



CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LAS ÁREAS CUBIERTAS DE MARABÚ CON FINES ENERGÉTICOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SIG

TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE MARABOUT COVERED AREAS FOR ENERGY USES BY MEANS OF THE SIG APPLICATION

ALBERTO MAXIMILIANO VIDAL CORONA^{1*}, TEODORO GARCÍA GARCÍA², MILADYS DELGADO MÉNDEZ³,
WILMER TOIRAC ARGUELLEZ⁴, LENIER LLANES CARMENATE¹

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

²GEOCUBA Camagüey - Ciego de Ávila, Cuba. E-mail: teo@camaguey.geocuba.cu

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

⁴Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Playa, La Habana, Cuba. E-mail: wilmer@forestaes.co.cu

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

RESUMEN

La utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) es fundamental para caracterizar formaciones vegetales destinadas a la producción de biomasa, ya que permiten identificar, monitorear y gestionar de manera eficiente los recursos forestales, optimizando su uso sostenible para la generación de energía limpia y la producción de carbón vegetal. El estudio se llevó a cabo en la provincia de Camagüey, Cuba, con el objetivo de caracterizar tecnológicamente las áreas cubiertas por *Dychrostachys cinerea* var. *africana* Brenan & Brummitt (marabú), con el fin de facilitar el inventario de su biomasa aérea verde con corteza para su uso energético. Para ello, se utilizaron SIG basados en plataformas digitales, gestionados mediante el software MapInfo, con la integración de mapas de superficie efectiva cubierta por la especie, categorías de marabú, obstáculos, pendientes, tenencia de la tierra y tecnologías para su aprovechamiento. Los resultados mostraron que el área efectiva cubierta por marabú fue de 15,662.14 hectáreas (23.58% del total analizado), distribuida en 59.77 hectáreas de marabú fino, 13,911.56 hectáreas de marabú medio y 1,690.81 hectáreas de marabú grueso. Estas áreas se localizaron principalmente en suelos no rocosos, llanos y de uso agropecuario, lo que permitió identificar tecnologías sostenibles y respetuosas con el medio ambiente para su aprovechamiento energético. Este estudio proporciona una base metodológica para la gestión eficiente de la biomasa de marabú en la región.

Palabras clave: Biomasa, Sistemas de Información Geográfica, carbón vegetal, MapInfo, rocosidad

ABSTRACT

The use of Geographic Information Systems (GIS) is essential for characterizing plant formations intended for biomass production, as they allow for the efficient identification, monitoring, and management of forest resources, optimizing their sustainable use for clean energy generation and charcoal production. The study was carried out in the province of Camagüey, Cuba, with the objective of technologically characterizing the areas covered by *Dychrostachys cinerea* var. *africana* Brenan & Brummitt (marabou forest), in order to facilitate the inventory of its green aboveground biomass with bark for energy use. For this purpose, GIS based on digital platforms, managed using MapInfo software, were used, integrating maps of the effective area covered by the species, marabou forest categories, obstacles, slopes, land tenure, and technologies for its use. The results showed that the effective area covered by marabou was 15,662.14 hectares (23.58% of the total analyzed), distributed as follows: 59.77 hectares of fine marabou, 13,911.56 hectares of medium marabou, and 1,690.81 hectares of coarse marabou. These areas were located primarily on non-rocky, flat, agricultural soils, which allowed for the identification of sustainable and environmentally friendly technologies for their energy use. This study provides a methodological basis for the efficient management of marabou biomass in the region.

Keywords: Biomass, Geographic Information Systems, charcoal, MapInfo, rockiness

INTRODUCCIÓN

En Cuba se han desarrollado diversas investigaciones relacionadas con el inventario de la biomasa forestal para distintos fines. Sin embargo, estos estudios se han centrado

en un grupo reducido de especies y, en algunos casos, no se han cuantificado todos los componentes de la biomasa (Bravo et al., 2015). Además, los inventarios realizados hasta la fecha no están específicamente orientados

Recibido: 09/7/2022

Aceptado: 22/8/2022



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/>



al aprovechamiento. Para este propósito, es necesario considerar las características tecnológicas de las áreas a explotar, con el fin de seleccionar tecnologías de aprovechamiento que garanticen una efectividad económica óptima y minimicen el impacto ambiental (García et al., 2012).

