

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 13, número 1; 2025, enero-abril



***Remoción de carbono en Pinus caribaea de la Unidad de Base
Empresarial Agroforestal Viñales, La Palma***

*Carbon removal in Pinus caribaea of the Management Unit Agroforestal Viñales, La
Palma*

*Remoção de carbono em Pinus caribaea da Unidade de Base de Negócios Agroforestal
Viñales, La Palma*

Claudia María Salazar Miranda^{1*} , Bertha Rita Castillo Edua² ,
Eduardo Patricio Zalazar Castañeda³ 

¹Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”. Pinar del Río, Cuba.

²Centro de Estudios Forestales de la Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”. Pinar del Río, Cuba.

³Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

*Autor para la correspondencia: claudia.salazar@ecovida.cu

Recibido: 06/02/2025.

Aprobado: 15/03/2025.

Publicado: 30/03/2025.



RESUMEN

Las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en Cuba almacenan una gran cantidad de carbono pues tienen un papel muy activo en el intercambio de dióxido de carbono entre la biosfera y la atmósfera, participando en la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero. El presente estudio se realizó en la Unidad Agroforestal Viñales, perteneciente a la Empresa Agroforestal La Palma, con el propósito de determinar el carbono removido por plantaciones de *Pinus caribaea* de diferentes edades diez, 15 y 25 años de edad. Se tomaron probetas de 2,5 cm de ancho y largo, donde se determinó el porcentaje de humedad, materiales volátiles, porcentaje de cenizas y por consiguiente, el carbono removido. Existen diferencias significativas entre las variables materiales volátiles, porcentaje de cenizas y carbono removido con respecto a la edad de la plantación. La mayor cantidad de carbono removido se encuentra en los rodales de 25 años de 299,47 tCa ha⁻¹

Palabras clave: remoción, carbono, *Pinus caribaea*, cambio climático.

ABSTRACT

Pinus caribaea plantations in Cuba store a large amount of carbon because they play a very active role in the exchange of carbon dioxide between the biosphere and the atmosphere, contributing to the reduction of greenhouse gas concentrations. This study was conducted at the Viñales Agroforestry Unit, part of the La Palma Agroforestry Company, to determine the carbon removed by *Pinus caribaea* plantations of different ages: 10, 15, and 25 years old. Samples measuring 2.5 cm in width and length were taken, in which the percentage of moisture, volatile matter, ash percentage, and consequently, the carbon removed were determined. There are significant differences between the variables volatile matter, ash percentage, and carbon removed with respect to the age of the plantation. The greatest amount of carbon removed is found in the 25-year-old stands of 299.47 tCa ha⁻¹.

Keywords: carbon removal, *Pinus caribaea*, age.



RESUMO

As plantações de *Pinus caribaea* var. *caribaea* em Cuba armazenam uma grande quantidade de carbono porque desempenham um papel muito ativo na troca de dióxido de carbono entre a biosfera e a atmosfera, participando da redução das concentrações de gases de efeito estufa. Este estudo foi realizado na Unidade Agroflorestral de Viñales, parte da Empresa Agroflorestral La Palma, com o objetivo de determinar o carbono removido por plantações de *Pinus caribaea* de diferentes idades: dez, 15 e 25 anos. Foram utilizados tubos de ensaio com dimensões de 2,5 cm de largura e comprimento, onde foram determinados o percentual de umidade, materiais voláteis, percentual de cinzas e, conseqüentemente, o carbono removido. Existem diferenças significativas entre as variáveis materiais voláteis, porcentagem de cinzas e carbono removido em relação à idade da plantação. A maior quantidade de carbono removido é encontrada nos povoamentos de 25 anos de 299,47 tCa ha⁻¹.

Palavras-chave: remoção, carbono, *Pinus caribaea*, mudanças climáticas.

INTRODUCCIÓN

La actual crisis climática es de manera incuestionable un producto de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, emitidos por las actividades humanas. Los gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO₂), el metano y el óxido nitroso, atrapan el calor de la atmósfera terrestre, provocando el calentamiento global y cambios en el clima. A mayor concentración de GEI en la atmósfera, más se calienta el planeta y más graves se vuelven los impactos y consecuencias del cambio climático para las personas y los ecosistemas naturales en el mundo.

Estos gases pueden permanecer en la atmósfera durante mucho tiempo; algunos, como el CO₂, durante cientos o incluso miles de años. Ello significa que, aunque la humanidad lleve a cero sus emisiones hoy, los gases que ya se liberaron a la atmósfera seguirán atrapando calor y calentando la Tierra durante mucho tiempo, demostrando que el cambio climático es irreversible (IPCC, 2022).



A través del Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático se plantean algunas medidas de remoción de dióxido de carbono (RDC), en pos de alcanzar la meta de mitigación en el año 2030 (MAyDS, 2022). Aunque en el Plan no se aborda la RDC de forma explícita, entre las principales medidas que contribuirían al secuestro de carbono se mencionan la restauración y conservación de ecosistemas, la rotación de cultivos (ninguna de las cuales está cuantificada) y dar un mayor impulso a la forestación. Esta última medida prevé aumentar para ese año la superficie forestada de coníferas, eucaliptos, y otras especies (nativas y exóticas).

