



# INVENTARIO DE LAS ÁREAS CUBIERTAS DE MARABÚ, CON FINES ENERGÉTICOS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SIGS

## INVENTORY OF AREAS COVERED BY MARABOU, FOR ENERGY PURPOSES, THROUGH THE APPLICATION OF GIS

✉ A. L. FERNÁNDEZ PEDROSO<sup>1\*</sup>, ✉ A. M. VIDAL CORONA<sup>2</sup>, ✉ T. GARCÍA GARCÍA<sup>3</sup>, ✉ ISABEL PÉREZ CABRERA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad Científico Tecnológica de Base Investigación e Innovación Tecnológica, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Unidad Científico Tecnológica de Base Estación Experimental Agro-Forestal Camagüey, Camagüey, Cuba.

E-mail: [alberto.vidal@inaf.cmg.minag.cu](mailto:alberto.vidal@inaf.cmg.minag.cu)

<sup>3</sup>GEOCUBA Camagüey - Ciego de Ávila, Camagüey, Cuba.

E-mail: [teo@camaguey.geocuba.cu](mailto:teo@camaguey.geocuba.cu)

\*Autor para la correspondencia: [abdielfp549@gmail.com](mailto:abdielfp549@gmail.com)

### RESUMEN

La cuantificación de la biomasa leñosa para energía es crucial para la planificación de recursos renovables. Este trabajo tuvo como objetivo realizar el inventario de la biomasa aérea total verde de *Dichrostachys cinerea* (marabú) en el municipio Camagüey, Cuba, con fines energéticos y de producción de carbón activado. Mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) se delimitó el área efectiva, clasificándose el marabú en categorías diamétricas (fino y medio). Se empleó un muestreo aleatorio con 60 parcelas de 25 m<sup>2</sup> para medir diámetros y densidades, mediante un modelo alométrico para estimar la biomasa. Los resultados mostraron un área total de 6,310.45 ha cubierta por marabú, con 2,793.04 ha de marabú fino y 3,517.41 ha de marabú medio, equivalentes a 51,754.99 y 284,804.53 toneladas de biomasa, respectivamente. Se concluyó que la integración de SIG y muestreo de campo permite una cuantificación precisa, donde el marabú medio es la categoría con mayor potencial energético, y se recomendaron tecnologías de aprovechamiento diferenciadas según la categoría diamétrica y el tipo de tenencia de la tierra predominante.

**Palabras clave:** biomasa, modelo alométrico, dendroenergía, tenencia de la tierra, mapeo temático

### ABSTRACT

Quantifying woody biomass for energy is crucial for renewable resource planning. This study aimed to inventory the total aboveground green biomass of *Dichrostachys cinerea* (marabou) in the municipality of Camagüey, Cuba, for energy and activated carbon production purposes. Geographic Information Systems (GIS) were used to delineate the effective area, classifying the marabou into diameter categories (fine and medium). A random sampling of 60 plots of 25 m<sup>2</sup> was used to measure diameters and densities, and an allometric model was used to estimate biomass. The results showed a total area of 6,310.45 ha covered by marabou, with 2,793.04 ha of fine marabou and 3,517.41 ha of medium marabou, equivalent to 51,754.99 and 284,804.53 tons of biomass, respectively. It was concluded that the integration of GIS and field sampling allows for precise quantification, with medium-sized marabou trees exhibiting the greatest energy potential. Differentiated harvesting technologies were recommended based on diameter category and predominant land tenure type.

**Keywords:** biomass, allometric model, dendroenergy, land tenure, thematic mapping

Recibido: 15/6/2025

Aceptado: 20/7/2025

**Conflicto de intereses:** los autores declaran no tener conflicto de intereses.

**Contribución de los autores:** Conceptualización, Redacción - revisión y edición, Metodología: Abdiel Lázaro Fernández Pedroso, Alberto Maximiliano Vidal Corona, Isael Pérez Cabrera. **Conservación de datos, Análisis formal, Redacción - primera redacción:** Abdiel Lázaro Fernández Pedroso. **Investigación, Supervisión, Validación, Visualización:** Abdiel Lázaro Fernández Pedroso, Alberto Maximiliano Vidal Corona