Actualmente, en Cuba se ha realizado un censo de las áreas infestadas de marabú y se han llevado a cabo algunos estudios preliminares sobre la disponibilidad de su biomasa a nivel nacional. No obstante, estos datos son insuficientes y requieren de métodos de inventario más precisos para determinar la biomasa existente. Una vez cosechada y transformada, esta biomasa podría utilizarse como combustible alternativo en los centrales azucareros, como complementación de la biomasa cañera (SODePAZ, 2012).

El objetivo principal de este estudio fue proporcionar una herramienta integral que aborde los aspectos técnicos, tecnológicos y metodológicos necesarios para desarrollar el inventario de las áreas cubiertas por la vegetación de *Dichrostachys cinérea* (L.) Wr. et Arn. (marabú) en el municipio "Carlos Manuel de Céspedes", provincia de Camagüey. Esta herramienta busca facilitar la selección de tecnologías, sistemas de máquinas y formas de organización de la fuerza laboral que sean económicamente rentables y respetuosas con el medio ambiente. Para ello, se realizó una caracterización tecnológica de las áreas y se emplearon sistemas de información geográfica (SIG) disponibles en bases digitales gestionadas mediante el software MapInfo. El fin último es convertir la biomasa de marabú en energía eléctrica, carbón vegetal y/o carbón activado, mediante tecnologías sostenibles y ambientalmente responsables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo la caracterización tecnológica integral de la base de materia prima cubierta de marabú en el municipio "Carlos Manuel de Céspedes". Este proceso se realizó mediante un geoprocesamiento de mapas cartográficos, tomando como referencia el catastro rural. De esta manera, se aseguró la compatibilidad con los mapas de suelo y otros materiales georreferenciables, lo que permitió conformar una base única para garantizar la caracterización espacial de dichas áreas. Este enfoque facilitó la elaboración de un inventario posterior con fines energéticos, en función de las variables estudiadas y el cumplimiento de las normativas MET:30-14, MET:40-60, la Norma Cubana 13-18:88 Herrero (2003) y (Vidal et al., 2018).

Definición de la superficie efectiva cubierta de marabú

La confección del estudio partió del análisis del área total del municipio, mediante bases cartográficas, catastrales, imágenes aéreas, satelitales y registros especializados, entre otros materiales georreferenciados. Este análisis permitió

delimitar la superficie efectiva cubierta de marabú. Para ello, se determinó inicialmente la superficie total ocupada por marabú dentro del municipio, excluyendo las áreas correspondientes a la red hidrográfica, la red vial, los calveros y otros cultivos no asociados al estudio. Como base de trabajo para la representación temática, se empleó el catastro rural a escala 1:10 000.

Definición de la superficie efectiva por categorías de marabú

A partir del primer mapa, se realizó una interpretación previa de las imágenes satelitales, considerando las variables de color y textura. Esta interpretación permitió clasificar el marabú en tres categorías según el diámetro en la base: fino, medio y grueso, con la identificación del área ocupada por cada una de ellas. Posteriormente, se llevó a cabo una comprobación en el terreno, cuyos resultados se reflejaron en la composición temática del mapa.

Definición de la superficie efectiva en función de los obstáculos

Con base en el segundo mapa, se realizó un geoprocesamiento previo de los materiales cartográficos para integrar las variables del mapa de suelo a la base catastral. Se definió, para cada categoría de marabú, la superficie que representa en términos de tipos de suelo, distinguiendo entre suelos sin rocosidad, muy rocosos, moderadamente rocosos y extremadamente rocosos. Estos datos se representaron temáticamente en el mapa correspondiente.

Definición de la superficie efectiva en función de la pendiente

De igual manera, a partir del segundo mapa y tras un geoprocesamiento de los materiales cartográficos, se integraron las variables del mapa de suelo relacionadas con los rangos de pendientes. Se clasificaron los suelos en llanos, ligeramente ondulados, ondulados y alomados, con la determinación de su distribución para cada categoría de marabú. Esta información se plasmó en la composición temática del mapa, ofreciendo una visión detallada de las características del terreno.

