



CONTENIDO DE CARBONO POR TIPO DE SUELO EN FORMACIONES FORESTALES

CARBON CONTENT BY SOIL TYPE IN FOREST FORMATIONS

YOLANIS RODRÍGUEZ-GIL^{1*}, ARSENIO RENDA-SAYOUX¹, ALICIA MERCADET-PORTILLO¹,
YUNIOR ÁLVAREZ-GÓNGORA², GARDENIS MERLÁN-MESA³, LILIANA CABALLERO-LANDÍN³,
ANDRÉS HERNÁNDEZ-RIQUENE³, IRIS ENRÍQUEZ-GONZÁLEZ

¹Unidad de Ciencia y Técnica de Base Investigaciones e Innovación Tecnológica, La Habana, Cuba

²Unidad de Ciencia y Técnica de Base Guisa, Granma, Cuba

³Unidad de Ciencia y Técnica de Base Placetas, Villa Clara, Cuba

*Autor para correspondencia: yoli@forestales.co.cu

RESUMEN

El suelo juega un papel crucial como sumidero de carbono en la mitigación del cambio climático. Almacena aproximadamente el doble de carbono que la atmósfera y la vegetación combinadas, lo que lo convierte en uno de los mayores reservorios naturales de este gas. En Cuba se han realizado varios estudios en diferentes tipos de suelo, regiones y vegetación, para determinar un coeficiente de carbono nacional en los suelos forestales. El trabajo consistió en determinar la fracción de carbono por tipos de suelos ocupados por diferentes formaciones naturales. Se estudiaron cuatro formaciones naturales, se utilizaron los resultados de estudios realizados en el período 1981 al 1988; 2014 al 2016 y 2017 al 2018 por el Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Se muestreó a la profundidad de 30 cm y el método de análisis de laboratorio empleado para la determinación del contenido de materia orgánica fue el de Walkley and Black. Como resultado se obtuvo que el Tipo de suelo Ferralítico Amarillento Lixiviado retiene la mayor concentración de carbono con 147, 2 t/ha en la formación monte nublado, seguido de los Ferralíticos Rojos Lixiviados con pinares con 128,13 t/ha en la región oriental.

Palabras clave: formaciones naturales, coeficientes, materia orgánica

ABSTRACT

Soil plays a crucial role as a carbon sink in mitigating climate change. It stores approximately twice as much carbon as the atmosphere and vegetation combined, making it one of the largest natural reservoirs of this gas. To determine a national carbon coefficient in Cuban forest soils, several studies have been conducted in different types of soil, regions and vegetation. The work consists in determining the fraction of carbon by types of soils occupied by different natural formations. Four natural formations were studied, using the results of studies carried out in the period 1981 to 1988; 2014 to 2016 and 2017 to 2018 by the Agro-Forestry Research Institute. Sampling was at 30 cm depth and the laboratory analysis method used for the determination of organic matter content was that of Walkley and Black. As a result, the Ferralítico Yellowish Leached Soil Type retains higher carbon concentration with 147, 2 t/ha in the cloud mountain formation, followed by the Ferralíticos Rojos Lixiviados with 128,13 t/ha pine forests in the eastern region.

Keywords: natural formations, forest soils, coefficients, organic matter

INTRODUCCIÓN

El suelo es un componente esencial del sistema climático del planeta y es el segundo sumidero de carbono más grande en la naturaleza, lo que lo convierte en un importante almacén de este elemento. Aproximadamente dos tercios del carbono en los ecosistemas terrestres están fijados en el

suelo, con un valor estimado de 1.500 Pg C (petagramos de carbono) (Caviglia-Harris et al., 2016).

A través de procesos como la fotosíntesis y la descomposición de materia orgánica, el carbono es capturado y almacenado en el suelo, contribuyendo a reducir las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera.

Recibido: 20/1/2023

Aceptado: 14/2/2023

Conflictos de interés: Los autores declaran que no existe conflictos de interés.



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/>



La proporción de dicho carbono que llega al suelo puede estabilizarse por periodos tan prolongados que alcanzan miles de años (Johnson, 1992; Schlesinger, 1990). La cantidad de carbono acumulado en suelo y vegetación varía entre ecosistemas y tipos de bosques. En el trópico, la materia orgánica se descompone rápidamente; el carbono se distribuye equitativamente entre el suelo y la vegetación (Pardos, 2010; Burbano, 2018). Las concentraciones de carbono en el suelo, estimadas a partir de inventarios florísticos del bosque, oscilaron entre 2 782 y 13 241 MtC (megatoneladas de carbono), valores considerados los más altos a nivel global (Gibbs et al., 2007).

