



ESTIMACIÓN DEL CARBONO Y NITRÓGENO RETENIDOS EN LA BIOMASA MADERABLE DE *DYCHROSTACHYS CINEREA* VAR. *AFRICANA* BRENNAN & BRUMMITT

ESTIMATE OF THE CARBON AND NITROGEN RETAINED IN THE LUMBERMAN BIOMASS OF *DYCHROSTACHYS CINEREA* VAR. *AFRICANA* BRENNAN & BRUMMITT

ALBERTO MAXIMILIANO VIDAL CORONA^{1*}, WILMER TOIRAC ARGUELLE², MILADYS DELGADO MÉNDEZ³, ARLEY AJETE HERNÁNDEZ², LENIER LLANES CARMENATE¹

¹Unidad Científico Tecnológica de Base Estación Experimental Agro-Forestal Camagüey, Camagüey, Cuba. E-mail: lenierllc95@gmail.com

²Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, La Habana, Cuba. E-mail: wilmer@forestales.co.cu, arley@forestales.co.cu

³Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba. E-mail: miladys.delgado@reduc.edu.cu

*Autor para correspondencia: alberto.vidal@inaf.cmg.minag.cu

RESUMEN

La caracterización de formaciones vegetales destinadas a la producción de biomasa es esencial para la identificación, monitoreo y gestión eficiente de los recursos forestales. Este estudio se enfocó en la estimación del carbono y nitrógeno retenidos en la biomasa maderable seca de *Dychrostachys cinerea* var. *africana* (marabú) en el municipio "Carlos Manuel de Céspedes", Camagüey, Cuba. Se realizó un inventario en 90 parcelas de 25 m², se cuantificó el diámetro medio para tres categorías diamétricas y la biomasa aérea verde maderable por hectárea, mediante modelos matemáticos específicos para esta especie. La biomasa total se estimó multiplicando los valores obtenidos por el área efectiva, y se convirtió a peso seco mediante coeficientes determinados en laboratorio. Posteriormente, se aplicaron coeficientes de retención de carbono y nitrógeno para calcular las cantidades totales retenidas. Los resultados indican que la biomasa seca maderable de marabú retiene 247 636,53 toneladas de carbono y 2 267,19 toneladas de nitrógeno en el área estudiada, con valores medios por hectárea de 21,77 y 0,2 toneladas, respectivamente. Las ecuaciones desarrolladas son específicas para esta especie y de fácil aplicación práctica, lo que contribuye a la gestión sostenible de los recursos forestales y su uso en la generación de energía limpia y producción de carbón vegetal.

Palabras clave: biomasa seca, gestión forestal, coeficientes de retención, energía limpia, modelos matemáticos

SUMMARY

The characterization of plant formations intended for biomass production is essential for the identification, monitoring, and efficient management of forest resources. This study focused on estimating the carbon and nitrogen retained in the dry woody biomass of *Dychrostachys cinerea* var. *africana* (marabou) in the municipality of Carlos Manuel de Céspedes, Camagüey, Cuba. An inventory was conducted in 90 (25 m²) plots, calculating the mean diameter for three diameter categories and the aboveground green woody biomass per hectare, using mathematical models specific to this species. Total biomass was estimated by multiplying the obtained values by the effective area and converted to dry weight using laboratory-determined coefficients. Carbon and nitrogen retention coefficients were subsequently applied to calculate the total quantities retained. The results indicate that the dry woody biomass of marabou retains 247,636.53 tons of carbon and 2,267.19 tons of nitrogen in the study area, with average values per hectare of 21.77 and 0.2 tons, respectively. The equations developed are specific to this species and easy to apply in practice, contributing to the sustainable management of forest resources and their use in clean energy generation and charcoal production.

