[20,21] Este valor se interpretó como una estimación del carbono retenido temporalmente en la biomasa vegetal y de su posible contribución posterior al carbono orgánico del suelo, sin asumir que la totalidad del carbono acumulado se incorpore o estabilice efectivamente en el suelo.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se condujo bajo un diseño completamente al azar en arreglo factorial 2 x 3, con los factores cobertura y tiempo de evaluación. Se analizó el efecto de la cobertura natural o barbecho testigo (Cn) y la cobertura permanente de *Canavalia ensiformis* (CCp), mientras que el factor tiempo comprendió los días 0, 200 y 280. Las combinaciones de cobertura y momento de evaluación se identificaron como Cn-0, Cn-200, Cn-280, CCp-0, CCp-200 y CCp-280.

La parcela constituyó la unidad experimental. En cada parcela se delimitó un área útil correspondiente a los cuatro surcos centrales, dentro de la cual se seleccionaron aleatoriamente tres lotes de cinco plantas completas en cada momento de evaluación. Cada lote de cinco plantas se consideró una réplica compuesta de muestreo. Las plantas de cada lote se cosecharon y procesaron conjuntamente para determinar la biomasa fresca de hojas, tallos y raíces, así como la biomasa fresca total. El muestreo fue destructivo, por lo que en cada fecha se utilizaron plantas diferentes de las mismas parcelas. Las parcelas se mantuvieron durante todo el período experimental y se evaluaron a los 0, 200 y 280 días.

Los datos de biomasa fresca, biomasa seca, carbono acumulado en la biomasa y CO_2 equivalente fueron analizados mediante mediante un modelo lineal mixto factorial de dos vías, considerando como efectos fijos la cobertura, el tiempo de evaluación y su interacción. La parcela se incorporó como efecto aleatorio y como unidad experimental, mientras que los lotes compuestos se consideraron unidades

de observación anidadas dentro de parcela y momento de evaluación. El modelo utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + C_i + T_j + (CT)_{ij} + P_{k(i)} + L_{l(ijk)} + \varepsilon_{ijkl} \qquad (2)$$

donde Y_{ijkl}representa el valor observado en cada lote compuesto; μ, la media general; C_i, el efecto de la cobertura; T_j, el efecto del tiempo; $(CT)_{ij}$, la interacción cobertura × tiempo; $P_{k(i)}$, el efecto aleatorio de la parcela; $L_{l(ijk)}$, el efecto asociado al lote compuesto; y ε_{ijkl}, el error residual.

El modelo permitió estimar los efectos de la cobertura, del tiempo y de la interacción entre ambos factores. Cuando se detectó interacción significativa, las diferencias entre coberturas se evaluaron dentro de cada momento de muestreo mediante comparaciones de medias usando la prueba de Duncan. Para compraciones contra el testigo se utilizó el ajuste de Dunnett, tomando Cn como referencia, con un nivel de significación de p ≤ 0,05 en ambas pruebas. Para el ajuste de Dunnet se evaluó CCp-0 frente a Cn-0, CCp-200 frente a Cn-200 y CCp-280 frente a Cn-280. El procesamiento estadístico se realizó con el paquete STATGRAPHICS PLUS versión 5.1.

Resultados y discusión

Efecto de la producción de biomasa de *Canavalia ensiformis* y el aporte del carbono de la biomasa al suelo

Los atributos químicos iniciales del suelo (Cn-0), evaluados a la profundidad de 0 - 20 cm (Tabla 2), evidenciaron un estado de fertilidad heterogéneo de acuerdo con las escalas de interpretación cualitativa.[16]

Tabla 2. Caracterización inicial del suelo a la profundidad 0 - 20 cm.

pH (KCl)	MO (%)	Ntotal (%)	K_2O (mg100 g^{-1})	P_2O_5 (mg100 g^{-1})
6,43	1,14	0,057	48,99	109,51