La estimación de la concentración de carbono en el suelo mediante inventarios florísticos destaca la importancia de realizar estudios por formaciones naturales, ya que cada formación varía en la distribución de los nutrientes del suelo y la disponibilidad de agua. Estos factores condicionan las adaptaciones vegetales y favorecen el crecimiento de comunidades típicas, influyendo en su composición florística (Iverson et al., 1993).

La importancia de estudiar las concentraciones de carbono en suelos forestales también se refleja en el patrimonio forestal cubano, cuya superficie supera el 31 % del área total del archipiélago (FAO, 2020). El patrimonio forestal cubano está representado por 16 formaciones naturales reconocidas por la (DFFFS, 2017), las cuales están distribuidas a lo largo del país en áreas llanas y montañosas, siendo estas últimas la principal reserva forestal en cuanto a formaciones boscosas (Rubio Pereira, 1986). El objetivo del presente trabajo es determinar la fracción de carbono por tipos de suelos ocupados por diferentes formaciones naturales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar un coeficiente de carbono por tipo de suelo en formaciones forestales a nivel nacional y sustituir los valores informados por el IPCC en las formaciones naturales, se utilizaron los resultados de estudios de suelo realizados entre 1980 y 1999, y entre 2017 y 2018 en el INAF. (Calzadilla et al., 1988; Renda, s. f.; Renda et al., 1980b, 1980a, 1981c, 1981a, 1981b, 1999, 2011; Rodríguez et al., 2020; Ruiz J. & Hernández, 1988). Las muestras de suelo se tomaron en 17 sitios de siete municipios y seis provincias (Figura 1) con la siguiente distribución:

- De la región oriental (15) en cuatro provincias: Granma, municipios Guisa y Bartolomé Masó; Santiago de Cuba (áreas del propio municipio); Guantánamo en el municipio Baracoa; Holguín, municipio Sagua de Tánamo.
- De la región central (1) en la provincia: Villa Clara, en el municipio Manicaragua.

- De la región occidental (1) en la provincia: Pinar del Río municipio, La Palma.

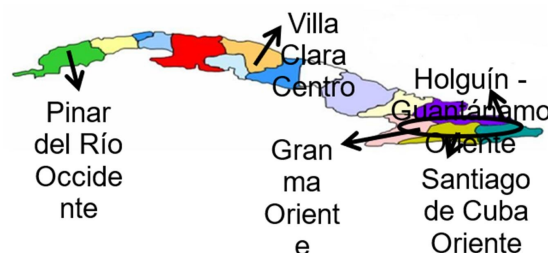


Figura 1. Ubicación y región de las provincias estudiadas.

De las 16 formaciones naturales reconocidas por la Dirección Forestal, Flora y Fauna Silvestres DFFFS (2017), se estudiaron cinco. En estos estudios no se identificaron las especies representativas de dichas formaciones vegetales; para tener una idea de las especies presentes, se hace referencia a las descritas por Acevedo-Rodríguez & Strong, 2012; Bisse, 1988; Renda et al., 1980b (Anexo 1).

Las características climáticas están determinadas por la altitud, catalogándose como tropical húmedo en la vertiente norte y tropical subhúmedo en la vertiente sur (Anexo 2). Los valores de temperatura y precipitación media anual de los sitios estudiados o sus cercanías también se presentan.

Para el estudio en los diferentes periodos (Tabla 1), se tuvo en cuenta la clasificación de suelo del Instituto de Investigaciones de Suelos IIS (1979). Estos suelos se compararon utilizando los índices de diagnóstico con la nueva clasificación a nivel de tipo (Hernández et al., 2015).

La topografía presente en cada área de estudio es fundamentalmente montañosa, solo es semi-llana en la parte central de la provincia Villa Clara. La composición mecánica está representada con un predominio de la fracción arcilla sobre el limo y la arena.

El contenido de carbono se determinó a partir del nivel de materia orgánica (%) existente hasta la profundidad 30 cm, posteriormente se calculó mediante:

$$C = M.O\% * 0.58$$

Donde:

C: contenido de carbono en la materia orgánica

M. O: por ciento de materia orgánica determinado en laboratorio.

0.58: factor constante, significa que la materia orgánica contiene 58% de carbono en masa

Al valor obtenido se le aplica la conversión de unidades a toneladas.

Para determinar cuánto carbono existe en una t/ha, el cociente (contenido de carbono en la materia orgánica) se multiplica por el valor de la densidad aparente (peso

Tabla 1. Correlación aproximada de la clasificación de los suelos en diferentes áreas de estudios.