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) define la remoción de dióxido de carbono como cualquier “actividad antropógena por la que se remueve CO₂ de la atmósfera y se almacena de forma duradera en reservorios geológicos, terrestres u oceánicos, o en productos” (IPCC, 2019).

La remoción de dióxido de carbono (RDC) surge como un enfoque para secuestrar este gas a gran escala mediante nuevas tecnologías o bien a través de métodos biológicos como la forestación, la restauración de ecosistemas y el secuestro de carbono en los suelos (Gonda, 2023).

Quinto (2024) refiere que los bosques, debido a sus altas tasas de captura y almacenamiento de carbono, además de su papel como sumideros y reservorios de CO₂ atmosférico, tienen un rol fundamental en el balance del carbono y en la mitigación del cambio climático global.

Además, plantea que la captura y las existencias de carbono en los bosques dependen de diferentes elementos ecológicos como temperatura, precipitación, humedad, radiación solar, tipo y contenido de nutrientes del suelo, régimen de disturbios, estado sucesional, especie vegetal, posición topográfica e impactos humanos de cada zona, entre otros.

Las actividades de gestión forestal destinadas a aumentar el nivel de densidad de carbono in situ y a escala del terreno, constituyen prácticas comunes que son técnicamente viables. En este sentido, como un paso más para la protección de la biodiversidad, la reducción de la contaminación atmosférica y la mitigación del cambio climático, Cuba puso en vigor por primera vez el pago de incentivo por remoción de carbono forestal.



Según el documento, vigente desde el 21 de febrero, se entiende por carbono forestal al carbono orgánico acumulado en cualquiera de los tres depósitos del área cubierta de bosques (en la biomasa arbórea, aérea y subterránea), en la necromasa (árboles muertos y hojarasca) y en el suelo hasta 30 centímetros de profundidad.

El IPCC define la remoción de dióxido de carbono (RDC) como cualquier actividad antropógena por la que se remueve CO₂ de atmósfera y se almacena de forma duradera en reservorios geológicos, terrestres u oceánicos, o en productos (IPCC, 2019).

El contenido de humedad representa la cantidad de agua en la biomasa, expresada como porcentaje en peso del material. El contenido de cenizas representa la cantidad de residuo sólido que queda después que la muestra de biomasa se quema por completo; las cenizas tienen como componentes principales óxido de sílice, aluminio, hierro, calcio, magnesio, titanio, sodio y potasio. El vapor condensable y gases incondensables, liberados en la descomposición térmica de la biomasa, constituyen el material volátil (excluyendo el vapor de agua). El carbono fijo es el residuo combustible sólido que queda después de calentar la biomasa y eliminada la materia volátil (Pérez, *et al.*, 2021).

Pinus caribaea var. *caribaea* Morelet Barret y Golfari es una de las especies forestales de mayor importancia en la zona occidental de Cuba, debido a los usos que se hace de su madera, siendo una de las priorizadas en los planes de reforestación hasta el 2030 (Castillo *et al.*, 2018).

Diversas investigaciones se han desarrollado referidas a la remoción de carbono en Cuba, Mercadet *et al.* (2022); Álvarez & Mercadet (2023) y Gonda (2023), sin embargo, son escasos los estudios desarrollados con el propósito de determinar la influencia de la edad de los árboles en la remoción de carbono en las diferentes especies forestales.

La presente investigación se desarrolla como resultado del proyecto internacional “Gobernanza climática municipal y producción agroforestal sostenible de alimentos con bajas emisiones y adaptadas al cambio climático en Cienfuegos y Pinar del Río, Cuba” y tiene el propósito de determinar el carbono removido por plantaciones de *P. caribaea* de diferentes edades en la Unidad Empresarial de Base “Agroforestal Viñales” de la Empresa Agroforestal “La Palma”.



MATERIALES Y MÉTODOS

Características generales del área de estudio

La investigación se desarrolló en la Unidad Empresarial de Base “Agroforestal Viñales” que se encuentra ubicada en el municipio Viñales y pertenece a la Empresa Agroforestal “La Palma”, posee un patrimonio forestal de 41 550.6 ha de ellas 40 950.3 ha de área forestal y un área inforestal de 600.3 ha. Las plantaciones jóvenes están representadas por 496,0 ha.

Predomina el relieve montañoso, que alcanza el 71% de su superficie total, según los datos aportados por el Servicio Estatal Forestal en la Provincia obtenidos de la Dinámica Forestal con cierre diciembre del 2023 (Figura 1).