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/>



## INTRODUCCIÓN

El inventario forestal es un procedimiento que se usa para obtener información cualitativa y cuantitativa de los bosques. Este procedimiento se ejecuta de acuerdo con los objetivos propuestos y la exactitud requerida para una población forestal determinada. Su finalidad es obtener resultados útiles para el manejo práctico, ya sea en plantaciones o en bosques naturales. La información que provee es fundamental para la correcta elaboración del Proyecto de Ordenación Forestal. Dicho proyecto constituye la base primordial del desarrollo sostenible y de la planificación, organización y control de los manejos y aprovechamientos en las áreas del patrimonio forestal. Todo esto se realiza bajo el estricto cumplimiento de la Ley 81 del Medio Ambiente, según lo establecido en 1997 por la Asamblea Nacional del Poder Popular (Suárez, 2007).

En la práctica productiva, la pregunta clave para ejecutar un inventario forestal eficiente es la definición del tamaño adecuado y del número de parcelas a establecer. Estos parámetros influyen de forma directa sobre la precisión y los costos de la operación. En términos generales, el tamaño óptimo de la parcela depende de la estructura del bosque, la cual considera el tamaño, la densidad y el grado de agregación de los árboles. Por otra parte, los costos y el número de parcelas a levantar dependen de la variación entre las parcelas y de la precisión que se desea alcanzar (Hughell, 2003).

En los inventarios forestales, no es posible definir el número necesario de parcelas de muestreo desde un punto de vista puramente estadístico. La precisión de un modelo ajustado a datos captados a partir de Parcelas de Muestreo Temporal depende de la localización de las parcelas a establecer. Además, depende de las características del sitio y de las covarianzas de las diferentes variables predictoras, así como de los coeficientes en el modelo ajustado que se emplee.

La experiencia práctica en los inventarios forestales en Cuba sugiere que un número aproximado entre 90 y 100 parcelas puede ser suficiente. Estas parcelas deben cubrir las variaciones del sitio y el desarrollo histórico del rodal. Esta recomendación aplica a menos que existan evidencias de diferentes patrones de crecimiento en una parte de la zona de estudio. Por lo tanto, resulta más importante lograr una cantidad adecuada de parcelas de muestreo que acometer una intensidad de muestreo premeditada, independientemente de la variabilidad de la masa boscosa (Montalvo et al., 2015).

En el caso del inventario y cuantificación de la biomasa de marabú, las dificultades que se enfrentan son mayores en sentido general. Estas dificultades son mayores si las comparamos con las de un inventario forestal de cualquier otra índole:

- Nos enfrentamos a extensas áreas invadidas por esta vegetación a nivel nacional, con una alta densidad de arbustos por ha, los que oscilan entre 12 000 de marabú

grueso, 29 500 de marabú medio y 29 600 de marabú fino (Vidal et al., 2015).

- Resulta muy difícil el levantamiento y la captación de datos en las Parcelas de Muestreo Temporal definidas, debido a la incidencia sobre el tasador del rocío en las primeras horas de la mañana y del sol en el resto del día. Además, es riesgoso debido a las espinas que cubren su tallo y ramas y por las plagas de insectos y presencia de especies urticantes que habitan en esta vegetación.

A pesar de todas las dificultades expresadas, la experiencia práctica sugiere que un número entre 90 y 100 parcelas es suficiente para el inventario y cuantificación de la biomasa de marabú por localidades. Estas parcelas deben ser de forma cuadrada y tener una superficie de 25 metros cuadrados (5x5). El muestreo debe seguir un diseño aleatorio sistemático, con la distribución de las parcelas en los puntos de mayor ocupación de la especie dentro del área de estudio. Esta distribución debe cubrir los diferentes tipos de sitios existentes y emplear las categorías de marabú establecidas.

Paralelamente al inventario del marabú, resulta imprescindible considerar la flora arbórea y herbácea asociada. Este registro tiene como vista la definición de un manejo adecuado y la posible conservación de dicha flora. Todas las acciones deben cumplir con las restricciones establecidas por las leyes ambientales y la Ley Forestal (ANPP, 1997).