Agrupamiento	Tipo de suelos estudiados	
	Clasificación de suelo (IIS, 1979)	Clasificación de suelo (Hernández et al., 2015)
Ferralíticos (FRR)	Ferralíticos Rojos Amarillentos (FRA)	Ferralíticos Rojos Lixiviados húmico, hidratado y gléyico FRRL (hhg) Ferralíticos Rojos Lixiviados húmico desaturado FRRL (hds)
	Ferralíticos Amarillentos (FA)	Ferralíticos húmicos desaturado FRAL (hds)
Ferríticos (FRO)	Ferríticos Purpuras (FP)	Ferrítico Rojo Oscuro erogénico FRO (e)
Pardo Sialítico (P)	Pardo con Carbonatos (PcC)	Pardo mullido y húmico carbonatado P (mhC) Pardo erogénico, carbonatado P (eC)
	Pardo sin Carbonatos (PsC)	Pardo erogénico, sin carbonatos P (esC)
	Pardos Grisáceo (PG)	Pardos Grisáceos erogénico PG (e)
Fersialítico Pardo Rojizo (FrsPR)	Fersialítico Pardo Rojizo (FPR)	Fersialítico Pardo Rojizo Mullido FrsPR
	Fersialíticos Rojo Amarillento Ferromagnesial (FRAF)	Fersialítico rojo mullido y húmico FrsPR Fersialítico rojo erogénico FrsPR

Nota: las siglas utilizadas en primera y tercera columnas son los utilizados en la clasificación del 2015, mientras que la segunda columna es propia del autor.

volumétrico), según la composición mecánica del suelo a la profundidad establecida en una hectárea de terreno. Un método similar fue utilizado por (Ibrahim et al., 2013).

El método de análisis de laboratorio utilizado para la determinación del contenido de materia orgánica fue el de Walkley & Black (1934). La densidad aparente se determinó directamente en los perfiles del suelo, utilizando anillos o cilindros volumétricos, mientras que la composición mecánica se evaluó mediante el método de pipeta semiautomática. Esta misma metodología se aplicó en los estudios de suelos realizados entre 1980 y 1999, y nuevamente entre 2017 y 2018. Para corroborar los resultados obtenidos con el método anterior, se aplicó además el método de Gardi et al. (2013), que es utilizado para calcular el contenido de carbono orgánico en el suelo.

$$COS = C * DA * T * 100$$

Donde:

C: es el contenido de carbono orgánico para un tipo de suelo específico (en % de peso seco), que se determina por análisis de laboratorio;

DA: es la densidad aparente del suelo (g/cm³), un factor crucial que describe el peso de una muestra de suelo inalterado - los suelos pueden tener densidades que oscilan entre el 0,1 en las turbas ligeras y el 1,8 en los suelos minerales muy densos y compactos. La materia orgánica es más ligera que la materia mineral, por lo que, si aumenta el contenido de materia orgánica en un suelo, la densidad disminuirá de forma correspondiente;

T: es el espesor de la capa del suelo expresado en términos de metros de profundidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para un mejor entendimiento de estos resultados, es necesario destacar que todos estos estudios están influenciados por la cantidad de sitios muestreados en cada formación. Una vez analizados los resultados (Tabla 2) de los sitios muestreados en diferentes momentos, podemos afirmar que el Tipo de suelo FRAL retiene la mayor concentración de carbono, con 147,2 t/ha en la formación de monte nublado, seguido por los suelos FRRL en pinares con 128,13 t/ha, el suelo PcC en la pluvilsilva con 100,11 t/ha, y el PG en pinares con 99,8 t/ha en la zona oriental.

Esta acumulación de carbono en el suelo ha sido favorecida principalmente por la alta concentración de materia orgánica y otros factores característicos de la ley de distribución vertical de los suelos, como la distribución de las precipitaciones, el comportamiento de las temperaturas y la variación altitudinal en la que se encuentran estas formaciones. Los suelos del Tipo FRAL y FRRL ubicados en la Sierra Maestra están situados a una altura que oscila entre 620 y 1.685 m snm, lo cual ha sido corroborado por Bisse (1988), quien plantea que las pluvilsilvas de montaña y los montes nublados se encuentran a más de 600 y 1.000 m snm, respectivamente. En el caso del suelo PcC, según Ruiz J. & Hernández (1988), este se encuentra en parches del macizo Nipe-Sagua-Baracoa a una altura de 320 m snm. Por su parte, la existencia de los pinares está principalmente relacionada con factores edáficos, tal como señaló Bisse (1988).

Tabla 2. Tipo de suelo y formaciones naturales.