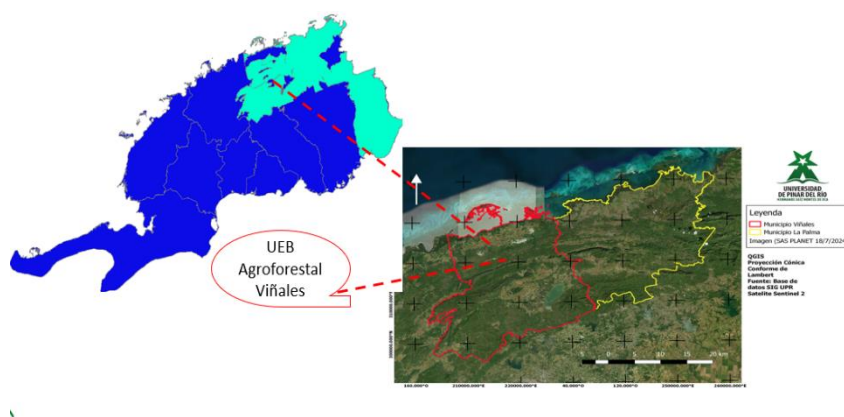


Figura 1. - Localización geográfica del área de estudio. Fuente: Base de Datos SIG UPR Satélite Sentinel 2

Según informe del Servicio Estatal Forestal de Pinar del Río (2023) las principales formaciones boscosas están representadas principalmente por pinares que cubren una extensión de 8 790,9 hectáreas, aproximadamente el 70 % de la superficie de Viñales es forestal, abarcando más de 48 000 hectáreas. El 71,8 % de los suelos están ocupados por bosques distribuidos en los cuatro ecosistemas forestales existentes (pinares, encinares, manglares y xerófito de mogotes).

Cada especie tiene una función importante dentro del bosque. Su representación, abundancia y su conjugación con otra hace que cada bosque tenga un tipo específico y una belleza particular. Se halla una vegetación típica de la zona costera, de las Alturas de Pizarras y de los mogotes fundamentalmente.



Las principales formaciones boscosas están representadas principalmente por pinares que cubren una extensión de 8 790,9 hectáreas y constituyen la única formación indígena de Cuba donde la capa arbórea está constituida por una sola o cuando más dos especies.

La existencia de esta formación se debe fundamentalmente a factores edáficos, porque las especies de pinos viven en suelos ácidos con poca capacidad para retener agua. Aunque estos lugares se encuentran dentro de regímenes climáticos correspondientes a los montes semicaducifolios, las especies típicas de estos montes no pueden existir en los pinares debido a la gran escasez de agua en tiempo de sequía, mientras que los pinos con sus hojas extremadamente xeromorfas pueden resistir.

Características edafoclimáticas

Las condiciones climáticas de Viñales son de naturaleza tropical. Durante la estación invernal, se produce un descenso significativo de los niveles de precipitaciones en comparación con los meses de verano. La clasificación del clima de Köppen-Geiger es Aw. La temperatura media anual es 25,5 °C en Viñales, en un año, la precipitación es 782 mm (Figura 2).

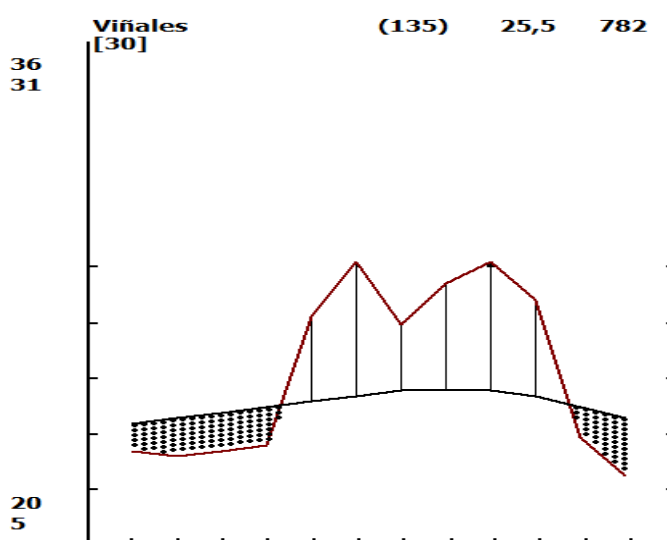


Figura 2. - Características climáticas del área de estudio

La región de Viñales se caracteriza por un clima templado, y la estación estival presenta algunos retos en términos de categorización precisa. El mes caracterizado por los niveles de precipitación más bajos es febrero, que presenta un mero 28 mm de precipitaciones. El mes de septiembre experimenta una mayor cantidad de precipitaciones, con un valor medio de 190 mm.



En la mayor parte del territorio predominan los suelos esqueléticos condicionados por las características geológicas y geomorfológicas. La presencia de zonas elevadas tanto en materiales carbonatados como areno-arcillosos y la influencia de los procesos erosivos, impiden la acumulación de un sustrato efectivo para la formación de suelos.