Keywords: dry biomass, forest management, retention coefficients, clean energy, mathematical models

INTRODUCCIÓN

Internacionalmente se reconoce que el clima global experimentará alteraciones significativas durante el presente siglo como consecuencia del incremento en las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los clorofluorocarbonos (CFC) (Benjamín, 2001). El CO₂ destaca como uno de los elementos más relevantes en este proceso, ya que es generado principalmente por actividades

Recibido: 11/8/2022

Aceptado: 30/9/2022



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/>



humanas, como la quema de combustibles fósiles para la producción de energía y otras demandas sociales. Además, procesos como la deforestación y los cambios en el uso del suelo contribuyen a este fenómeno. La concentración natural de GEI en la atmósfera ha dado lugar al efecto invernadero, pero su intensificación debido a las emisiones antropogénicas ha provocado cambios en las escalas climáticas globales (Penman et al., 2003; IPCC, 2006).

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y monóxido de dinitrógeno (N₂O) han alcanzado niveles sin precedentes en los últimos 800 000 años. Desde la era preindustrial, las concentraciones de CO₂ han aumentado en un 40%, principalmente debido a las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles y, en menor medida, a las emisiones netas resultantes del cambio de uso del suelo (Camino et al., 2014).

Durante el período comprendido entre 1951 y 2010, los gases de efecto invernadero han contribuido a un incremento en el calentamiento global promedio de la superficie terrestre, con un rango estimado entre 0,5°C y 1,3°C. Este aumento se atribuye directamente a las actividades humanas, que han elevado las concentraciones atmosféricas de estos gases desde 1750. Para el año 2011, las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O alcanzaron valores de 391 ppm, 1 803 ppb y 324 ppb, superando los niveles preindustriales en un 40%, 150% y 20%, respectivamente (Camino et al., 2014).

Por estas razones, resulta fundamental conocer los niveles de retención de carbono en bosques, plantaciones forestales y matorrales, entre otros ecosistemas, a partir del CO₂ removido de la atmósfera. Esta información es crucial para la toma de decisiones orientadas a reducir las concentraciones de GEI y mitigar sus efectos sobre el clima.

El óxido de nitrógeno (NO), también conocido como óxido nítrico o monóxido de nitrógeno, es un gas incoloro y soluble en agua que se encuentra en pequeñas cantidades en los mamíferos. Este compuesto también está presente en la atmósfera, donde es producido por automóviles y plantas de energía. Debido a su alta inestabilidad, el NO se oxida rápidamente en presencia de oxígeno, transformándose en dióxido de nitrógeno (NO₂). Por esta razón, se le considera un radical libre (Goodman, 1996).

Conocer el contenido de nitrógeno en la corteza de los árboles es esencial para calcular las emisiones de NO y N₂O durante los incendios forestales. Este elemento se encuentra presente en la madera y la corteza, ya que las plantas lo absorben del suelo. Por lo tanto, su medición es fundamental para comprender y cuantificar las emisiones asociadas a estos eventos.

La experiencia acumulada en las evaluaciones forestales realizadas en Cuba sugiere que un número aproximado de 90 a 100 parcelas, que cubran las variaciones del sitio

y el desarrollo histórico del rodal, puede ser suficiente para un tipo específico de bosque o plantación. Sin embargo, si existen evidencias de patrones de crecimiento diferentes en alguna parte del área de estudio, será necesario ajustar el número de parcelas. En estos casos, es más importante garantizar una cantidad adecuada de parcelas de muestreo que seguir una intensidad de muestreo predefinida, independientemente de la variabilidad de la masa boscosa (Montalvo et al., 2015).