Formación Natural	Tipo de suelo	Región	Carbono t/ha
Pn	FRRL	Oriente	128.13
	PsC	Oriente	67.47
	PG	Oriente	99.8
		Centro	64.8
	FRO	Occidente	25.99
Nb	FRAL	Oriente	147.2
Pvs-M	FRRL	Oriente	73.17
Psv	FRRL	Oriente	80.31
	PcC	Oriente	100.11
Sdc (Áreas Naturales)	FrsPR	Oriente	31.94
		Centro	31.58
		Occidente	88.34
	PcC	Oriente	79.76
		Centro	15.37
	PsC	Oriente	52.27
		Occidente	50.25

Cabe destacar que el monte nublado se caracteriza por la incidencia de neblinas y lluvias horizontales, según Samek (1967) factores que contribuyen a una mayor formación y acumulación de materia orgánica. Esta idea fue corroborada por Reyes (2011), quien señala que las especies presentes en esta formación desarrollan una estera radical bien definida, acompañada de una matriz de humus.

Lo expuesto anteriormente indica que, en condiciones ambientales propicias y con mayor biodiversidad, se favorece la formación de materia orgánica y, a su vez, aumenta la presencia de carbono en el suelo. En un tipo de suelo determinado, el FRAL cubierto con latifolias presenta una mayor concentración de carbono en comparación con el FRRL cubierto con pinas. Además, los suelos PcC (latifolias) y PG (pinas) presentan valores muy similares. Para obtener un criterio más certero, sería conveniente realizar un mayor número de muestreos, ya que en el FRRL se estudiaron cuatro sitios y en los restantes, solo uno o dos. También es importante considerar que el proceso de descomposición de la hojarasca varía entre las latifolias y los pinas, lo que también influye en la retención de carbono en el suelo.

El carbono almacenado se atribuye al contenido de materia orgánica en los suelos FRAL (7,05 %), FRRL (6,28 %), PcC (4,79 %) y PG (4,78 %). Según Gardi et al. (2013), al aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo, la densidad aparente disminuye proporcionalmente. Además, la diversidad de especies en una formación natural contribuye a la acumulación de hojarasca, lo que favorece la retención de carbono en el suelo. Este proceso está influido tanto por las condiciones ambientales locales como por los factores físicos, químicos y biológicos que facilitan la rápida descomposición del material orgánico depositado.

Pardos (2010) y Burbano Orjuela (2018) plantean argumentos similares: la proporción de carbono acumulado en el suelo y la vegetación varía entre ecosistemas y tipos de bosques. Además, comentan que en los trópicos, la materia orgánica se descompone de manera acelerada, y que el contenido de materia orgánica no incluye el carbono de la hojarasca y el mantillo, ya que estos deben descomponerse antes de considerarse carbono en el suelo.

Por otra parte, Martel & Cairampoma (2012) destacan la importancia de estudiar las formaciones vegetales, ya que cada formación varía en la distribución de nutrientes en el suelo y en la disponibilidad de agua. Los factores ambientales que condicionan las adaptaciones vegetales favorecen el crecimiento de comunidades típicas y, por tanto, influyen en la composición florística.

En el caso de la formación de pinas (Figura 3), se muestran los pinas de tres regiones del país con diferentes tipos de suelo. Los valores en la zona oriental oscilan entre 67,47 t/ha y 128 t/ha en los suelos FRRL, PsC y PG. En el centro, los resultados son cercanos al mínimo de la región oriental, con 64,8 t/ha y menor retención en los suelos FRO, con 25,99 t/ha. Para alcanzar estas concentraciones de carbono en el suelo, es necesaria una mayor acumulación de materia orgánica a partir de la capa de hojarasca, así como condiciones de alta temperatura y mayor frecuencia de precipitaciones, lo que acelera el proceso de descomposición de la materia orgánica (Figura 2).

La hojarasca de esta formación tiene un alto contenido de ligninas, lo que ralentiza su descomposición. Además, las características químicas de los suelos también influyen, ya que estas especies crecen en suelos ácidos. Según Samek (1967), los suelos FRRL presentaron un pH en H₂O de 4,82 y en KCl de 3,80, mientras que en los suelos PsC y PG,

el pH en H₂O fue de 5,6 y 5,0, respectivamente, y en KCl de 4,2 y 4,3. Esta diferencia está dada por el contenido de bases cambiables, que es mayor en los suelos pardos, según [Olivera \(2012\)](#).

En el caso del suelo FRO, solo se obtuvieron valores de 25,99 t/ha en el sitio muestreado. [Rodríguez et al. \(2013\)](#), comentó que este tipo de suelo ha sufrido procesos erosivos intensos. Por parte de [Hernández \(2008\)](#), explicó que en la meseta de Cajalbana (Pinar del Río), el proceso de ferritización ocurre a partir de la roca ultrabásica (serpentinita), bajo condiciones muy intensas de intemperismo, lo que provocó la destrucción de minerales primarios y el lavado de bases, con una fuerte acumulación de óxidos e hidróxidos de hierro. Además, la fertilidad de estos suelos está estrechamente relacionada con su capacidad de intercambio catiónico.