Los suelos pardos con carbonatos se localizan hacia las pendientes exteriores de las alturas calcáreas, mientras que, en las alturas compuestas por pizarras, esquistos, filitas, cuarcitas muy agrietadas y friables, los suelos son fácilmente intemperizables. Los materiales residuales de las alturas de pizarras se acumulan en el fondo de los valles, originando suelos de tipo ferralítico rojo amarillento y con diferente grado de lixiviación. En los valles fluviales, existen depósitos aluviales con parches de suelos areno-cuarcíticos. En las elevaciones calizas conectadas a cuevas fluviales, aparecen suelos ferralíticos rojo-amarillentos con diferentes grados de lixiviación (Jaimez, 2006) (Figura 3).

Materiales empleados



Figura 3. - Materiales y equipos de laboratorio. a- crisoles, b- desecador, c-mufla

Softwares estadísticos: Los datos se procesaron mediante el empleo de InfoStat

Para la obtención de las muestras de maderas (probetas) se aplicó el siguiente procedimiento:

- a) Se seleccionó la especie *Pinus caribaea* por ser la más representativa de la empresa, el experimento se desarrolló en plantaciones de diferentes edades, según lo recomendado por Normas INEN (2012), se tomaron 20 probetas de madera de una plantación de 10 años, 20 de una de 15 años y 20 probetas de un rodal 25



años de 2,5 *2,5*2,5 cm de largo, ancho y altura respectivamente, estas dimensiones fueron basadas en las.

- b) Se colocaron las muestras en recipientes herméticos hasta su pesaje, en este caso se utilizaron fundas para cada muestra, con las enumeraciones respectivas.
- c) Se realizaron los análisis de las muestras y métodos de ensayo en el laboratorio de investigaciones de química perteneciente a la Universidad de Pinar del Río.
- d) Se determinó el carbono retenido en el fuste a partir del análisis del porcentaje de cenizas, material volátil y contenido de humedad.

Procedimiento para obtener el contenido de humedad de las muestras de madera

El procedimiento realizado se hizo mediante la técnica estándar para análisis de carbón y coque establecidos en la norma (ASTM D 3173-11)

- a) Se inició el proceso tarando los crisoles, para ello se comenzó pesando los crisoles en la balanza técnica y, posterior a ello, se los llevó a la estufa a una temperatura entre 105 °C - 110 °C por un lapso de 24 horas. Este proceso se realizó de manera consecutiva hasta terminar con las muestras.
- b) Luego de este tiempo, se retiraron de la estufa al desecador de 20 a 30 minutos y se pesaron nuevamente. Se repitió el proceso hasta las 48 horas, en donde ya se mantuvieron constante los datos de los crisoles en la balanza técnica.
- c) Se procedió al pesaje del crisol con la muestra de madera, obteniendo el primer dato de contenido de humedad, luego se colocó en la estufa a una temperatura entre 105 °C -110 °C según lo establecido en la norma INEN por un lapso de 24 horas, se retiró de la estufa y se colocó en el desecador durante 20 a 30 minutos hasta su enfriamiento total, se repite el mismo procedimiento por otras 24 horas, hasta obtener un peso constante.

Se aplicó la fórmula estipulada por la Normativa INEN 1160 dando cumplimiento al primer objetivo. El contenido de humedad se obtiene mediante la ecuación siguiente (Ecuación 1):

$$CH = P - Psh * 100\% / Psh \quad [1]$$



Siendo: CH = contenido de humedad, en porcentaje. P = masa original de la muestra, en gramos, P_{sh} = masa de la muestra anhidra, en gramos

Procedimiento para la obtención de porcentajes de material volátil de las muestras

- a) El crisol con la muestra de madera seca se pesó en la balanza y, posterior a ello, fue introducido a la mufla en una temperatura entre 750 y 800 °C, evitando el contacto con aire durante de 3 a 5 minutos aproximadamente.
- b) Al terminar este tiempo, se retiraron las muestras al desecador, dejando enfriar por el lapso de 30 minutos. Luego de este tiempo, se pesó y se registraron los datos obtenidos, los mismos que se aplicaron con la ecuación de la Norma ASTM D3175- 89(02)

Las muestras se colocaron en la mufla calentándose a una temperatura de 900 ° C sin contacto con el aire durante siete minutos, calentada la masa, se liberaron productos gaseosos y líquidos, componentes principalmente gaseosos como: agua, hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, etc. En general, el calentamiento rápido aumenta la proporción de volátiles, por lo que el análisis de volátiles está estandarizado.

Los volátiles se calculan por la fórmula siguiente: Ecuación 2):

$$\%MV = [C - D / C \times 100] - \%Humedad [2]$$

Dónde:

C= Peso inicial, gr muestras utilizadas

D=Peso final, gr de muestra después del calentamiento

Procedimiento para la obtención de cenizas (norma ASTM D3174-00)

Para la medición de cenizas de carbón, el horno debe tener una circulación de aire adecuada y poder controlar la temperatura entre 700 y 750 ° C. El horno debe estar equipado con uno de temperatura y medios para controlarla dentro de los límites.

Las muestras de carbón deben calentar durante dos horas y así sucesivamente hasta volverse cenizas (Vásquez,2006).