Los valores iniciales de materia orgánica fueron de 1,14 % tanto para Cn-0 como para CCp-0. Los contenidos de materia orgánica (1,14 %) y nitrógeno total (0,057 %) se catalogaron como muy bajos y bajos, respectivamente. En contraste, las concentraciones de los macronutrientes asimilables K_2O (48,99 mg 100 g^{-1}) y P_2O_5 (109,51 mg 100 g^{-1}) resultaron altas, bajo un pH en KCl (6,43) clasificado como ligeramente ácido. El suelo posee la categoría agroproductiva II según la base de datos cartográfica interna de la Dirección Provincial de Suelos y Fertilizantes de Santiago de Cuba.[22]

El cultivo de la *Canavalia ensiformis* (L.) manifestó un comportamiento promisorio en el crecimiento y desarrollo. Exhibió adaptación ante los efectos del cambio climático en condiciones de secano. Según criterios, esta planta es un cultivo resistente a la sequía, a condiciones adversas y a suelos deteriorados; y además ejerce un aporte significativo en la producción de biomasa.[8,23]

Tabla 3. Producción de biomasa de *Canavalia ensiformis* en el suelo Fluvisol.

Tratamientos	Biomasa Fresca (t·ha^{-1})				Biomasa Seca (t·ha^{-1})
	Hoja	Tallo	Raíz	Total	
Cn-200	2,6 c	0,4 c	0,50 c	3,46 c	1,8 c
Cn-280	3,0 c	0,5 c	0,53 c	4,03 c	2,2 c
CCp-200	10,7 a	5,6 b	0,95 b	17,3 a	4,9 b
CCp-280	9,0 b	6,1 a	1,60 a	16,7 ab	6,0 a
ES	0,028**	0,014*	0,001*	0,430**	0,269*

*Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí según prueba de Duncan para $p \leq 0,05$.

Los resultados expuestos en la Tabla 3 muestran que la cobertura permanente con *Canavalia ensiformis* incrementó la producción de biomasa fresca y seca respecto al barbecho natural. La biomasa fresca total alcanzó 17,3 t·ha^{-1} en CCp-200 y 16,7 t·ha^{-1} en CCp-280, valores superiores a los obtenidos en Cn-200 y Cn-280, y ubicados dentro del rango de 10–67 t·ha^{-1} de biomasa verde reportado para Cuba. [24]. La producción de biomasa fresca y seca total de la cobertura de *Canavalia ensiformis* en los tratamientos fue significativa en la producción de biomasa fresca foliar y radicular. La biomasa fresca radicular evidenció un crecimiento desarrollado, robusto y con mayor profundidad en tratamientos de mayor permanencia de la cobertura vegetal.

Aunque la biomasa fresca total fue ligeramente mayor a los 200 días, la permanencia de la cobertura hasta los 280 días favoreció una mayor acumulación de biomasa seca, con 6,0 t·ha^{-1}, valor significativamente superior al resto de los tratamientos. Este comportamiento indica que, con el avance del ciclo de la leguminosa, disminuye proporcionalmente la fracción fresca foliar y aumenta la acumulación de materia seca en tallos y raíces, lo cual resulta más relevante para estimar el aporte potencial de carbono al suelo.

El tratamiento CCp-280 no presentó la mayor biomasa fresca total, pero sí alcanzó la mayor biomasa seca total, lo que evidencia una mayor acumulación de materia

seca con el incremento del tiempo de permanencia de la cobertura. Por ello, aun cuando la producción de biomasa fresca no fue la más elevada a los 280 días, este tratamiento resulta más importante desde el punto de vista del aporte potencial de carbono al suelo.

Estos resultados encontrados en la producción de biomasa fresca en el suelo Fluvisol se corresponden con otros estudios. Al evaluar otras especies de la misma familia [25], se obtuvo que la especie Canavalia *ensiformis* alcanza el valor más alto, con 22 $t \cdot ha^{-1}$ de biomasa fresca, con respecto a las especies *Dolichos lablab* y *Vigna unguiculata.* Sin embargo, en la producción de biomasa, esta leguminosa mostró resultados superiores, con valores de 31,72 $t \cdot ha^{-1}$ en un suelo Fluvisol Diferenciado.[26]

Igualmente, García *et al.,* [27] obtuvieron valores elevados (36,6 $t \cdot ha^{-1}$) de biomasa fresca de *Canavalia ensiformis* en un suelo Ferralítico Amarillento Rojizo Lixiviado dedicado al cultivo de tabaco. El manejo de la leguminosa realizado hasta los 280 días sin interrumpir el ciclo de vida de la planta, evidencia la mayor producción de biomasa. Además de incrementar y mejorar el ecosistema edáfico, particularmente en su contenido de materia orgánica.