Si comparamos la formación de pluvisilva de montaña con la pluvisilva, en suelos FRRL en la región oriental ([Figura 3](#)), se alcanzan valores de 73,17 y 80,31 t/ha respectivamente. Esto sugiere que, al ser formaciones sucesivas en su distribución vertical, algunas especies coinciden entre ambas formaciones, o los sitios muestreados están próximos a los límites de estas formaciones.

Por otro lado, al analizar las pluvisilvas en una sola región ([Figura 3](#)), diferenciando solo el tipo de suelo y la ubicación (uno al norte en Sagua-Baracoa y el otro al sur en la Sierra Maestra), así como la presencia de algunas especies características de cada zona ecológica, se observa una notable retención de carbono en el suelo en ambos sitios: 100,11 t/ha en suelos PcC y 80,31 t/ha en suelos FRRL, con una mayor concentración en el suelo pardo.

Los valores mencionados están condicionados por los factores climáticos de ambos sitios. Las precipitaciones en la zona de Sagua-Baracoa ([Anexo 2](#)) oscilan entre 1 838 y 2 200 mm, con temperaturas de 22 a 26 °C. Mientras tanto, en la Sierra Maestra, las precipitaciones varían entre 1 383 y 1 800 mm, con temperaturas de 23 a 25 °C. Estas condiciones favorecen al suelo pardo en los parches de Sagua-Baracoa, ya que en la región noreste inciden los vientos alisios, más húmedos, lo que contribuye a una mayor ocurrencia de precipitaciones. En cambio, en la Sierra Maestra los vientos que circulan son más secos y, por tanto, las lluvias tienden a disminuir.

[Jandl \(2006\)](#) planteó que las relaciones entre la descomposición de la materia orgánica y otros factores son complejas, ya que dependen no solo de la temperatura, sino también del contenido de agua en el suelo. Esto significa que, además de las condiciones ambientales, la retención de humedad en el suelo, la presencia de biodiversidad y la microfauna incrementan el contenido de carbono en el suelo.

[Reyes \(2011\)](#) comentó que, en la región de Sagua-Baracoa, con pluvisilvas, la geología determina grandes

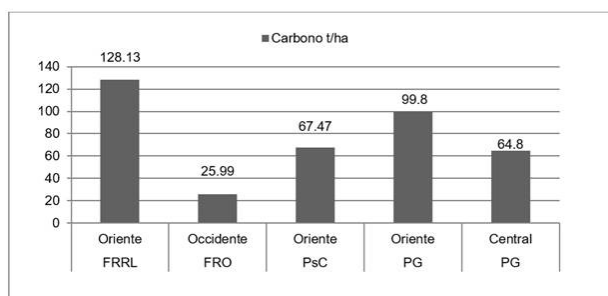


Figura 2. Carbono retenido en la formación Pinar por tipo de suelo.

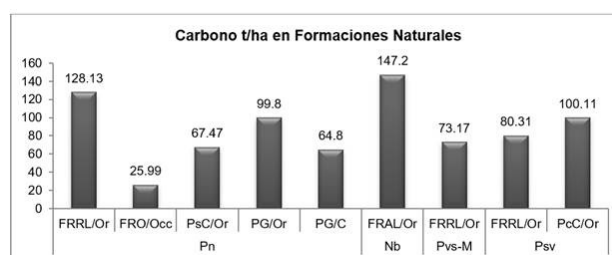


Figura 3. Contenido de carbono formaciones naturales (latifolias).

diferencias entre los tipos de vegetación a través del suelo y sus condiciones. Además, planteó que las disimilitudes en la vegetación con relación a la topografía se deben al incremento o disminución de la lluvia, la exposición y la altitud; mientras que en la Sierra Maestra, la altitud determina los pisos de vegetación, influyendo en la temperatura, nieblas, nubes bajas, cantidad de insolación y humedad relativa.

En resumen, el tipo de suelo que mayor cantidad de carbono retiene es el Ferralítico, cubierto por cuatro formaciones naturales, seguido de los suelos Pardos con tres formaciones. El menor almacenamiento se da en los FRO, con una sola formación natural. Esta concentración de carbono en el suelo está sujeta a la cantidad de sitios muestreados en cada formación y región ([Tabla 3](#)).

