

Retención de carbono en un sistema agroforestal perteneciente a la UBPC Alberto Blet Alpajon, Baracoa

Rolando Arteaga Duran¹, Gisel Álvarez Rodríguez¹, Dayliet Gámez Toirac¹, Yaineris Samé

Rosales¹, Rosa María Vera¹

¹Facultad Agroforestal. Universidad de Guantánamo. Facultad Agroforestal. Universidad de Guantánamo. Avenida Che Guevara. Km 1/2. Carretera a Jamaica, *Guantánamo*

Código ORCID

email

<https://orcid.org/0009-0009-6188-0850>

rolandoad@cug.co.cu

<https://orcid.org/0009-0000-3193-6475>

giselar@cug.co.cu

<https://orcid.org/0000-0002-5986-9881>

daylietgt@cug.co.cu

<https://orcid.org/0009-0008-8489-4326>

yainerissr@cug.co.cu

<https://orcid.org/0009-0003-5378-0549>

rosamv@cug.co.cu

RESUMEN

La investigación se realizó entre febrero a noviembre del 2022 en la finca Maguana, perteneciente a la UBPC Roberto Blet Alpajon, ubicada en la localidad de Maguana, municipio Baracoa, con el objetivo de determinar la Influencia del cultivo de coco en la captura y almacenamiento de carbono como servicio ecosistémico. Se caracterizó el estado de la vegetación asociada al sistema agroforestal, se evaluaron las propiedades físico- químicas y se estimaron los niveles de carbono en relación con su aporte ecosistémico para determinar el valor económico del almacenamiento de carbono. Como resultado del inventario sistemático realizado en el SAF cocotero se muestrearon un total de 789 árboles, cuya composición florística está formada por 13 especies identificadas, pertenecientes a 10 familias botánicas. El arreglo intercalado presento más biomasa que el monocultivo. Estadísticamente se determinó que existieron diferencias estadísticas entre los arreglos ($p \leq 0,01$), en el componente arbóreo la raíz acumuló el 14.07% de la biomasa total (19.188 t ha⁻¹) y los componentes leñosos, fuste y ramas- el 85.93%(116.627 ha⁻¹). La biomasa aérea de los árboles fue de 75,025 t ha⁻¹. El análisis mostró un estimado de carbono almacenado por hectárea en los sistemas, valorado aproximadamente en 1849.35 (USD) por año.

Palabras clave: Arreglos agroforestales, Almacenamiento de carbono, Servicio ecosistémico.

ABSTRAC

The research was conducted from February to November 2022 in the Maguana farm, belonging to the UBPC Roberto Blet Alpajon, located in the town of Maguana, Baracoa municipality, with the objective of determining the influence of coconut cultivation on the capture and storage of carbon as an ecosystem service. The state of the vegetation associated with the agroforestry system was characterized, the physical-chemical properties were evaluated and the carbon levels were estimated in relation to its ecosystemic contribution to determine the economic value of carbon storage. As a result of the systematic inventory carried out in the coconut tree FFS, a total of 789 trees were sampled, whose floristic composition is formed by 13 identified species, belonging to 10 botanical families. The intercropping arrangement presented more biomass than the monoculture. Statistically, it was determined that there were statistical differences between the arrangements ($p \leq 0.01$), in the tree component the root accumulated 14.07% of the total biomass (19,188 t ha⁻¹) and the woody components, stem and branches, 85.93% (116,627 ha⁻¹). The aboveground biomass of the trees was 75,025 t/ha⁻¹. The analysis showed an estimated carbon stored per hectare in the systems, valued at approximately 1849.35 (USD) per year.

Key words: Agroforestry arrangements, Carbon storage, Ecosystem service.

INTRODUCCIÓN

Una forma de mitigar los efectos con que el CO₂ atmosférico participa en el cambio climático es a través de la captura del carbono. Las plantas utilizan CO₂ y liberan O₂ durante el proceso de la fotosíntesis; así mismo, almacenan componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono (Feliciano *et al.*, 2018).

Una forma de reducir las emisiones de CO₂ es, secuestrándolo, capturándolo y manteniéndolo el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal, principalmente en el suelo y ello se logra a través de la fotosíntesis, la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Por ello se propone la introducción de árboles para reducir las emisiones de C y por ende mejorar el rendimiento

económico general de un Sistema agroforestal (SAF) a largo plazo, proporcionando ingresos alternativos (Rahman *et al.*, 2016).