Estos resultados sugieren que la cobertura con *Canavalia ensiformis* podría favorecer, de manera indirecta, condiciones edáficas asociadas con la protección del suelo y el mantenimiento de sus funciones; sin embargo, la biodiversidad y el hábitat del suelo no fueron medidos directamente en esta investigación. Como resultado de la producción de biomasa fresca, se evidenció que la biomasa seca total alcanzada por *Canavalia ensiformis* tuvo incrementos entre los tratamientos con relación al testigo. Una condición para que las especies se consideren promisorias y sean utilizadas como abono verde es que aporten cantidades de biomasa seca iguales o superiores a 5,0 $t \cdot ha^{-1}$, debido a su efecto potencial en las propiedades del suelo.[8,24]

Los resultados encontrados son positivos, ya que cumplen con esta condición. De manera similar, Castro Rincón [28] evaluó cinco leguminosas (*Canavalia brasiliensis, Vigna unguiculata, Clitoria ternatea, Canavalia ensiformis, Lablab purpureus)* y la mayor producción de biomasa seca la obtuvo *C. ensiformis*, correspondiente a 6,4 $t \cdot ha^{-1}$. Por el contrario, otros reportes indican valores de biomasa seca de 9,7 $t \cdot ha^{-1}$ para un suelo Vertisol[29] y de 6,6 $t \cdot ha^{-1}$ en un suelo Fluvisol Diferenciado.[8]

La estimación del carbono acumulado en la biomasa ($C_{BIOMASA}$) de *Canavalia* y de la relación biomasa-C-CO_2 se presenta en la tabla 4, tomando como base la biomasa seca total alcanzada por la especie en cada tratamiento. El aporte estimado de $C_{BIOMASA}$ representa el carbono acumulado en la biomasa vegetal y permite inferir su posible contribución posterior al carbono orgánico del suelo, de acuerdo con la metodología de conversión entre carbono y CO_2 equivalente empleada en especies herbáceas.[19,21]

Tabla 4. Estimación del carbono acumulado en la biomasa de *Canavalia ensiformis* y su aporte potencial al suelo.

Tratamientos	$C_{BIOMASA}$ (t C·ha^{-1}, BS)	Aporte potencial al COS (t C·ha^{-1}, BS)	CO_2 equivalente estimado (t CO_2·ha^{-1})
Cn-200	1,03 c	0,13 c	7,97 c
Cn-280	1,10 c	0,14 c	8,07 c
CCp-200	2,46 b	0,30 b	17,98 b
CCp-280	3,01 a	0,37 a	22,02 a
ES	0,001*	0,000*	0,000*

*Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí según prueba de Duncan para p ≤ 0,05.

En este proceso, *Canavalia* actúa como reservorio temporal de carbono, mientras que el suelo puede funcionar como depósito posterior de una fracción del carbono incorporado a través de los residuos vegetales. El carbono acumulado en la biomasa de *C. ensiformis* representa, por tanto, un aporte potencial al suelo objeto de estudio. El valor estimado no supera los resultados reportados por Renté *et al.*[8], quienes obtuvieron 3,4 t C·ha^{-1} de biomasa seca total en un suelo Fluvisol Diferenciado.

La mayoría de los resultados reportados según el manejo y uso del suelo corresponden a ecosistemas forestales; por ello, fue necesario estimar la relación biomasa-C-CO_2 a partir del $C_{BIOMASA}$ obtenido. El valor estimado no supera los 24,98 t CO_2·ha^{-1} reportados por Renté *et al.*[8] en un suelo Fluvisol Diferenciado.

A los 200 y 280 días se observó la mayor acumulación de carbono en la biomasa, lo que sugiere una mayor contribución potencial de la biomasa al carbono orgánico del suelo. La fracción del carbono que no se estabiliza en el suelo puede retornar a la atmósfera en forma de CO_2 durante los procesos de descomposición y mineralización.