La captura de carbono en el suelo comprende la interacción del elemento con factores que pueden modificar las características del suelo a lo largo del tiempo, tales como las condiciones ambientales y los componentes que conforman su estructura. Por lo tanto, la estimación del potencial de captura de carbono en suelos considera dos aspectos primordiales: la existencia original de carbono y los cambios en sus reservas ([J. E. Hernández et al., 2021](#)).

Además, el autor señala que el contenido de carbono en el suelo depende de los factores relacionados con su formación. Los factores climáticos y del suelo permiten explicar el almacenamiento del carbono a largo plazo, mientras que el uso del suelo y los cambios en la vegetación influyen en periodos más cortos.

Tabla 3. Contenido de carbono almacenado por agrupamiento.

Agrupamientos	Formación Natural	Contenido de Carbono t/ha por formación	Contenido de Carbono t/ha (total)
FRR	Pn	128,13	107,2
	Pvs-M	73,17	
	Pvs	80,31	
	Nb	147,2	
P	Pn	73,35	86,73
	Pvs	100,11	
FRO	Pn	25,99	25,99

CONCLUSIONES

Los estudios realizados permiten definir el carbono retenido en cuatro tipos de suelo en cuatro formaciones forestales.

Los suelos con mayor retención de carbono son los FRAL y FRRL en la formación de monte nublado y pinar, seguido de los PcC y PG de la región oriental.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Rodríguez, P., & Strong, M. T. (2012). *Catalogue of Seed Plants of the West Indies*. Smithsonian Institution Scholarly Press. <https://doi.org/10.5479/si.0081024X.98.1>
- Bisse, J. (1988). *Árboles de Cuba*. Editorial Científico-Técnica.
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Calzadilla, E., Forcades, E., & Álvarez, L. (1988). *Estudio de las condiciones edafológicas de la EFI La Palma. Propositiones sobre el uso y manejo de los suelos* (p. 60). Instituto de Investigaciones Forestales.
- Caviglia-Harris, J., Sills, E., Bell, A., Harris, D., Mullan, K., & Roberts, D. (2016). Busting the Boom-Bust Pattern of Development in the Brazilian Amazon. *World Development*, 79, 82-96. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.040>
- DFFFS. (2017). *Situación de los Bosques de Cuba 2016* (Boletín No. 1; p. 62). Dirección Forestal, Flora, Fauna Silvestre. MINAG.
- Echavarría, O. (2016). *Informe Técnico Parcial. Resultado de la aplicación de la Forestería Análoga en cuatro sitios del proyecto "Contribución a la restauración en cuatro sitios mediante el sistema de manejo con técnica de Forestería Análoga"* (p. 53) [Informe Técnico Parcial].
- FAO. (2020). *Portal de datos de indicadores de los ODS (Indicador 15.1.1—Superficie forestal en proporción a la superficie total)*. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals-data-portal/data/indicators/indicator-1511---forest-area-as-a-percentage-of-total-land-area/es>
- Gardi, C., Montanarella, L., Cruz Gaistardo, C., Barceló, S., Vargas, R., Mendonça Santos Brefin, M. L., Comerma, J., Angelini, M., Jones, A., Ravina da Silva, M., Encina Rojas, A., Vara Rodríguez, M. I., Schad, P., Muñoz Ugarte, O., & Krasilnikov, P. (2013). *Atlas de suelos de America Latina y el Caribe*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://doi.org/10.2788/37334>
- Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., & Foley, J. A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 2(4), 045023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/4/045023>
- Hernández, A. (2008). *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo* (1a ed.). Universidad Autónoma de Nayarit.
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., & Castro, N. (2015). *Clasificación de los Suelos de Cuba*. INCA.
- Hernández, J. E., Tirado, D., & Beltrán, R. I. (2021, marzo). *Captura de carbono en los suelos*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html>
- Ibrahim, M. A., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola Coto, F., & Rojas, J. (2013). *Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7934>
- IIS. (1979). *Génesis y Clasificación de los Suelos de Cuba*. Instituto Investigaciones de Suelos. Academia de Ciencia de Cuba.
- Iverson, L. R., Brown, S., Grainger, A., Prasad, A., & Liu, D. (1993). Carbon sequestration in tropical Asia: An assessment of technically suitable forest lands using geographic information systems analysis. *Climate Research*, 3(1/2), 23-38. <https://www.jstor.org/stable/24863330>