Los principales componentes de almacenamiento de Carbono en el uso de la tierra son el Carbono orgánico del suelo (COS) y en la biomasa arriba del suelo (Feliciano *et al.*, 2018). Actualmente el secuestro de carbono es uno de los servicios ecosistémicos de mayor interés en suelos cultivados y no cultivados. Muchos estudios en el Mundo tratan de estimar la capacidad de secuestro de carbono de los suelos según las condiciones climáticas, edáficas y de manejo (Schroth *et al.*, 2009).

Los sistemas agroforestales (SAF) representan importantes sumideros de carbono (C); sin embargo, no han sido considerados en este sentido, debido a la ausencia de información cuantificada sobre su potencial de almacenamiento y la fijación de carbono (Ávila *et al.*, 2001).

Todo lo explicado anteriormente fusionado al hecho de que el cocotero es un cultivo de baja producción de residuos, son aspectos que inciden sobre la captación del carbono, sin embargo, no se han realizado estudios que permitan determinar su magnitud en el municipio, siendo necesario caracterizar los factores más relevantes en el aspecto socio económico y ambiental, para mejorar las potencialidades de los SAF cocoteros y promoverse como una alternativa de manejo sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó entre febrero a noviembre del 2021 en la finca Maguana, perteneciente a la UBPC Roberto Blet Alpajon, ubicada en la localidad de Maguana, municipio Baracoa de la Provincia de Guantánamo, Cuba, situada en la región costera norte de la provincia, a una altura de 40m msnm. La misma posee una extensión total de 48,06 ha, el cultivo principal es el coco (*cocos nucifera*), con dos variedades cobrizo e indio verde, debes dejar claro las características del área de monocultivo y del SAF, edad de cada especie plantada, distancia de plantación, arreglo espacial.

Los datos fueron tomados en un sistema agroforestal cocotero de 20 años de edad, con un marco de plantación de 6x6 y una superficie de 48,06 ha. Levantándose un total de 22 parcelas de 20 x 25 m (500 m²), distribuida por

toda el área, mediante un muestreo simple aleatorio, contabilizando las especies en el estrato arbóreo, con una altura de mayor de 5 m según Álvarez (2006). Para determinar la cantidad de especies en el estado arbóreo, se le determinó el diámetro con una cinta diamétrica y la altura por el método ocular respectivamente.

Propiedades físico-químicas

Según la última clasificación de Hernández et al. (2015), es un suelo pardo Fersialítico Pardo Rojizo Mullido Eútrico con una profundidad efectiva que se evalúa de profundo (63 cm.), un límite superior de plasticidad (LSP) en el primer horizonte que se caracteriza de poco plástico y mediana elevación capilar (EC), con valores de pH en KCl que oscilan desde ligeramente ácido (5,7) en la superficie a ácido (4,5) en profundidad; la capacidad de intercambio catiónico (T) (28,3 a 26,2) y los contenidos de Ca intercambiables (16,5 a 16,8), se comportan altos en todo el perfil. Referidos al porcentaje de T, los cationes Mg, K y Na muestran valores cercanos al mínimo permisible (MINAG, 1987) para la generalidad de los cultivos. Es un suelo con bajos contenidos de materia orgánica en sus horizontes inferiores y valores muy bajos de P₂O₅. Los valores de K₂O van de medios a bajos (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Análisis físico del suelo representativo del área experimental.

Horizonte	Profundidad	Hy (%)	LSP (cm)	EC (mm)
AB	0 – 21	3,5	53,51	168
B	21 – 46	4,3	52,58	168
BC	46 – 63	4,7	56,54	250

Leyenda: Hy= humedad higroscópica; LSP= límite superior de plasticidad y EC= elevación capilar. LSP: muy poco plástico < 50, poco plástico 50-70, plástico 70-90 y muy plástico > 90 EC: muy baja < 50, baja 50-149, mediana 150-249, alta 250-349 y muy alta > 349

La retención de carbono en el SAF cocotero se evaluó por la metodología de Mercadet y Álvarez (2005); Mercadet y Álvarez (2009).