La capacidad de la leguminosa para capturar o almacenar carbono en la biomasa, así como la relación biomasa-C-CO_2, depende de la producción de biomasa, del

período óptimo de establecimiento del cultivo, de las características del suelo, del clima y de la topografía. También está condicionada por el tiempo de permanencia de la leguminosa y por la interrupción o continuidad del ciclo de vida de la planta.

Las especies presentes en barbecho también pueden contribuir a la captura y acumulación de carbono en el suelo; no obstante, en este estudio su aporte fue menor que el observado en los tratamientos con leguminosas. Este comportamiento coincide con reportes sobre el uso de leguminosas como abonos verdes y cultivos de cobertura, en los que la mayor producción de biomasa se asocia con un mayor ingreso potencial de carbono al suelo.[8,24,28]

Los estudios sobre la adsorción de carbono en suelos con cobertura vegetal, realizados tanto en bosques templados como tropicales, resaltan la pertinencia de extender estas evaluaciones a los ecosistemas agrícolas. Dichos ecosistemas, surgidos de la transformación del territorio para la producción animal y vegetal, exhiben respuestas muy heterogéneas, determinadas por la especie sembrada, la localización geográfica y el sistema de manejo aplicado. Estos parámetros modulan de manera decisiva la intensidad de los efectos observados. [30]

Los valores obtenidos en el presente trabajo pueden ubicarse dentro de los rangos de adsorción de carbono considerados normales para las regiones tropicales, que varían de 3,2 a 10 t C·ha^{-1}·año^{-1}. La ubicación geográfica en el centro del Caribe y la condición insular, asociadas a temperaturas elevadas, pueden favorecer procesos acelerados de transformación de la materia orgánica. El carbono estimado permite valorar el nivel de adsorción asociado al tipo de cobertura y estimar la fracción retenida en el suelo; sin embargo, sus efectos sobre las propiedades, funciones y hábitat del ecosistema edáfico deben interpretarse con cautela, ya que no todas estas variables fueron evaluadas directamente en el estudio.

Efecto del manejo ambiental de *Canavalia ensiformis (L.)* en la materia orgánica del suelo

Los resultados encontrados en el experimento se describen en la figura 1, donde se muestra el comportamiento de la materia orgánica (MO). En la misma, se expresa el efecto de los tratamientos en los contenidos de MO en el suelo objeto de estudio. La MO fue afectada significativamente por la interacción cobertura × tiempo de evaluación ($p \leq 0,05$), indicando que la respuesta de la variable dependió simultáneamente de ambos factores. Debido a la significación de la interacción, se

realizaron comparaciones entre las combinaciones cobertura-tiempo mediante la prueba de Duncan y comparaciones específicas respecto al testigo mediante el ajuste de Dunnett.

Las medias de MO mostraron valores similares entre las coberturas al inicio de la evaluación (0 días), con 1,14 % tanto para el barbecho natural (Cn) como para la cobertura permanente de *Canavalia ensiformis* (CCp). Sin embargo, a los 200 días la cobertura permanente incrementó la MO hasta 1,41 %, superando significativamente al tratamiento testigo. Esta diferencia fue aún más marcada a los 280 días, cuando CCp alcanzó 2,18 %, valor superior en 66,4 % respecto a Cn (1,31 %).