Definición de la superficie efectiva en función de la tenencia

A partir de los mapas anteriores, se estableció una relación entre cada tipo de marabú, la superficie en hectáreas y las toneladas de biomasa disponibles en los principales tenentes del territorio. Estos tenentes se agruparon en categorías como: Campesinos independientes, CCS y CPA, Empresas Agropecuarias, Empresas Azucareras, UBCP y otras entidades. De esta manera, se logró representar en el mapa la composición temática correspondiente.

Cabe destacar que la cuantía de la biomasa se incorporó una vez concluido el inventario del marabú, durante la segunda etapa del trabajo.

Definición de las posibles tecnologías a emplear para su aprovechamiento

A partir del segundo mapa, y mediante la integración de los mapas tres y cuatro, se determinaron las posibles tecnologías, sistemas de máquinas y formas de organización de la fuerza laboral para el aprovechamiento total o parcial de la biomasa de marabú. Este recurso se destinará principalmente a la producción de electricidad o carbón vegetal. En el mapa se expresan las toneladas de biomasa disponibles, clasificadas según las categorías de marabú, y se muestra su composición temática. Es importante señalar que la cuantía de la biomasa se incorporó una vez finalizado el inventario del marabú.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó una caracterización tecnológica integral de la base de materia prima cubierta de marabú en el municipio "Carlos Manuel de Céspedes". En la [figura 1](#) y [tabla 1](#) se describe el área cubierta por marabú en el municipio, la cual comprende 20 063.09 ha, de las cuales solo el 23,58 % (15 662.14 ha) se considera efectiva. Conocer la superficie cubierta de marabú es fundamental para planificar el abastecimiento destinado a la producción de electricidad y de carbón vegetal.

En la [figura 1](#) y [tabla 2](#) se presenta la clasificación del marabú medio, la cual reveló que esta categoría ocupa la mayor superficie, con 13 911.56 ha. La clasificación del tipo de marabú según el diámetro en la base permite tomar decisiones adecuadas sobre el uso futuro de la biomasa disponible.

En la [figura 1](#) y [tabla 3](#) se describe el área de marabú según la rocosidad del terreno. Se observa que la categoría de marabú medio ocupa la mayor superficie sin rocosidad, con 13 162.60 ha. La baja rocosidad del terreno facilita las labores de corte y acopio de la biomasa, lo que optimiza su aprovechamiento.

En la [figura 1](#) y [tabla 4](#) se muestra que la categoría de marabú medio también ocupa la mayor superficie de suelos llanos, con 12 388.65 ha. La baja rocosidad del terreno permite la introducción de maquinaria para realizar las labores de corte y acopio de la biomasa de manera eficiente.

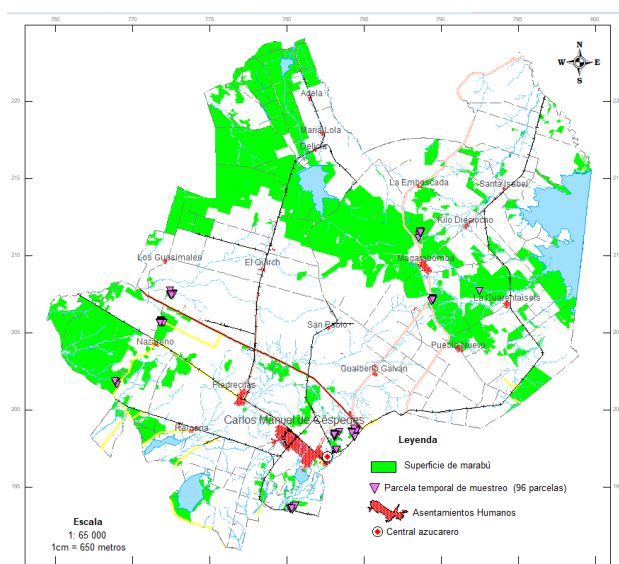


Figura 1. Superficie efectiva cubierta de marabú.