El cálculo del carbono retenido por la biomasa en el sistema agroforestal cocotero se describe a continuación:

- La Biomasa del fuste se estimó multiplicando, el volumen de los fustes de árboles por la densidad básica de la madera entre 1000:

$$\text{BMF (t)} = \text{volumen (m}^3\text{)} \times \text{densidad básica de la especie (kg/m}^3\text{)} / 1000.$$

- La biomasa correspondiente a las ramas y follaje (biomasa aérea), se calculó utilizando el Factor de Expansión de la Biomasa (FEB) cuyo valor es 1,74 (Brown, 1997 y Segura, 2001), quedando:

$$\text{BMA (t)} = \text{BMF (t)} \times \text{FEB (s/u)}.$$

- La biomasa de las raíces (BMR) se estimó multiplicando la biomasa del fuste por el valor por defecto 0,3:

$$\text{BMR (t)} = 0,3 \times \text{BMF (t)}.$$

- La biomasa total (BMT) fue calculada como la suma de sus componentes.

$$\text{BMT (t)} = \text{BMF (t)} + \text{BMA (t)} + \text{BMR (t)}.$$

- El carbono retenido (CR) por las especies se calculó utilizando la fracción de carbono en la madera (FCM) determinada para las condiciones de Cuba por Mercadet *et al.* (2011).

$$\text{CR (t)} = \text{BMT (t)} \times \text{FCM (s/u)}.$$

- El carbono retenido en la biomasa total (CRBT) se calculó utilizando la fracción de contenido de carbono en la madera (FCCM) determinada para las condiciones de Cuba por Mercadet *et al.* (2011):

$$\text{CRBT (t)} = \text{BMT (t)} \times \text{FCCM}$$

Conversión del carbono calculado a carbono equivalente (CO_{2e}):

Para calcular cuánto representó el carbono retenido, en toneladas de CO₂ removido de la atmósfera, se multiplicó por 44/12 (3,67 t CO₂), que es la relación existente entre el peso total de la molécula de CO₂ (44) y del átomo de carbono (12) (Segura, 2001).

Los datos se ubicaron en el programa Microsoft Excel para la confección de las tablas y gráficos y en Microsoft Word para la realización del texto, utilizándose

el paquete estadístico SPSS versión 23, en el procesamiento del análisis de varianza simple, utilizando la dística de comparación de rangos múltiples de Duncan para un grado de probabilidad del error de un 0,05 %.

El valor del secuestro de carbono se estimó de forma directa, a partir de los precios de mercado disponibles por tonelada de carbono (C), para lo que se tomó como referencia el trabajo de Oliveira (1996), citado por Miranda (2007).

Actualmente los derechos de secuestro de carbono se comercializan en el mercado internacional a un precio de US\$0,01 kg C⁻¹ y US\$10 T C⁻¹. Este precio representa la voluntad por un beneficio ambiental y por tanto puede ser aplicado a la cantidad de carbono secuestrado en los SAF.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de Carbono almacenado en los suelos.

Los niveles de Carbono retenido en el suelo de las áreas bajo árboles intercalados fueron superiores a los encontrados bajo monocultivos, lo cual está determinado por el contenido mayor de MO en estas áreas.

La MOS contiene aproximadamente 55-60 por ciento de C en masa. En muchos suelos, este C comprende la mayor parte o la totalidad de las reservas de C - a las que se hace referencia como COS - excepto cuando aparecen formas inorgánicas de C del suelo (FAO, 2015).

Tabla 2. Niveles de Carbono retenido (t ha⁻¹) en tres profundidades diferentes de cada perfil de suelo estudiado

Perfil	Áreas	Profundidad (cm)	Carbono retenido(t/ha ⁻¹)
I	Monocultivo	0-21	32,83
		21-46	46,12
		46-63	57,75
II	Intercalado	0-21	41,91
		21-46	52,05
		46-63	64,03

La proporción de COS lábil en relación al COS total, más que la reserva total de COS propiamente dicha, influye en el secuestro de COS y en la salud del suelo (Blair et al., 1995). Se ha demostrado que la fracción lábil de carbono es

un indicador de las propiedades químicas y físicas fundamentales del suelo. Por ejemplo, se demostró que esta fracción era el factor principal en el control de la descomposición de agregados en ferralsoles (arcillas rojas inquebrantable), obtenida a partir del porcentaje de agregados que miden menos de 0,125 mm en la corteza superficial después de la lluvia simulada en el laboratorio (Bell et al., 1998, 1999).