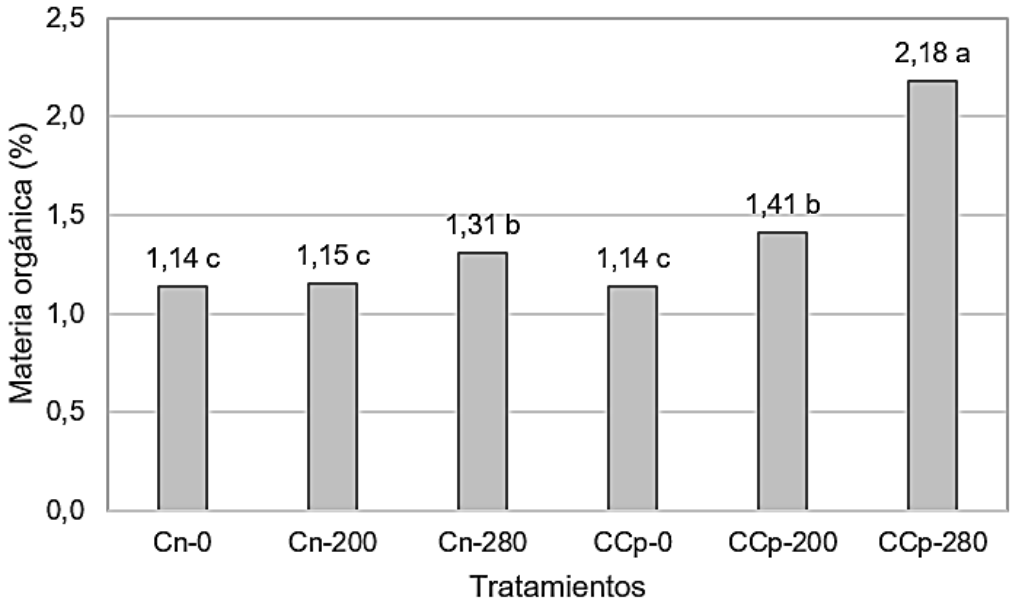


Figura 1. Efecto de los tratamientos en la MO del suelo Fluvisol

Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente (p≤ 0,05) según la prueba de Duncan. ES: error estándar = 0,048* Significativo para p≤ 0,05. **Leyenda:** Cn: Testigo. Cobertura natural y CCp: Cobertura de Canavalia permanente a 0, 200 y 280 días.

La interacción cobertura × tiempo fue significativa (p = 0,0041), por lo que se analizaron las comparaciones simples entre coberturas en cada momento de evaluación. La prueba de Dunnett mostró que la cobertura permanente con *Canavalia ensiformis* no difirió del testigo al inicio del experimento (0 días), pero incrementó significativamente el contenido de materia orgánica en 24,8 % a los 200 días y en 66,4 % a los 280 días respecto al testigo. Estos resultados permiten plantear que la ventaja de CCp no es constante, sino que aumenta a medida que transcurre el tiempo de establecimiento de la cobertura.

Castro Rincón[28] refiere que el carbono orgánico del suelo aumentó 22,0 % con el empleo de *Canavalia ensiformis* en suelos ácidos de los llanos orientales de Colombia (no clasificados en el estudio). Estos valores fueron determinados después de aproximadamente 135 días, estimados a partir de la descripción estacional. Por otra parte, Renté[8] obtuvo incrementos de alrededor de 26,7 % en un suelo Fluvisol Diferenciado a los 120 días. Estos resultados sugieren que el abono verde puede contribuir al restablecimiento del ecosistema edáfico mediante el incremento de la materia orgánica.

Este resultado corrobora el incremento del contenido de carbono y permite inferir una mejora potencial en procesos asociados con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. No obstante, la diversidad de fauna, comunidades microbianas y calidad del hábitat no fueron evaluadas directamente en este trabajo; por tanto, su posible respuesta debe interpretarse como una implicación ecológica sustentada por la función de la materia orgánica en los suelos.[31]

Hoffland *et al.*[31] proponen parámetros para monitorear la influencia del uso presente, pasado y futuro del suelo, con el fin de identificar los atributos que mantienen su salud. La materia orgánica destaca por su papel en la retención de agua y nutrientes minerales; además, favorece el crecimiento de los organismos vivos y funciona como un importante almacén de carbono.

De esta manera, contribuye al mantenimiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo (pH, porosidad, flujo de agua, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y disponibilidad de minerales, entre otras). [32]

Esta leguminosa aumenta la retención de la humedad y disminuye la temperatura del suelo, efectos que han sido recientemente cuantificados en investigaciones sobre abonos verdes y coberturas vegetales. La incorporación de abonos verdes mejora significativamente la capacidad de agua disponible (hasta en un 41–70 %) al incrementar la microporosidad del suelo, lo que brinda una base física directa para la mayor retención hídrica observada bajo cobertura. [33] Se reporta que la cobertura vegetal actúa como un amortiguador térmico, reduciendo las temperaturas máximas en verano y conservando la humedad al disminuir la evaporación, además de promover la infiltración y el almacenamiento profundo durante lluvias intensas. [34] En conjunto, estas evidencias refuerzan el papel de Canavalia no solo como fuente de materia orgánica, sino como un regulador activo del microclima edáfico y de la hidrología superficial.