En Cuba se ejecutó el Proyecto SODEPaz: "Aprovechamiento de la biomasa de marabú y otras especies energéticas como combustible en la generación de electricidad y recuperación ambiental en Camagüey". La Unión Europea financió este proyecto en el año 2012. Su propósito fue brindar apoyo al Programa nacional para la construcción y puesta en marcha de bioeléctricas que emplearan esta materia prima (SODEPAZ, 2012).

El objetivo principal del presente estudio consistió en desarrollar el inventario de las áreas cubiertas por *Dichrostachys cinerea* (L.) Wr. et Arn. (marabú) en el municipio de Camagüey, provincia de Camagüey, con fines energéticos. Para ello, se siguieron estrictamente las indicaciones de la "Metodología para la caracterización tecnológica e inventario de las áreas cubiertas de marabú con fines energéticos" (Vidal et al., 2019). Asimismo, se atendió a lo dispuesto en el "Manual de procedimiento para el aprovechamiento de impacto reducido de los bosques de Cuba" (García et al., 2012).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se determinó la ubicación geográfica del área de estudio con base en sus coordenadas de latitud y longitud. Además, se caracterizaron los aspectos fisiográficos, como el relieve, las llanuras y planicies presentes. También se identificaron los tipos de suelos predominantes y se registraron las temperaturas máximas y mínimas de la zona.

Se realizó una caracterización tecnológica del área para delimitar la superficie efectiva cubierta por marabú, clasificada según categorías diamétricas. Este procedimiento tuvo como objetivo facilitar el inventario de la biomasa aérea total verde con corteza. Dicho inventario se orienta a posibles usos energéticos o a la producción de carbón activado.

Para el inventario de la biomasa aérea total verde con corteza, se colectaron datos específicos para cada categoría diamétrica existente. Se estableció el tamaño de la muestra, su distribución espacial y el método de muestreo aplicado, junto con el error máximo permisible. Asimismo, se describió el tamaño de las muestras evaluadas por categoría diamétrica, su patrón de distribución dentro del área y la magnitud del error máximo admisible.

El diámetro medio de los arbustos correspondiente a la categoría de marabú fino y medio se calculó mediante la fórmula:

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

Donde:

$\bar{d}$ : diámetro medio

$d_i$ : diámetro de cada árbol

$n$ : número de observaciones

El cálculo de la biomasa aérea total verde con corteza por árbol, para las categorías de marabú fino y medio, se obtuvo a partir del diámetro medio determinado para cada categoría. Este valor se procesó mediante el modelo matemático elaborado por (Bravo et al., 2015).

$$\ln \text{BATVCC} = 1,5522 + 0,6667 * \ln d_{base}$$

Donde:

BAFVCC: biomasa aérea total verde con corteza

$d_{base}$ : diámetro medio de los arbustos

1,5522 y 0,6667: coeficientes ajustados del modelo construido.

Posteriormente, se calculó la biomasa aérea total verde con corteza para cada categoría de marabú. Este cálculo se basó en la multiplicación del valor individual anterior por el área efectiva correspondiente. De este modo, se obtuvo una estimación de la biomasa por unidad de superficie.

Para definir el número de arbustos por metro cuadrado y por hectárea, se cuantificó primero el número promedio de individuos por parcela de 25 m<sup>2</sup> en cada categoría. Este promedio se convirtió a un valor medio por m<sup>2</sup> mediante una regla de tres, simple. Luego, la cifra obtenida se multiplicó por 10 000 m<sup>2</sup>, con lo cual se definió el número medio de arbustos por hectárea.

Se propusieron tecnologías para el aprovechamiento del marabú fino y medio y su entrega en centros de producción de energía eléctrica o de carbón activado. La propuesta incluye el empleo de tecnologías semimecanizadas o de máquinas combinadas. Esta selección se ajusta al nivel de mecanización programado para introducir en el municipio Camagüey a corto y mediano plazo.

El análisis definió al principal tenente de la tierra en función de la superficie que ocupa el marabú por categorías diamétricas. Además, se identificaron los tipos de relieves donde se desarrollan las categorías fino y medio en el área de estudio. Finalmente, se evaluó el posible aprovechamiento de la biomasa en estos relieves.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área de estudio se ubica en las coordenadas 21° 42' de latitud norte y 77° 55' de longitud oeste. Su relieve es predominantemente llano, con extensas llanuras calizas y planicies formadas por rocas serpentinosas e ígneas. Los suelos corresponden en su mayoría al tipo pardo carbonatado. La temperatura máxima registrada es de 30.6 °C, mientras que la mínima alcanza 20.50 °C.