En relación a la acumulación de carbono edáfico sobresale el área de especies intercaladas Ibrahim *et al.* (2005) plantearon que el potencial de retención de Carbono de los sistemas agroforestales puede variar entre 20 y 204 t ha⁻¹, estando la mayoría de este Carbono almacenado en el suelo.

La fracción resistente o estable del carbono orgánico del suelo contribuye principalmente a la capacidad de retención de nutrientes del suelo (capacidad de intercambio catiónico). Además, debido a que esta fracción de carbono orgánico se descompone muy lentamente, es especialmente interesante en términos de secuestro de COS a largo plazo.

En general, el ciclo del carbono y el secuestro de carbono son más activos en los horizontes superficiales del suelo, mientras que el carbono estabilizado con tiempos de rotación más largos constituye una mayor proporción del COS total encontrado en los horizontes profundos del suelo. Beare *et al.*, (2014) estimaron que, a mayor profundidad, los suelos tienen una mayor capacidad de almacenar C adicional en comparación con las capas superiores, debido a una mayor diferencia entre el contenido de COS existente y el valor de saturación de COS.

Biomasa vegetal total del sistema agroforestal

La biomasa aérea retenida en el estrato superior de los SAF mostró un incremento conforme aumentó su edad, aportaron mayor biomasa al igual que las plantas de cocotero. Las biomásas aéreas totales de los arreglos forestales (monocultivo y coco intercalado con frutales) tuvieron valores de 88,36 y 135,82 t ha⁻¹ de C respectivamente; debido a que las especies forestales al desarrollarse con el tiempo, son más vigorosas y por lo tanto producen mayor acumulación de biomasa. Es necesario considerar que las tasas de almacenamiento de carbono dependen de la edad y densidad de plantas,

fertilidad, tipo de suelo y características del sitio (factores climáticos) y el manejo silvicultural al que se vea sometido el SAF (Vega *et al.*, 2014).

En el componente arbóreo, la raíz a pesar de representar un carbono de mayor permanencia, ha sido poco estudiada porque se le atribuye un alto grado de dificultad, a pesar de representar entre el 10 y 40% de la biomasa total, en este estudio la raíz acumula el 18% de la biomasa del árbol. Cuantificar la biomasa radical es un esfuerzo que debe reconocerse en este estudio por la poca disponibilidad de información existente para la diversidad de especies.

El arreglo intercalado presenta más biomasa que el monocultivo, reafirmando que los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan valores más altos de acumulación de carbono. Estadísticamente se determinó que existieron diferencias estadísticas entre los arreglos ($p \leq 0,01$), debido a que el arreglo intercalado, los componentes arbóreos son más vigorosos y contenían mayor biomasa.

En el componente arbóreo la raíz acumuló el 14.07% de la biomasa total (19.188 t ha⁻¹) y los componentes leñosos, fuste y ramas- el 85.93%(116.627 ha⁻¹), similar a lo citado por Anguiano, Aguirre y Palma, (2013) quienes reportan cifras entre 85 y 98% incluyendo las hojas. La biomasa aérea de los árboles fue de 75,025 t ha⁻¹.

Tabla 3. Biomasa vegetal total del sistema agroforestal (media $\pm$ error estándar)

SAF Cocotero	Componentes del sistema			
	Biomasa fuste	Biomasa aérea	Biomasa raíces	Biomasa total
Intercalado	41,602	75,025	19,188	135,82 $\pm$ 9,42 ^a
Monocultivo	27,12	44.551	16,685	88,36 $\pm$ 6,74 ^b
%CV				24,18
P-Valor				<0.0001

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Duncan.

La Biomasa total es influenciada por el cocotero, especies forestales y estratos inferiores existentes, los mismos que generan hojas y ramas o mulch, que se descomponen generando altos valores de biomasa para el componente de hojarasca, para el componente herbáceo fue menor ya que el crecimiento de éste está directamente relacionada con el ingreso de la radiación solar que determina la capacidad fotosintética, y si es mínimo entonces es menor la formación de la biomasa herbácea (Córdoba y Hernández, 2009).