En el caso específico del pronóstico de la biomasa aérea de *Dyckrostachys cinerea* var. *Africana* Brenan & Brummitt (marabú), las dificultades son mayores en comparación con otros inventarios forestales. Esto se debe a las complicaciones asociadas al levantamiento y captación de datos en las Parcelas de Muestreo Temporal, independientemente de su número y tamaño. Entre los desafíos se encuentran las condiciones climáticas, como el rocío en las primeras horas de la mañana y la exposición al sol durante el resto del día. Además, la presencia de espinas en los tallos y ramas, así como las plagas de insectos y especies urticantes, representan riesgos para los tasadores. Asimismo, la medición del diámetro en la base del tallo dentro de las parcelas resulta incómoda debido a la postura que debe adoptar el tasador durante la jornada laboral. Cabe destacar que la biomasa aérea verde total y por componentes solo se correlaciona con esta variable dasométrica (Bravo, Vidal, Hernández, Peña, et al., 2015; Bravo, Vidal, Hernández, Toirac, et al., 2015; Vidal, Bravo, Hernández, Toirac, et al., 2015).

Otro aspecto relevante en este tipo de inventario es que la precisión de un modelo ajustado a partir de datos obtenidos en Parcelas de Muestreo Temporal depende de varios factores. Entre estos se incluyen la localización de las parcelas, las características del sitio y las covarianzas de las variables predictoras (independientes), así como los coeficientes del modelo empleado (Toirac, 2014).

El objetivo del presente estudio consistió en estimar el carbono y el nitrógeno retenidos en la madera seca de marabú (fuste + ramas) en áreas cubiertas por esta especie en el municipio “Carlos Manuel de Céspedes”, provincia de Camagüey, Cuba. Estas áreas están destinadas a la producción de energía, lo que hace relevante la cuantificación de estos elementos para evaluar su potencial y contribución a la mitigación del cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio: El área de estudio se localiza en las coordenadas 21° 34' de latitud norte y 78° 17' de longitud oeste. Presenta un relieve predominantemente llano, caracterizado por llanuras calizas y planicies compuestas por rocas serpentinosas e ígneas, donde predominan los suelos pardos carbonatados. Las temperaturas máximas registradas alcanzan los 30,6 °C, mientras que las mínimas descienden hasta los 20,5 °C. Las precipitaciones

en la zona oscilan entre 1201 y 1460 mm anuales, según lo informado por Vidal, Bravo, Hernández, García, et al. (2015).

Colecta de datos: Para el levantamiento de las Parcelas Temporales de Muestreo, se utilizó un mapa del área total efectiva cubierta de marabú en el Municipio “Carlos Manuel de Céspedes”. Este mapa, elaborado a escala 1:25 000 (Anexo 1) e informado por Vidal, Bravo, Hernández, García, et al. (2015), refleja la distribución del marabú según sus categorías diamétricas. La información cartográfica permitió planificar y ejecutar el muestreo de manera sistemática y eficiente.

Tamaño de la muestra, su distribución y método de muestreo: Se establecieron 90 parcelas temporales de muestreo, cada una de forma cuadrada y con dimensiones de 5 por 5 metros (25 m²). Estas parcelas se distribuyeron a una distancia de entre 30 y 40 metros entre sí, según las categorías diamétricas establecidas por Vidal et al. (2018). La ubicación de las parcelas se registró en el mapa (Anexo 1) para facilitar el trabajo de los tasadores.

Se asignaron 20 parcelas para la categoría de Marabú Fino, distribuidas en 4 puntos; 40 parcelas para Marabú Medio, ubicadas en 8 puntos; y 30 parcelas para Marabú Grueso, localizadas en 3 puntos. En cada parcela, se midió el diámetro en la base de todos los arbustos y se calculó el diámetro medio para cada categoría, mediante la fórmula correspondiente. Este procedimiento permitió obtener datos representativos de la estructura y composición del marabú en el área de estudio.