De ahí, que Etchevers*, et al.* [2] consideren recomendaciones técnicas que deben elaborarse con políticas públicas para la implementación y desarrollo de proyectos que impulsen el desarrollo y uso de tecnologías encaminadas a revertir la degradación de los suelos. Los esfuerzos deben ir encaminados a generar tecnologías o aplicar las ya existentes para revertir las acciones que degradan al suelo.

Conclusiones

El manejo ambiental de *Canavalia ensiformis* como abono verde/cultivo de cobertura alcanzó la mayor producción de biomasa seca a los 280 días (6,0 $t \cdot ha^{-1}$), aunque la biomasa fresca fue ligeramente superior a los 200 días (17,3 $t \cdot ha^{-1}$). El aporte de carbono de la biomasa dependió de la producción de biomasa de la leguminosa, con un carbono acumulado en la biomasa superior al testigo (3,01 frente a 1,10 t $C \cdot ha^{-1}$) y el mayor ingreso potencial de carbono al suelo en el tratamiento de 280 días.

Canavalia ensiformis (L.) incrementó los contenidos de materia orgánica del suelo, hasta 66,4 % respecto al testigo a los 280 días, lo que evidencia su contribución al secuestro de carbono en el suelo. El estudio demuestra el potencial de esta leguminosa para favorecer la restauración del ecosistema edáfico en el corto plazo, aunque la estabilidad de la retención de carbono debe evaluarse en estudios posteriores.

Referencias bibliográficas

1. FAO & ITPS. "*Recarbonizing global soils – A technical manual of recommended management practices. Volume 1 – Introduction and methodology*. " FAO. Rome, Italy, 2021. ISBN 978-92-5-134838-3. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb6386en.
2. ETCHEVERS, J. D., HIDALGO, C. & PAZ-PELLAT, F. "Degradación de suelos y necesidad de políticas públicas". *Elementos para políticas públicas.* 2019, vol 3, núm. 3, p. 267-274. https://www.elementospolipub.org/ojs/index.php/epp/article/view/34
3. BRUST, G. E. Management strategies for organic vegetable fertility. En: BISWAS, D. y MICALLEF, S. A. (eds.). *Safety and practice for organic food*. Cambridge: Academic Press, 2019, p. 193–212. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812060-6.00009-X.
4. SANTÍN-MONTANYÁ, I., AGUADO, P. L., CURT, M. D.*, et al.* "Primeros resultados sobre los efectos de prácticas regenerativas en las propiedades del suelo y las arvenses de un cultivo de almendro". *Revista de Ciências Agrárias.* 2024, vol 47, núm. 1, p. 95-99. https://doi.org/10.19084/rca.34964
5. GÓMEZ-TENORIO, M. Á., MAGDALENO-GONZÁLEZ, J. & TELLO-MARQUINA, J. C. *Evaluación e implementación de técnicas regenerativas para la mejora de la fertilidad en el cultivo del almendro en las provincias de Almería y Granada: 4R "regeneración de suelos degradados"*. Editorial Tecnoagrícola, 2020. 132 p. ISBN 97884-17596-98-9.
6. LUJÁN SOTO, R., CUÉLLAR PADILLA, M. & DE VENTE, J. "Participatory selection of soil quality indicators for monitoring the impacts of regenerative agriculture on ecosystem services". *Ecosystem Services.* 2020, vol 45, p. 101157. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101157
7. PEREZ, E. R., CUEVA, A., ALVARADO, S.*, et al.* Hacia una síntesis de datos de flujos de CO_2 de suelo en México. In J. ZAVALA CRUZ AND A. LÓPEZ CASTAÑEDA eds. *Suelos en espacio y tiempo, Vol 1. Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo.* Estado de Mexico: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, 2023, p. 60-65.
8. RENTÉ, O., PABLOS, P., CORRALES, Y.*, et al.* "*Canavalia ensiformis* (L): en propiedades químicas de un suelo fluvisol diferenciado". *Revista Científica del Amazonas.* 2020, vol 3, núm. 6, p. 65-75. https://doi.org/10.34069/RA/2020.6.05