La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal. De esto se desprende que los sistemas agroforestales y forestales se conviertan en una alternativa como sumideros de CO₂ atmosférico.

Carbono almacenado en el SAF

Los resultados encontrados en el presente trabajo sugieren un importante panorama para la investigación y desarrollo de sistemas agroforestales y servicios ambientales en zonas costeras.

Es conocido que el Carbono en los sistemas forestales y agroforestales se acumula en cuatro componentes: biomasa arriba del suelo, hojarasca, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo; sin embargo, el almacén de carbono con mayor permanencia se da en la biomasa leñosa.

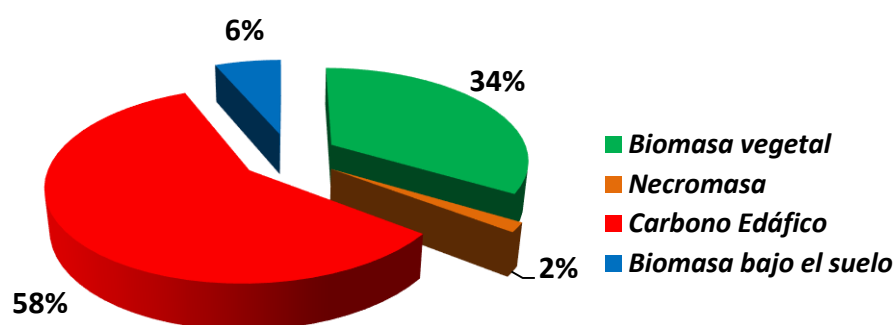


Figura 1. Carbono almacenado en el SAF cocotero

En el presente estudio, el componente arbóreo (Biomasa vegetal) en los diferentes tratamientos estudiados aportó el 34% del Carbono fijado en el sistema agroforestal cocotero. Las especies vegetales, como un medio

importante para captar y almacenar el carbono, ha sido reconocida ampliamente en la producción agrícola y forestal y fue aprobada como una estrategia importante de mitigación del cambio climático (Nair *et al* 2009).

Del análisis de retención de Carbono por la totalidad de plantas de todas las especies arbóreas presentes en el área de estudio, se encontró que el mayor secuestro de Carbono se presenta el Mango (M indica), la Palma Real(R regia) y el Coco (C nucifera), fueron las que mayor cantidad de Carbono por planta retenido presentaron; muy influenciado por la mayor longevidad de sus individuos, lo cual condicionó superior altura y perímetro de los mismos.

Los resultados encontrados en el almacenamiento de carbono a nivel del suelo, mostrados, indican que sí es importante mantener un número de árboles en asociación con el coco, que detallan que las características biológicas de la especie arbórea utilizada influyen en el ciclo del carbono, por lo que los resultados encontrados son atribuidos principalmente al manejo de los SAF-cocotero.

Lapeyre, Alegre y Arévalo (2004) concuerdan con las diferencias encontradas en el carbono capturado por la necromasa , ya que estos señalan que el secuestro de carbono de necromasa, es influenciado por las especies presentes en el sistema, encontraron que entre mayor sea la acumulación de biomasa por parte de la necromasa, mayor será también el almacenamiento de carbono a este nivel, este dato concuerda con los resultados obtenidos en el estudio realizado donde se encontró 4.64 t ha⁻¹ de carbono en la necromasa siendo las especies C nucifera y R regia las que mayor biomasa aportaron en el área.

Valoración económica

El pago por servicios ambientales (PSA) considera que los usuarios de estos servicios paguen a los poseedores de los recursos forestales para que adopten prácticas de manejo, que eleven o, al menos, mantengan las áreas verdes, y compensar el costo de oportunidad que se tendría con alguna otra actividad que ponga en riesgo al ecosistema.

El análisis mostró un estimado de carbono almacenado por hectárea en los sistemas, valorado aproximadamente en 1849.35 (USD) por año. De este

monto, el 53.38% fue aportado por el sistema intercalado, con lo que supera al sistema de monocultivo.