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n}$$

Donde:

$\bar{d}$: diámetro medio

d_i : diámetro de cada árbol

n : número de observaciones

Cálculo de la biomasa aérea verde maderable de marabú con corteza por ha (Fuste + ramas): A partir de los diámetros medios y los modelos matemáticos desarrollados por Bravo, Vidal, Hernández, Peña, et al. (2015) y Vidal et al. (2015), se determinó la biomasa aérea verde maderable con corteza por hectárea, tanto por categorías de marabú como en su totalidad. Los modelos utilizados fueron los siguientes:

- $\ln \text{BFV} = 1,7347 + 0,8661 * L_n d_{base}$
- $\ln \text{BRV} = 1,2814 + 1,6458 * L_n d_{base}$

En estas ecuaciones, BFV y BRV representan la biomasa aérea verde maderable con corteza del fuste y las ramas por hectárea, respectivamente, mientras que d_{base} corresponde al diámetro medio de los arbustos. Los valores 1,7347; 0,8661; 1,2814 y 1,6458 son coeficientes ajustados de los modelos.

Cálculo de la biomasa aérea verde maderable con corteza por categorías de marabú y total (Fuste + ramas): Los valores obtenidos mediante los modelos anteriores

se multiplicaron por el área efectiva correspondiente. Este procedimiento permitió calcular la biomasa aérea verde maderable por categorías de marabú y su totalidad. De esta manera, se logró cuantificar la biomasa disponible en cada categoría y en el área total evaluada.

Cálculo del peso seco de la biomasa aérea maderable de marabú: El peso seco de la biomasa aérea maderable de marabú se determinó en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Para ello, se tomaron muestras representativas de manera aleatoria, las cuales se secaron en estufas a 105°C hasta alcanzar un peso constante. La fórmula utilizada fue: $\text{BM} = (\text{PV} / \text{PS})$, donde PV representa el peso verde de la biomasa maderable de marabú (fuste y ramas) con corteza, y PS corresponde al peso seco de la misma biomasa.

Cálculo de la retención de Carbono y Nitrógeno retenido en la madera seca de marabú (Fuste + ramas) con corteza:

1. Para el cálculo de la retención de Carbono y Nitrógeno en la madera seca de marabú, se tomaron como referencia las ecuaciones empleadas por Díaz-Franco (2007) en plantaciones de *Pinus patula*, Avendaño et al. (2009) en bosques naturales de *Abies religiosa* Toirac et al. (2015) en plantaciones de *Pinus maestrensis*. Las ecuaciones utilizadas fueron:

$$\text{CRM} = \text{BM} * \text{Ccm}$$

$$\text{NRM} = \text{BM} * \text{Cnm}$$

Donde CRM y NRM representan el Carbono y Nitrógeno retenidos en la madera seca, expresados en toneladas. Ccm y Cnm son los coeficientes medios de Carbono y Nitrógeno presentes en la madera seca de marabú, con valores de 33,86 % y 0,31 %, respectivamente, determinados por Habana Energy (2010) y citados por Vidal et al. (2018).

2. Posteriormente, las ecuaciones anteriores se transformaron según las indicaciones metodológicas definidas por Vidal et al. (2018) para la especie de marabú. Estas modificaciones permitieron simplificar y precisar el cálculo de la retención de Carbono y Nitrógeno en la biomasa aérea maderable total de marabú con corteza, tanto por categorías como por hectárea. Las ecuaciones resultantes fueron:

a. Retención de Carbono y Nitrógeno en la biomasa aérea total de marabú con corteza, por categorías de marabú:

$$\text{CRM} = \text{BAVM} * \text{AEM} * 0,73 * \text{Ccm}$$

$$\text{NRM} = \text{BAVM} * \text{AEM} * 0,73 * \text{Cnm}$$

En estas ecuaciones, CRM y NRM representan el Carbono y Nitrógeno total retenidos en la madera seca de marabú (fuste + ramas) con corteza, expresados en toneladas por categorías de marabú. BAVM es la biomasa aérea verde maderable de marabú con corteza por hectárea, definida a partir del diámetro medio en la base y las tablas de biomasa correspondientes.