9. HERNÁNDEZ JIMÉNEZ, A., PÉREZ JIMÉNEZ, J. M., BOSCH INFANTE, D.*, et al. Clasificación de los suelos de Cuba*. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2015. ISBN 978-959-7023-77-7. https://ediciones.inca.edu.cu/files/libros/clasificacionsueloscuba_%202015.pdf.
10. HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A. "Área que ocupan los agrupamientos y tipos genéticos de los suelos en Cuba". *Cultivos Tropicales.* 2021, vol 42, núm. 3, p. e13. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000300013&nrm=iso
11. KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., *et al.* "World map of the Köppen-Geiger climate classification updated". *Meteorologische Zeitschrift*. 2006, vol. 15, núm. 3, p. 259–263. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130.
12. ONEI *Anuario Estadístico de Santiago de Cuba 2022*. edited by OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN. La Habana, Cuba: ONEI, 2023. 33 p. https://www.onei.gob.cu/sites/default/files/publicaciones/2023-12/aep-santiago-de-cuba-2022.pdf.
13. ONEI *Anuario Estadístico de Cuba 2024. Capítulo 2: Medio Ambiente*. edited by OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN. La Habana, Cuba: ONEI, 2024. https://www.onei.gob.cu/sites/default/files/publicaciones/2025-10/02-medio-ambiente_aec2024.pdf.
14. GARCÍA, M., TRETO, E. & ALVAREZ, M. "Época de siembra más adecuada para especies promisorias de abonos verdes en las condiciones de Cuba". *Cultivos Tropicales.* 2002, **23**(1), p. 5-14. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193218105001
15. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA CAÑA DE AZÚCAR. *Manual de procedimientos para los laboratorios de suelos*. La Habana, Cuba: Ministerio de la Industria Azucarera (MINAZ), 1999.
16. PANEQUE L., V. M., CALAÑA, J. M., CALDERÓN VALDÉS, M.*, et al. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*. edited by EDICIONES INCA. 2010. ISBN 978-959-7023-51-7. https://ediciones.inca.edu.cu/files/folletos/folleto_suelos.pdf.
17. WALKLEY, A. & BLACK, I. A. "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method". *Soil Science.* 1934, **37**(1), p. 29-38. http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

18. GOST 26206-91. "*Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by the Oniani method.* Moscow: State Committee of the USSR for Standards ", 1991. https://meganorm.ru/Data2/1/4294828/4294828274.pdf
19. VALERA, V. & CARVAJAL, N. "Valoración económica del secuestro de carbono en un sector del Parque Nacional Waraira Repano (Caracas, Venezuela)". *ANALES de la Universidad Metropolitana.* 2014, **14**(2), p. 241-264. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4994785
20. PARRADO M., C. A., MATEUS CAGUA, D. M., PULIDO CASTRO, S. X. et al. Guía de campo para la estimación de factores de emisión y captura de gases de efecto invernadero (GEI) en agroecosistemas de marañón. En: CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA (AGROSAVIA) (ed.). *Cálculo del stock de carbono en la biomasa y el suelo*. Colombia: AGROSAVIA, 2024, p. 33–45.
21. RÜGNITZ, M. T., CHACÓN, M. L. y PORRO, R. *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/Consorcio Iniciativa Amazónica, 2009. 79 p. ISBN 978-92-9059-254-9.
22. MINAG (Ministerio de la Agricultura). *Sistema de información geográfica y base de datos cartográfica interna de la Dirección Provincial de Suelos y Fertilizantes de Santiago de Cuba* [Conjunto de datos internos]. MINAG, Santiago de Cuba, Cuba. 2020.
23. BUNCH, R. "¿Cómo prohibir las sequías? Aprendiendo de los africanos que ya aprendieron de los latinoamericanos". *Revista de Agroecología LEISA.* 2016, **32**(2), p. 8-11. https://leisa-al.org/web/revista/volumen-32-numero-02/como-prohibir-las-sequias-aprendiendo-de-los-africanos-que-ya-aprendieron-de-los-latinoamericanos/
24. GARCÍA, M., TRETO, E. & ÁLVAREZ, M. "Comportamiento de diferentes especies de plantas para ser utilizadas como abonos verdes en las condiciones de Cuba". *Cultivos Tropicales.* 2001, **22**(4), p. 11-16. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193230162002
25. VELADO, R. A. "Evaluación de cuatro leguminosas como cultivos de cobertura en Zamorano, Honduras ". Trabajo de Grado de Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 2020. https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6837