Estos valores económicos, desde la perspectiva ambiental, junto con los ingresos correspondientes a la comercialización del producto final (coco seco), representan una valorización del SAF.

Tabla 4. Valoración económica del carbono almacenado en el SAF

SAF	Almacenamiento de Carbono	Valor de CO²/t (USD)	Valor de mercado del CO² secuestrado
Monocultivo	86.204	10	862.04
Intercalado	98.731	10	987.31
Total	184.935	10	1849.35

** Este valor es fluctuante, pues depende de los mecanismos de mercado oferta y demanda. Se asume el más usado en la literatura del tema como precio de mercado internacional para proyectos MDL.*

Ello permite medir y comparar los diferentes beneficios que generan los ecosistemas; puede servir de instrumento para demostrar la importancia del manejo y la gestión de los recursos naturales; y además pone de manifiesto la eficiencia económica de su uso sostenible, al integrar, en su análisis, beneficios superiores a los que son percibidos en términos monetarios. Por otro lado, existe un gran potencial para manejar y recuperar áreas degradadas por el mal manejo empleado.

En ambos casos, el pago de servicios ambientales por fijación y almacenamiento de carbono representa una alternativa para dar valor agregado a la producción, lo que podría tener una gran importancia para los productores (Ávila et al., 2001).

Los resultados de este estudio permiten concluir que los sistemas agroforestales se muestran como una adecuada alternativa para el desarrollo sostenible en el sector agroforestal.

Es importante tomar en consideración el valor económico como elemento fundamental para lograr una utilización sostenible del ecosistema y, aunque la valoración económica no constituye el instrumento que se debe tener presente para todas las decisiones, representa uno de los aspectos que intervienen en el proceso decisorio, junto con otras importantes consideraciones políticas, sociales y culturales.

En este sentido, los SAF representan una estrategia para la generación de servicios ambientales; entre ellos, el secuestro de carbono. Los SAF contribuyen a la generación de servicios ambientales; sobre todo, aquellos que incluyen obras y tecnologías para la conservación de suelos y captación de agua.

Lo anterior se traduce en una mayor productividad en los componentes, tanto de la palma de coco, como de los cultivos asociados y, en consecuencia, en una mayor rentabilidad del sistema. Para la diversificación biológica de las plantaciones de cocotero o mejoramiento de las prácticas agroforestales, se debe hacer una selección cuidadosa de especies de alto valor, tomando en consideración las condiciones biofísicas y socioeconómicas, y la disponibilidad de mercado de las regiones donde se desarrollan los sistemas de plantación. Para esto, es necesario que se investiguen las características y los usos de las especies nativas, ya que éstas podrían jugar un papel importante en la productividad y rentabilidad de los sistemas, para los cuales existe una gran variedad de cultivos potenciales que pueden incorporarse con un arreglo topológico adecuado.

Conclusiones

El SAF represento una estrategia para la generación de servicios ambientales para la mitigación del cambio climático; entre ellos, el secuestro de carbono, el incremento de la biodiversidad, mayor captura de agua y disminución de la erosión de los suelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGUIANO, J. M., J. AGUIRRE Y J. M. PALMA. (2013). «Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de Cocos nucifera, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum*

purpureaum. Cuba CT-115». En: 7.1,149-160.
Online:<https://bit.ly/2SzC71K>.

ÁLVAREZ, P. A. Y VARONA, J. C. (2006). Silvicultura, Tercera Edición. Editorial Félix Varela, La Habana, 354 p.

ÁVILA, GABRIELA; JIMÉNEZ, F.; BEER, J.; GÓMEZ, M. & IBRAHIM, M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 8 (30):32

BEARE, M. H., MCNEILL, S. J., CURTIN, D., PARFITT, R. L., JONES, H. S., DODD, M. B. & SHARP, J. (2014). Estimating the organic carbon stabilization capacity and saturation deficit of soils: a New Zealand case study. *Biochemistry*, 120: 71-87.

BELL, M. J., MOODY, P. W, CONNOLLY, R.D. & BRIDGE, B. J. (1998.) The role of active fractions of soil organic matter in physical and chemical fertility of Ferrosols. *Australian Journal of Soil Research*, 36: 809–819.