AEM corresponde al área efectiva total cubierta de marabú por categorías, y 0,73 es el coeficiente para convertir la biomasa aérea verde maderable en biomasa seca.

b) Finalmente, las ecuaciones descritas se validaron mediante el pronóstico de la retención de Carbono y Nitrógeno en la biomasa aérea de marabú con corteza por hectárea y por categorías. Esta validación se basó en los resultados obtenidos por (Vidal, Bravo, Hernández, García, et al., 2015) en el inventario de la biomasa total y por componentes de marabú, realizado en el área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El municipio “Carlos Manuel de Céspedes” abarca un área total de 66 434,18 hectáreas. De esta superficie, 15 662,14 hectáreas están cubiertas por marabú, lo que representa el 23,58 % del área total ocupada por esta vegetación (20 063,09 hectáreas). Dentro de esta área, 2 735,86 hectáreas corresponden a la red hidrográfica, 115,96 hectáreas a la red vial y 1 549,13 hectáreas a calveros (Vidal, Bravo, Hernández, García, et al., 2015)

En el área de estudio, el Marabú Fino ocupa 59,77 hectáreas, el Marabú Medio 13 911,56 hectáreas y el Marabú Grueso 1 690,81 hectáreas. Esto suma un área efectiva total de 15 662,14 hectáreas (Anexo 1), según lo informado por Vidal, Bravo, Hernández, García, et al., (2015); Vidal et al. (2018). Estas cifras reflejan la distribución espacial de las diferentes categorías de marabú en la zona.

La distribución adecuada de las 90 parcelas temporales de muestreo en el área de estudio, considerando las categorías diamétricas y los puntos de mayor concentración con características edafoclimáticas distintas, permitió cubrir todas las variaciones del sitio. Este enfoque garantizó la calidad general del inventario, un aspecto que también ha sido considerado por otros autores en el desarrollo de pronósticos de biomasa forestal en el país (Montalvo et al., 2015). La metodología empleada aseguró la representatividad de los datos obtenidos.

El diámetro medio en la base, estimado para las categorías de Marabú Fino, Marabú Medio y Marabú Grueso fue de 2,36 cm, 3,72 cm y 9,58 cm, respectivamente. Estos valores equivalen a una biomasa aérea verde maderable (fuste + ramas) con corteza por hectárea de 26,72, 48,98 y 188,59 toneladas. Al multiplicar estas cifras por el área efectiva correspondiente a cada categoría de marabú, se obtuvo una biomasa aérea verde maderable total de 1 597,05, 681 388,21 y 318 869,86 toneladas verdes, respectivamente, para un total de 1 001 815,12 toneladas verdes. Aplicando el coeficiente de conversión obtenido en el laboratorio (0,73), estas cifras se transformaron en 1 165,84, 497 413,39 y 232 774,99 toneladas secas por categoría, con un total de 731 354,22 toneladas secas.

Al multiplicar los valores obtenidos por los coeficientes medios de carbono y nitrógeno presentes en la biomasa maderable seca de marabú, se determinó una retención de carbono en la biomasa aérea seca total de 394,75, 168 424,17 y 78 817,61 toneladas secas por categoría, respectivamente, con un total de 247 636,53 toneladas. En el caso del nitrógeno, las cifras fueron de 3,61, 1 541,98 y 721,60 toneladas secas por categoría, respectivamente, para un total de 2 267,19 toneladas. Estos cálculos reflejan la capacidad de retención de carbono y nitrógeno en la biomasa de marabú.

Multiplicando la biomasa aérea verde maderable de marabú con corteza por hectárea y por categoría, obtenida a partir del diámetro medio en la base y las tablas de biomasa aportadas por Bravo, Vidal, Hernández, Peña, et al. (2015) y Vidal et al. (2015), por el coeficiente de conversión a peso seco (0,73), se llevó esta biomasa a peso seco. Los resultados se multiplicaron por los coeficientes medios de carbono y nitrógeno, alcanzando una retención de carbono de 6,60, 12,10 y 46,61 toneladas por hectárea y categoría, respectivamente. La retención de nitrógeno fue de 0,06, 0,11 y 0,43 toneladas por hectárea y categoría, respectivamente, con una retención media por hectárea de carbono y nitrógeno de 21,77 y 0,2 toneladas. En el Anexo 2 se resume detalladamente el cálculo de la retención de carbono y nitrógeno en la biomasa maderable de marabú con corteza.