Se emplearon Sistemas de Información Geográfica (SIG) basados en plataformas digitales, gestionados con el software libre QGIS. Este proceso integró el mapa catastral, el mapa de suelo, fotomosaicos de imágenes de teledetección y una interpretación visual verificada previamente en el terreno. El resultado fue un conjunto de mapas temáticos que caracterizan la superficie cubierta por marabú según categorías diamétricas, presencia de obstáculos, pendientes y tenencia de la tierra. Estos mapas establecen una vinculación directa con los resultados del inventario, en cumplimiento de las indicaciones MET: 30-14, MET: 40-60, la Norma Cubana 13-18:88 y las referencias de Herrero (2003) y Vidal et al. (2018). Posteriormente, se realizó la validación y el ajuste correspondiente en campo.

La colecta de datos se ejecutó dentro del área de estudio, se consideraron las dos categorías diamétricas de marabú identificadas: marabú fino (diámetro basal entre 0 y 3 cm) y marabú medio (diámetro basal entre 3.1 y 8 cm). Para la categoría de marabú fino, las muestras procedieron del levantamiento de 20 parcelas temporales cuadradas de 5 x 5 m (25 m<sup>2</sup>). Estas parcelas se distribuyeron con una separación de 40 a 50 metros entre ellas, en los puntos de mayor concentración del arbusto y en sitios con características diferentes, mediante un muestreo aleatorio simple. Para la categoría de marabú medio, el muestreo se basó en 40 parcelas con la misma metodología. El error máximo admisible para el estudio se fijó en un 15 por ciento.

El diámetro medio de los arbustos para la categoría de marabú fino fue de 2.27 cm. En la categoría de marabú medio, el diámetro medio registrado fue de 5.50 cm. Estos valores diamétricos son fundamentales para la clasificación y el análisis posterior de la biomasa.

La biomasa aérea total verde con corteza por hectárea para el marabú fino se estimó en 18.53 t/ha. Para el marabú medio, esta biomasa alcanzó un valor de 80.97 t/ha. Estas cifras cuantifican el recurso disponible para su potencial aprovechamiento.

La densidad de arbustos para el marabú fino fue de 4.59 individuos por metro cuadrado, lo que equivale a 45,900 individuos por hectárea. Para el marabú medio, la densidad fue de 2.37 individuos por metro cuadrado, equivalente a 23,700 individuos por hectárea. Se recomienda emplear tecnologías semimecanizadas para el aprovechamiento del marabú fino. Para el marabú medio, se sugiere el uso de máquinas combinadas.

El principal tenente de la tierra, en relación con la superficie y la biomasa disponible para cada categoría de marabú en el municipio, resultó ser la asociación de las CCS y las CPA. Estas formas de tenencia ocupan un área conjunta de 2607.1611 ha, que contienen 137,284.31 toneladas de biomasa (Anexo 1).

El marabú fino se desarrolla en los tres tipos de relieves presentes en el área de estudio, que ocupa una superficie de 2793.0383 ha. Esta extensión equivale a 51,754.99 toneladas de biomasa aérea. Se propone su aprovechamiento para la producción de electricidad y/o carbón activado, mediante el empleo de tecnologías semimecanizadas (Anexo 2).

El marabú medio también se distribuye en los tres tipos de relieves del área inventariada, con una cobertura de 3517.4073 ha que contienen 284,804.53 toneladas de biomasa. Se recomienda su aprovechamiento para la producción de electricidad y/o carbón activado en 1977.4198 ha disponibles, las cuales equivalen a 160,111.70 toneladas, utilizando para ello máquinas combinadas.

## CONCLUSIONES

El estudio demuestra que las categorías diamétricas de marabú presentan diferencias significativas en biomasa disponible. El marabú medio, con mayor diámetro medio (5.50 cm), alcanza una biomasa aérea muy superior (80.97 t/ha) y una menor densidad (23,700 arb/ha) en comparación con el marabú fino, lo que determina recomendaciones tecnológicas de aprovechamiento diferenciadas.