- Jandl, R. (2006). *Secuestro de carbono en bosques – El papel del suelo*. Revista Forestal Iberoamericana. <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=1127>
- Johnson, D. W. (1992). Effects of forest management on soil carbon storage. *Water, Air, and Soil Pollution*, 64(1), 83-120. <https://doi.org/10.1007/BF00477097>
- Martel, C., & Cairampoma, L. (2012). Cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en "CICRA", Madre de Dios (Perú). *Ecología Aplicada*, 11(2), 59-65.
- Olivera, D. (2012). *Los Suelos de Cuba*. Un Universo invisible bajo nuestros pies. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/01/19/141129>
- ONEI (Oficina Nacional de Estadística e Información). (2019). *Anuario Estadístico de Cuba*.
- Pardos, J. A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*.
- Renda, (s.f.). *Estudio sobre las condiciones edafológicas, fisiográficas y agrosilviculturales de la Sierra Maestra, Santiago de Cuba*.
- Renda, A., Calzadilla, E., Bauza, J., & Arias, J. (1980a). *Estudio edafológico, fisiográfico y agrosilvicultural de la Sierra Maestra, Municipio Buey Arriba, Provincia Granma*. (p. 96). Ministerio de la Agricultura. Centro de Investigación Forestal. <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/6473626408fd68d54604b3a3>
- Renda, A., Calzadilla, E., Bauza, J., & Arias, J. (1980b). *Estudio sobre las condiciones edafológicas, fisiográficas y agrosilviculturales de la Sierra Maestra, Santiago de Cuba*. (p. 143). Ministerio de la Agricultura. Centro de Investigación Forestal. <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/6473626408fd68d54604b3a3>
- Renda, A., Calzadilla, E., Bauza, J., & Arias, J. (1981a). *Estudio Edafológico, Fisiográfico Agrosilvicultural de la Sierra Maestra, Municipio Campechuela y Manzanillo*. (p. 59). Ministerio de la Agricultura. Centro de Investigación Forestal.
- Renda, A., Calzadilla, E., Bauza, J., & Arias, J. (1981b). *Estudio edafológico, fisiográfico y agrosilviculturales de la Sierra Maestra, Municipio Guisa*. (p. 90). Ministerio de la Agricultura. Centro de Investigación Forestal.
- Renda, A., Calzadilla, E., Bauza, J., & Arias, J. (1981c). *Estudio Edafológico-Forestal y Fisiográfico de la Sierra Maestra, Municipio Bartolomé Masó*. (p. 123). Ministerio de la Agricultura. Centro de Investigación Forestal.
- Renda, A., Calzadilla, E., Bauza, J., & Arias, J. (1999). *Particularidades edafológicas forestales de la región central de la Sierra Maestra*. (p. 30). Ministerio de la Agricultura. Centro de Investigación Forestal.
- Renda, A., Rodríguez, Y., & Mercadet, A. (2011). Contenido de Carbono en algunos Suelos Forestales de Cuba. Parte I: Ferralítico Rojo Amarillento. *Revista Forestal Baracoa (CU)*, 30(2), 61-66.
- Reyes, O. J. (2011). Clasificación de la vegetación de la Región Oriental de Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 32/33, 59-71. <https://www.jstor.org/stable/23725915>
- Rodríguez, Y., Renda, A., & Mercadet, A. (2013). Contenido de carbono en algunos suelos forestales de Cuba: Ferríticos. *Revista Forestal Baracoa (CU)*, 32(1), 51-55.
- Rodríguez, Y., Renda, A., & Mercadet, A. (2020). *Contenido de carbono en los suelos forestales del país* (p. 28) [Informe Técnico. Inédito.]. INAF.
- Rubio Pereira, M. (1986). *Distribución y características de los principales suelos del Escambray. Perspectivas para su utilización racional* [Tesis de Grado]. Universidad de Pinar del Río, "Hermanos Saíz".
- Ruiz J., C., & Hernández, A. (1988). *Particularidades de la formación y uso agrícola de los suelos del macizo montañoso Sagua-Baracoa* [Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias Agrícolas]. Instituto de Suelos.
- Samek, V. (1967). *Elementos de silvicultura de los pinares*. Editorial Universitario.
- Sánchez, F., & Álvarez, A. (1999). *Informe diagnóstico ambiental integral de la cuenca hidrográfica del río Guá* (p. 33). CITMA. Delegación Granma. Unidad Medio Ambiente.
- Schlesinger, W. H. (1990). Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils. *Nature*, 348(6298), 232-234. <https://doi.org/10.1038/348232a0>
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Anexo 1. Formaciones boscosas por tipo de suelo.