El conocimiento del nivel de carbono retenido en la biomasa maderable de marabú, determinado en este estudio, permitirá evaluar las especies energéticas a plantar para sustituir el marabú en las áreas planificadas para su aprovechamiento dentro del municipio “Carlos Manuel de Céspedes”. Estas especies deben compensar el carbono que se pierda con su aprovechamiento y su implementación debe extenderse a nivel nacional en los municipios que proyectan la construcción de bioeléctricas a corto y mediano plazos. Este enfoque contribuirá a la sostenibilidad energética y ambiental del país.

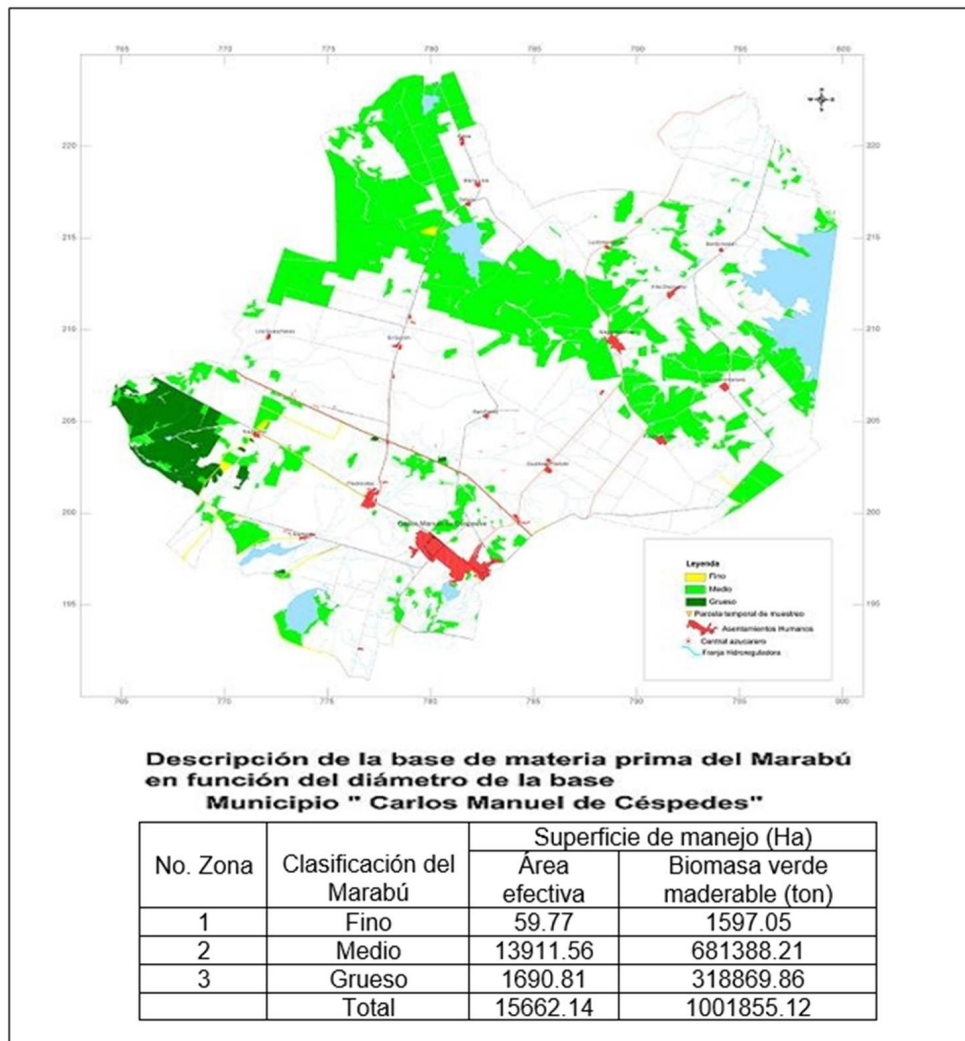
CONCLUSIONES

1. El municipio “Carlos Manuel de Céspedes” tiene 15.662,14 hectáreas cubiertas por marabú, con una biomasa aérea verde maderable total de 1.001.815,12 toneladas. La retención de carbono y nitrógeno en la biomasa seca alcanza 247.636,53 y 2.267,19 toneladas, respectivamente, lo que destaca su potencial para la sostenibilidad ambiental y energética.
2. El estudio revela que el marabú en el municipio retiene significativas cantidades de carbono (21,77 t/ha) y nitrógeno (0,2 t/ha). Estos datos son cruciales para planificar la sustitución del marabú por especies energéticas que compensen las pérdidas de carbono, contribuyendo a la sostenibilidad en proyectos de bioenergía a nivel nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Avendaño, D. Ma., Acosta, M., Carrillo, F., & Etchevers, J. D. (2009). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques de *Abies religiosa*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(3), 233-234.
- Benjamín, J. A. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3-12.
- Bravo, J. A., Vidal, A., Hernández, A., Peña, Y., Valle, L. M., Padrón, P. J., Padrón, P. R., & Paredes, L. (2015). Estimación de la biomasa aérea total verde con corteza de la vegetación de *Dychrostachys cinerea* var. *Africana* Brenan & Brummitt (Marabú). *Memorias*, 23.
- Bravo, J. A., Vidal, A., Hernández, A., Toirac, W., & Peña, Y. (2015). Estimación de la biomasa de rama verde de la vegetación de *Dychrostachys cinerea* var. *Africana* Brenan & Brummitt (Marabú). *Memorias*, 22.