Aunque el tiempo de combustión de cuatro horas descrito es suficiente para que la mayoría de los carbones alcancen la combustión completa, algunos carbones bituminosos sin reaccionar pueden requerir tiempo adicional. Si se observan partículas de carbón sin quemar, o si se sospechan resultados duplicados, las muestras deben devolverse al horno el tiempo suficiente para lograr una masa constante ($\pm 0,001$ g).

De esta forma, el azufre de pirita se oxida y se descomponga, eliminando la calcita. Debe asegurarse en todo momento un suministro de aire de boquilla adecuado, “de dos a cuatro cambios por minuto”, para asegurar la oxidación completa de la pirita de azufre y la eliminación del dióxido de azufre formado. El retraso de 4 horas se puede reducir si la muestra alcanza un peso constante a 700-750 °C en menos de 4 horas. (Vásquez, 2006)

- a) Los crisoles con las muestras ya volatilizadas fueron pesados y, posterior a ello, introducidos en la mufla en estado frío hasta alcanzar una temperatura de 450 °C en un lapso de cuatro horas.
- b) Posterior a ello fue retirado de la estufa al desecador, donde se tapó cada crisol hasta que se enfríe y pudiera pesar.
- c) Una vez ya obtenido los datos del pesaje final, se realizaron los cálculos respectivos aplicando la siguiente fórmula establecida por la norma ASTM D-3174-00 (Ecuación 3)

$$\text{Ceniza en la muestra de análisis\%} = A - B \times 100\%/C \quad [3]$$

Dónde:

A= Peso del crisol, tapa, y residuo de ceniza, en gramos.

B= Peso del crisol vacío y tapa en gramos.

C= Peso de la muestra utilizada en el análisis, en gramos.

Procedimiento para el cálculo del carbono removido (3172- 89(02))

El carbono removido se utiliza como indicador de la producción de coque a partir de madera o carbón y es una medida de los materiales combustibles que quedan después de la evaporación de compuestos ligeros. Esta es la parte no volátil y se quema en estado sólido. Es la diferencia entre la humedad residual total, las cenizas y la materia (Vásquez, 2006)



Para determinar el carbono removido en las muestras de madera, se emplearon los datos de porcentajes de humedad, porcentaje de ceniza y material volátil. El carbono removido se calculó por diferencias de acuerdo con lo establecido en la norma (ASTM D3172-13)

- Los datos fueron procesados en Excel y en el InfoStat para comprobar la normalidad de los datos, se aplicó una prueba de Kolmogorov - Smirnov.
- Posteriormente, se calculó el contenido de humedad de la muestra.

Se aplicó la fórmula estipulada por la Normativa INEN 1160, dando cumplimiento al primer objetivo. El contenido de humedad se obtiene mediante la ecuación siguiente (Ecuación 4):

$$CF = 100 - (\%humedad + \%Ceniza + \%Material\ volátil) \quad [4]$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estadísticos muestran los resultados de la determinación de materiales volátiles, porcentaje de cenizas y carbono removido en plantaciones de diferentes edades, de la UEB "Agroforestal Viñales" (Tabla1).

Tabla 1. - Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparación de las variables

Variables	Edad (años)			H	Sig.(p>0,05%)
	10	15	25		
Materiales volátiles	213.68A	228.66B	240.37C	49.97	0.0001
Cenizas	0.12A	0.30B	0.50C	42.71	0.0001
Carbono removido	41.04A	280.53B	299.47C	52.46	0.0001

La prueba de Normalidad demostró que los datos no siguen una distribución normal, por esta razón fueron aplicadas pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis para las variables materiales volátiles, porcentaje de cenizas y carbono removido, comparándolas



entre sí, para determinar si existían diferencias significativas entre las variables en cuanto a la edad de los rodales.

Los resultados concuerdan con los obtenidos por Álvarez *et al.* (2020) y Mosquera, (2023). Los árboles maduros tienden a tener una mayor capacidad de absorción de carbono, ya que los más grandes acumulan más biomasa a lo largo de su vida. Por lo tanto, la protección y conservación de estos es esencial para maximizar su papel en la mitigación del cambio climático.

Donde se toma como hipótesis el estadístico de prueba H_1 demostrando que las variables no son iguales. La Tabla 1 muestra los resultados del análisis estadístico demostrando que existen diferencias significativas entre las variables materiales volátiles, porcentaje de cenizas y contenido de carbono removido en las categorías A, B y C por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Esto es dado por las condiciones edafoclimáticas del lugar, donde la capacidad de los árboles para absorber carbono depende de su estado de conservación y de la edad.

La variable “contenido de humedad” no se tuvo en cuenta para el análisis estadístico, la misma es necesaria para determinar el carbono retenido en la madera de las diferentes plantaciones, pero existe variación, ya que depende de las condiciones edafoclimáticas.