Formación Boscosa	Ubicación	Especies	Tipo de suelo
Monte nublado (Nb)	Santiago de Cuba (parte más elevada / Sierra Maestra)	<i>Magnolia cubensis</i> Urb. (marañón de sierra alta), <i>Pseudolmedia spuria</i> (Sw.) Griseb. (macagua), <i>Cyrtilla racemiflora</i> L. (Barril), <i>Ocotea ekmanii</i> O. C. Schmidt. (júcaro amarillo), <i>Persea anómala</i> Britt. et. Wils. (S/NC), <i>Laplacea angustifolia</i> (Britt. et. Wils) O.C. Schmidt (S/NC), entre otras.	Ferralíticos Amarillentos FRAL
Pinar (Pn)	La Palma/meseta Cajalbana	<i>Pinus caribaea</i> Morelet var. <i>caribaea</i> . Barret y Golfari	Ferrítico purpura FRO
	Manicaragua/Jibacoa/Sal si Puedes		Pardo grisáceo PG
	Bartolomé Masó/El Cojo	<i>Pinus maestrensis</i> BISSE	Pardos con Carbonatos PcC
	Guisa/Los Números		Pardos con Carbonatos PcC
	Santiago de Cuba/Manacal		Pardos Grisáceos PG
	Sierra Maestra/parte media (2)		Ferralítico Rojo Amarillento FRRL
	Santiago de Cuba/Gran Sofía		Pardos sin Carbonatos PsC
Pluvisilva (Pvs)	Santiago de Cuba/La Lola	<i>Pinus cubensis</i> Sarg. ex Griseb.	Ferralítico Rojo Amarillento FRRL
	Bartolomé Masó/ El Cojo	<i>Hibiscus elatus</i> Sw. (majagua), <i>Terminalia</i> sp, <i>Manilkara albenscens</i> (Griseb.) Cronquist (ácana blanca), <i>Alchornea latifolia</i> Sw. (aguacatillo), <i>Micropholis polita</i> (Griseb.) Pierre (sapotillo), <i>Euterpe globosa</i> Gaertn (palma justa), <i>Oxandra laurifolia</i> (Sw.) A. Rich. (purio), <i>Buchenavia capitata</i> (Vahl) Eichler (júcaro amarillo), entre otras.	Ferralítico Rojo Amarillento FRRL
	Sierra Maestra/La Magdalena		
	Sierra Maestra		
	Sagua-Baracoa	<i>Carapa guianensis</i> Aubl. (najesí), <i>Chrysophyllum argenteum</i> Jacq. (Manacabo), <i>Laplacea wrightii</i> (Griseb.) (almendro), <i>Guatteria cubensis</i> Bisse (purio prieto), entre otras	Pardo con Carbonato PcC
Pluvisilva de Montaña (Pvs-m)	Guisa/El Gigante- Sierra Maestra (parte central) (2)	<i>Tabebuia hypoleuca</i> (C Wright.) Urb. (roble macho), <i>Dipholis jubilla</i> Ekm. ex.Urb. (jubilla, juba prieta), <i>Oxandra laurifolia</i> (Sw.) A. Rich. (purio), <i>Alchornea latifolia</i> Sw. (aguacatillo), <i>Pithecellobium maestrense</i> Urb. (sabicú de la maestra), <i>Didymopanax morototonii</i> (Aubl.) Dec. et planch. (yagruma macho), <i>Hibiscus elatus</i> Sw. (majagua), <i>Manilkara albenscens</i> (Griseb.) Cronquist (ácana blanca), <i>Buchenavia capitata</i> (Vahl) Eichler (júcaro amarillo), entre otros.	Ferralítico Rojo Amarillento FRRL
	Sagua-Baracoa	<i>Calophyllum utile</i> Bisse (ocuje colorado), <i>Guatteria cubensis</i> Bisse (purio prieto), <i>Magnolia cristalisensis</i> Bisse (Laurel), <i>Tabebuia dubia</i> (C. Wright) Britton ex Siebert (roble negro), <i>Terminalia orientensis</i> Monachino (chicharrón negro), entre otras	

Fuente: Acebedo y Strog, 2012; Bisse, 1988, Renda et al., 1980-1981.

Anexo 2. Variables climáticas de las áreas estudiadas.

Provincia/Municipios	T media anual (°C)	Pp media anual (mm)
Pinar del Río/La Palma	26,2	1447,3
Villa Clara/Placetas	24,1	1350,1
Villa Clara/Manicaragua	20,3	1909,0
Granma/Bartolomé Masó	23,0	1533,0
Granma/Buey Arriba	23,0	1800,0
Granma/Cabo Cruz	27,0	1016,5
Granma/Manzanillo	26,5	1075,0
Holguín/Mayarí	22,4	1838,3
Santiago de Cuba/Sierra Maestra	25,0	1383,0
Santiago de Cuba/Gran Piedra	20,0	1626,2
Guantánamo/Baracoa	26,0	2200,0

Fuente: ONEI (Oficina Nacional de Estadística e Información), 2019; Echavarría, 2016; Sánchez & Álvarez, 1999.