La integración de SIG, muestreo estadístico y validación de campo permite una cuantificación precisa del recurso. La mayor disponibilidad de biomasa se asocia a las formas de tenencia CCS/CPA, donde el marabú medio es la categoría con mayor potencial (284,804.53 t), recomendándose para su aprovechamiento energético en áreas con relieve accesible.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANPP, A. N. del P. P. (1997). Ley 81, del Medio Ambiente. *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, 7, 7.
- Bravo, J. A., Vidal, A. M., Hernández, R. A., & Peña, Y. (2015). Estimación de la biomasa aérea total verde con corteza de la vegetación de *Dichrostachys cinerea* var. *Africana Brenam & Brummitt* (Marabú). *Memorias de la Jornada Científica 45 Aniversario de la Fundación de la Estación de Guisa*, 22.
- García, J. M., Vidal, A. M., Herrero, J. A., & Batista, E. (2012). *Manual de procedimiento para el aprovechamiento de impacto reducido de los bosques de Cuba*. Dirección Forestal MINAG.
- Herrero, J. A. (2003). *Fajas forestales hidrorreguladoras*. Dirección Nacional Forestal, MINAG.
- Hughell, D. A. (2003). *La optimización de inventarios forestales* (No. 59; Informe Técnico, p. 32). Editorial BOLFOR.
- Montalvo, J. M., Bravo, J., Casanova, A., & Suárez, T. (2015). *Código de Parcelas de Muestreo Permanente. Instructivo Técnico*. Instituto de Investigaciones Agro-forestales.
- SODEPAZ. (2012). *Aprovechamiento de la biomasa de marabú y otras especies energéticas como combustible en la generación de electricidad y recuperación ambiental en Camagüey* (Technical Report No. EUROPEAID/129-886/L/ACT/CU/01; p. 36).
- Suárez, T. (2007). Ordenación forestal: Base del desarrollo forestal sostenible. *Revista Agricultura Orgánica*, 1, 7-8.
- Vidal, A., García, T., Bravo, J. A., Toirac, W., Hernández, A., Delgado, M., Álvarez, Y., Batista, F., Valles, M., Padrón, R., Paredes, L., & Risco, R. (2018). *Metodología para la caracterización tecnológica e inventario de las áreas cubiertas de marabú con fines energéticos* (p. 100). Senda.
- Vidal, A., García, T., & Colaboradores. (2019). *Metodología para la caracterización tecnológica e inventario de las áreas cubiertas de marabú con fines energéticos* (Segunda versión, p. 100) [Technical Report].
- Vidal, A. M., Bravo, L. A., Hernández, A., Peña, Y., Valle, M., & Pi, D. (2015). *Inventario para el aprovechamiento de las áreas cubiertas de la vegetación de Dichrostachys cinerea* var. *Africana Brenam & Brummitt* (Marabú) pertenecientes al municipio "Carlos Manuel de Céspedes", provincia Camagüey [Technical Report].

## ANEXOS

**Anexo 1.** Descripción de la base de materia prima del marabú en función de la tenencia.

No.	Categoría Marabú	Área efectiva/Biomasa	Superficie por tenentes (Há) / Biomasa por tenentes (TON)			
			CCS y CPA	Emp. Agrop. Cmg	UBPC	Otras entidades
1	Fino	2793.0383	1182.2162	920.54	582.1664	108.1157
		51754.99	21906.46	17057.58	10787.55	2003.4
2	Medio	3517.4073	1424.9449	842.1626	813.7353	436.5645
		284804.53	115377.85	68189.89	65888.17	35348.62
	Total	6310.4456	2607.1611	1762.7026	1395.9017	544.6802
		336559.52	137284.31	85247.47	76675.72	37352.02

**Anexo 2.** Descripción de la base de materia prima del marabú en función de las tecnologías de aprovechamiento posibles a emplear.

No.	Categoría Marabú	Área efectiva	Superficie por tecnologías (Há)		Biomasa por tecnologías (TON)	
			Máquina combinada	Semimecanizada	Máquina combinada	Semimecanizada
1	Fino	2793.0383	--	2793.0383	--	51754.99
2	Medio	3517.4073	1977.4198	1539.9875	160111.7	124692.83
		Total	6310.4456	1977.4198	4333.0258	160111.7