Determinación del material volátil

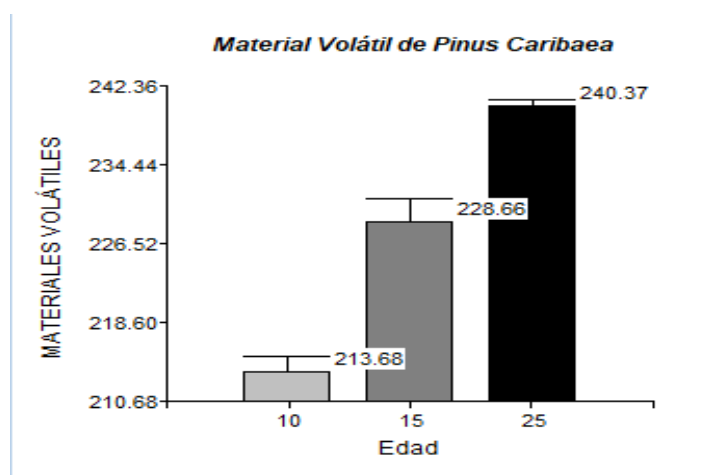


Figura 4. - Material volátil en plantaciones de *P. caribaea* de la UEB “Viñales”.



La Figura 4 muestra el comportamiento de los materiales volátiles con respecto a la edad, lo que arrojó que existen diferencias significativas entre las edades 10, 15 y 25 años. Siendo las plantaciones de 25 años las que mayor contenido de material volátil aportaron con un valor promedio de 240.37, demostrando que a mayor edad mayor es el contenido de material volátil en la especie *Pinus caribaea*.

Resultados similares han sido publicados por Bilen (2019) y Malucelli *et al.* (2024), quienes reportan que, a medida que disminuye el material volátil, que es bastante elevado en la biomasa forestal, según Ruiz *et al.* (2019). En este sentido, su presencia es necesaria, pues ello facilita el desarrollo de la superficie porosa durante el proceso de activación del carbono.

De la Cruz, *et al.* (2020) obtuvo resultados semejantes a los de la investigación en cuestión por la rápida ignición, presencia de flama y producción alta de chispas de los materiales volátiles, produciendo demasiado humo durante la combustión y generando más carbonilla a la edad de 25 años.

Las probetas provenientes de la plantación de 25 años poseen el mayor contenido de volátiles. Este contiene la menor cantidad de aglutinante y mayor contenido de agua. Se puede decir que a mayor cantidad de aglutinante menor es la materia volátil de las muestras, y el contenido de agua que está presente en los diferentes experimentos representa una mínima influencia para la determinación de este parámetro (Figura 5).

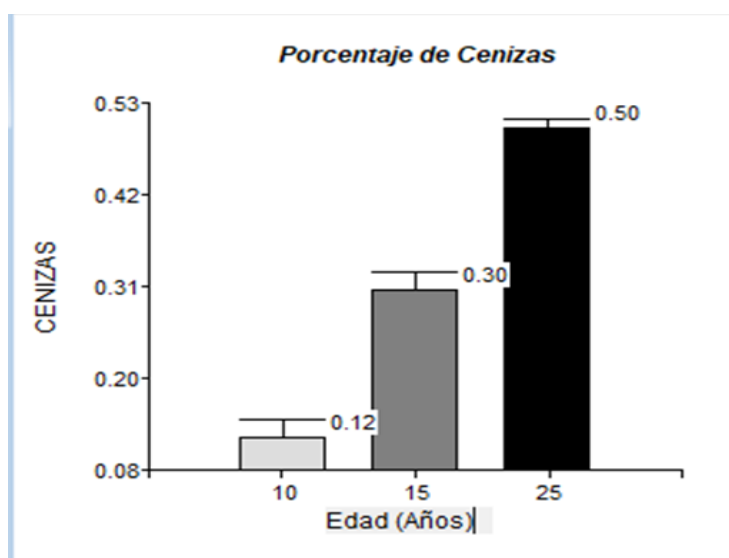


Figura 5. - Porcentaje de cenizas en plantaciones de *P. caribaea*



El porcentaje de cenizas existentes en la plantación es mayor a la edad de 25 años del rodal con un valor de 0.50%, se puede apreciar que la concentración de cenizas es menor a los diez años y va aumentando con la edad de la plantación, lo que demuestra que la concentración de cenizas es directamente proporcional a la edad en *P. caribaea*, tal cual muestra la Figura 5.

Los resultados obtenidos concuerdan con los rangos registrados en la literatura para coníferas o maderas blandas, figurando el pino con cenizas entre 0.02 % y 1.1 %.

González (2017) obtuvo resultados similares, esto se debe a que las probetas de veinticinco años poseen una mayor disposición de aglutinante. Es decir, la resina influye en que haya mayor cantidad de materia que sea aprovechada, quedando mayor cantidad de cenizas (Figura 6).