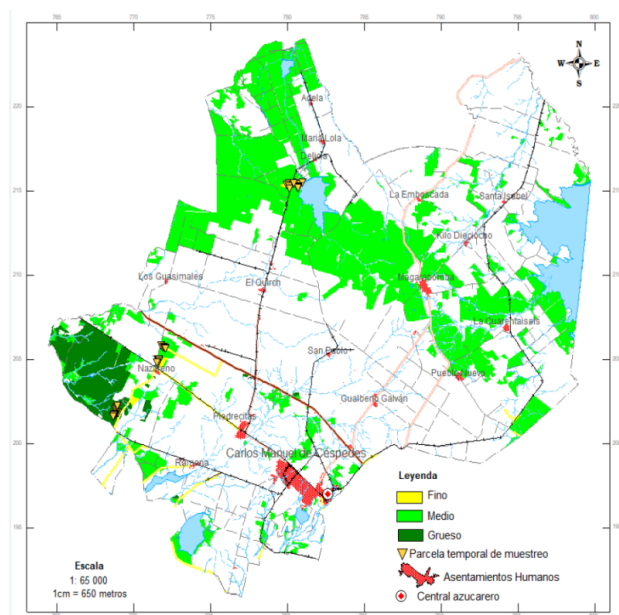


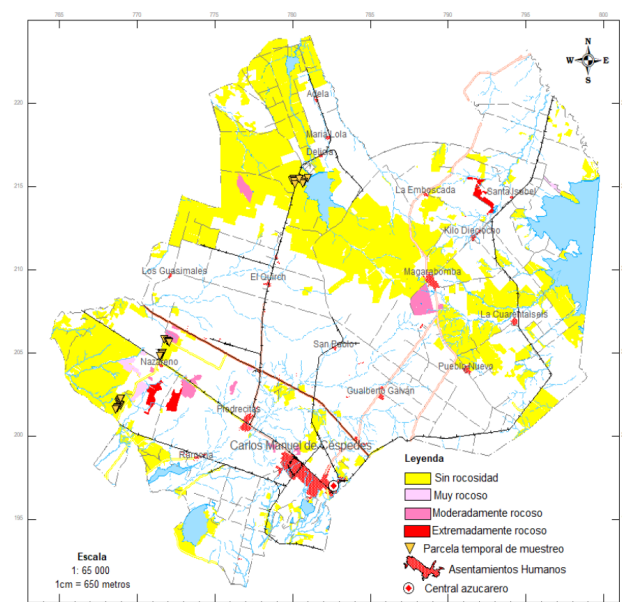
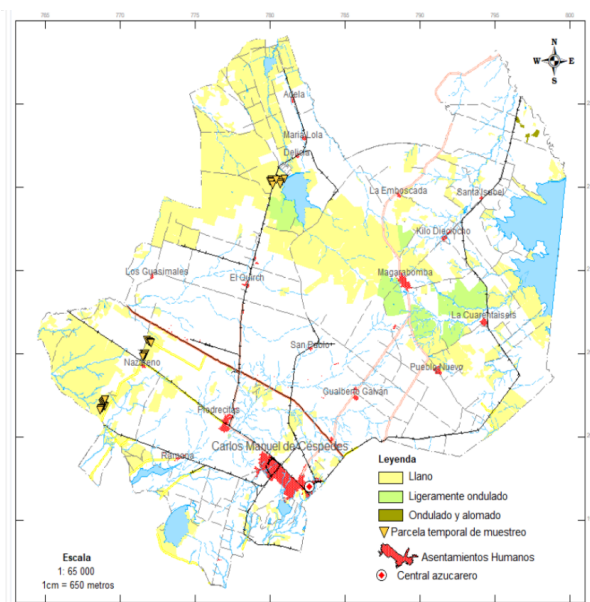
Figura 2. Caracterización tecnológica de la base de materia prima cubierta de marabú en función del diámetro en la base.

Tabla 1. Descripción de la superficie efectiva cubierta por Marabú. Municipio "Carlos Manuel de Céspedes".

No	Área Total Municipio	Superficie de manejo: UM:Há					
		A aprovechar	Red Hidrográfica	Red Vial	Calvero	Efectiva	%
1	66434.18	20063.09	2735.86	115.96	1549.13	15662.14	23.58

Tabla 2. Descripción de la base de materia prima del marabú en función del diámetro en la base.