26. RENTÉ MARTÍ, O., PABLOS REYES, P. & VARGAS BATIS, B. "Efecto de *Canavalia ensiformis* (L.) en propiedades físicas de un suelo Fluvisol diferenciado en Santiago de Cuba". *Cultivos Tropicales.* 2018, **39**(2), p. 59-64. http://www.scielo.sld.cu/pdf/ctr/v39n2/ctr08218.pdf
27. GARCÍA, M., PONCE DE LEÓN, D., ACOSTA, Y. y CRUZ, Y. "Influencia de *Canavalia ensiformis* micorrizada en algunas variables morfológicas y de rendimiento del tabaco negro cultivado al sol". *Cultivos Tropicales*. 2017, **38**(2), p. 22–27. https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1358.
28. CASTRO RINCÓN, E. "Utilización de leguminosas forrajeras como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros y leche en ganaderías doble propósito en el trópico seco ". Tesis de Doctor en Ciencias-Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2016. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55980.
29. ABREU, X. "Evaluación de cuatro leguminosas como barbecho mejorado durante dos épocas del año para ser usadas como cultivos de cobertura". *Venesuelos* 1996, **4**(1 y 2), p. 8-12. https://1library.co/document/yd8m1kjq-evaluaci%C3%B3n-cuatro-leguminosas-barbecho-mejorado-%C3%A9pocas-cultivos-cobertura.html
30. BROWN, S., SATHAYE, J., CANNELL, M.*, et al.* "Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management". *Commonwealth Forestry Review.* 1996, **75**(1), p. 80-91. https://www.jstor.org/stable/42607279.
31. HOFFLAND, E., KUYPER, T. W., COMANS, R. N. J.*, et al.* "Eco-functionality of organic matter in soils". *Plant and Soil.* 2020, vol 455, p. 1-22. https://doi.org/10.1007/s11104-020-04651-9
32. BUSTAMANTE-GONZÁLEZ, C. A., FERRÁS-NEGRÍN, Y., HERNÁNDEZ-FORTE, I.*, et al.* "Beneficios del intercalamiento de canavalia inoculada con hongos micorrízicos y Rhizobium en *Coffea canephora*". *Agronomía Mesoamericana.* 2022, **33**(2), art. 46288. https://doi.org/10.15517/am.v33i2.46288
33. NEGIŞ, H., ŞEKER, C. "Impact of maize straw, compost and green manure on soil physical capacity of a calcareous clay soil". *Soil Use and Management*. 2026, vol. 42, núm. 1, e70164. https://doi.org/10.1111/sum.70164
34. YAN, G., DONG, W., WEI, C., ZHANG, Y., YU, Y., LIANG, H., LI, Z., TANG, H., MO, Y., DENG, Y., HE, T. "Effects of grass manure cover on soil hydrothermal

dynamic in citrus orchard". *Journal of Beijing Forestry University*. 2026, vol. 48, núm. 8, p. 68-79. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20250290

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en el manuscrito presentado.

Contribución de los autores

Osmara Renté-Martí: metodología, conceptualización, administración del proyecto, investigación y redacción (borrador original).

Sabrina Carbonell-Marshall: investigación y redacción (borrador original).

Siannah María Más-Diego: análisis formal, supervisión, validación y redacción (revisión y edición).

Pablo Domingo Pablos-Reyes: supervisión, validación y redacción (revisión y edición).

Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del manuscrito.