Carbono removido en plantaciones de P. caribaea

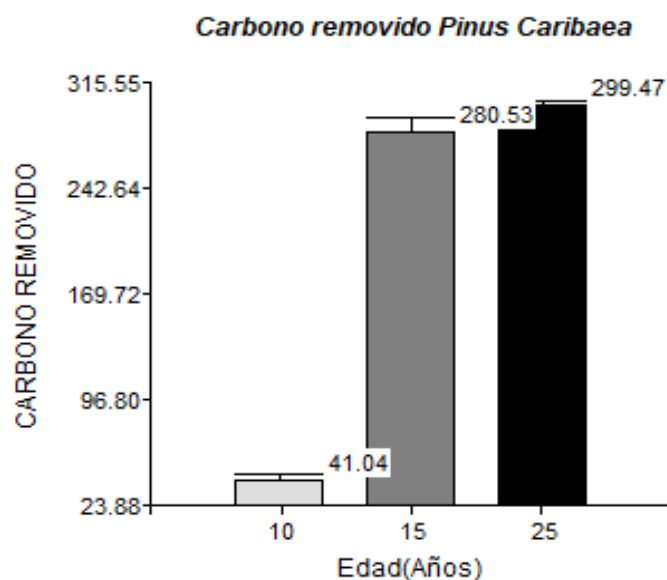


Figura 6. - Muestra el carbono removido en las diferentes edades de la plantación

Se pudo constatar que existen diferencias significativas entre los materiales volátiles, el porcentaje de cenizas y el carbono removido ($p < 0,0001$), lo que demuestra que la especie se comporta de manera diferente en cada edad. Asumiendo que los bosques de mayor edad acumulan mayor cantidad de carbono que los más jóvenes. Su proximidad a la etapa de corte influye en la retención de carbono, teniendo en cuenta su crecimiento y las condiciones edafoclimáticas en las que se desarrolla dicho rodal.



Estos resultados son superiores a los reportados por Mercadet (2020) en plantaciones de *Pinus caribaea* quienes obtuvieron en 4 040,90 ha una retención de carbono de 761,21 t.

Los primeros valores del IMA (Incremento Medio Anual) del carbono registrado por los bosques correspondientes a los pinares fueron reportados por Álvarez *et al.* (2014) con valores inferiores a 8,51, sin embargo, la ampliación de las evaluaciones a otras áreas del Patrimonio Forestal permitió modificarlos y están en uso los reportados por Mercadet *et al.* (2015).

La plantación de diez años posee una retención de carbono del 41 %, mostrando un porcentaje inferior al de las otras plantaciones, ya que posee la menor cantidad de aglutinante, influyendo en el proceso de aprovechamiento de la combustión de la materia. En este sentido, la investigación de González (2017) expone que el carbono removido obtenido como resultado de la liberación de la materia volátil y la ceniza tuvo un porcentaje bajo, pues tanto el contenido de volátiles como el contenido de carbono removido, son las dos formas en que se encuentra guardada la energía química de la biomasa.

Por otra parte, De la Cruz, *et al.* (2020) afirmaron que el carbono removido es considerado como una de las características más importantes de los materiales combustibles, debido a que determina la calidad y cantidad de brazas que se forman durante la combustión.

CONCLUSIONES

Las plantaciones de *Pinus caribaea* de la Unidad Empresarial de Base “Agroforestal Viñales” de la Empresa Agroforestal “La Palma remueven mayor cantidad de carbono a los 25 años con un valor de 299.47 tCa/ha con 240.37% de material volátil y un porcentaje de cenizas 0.50% contribuyendo a la mitigación de los efectos del cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ BRITO, A., MERCADET PORTILLO, A., OSIRIS ORTIZ, E.C., ORLIDIA HECHAVARRÍA, T.S. y RENÉ LÓPEZ, A.E., 2014. El sector forestal cubano y el cambio climático. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. [en línea], vol. 4,



no. 2, [consulta: 28 marzo 2025]. ISSN 2304-0106. Disponible en:
<https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/viewFile/135/135>.

ÁLVAREZ-BRITO, A.F. y GONZÁLEZ-PÉREZ, G., 2020. Retención de carbono, línea base y alternativas de mitigación de la empresa agroforestal Mayabeque. *Revista Forestal Baracoa* [en línea], vol. 39, no. 1, [consulta: 28 marzo 2025]. ISSN 2078-7235. Disponible en:
<https://forestbaracoa.edicionescervantes.com/index.php/fb/article/view/294>.

ÁLVAREZ-BRITO, A.F., MERCADET-PORTILLO, A., AJETE-HERNÁNDEZ, A., ÁLVAREZ-GONGORA, Y., MORALES-LEZCANO, M. y FIGUEREDO-FERNÁNDEZ, J.L., 2023. La reducción de la degradación forestal como alternativa para la mitigación del cambio climático en Cuba. *Revista Forestal Baracoa* [en línea], vol. 42, [consulta: 28 marzo 2025]. ISSN 2078-7235. Disponible en:
<https://forestbaracoa.edicionescervantes.com/index.php/fb/article/view/384>.