No. Zona	Clasificación Marabú	Superficie cubierta por: UM:Há				
		A aprovechar	Red Hidrográfica	Red Vial	Calveros	Efectiva
1	Fino	59.77	-	-	-	59.77
2	Medio	17658.29	2380.20	96.25	1270.29	13911.56
3	Grueso	2345.03	355.66	19.71	278.84	1690.81
	Total	20063.09	2735.86	115.96	1549.13	15662.14

**Figura 3.** Caracterización tecnológica de la base de materia prima del marabú en función de los obstáculos.**Figura 4.** Caracterización tecnológica de la base de materia prima del marabú en función de los rangos de pendientes.**Tabla 3.** Descripción de la base de materia prima del marabú en función de los obstáculos.

No. Zona	Clasificación Marabú	Área Efectiva	Superficie cubierta por Obstáculos UM: Há			
			Sin Rocosidad	Muy Rocos	Moderadamente rocoso	Extremadamente rocoso
1	Fino	59.77	40.63	19.14	-	-
2	Medio	13911.56	13162.60	88.16	472.68	188.12
3	Grueso	1690.81	1586.74	58.20	5.91	39.96
Total		15662.14	14789.97	165.50	478.59	228.08

Tabla 4. Descripción de la base de materia prima del marabú en función de los rangos de pendientes.

No. Zona	Clasificación Marabú	Área Efectiva	Superficie por rangos de pendientes UM: Há		
			Llano	Ligeramente Ondulado	Ondulado y Alomado
1	Fino	59.77	59.77	-	-
2	Medio	13911.56	12388.65	1490.36	32.55
3	Grueso	1690.81	1684.32	6.49	-
Total		15662.14	14132.74	1496.85	32.55

En la [figura](#) y [tabla 5](#) se indica que el principal tenente, en relación con la superficie y la biomasa disponible para cada categoría de marabú, es la Empresa Agropecuaria Camagüey. Esta empresa ocupa 9 419.32 ha, con una biomasa disponible de 418 448.83 toneladas.

En la [figura](#) y [tabla 6](#) se presentan las tecnologías más idóneas para el aprovechamiento de la biomasa del marabú con fines energéticos. Para el marabú fino, que se desarrolla en un relieve llano (59.77 ha) y mayormente sin rocosidad (40.63 ha), se propone su aprovechamiento para la producción de electricidad. Esto se lograría mediante el uso de máquinas combinadas integrales y camiones con remolques. En el caso de terrenos ondulados y alomados (32.55 ha), se recomienda emplear motosierras para el corte y troceado,

seguido de cargue manual, triturado con máquinas astilladoras y transporte hasta las bioeléctricas con camiones y remolques.

Para el marabú grueso, que se encuentra en condiciones de relieve llano (1 684.32 ha) y ligeramente ondulado (6.49 ha), se sugiere su aprovechamiento para la producción de carbón vegetal. Este proceso incluye el corte y troceado con motosierras, pre-acopio y cargue manual o con cargadores frontales, y transporte hasta los centros de producción de carbón con camiones y remolques. Adicionalmente, esta biomasa puede ser transportada a las bioeléctricas para su transformación en energía eléctrica. En este caso, se emplearían astilladoras móviles para su astillado y cargadores frontales para su manipulación hasta el biodigestor. Las longitudes de fracción adecuadas del material cosechado para la generación de energía eléctrica fueron informados por [Cano-Estrella et al. \(2022\)](#).

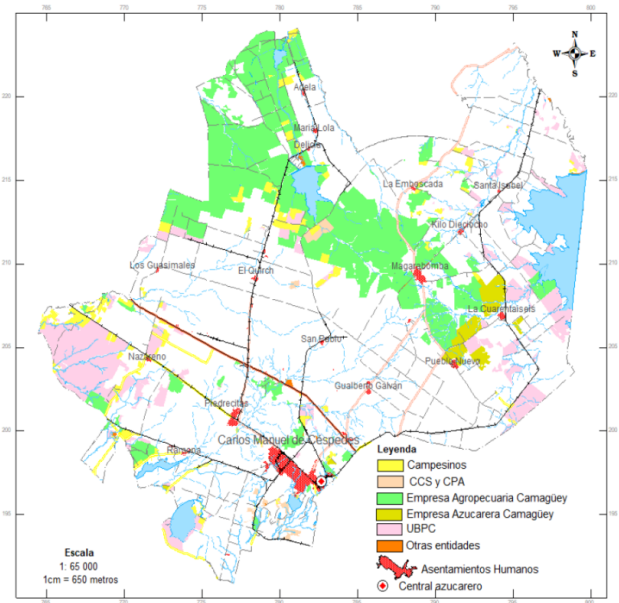


Figura 5. Caracterización tecnológica de la base de materia prima del marabú en función de los tenentes.