- Camino, E. R., Ruggeroni, J. R. P., & Hernández, F. H. (2014). Quinto informe de evaluación del IPCC: Bases físicas. *Revista Tiempo y Clima*, 5(43). <https://pub.ame-web.org/index.php/TyC/article/view/281>
- Díaz-Franco, R. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. Et Cham. *Madera bosques*, 13, 25-34.
- Goodman, L. S. (1996). *Goodman and Gilman's the pharmacological basis of therapeutics* (Vol. 1549). McGraw-Hill New York. <https://europepmc.org/articles/pmc1916578?pdf=render>
- IPCC, I. P. O. C. C. (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. *Japan: IGES*, 2-3.
- Montalvo, J. M., Bravo, J., Casanova, A., & Suárez, T. (2015). *Código de Parcelas de Muestreo Permanente*. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20083162304>
- Toirac, W. (2014). *Estimación de la biomasa aérea total, carbono y nitrógeno retenido en plantaciones de PinusmaestrensisBisse en la provincia Granma* [PhD Thesis]. Tesis presentada (en opción al grado Científico de Doctor en Ciencias
- Toirac, W., Iglesias, J. A. B., Medel, H. B., Corona, A. V., Hernández, A. A., & Edua, B. R. C. (2015). Estimación del nitrógeno retenido en el fuste de las plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse en la provincia Granma, Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 3(1), 9.
- Vidal, A., Bravo, J. A., Hernández, A., García, T., Valle, T., & Pi, D. (2015). Inventario para el aprovechamiento de las áreas cubiertas de la vegetación de *Dychrostachys cinerea* var. *Africana* Brenan & Brummitt (Marabú) pertenecientes al municipio "Carlos Manuel de Céspedes", provincia Camagüey. *Memorias*, 46.
- Vidal, A., Bravo, J. A., Hernández, A., Toirac, W., Peña, Y., Valle, M., & Pi, D. (2015). Estimación de la biomasa de fuste verde de la vegetación de *Dychrostachys cinerea* var. *Africana* Brenan & Brummitt (Marabú)". *Memorias*, 22.
- Vidal, A., García, T., Bravo, J. A., Toirac, W., Hernández, A., Delgado, M., Álvarez, Y., Batista, F., Valle, M., Padrón, R., Paredes, L., & Risco, R. (2018). *Metodología para la caracterización tecnológica e inventario de las áreas cubiertas de marabú con fines energéticos*. Certificación de Registro del Senda: 2692 - 08 - 2028.