BELL, M. J., MOODY, P. W., YO, S. A. & CONNOLLY, R. D. (1999). Using active fractions of soil organic matter as indicators of the sustainability of Ferrosol farming systems. *Australian Journal of Soil Research*, 37: 279–287

BLAIR, G., LEFROY, R. & LISLE, L. (1995). Soil carbon fractions base don't heir degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Soil Research*, 46: 1459–1466.

CÓRDOBA, S.; HERNÁNDEZ, L. (2009). Efecto de la sombra sobre el crecimiento herbáceo. México. 28 pp.

FELICIANO, D.; LEDO, A.; HILLIER, J.; NAYAK, D.R(2018). Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 254: 117–129.

Hernández, A.J, Pérez, J.M.; Bosch, D.I. y Castro, N.S. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas,

- Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.
- IBRAHIM, M., CHACÓN, M., MORA, J., ZAMORA, S., GOBBI, J., LLANDERAL, T., HARVEY, A., MURGUEITIO, E., CASASOLA, F., VILLANUEVA, C., RAMÍREZ, E. (2005). Opportunities for carbons equestration and conservation of water resource son landscapes
- LAPEYRE, T., ALEGRE, J. Y ARÉVALO, L. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 3 (1,2), 35 - 44. Recuperado de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid = S1726](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726).
- MERCADET, ALICIA & ÁLVAREZ, J. (2005). Informe final de proyecto “Cambio climático y el sector forestal cubano: segunda aproximación”. Instituto Forestal Nacional. La Habana, Cuba. 50 p. (Mimeo)
- MERCADET, P. A. Y ÁLVAREZ, B. A. (2009). Metodología para establecer la línea base de retención de carbono en las Empresas Forestales Integrales de Cuba. EN: Efecto de los cambios globales sobre el ciclo del carbono. Publicado por: RED CYTED 406RT0285 “Efecto cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica”, , pp. 107-118. ISBN: 978-987-96413-7-8.
- MERCADET, P. A.; ÁLVAREZ, B. A.; ESCARRÉ, A. Y ORTÍZ, O. (2011). Coeficientes de carbono y nitrógeno en la madera y corteza de especies forestales arbóreas cubanas. [en línea]. Disponible en: http://bva.fao.cu/pub_doc/Reposit/cuf0337s.pdf [Consulta: 30 de abril 2022].
- MINAG (Ministerio de la Agricultura). (1987). Manual de interpretación de los índices físicos químicos y morfológicos de los suelos cubanos. Editorial Científico-Técnica, Ciudad de la Habana, Cuba. 136 p.
- MIRANDA,T, R. MACHADO. (2007). Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica. Estudio de caso
- NAIR, P.; NAIR, V.D.; KUMAR, B.M.; HAILE, S.G. (2009).Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal.

- OLIVEIRA, K.R. (1996). Valoración económica de bienes y servicios ambientales en sistemas agrícolas en San Miguel, Petén, Guatemala. Tesis en opción al título de Maestro en Ciencias. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 137 p.
- RAHMAN, S. A.; SUNDERLAND, T.; KSHATRIYA, M.; ROSHETKO, J. M.; PAGELLA, T.; HEALEY, J. R. (2016). Towards productive landscapes: Trade-offs in tree-cover and in comea cross a matrix of small holder agricultural land-use systems. Land Use Policy 58: 152–164.
- SCHROTH, G; LADERACH, P; DEMPEWOLF, J; PHILPOTT, S; HAGGAR, J; EAKIN, H; CASTILLEJOS, T; GARCIA MORENO, J; SOTO PINTO, L; HERNANDEZ, R; EITZINGER, A; RAMIREZ-VILLEGAS, J. (2009). Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. Mitigation and Adaptation Strategiesfor Global Change 14:605-625.
- SEGURA, M. (2001). Estimación de Carbono en Ecosistemas Tropicales: Los aportes de modelos de biomasa. En: Curso Internacional “Proyecto de Cambio Climático en los Sectores Forestal y Energético: Oportunidades de Desarrollo para Países Latinoamericanos”. CATIE-PNUD, C. Rica.
- VEGA, G.; ORDOÑEZ, C.M.; SUAREZ, J.C.; LÓPEZ, C.F. (2014). Almacenamiento de carbono en arreglos agro-forestales asociados con café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental 5(1): 213-221.