BILEN, M., 2024. Proximate and Ultimate Analysis Before and After Physical & Chemical Demineralization. *OP Conf. Series: Earth and Environmental Science. World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2019)* [en línea]. S.l.: IOP Publishing, DOI 10.1088/1755-1315/362/1/012092. Disponible en:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/362/1/012092/pdf>.

CASTILLO EDUA, B.R. y AGUIRRE MENDOZA, Z., 2018. Modelación del raleo mediante el uso de la Programación Lineal en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet de la Empresa Agroforestal Pinar del Río, Cuba. *Arnaldoa* [en línea], vol. 25, no. 2, [consulta: 28 marzo 2025]. ISSN 2413-3299. DOI 10.22497/arnaldoa.252.25215. Disponible en:
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2413-32992018000200015&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

CRUZ MONTELONGO, C.D. la, HERRERA GAMBOA, J., ORTIZ SÁNCHEZ, I.A., RÍOS SAUCEDO, J.C., ROSALES SERNA, R., CARRILLO-PARRA, A., 2020. Caracterización energética del carbón vegetal producido en el Norte-Centro de México. *Madera y bosques* [en línea], vol. 26, no. 2, [consulta: 28 marzo 2025]. ISSN 1405-0471. DOI 10.21829/myb.2020.2621971. Disponible en:



http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-04712020000200205&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

GONDA, C., 2023. *Remoción de dióxido de carbono y compensación de emisiones: impactos, riesgos y limitaciones* [en línea]. S.l.: Fundación ambiente y recursos naturales. Disponible en: https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2023/05/DOC_RDC_links.pdf.

GONZÁLEZ MALDONADO, G., 2017. *Análisis de la efectividad en la retracción de concretos al adicionar ceniza volante y un aditivo compensador* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/61013>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2019. *Climate change and land. An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for policymakers* [en línea]. Estados Unidos: IPCC. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/fullreport.pdf>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2022. *Chapter 2: mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development. Global warming of 1.5°C: IPCC special report on impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels in context of strengthening response to climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [en línea]. Cambridge: Cambridge University Press,. ISBN 978-1-009-15795-7. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/books/global-warming-of-15c/d7455d42b4c820e706a03a169b1893fa>.

MALUCELLI, L.C., SILVESTRE, G.F., CARNEIRO, J., VASCONCELOS, E.C., GUIOTOKU, M., MAIA, C.M.B.F. y CARVALHO FILHO, M.A.S., 2020. Biochar higher heating value estimative using thermogravimetric analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [en línea], vol. 139, no. 3, ISSN 1588-2926. DOI 10.1007/s10973-019-08597-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08597-8>.



- MAYDS, 2022. *Informe nacional de inventario del cuarto informe bienal de actualización de la república. Argentina a la convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático*. 2022. S.l.: Mayds.
- MERCADET, A., ÁLVAREZ, A. y AJETE, A., 2020. *La mitigación del cambio climático por el sector forestal cubano*. S.l.: Instituto Investigaciones Agroforestales.
- MERCADET-PORTILLO, A., ÁLVAREZ-BRITO, A.F., ROSALES-ORDOÑEZ, E. y RIVERA-PELEGRÍN, Y., 2015. Remoción de carbono por el patrimonio forestal cubano: la Empresa Forestal Integral Ciego de Ávila. *Revista Forestal Baracoa* [en línea], vol. 34, no. 1, [consulta: 28 marzo 2025]. ISSN 2078-7235. Disponible en: <https://forestbaracoa.edicionescervantes.com/index.php/fb/article/view/462>.
- QUINTO, H., NAGLES, J. y MORENO, F., 2024. *El Papel de los Bosques del Pacífico Colombiano en la Mitigación del Cambio Climático Global* [en línea]. Colombia: Editorial universidad tecnológica del chocó "Diego Luis Córdoba". ISBN 978-958-8555-78-2. Disponible en: https://utch.edu.co/nueva/images/Ivestigacion_Vicerrectoria/EL-PAPEL-DE-LOS-BOSQUES-FINAL-NOV_30-2023.pdf.
- RUIZ, A., BOLAÑOS, J. y TREVIÑO, E., 2019. Wood species chemistry. *BioResesources*, vol. 14, no. 4,
- SALGADO, E.J., LÓPEZ, M.H.L. y ACOSTA, J.O., 2006. Los suelos del Parque Nacional Viñales, Pinar del Río, Cuba. Condiciones genéticas y ambientales. *Cuadernos Geográficos* [en línea], no. 38, [consulta: 28 marzo 2025]. ISSN 0210-5462, 2340-0129. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17103808>.
- SIERRA, E.B.V. y BUILES, J.F.H., 2006. Metodología Para La Caracterización De Combustibles Sólidos Maderables Del Área Metropolitana Del Valle De Aburrá «Amva», Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín* [en línea], vol. 59, no. 2, [consulta: 28 marzo 2025]. ISSN 0304-2847, 2248-7026. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914075011>.



Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial
4.0 Internacional.