ANEXO 1. MAPA DEL ÁREA TOTAL EFECTIVA CUBIERTA DE MARABÚ EN EL MUNICIPIO “CARLOS MANUEL DE CÉSPEDES”, PROVINCIA CAMAGÜEY, CUBA, EN FUNCIÓN DE SU CATEGORÍA



ANEXO 2. TABLA RESUMEN DEL CÁLCULO DE LA RETENCIÓN DE CARBONO Y NITRÓGENO EN LA BIOMASA MADERABLE DE MARABÚ CON CORTEZA (FUSTE + RAMAS)

Marabú Fino		Marabú Medio		Marabú Grueso	
Diámetro medio en la base (cm.)	2,36	Diámetro medio en la base (cm.)	3,72	Diámetro medio en la base (cm)	9,58
Biomasa aérea verde maderable por ha (t.)	26,72	Biomasa aérea verde maderable por ha (t.)	48,98	Biomasa aérea verde maderable por ha (ton)	188,59
Coefficiente conversión madera verde a seca	0,73	Coefficiente conversión madera verde a seca	0,73	Coefficiente conversión madera verde a seca	0,73
Biomasa aérea seca maderable por ha (t.)	19,50	Biomasa aérea seca maderable por ha (t.)	35,75	Biomasa aérea seca maderable por ha (t.)	137, 67
Coefficiente de retención de carbono en la madera de marabú. (%)	33,86	Coefficiente de retención de carbono en la madera de marabú. (%)	33,86	Coefficiente de retención de carbono en la madera de marabú. (%)	33,86

Marabú Fino		Marabú Medio		Marabú Grueso	
Retención de carbono por ha en la madera de marabú. (t.)	6,60	Retención de carbono por ha en la madera de marabú. (t.)	12,10	Retención de carbono por ha en la madera de marabú. (t.)	46,61
Coefficiente de retención de nitrógeno en la madera de marabú. (%)	0,31	Coefficiente de retención de nitrógeno en la madera de marabú. (%)	0,31	Coefficiente de retención de nitrógeno en la madera de marabú. (%)	0,31
Retención de nitrógeno por ha en la madera de marabú. (t.)	0,06	Retención de nitrógeno por ha en la madera de marabú. (t.)	0,11	Retención de nitrógeno por ha en la madera de marabú. (t.)	0,43
Área efectiva cubierta de marabú (ha)	59,77	Área efectiva cubierta de marabú (ha)	13911,56	Área efectiva cubierta de marabú (ha)	1690,81
Biomasa aérea verde maderable total. (t.)	1597,05	Biomasa aérea verde maderable total. (t.)	681388,21	Biomasa aérea verde maderable total. (t.)	318869,86
Biomasa aérea seca maderable total. (t.)	1165,85	Biomasa aérea seca maderable total. (t.)	497413,39	Biomasa aérea seca maderable total. (t.)	232774,99
Retención de carbono en la madera total de marabú. (t.)	394,75	Retención de carbono en la madera de marabú. (t.)	168424,17	Retención de carbono en la madera de marabú. (t.)	78817,61
Retención de nitrógeno en la madera total de marabú. (t.)	3,61	Retención de nitrógeno en la madera de marabú. (t.)	1541,98	Retención de nitrógeno en la madera de marabú. (t.)	721,60