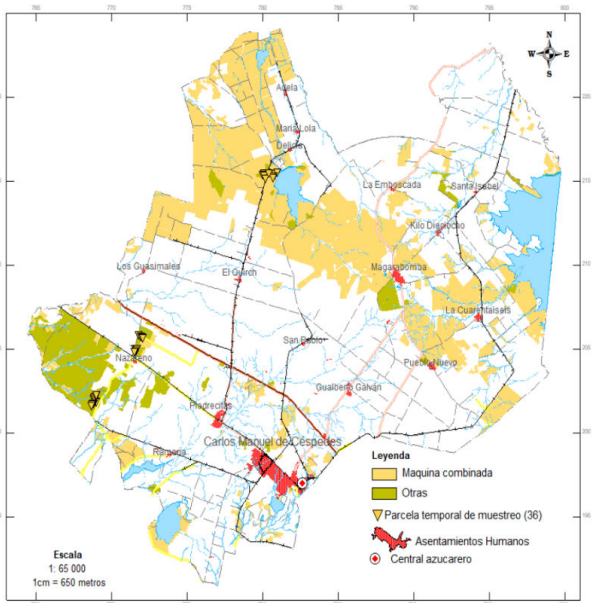


Figura 6. Propuestas de tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa del marabú con fines energéticos.

Tabla 5. Descripción de la base de materia prima del marabú en función de los tenentes.

No. Zona	Clasificación Marabú	Área Efectiva	Superficie por tenentes (Há) / Biomasa por tenentes (TON)					
			Campesinos	CCS y CPA	Emp. Agrop. Cmg	Em. Azuc. Cmg	UBPC	Otras entidades
1	Fino	59.77	=	=	$\frac{23.02}{456.03}$	=	$\frac{36.75}{728.02}$	=
2	Medio	13911.56	$\frac{1137.29}{48482.67}$	$\frac{256.60}{10938.86}$	$\frac{9288.37}{395963.21}$	$\frac{679.01}{28946.20}$	$\frac{2498.50}{106511.06}$	$\frac{51.79}{2207.81}$
3	Grueso	1690.81	$\frac{154.47}{31528.87}$	=	$\frac{107.93}{22029.59}$	=	$\frac{1420.98}{290036.23}$	$\frac{7.43}{1516.54}$
Total		15662.14	$\frac{1291.76}{80011.54}$	$\frac{256.60}{10938.86}$	$\frac{9419.32}{418448.83}$	$\frac{679.01}{28946.20}$	$\frac{3956.23}{397275.30}$	$\frac{59.22}{3724.35}$

Tabla 6. Descripción de la base de materia prima del marabú en función de las tecnologías de aprovechamiento posibles a emplear.

No. Zona	Clasificación Marabú	Área Efectiva	Superficie por tecnologías (Há)		Biomasa por tecnologías (TON)	
			Máquina combinada	Otras	Máquina combinada	Otras
1	Fino	59.77	-	59.77	-	1184.04
2	Medio	13911.56	13000.56	911.00	554213.87	38835.93
3	Grueso	1690.81	-	1690.81	-	345111.23
Total		15662.14	13000.56	2661.58	554213.87	385131.20

CONCLUSIONES

La caracterización tecnológica integral de la base de materia cubierta de marabú, bajo el geo procesamiento de los mapas cartográficos empleados y en función de las variables objeto del presente estudio, garantiza la calidad del inventario de esta biomasa para su aprovechamiento con fines energéticos y la correcta selección de tecnologías, sistemas de máquinas y formas de organización de la fuerza laboral económicamente rentables y respetuosas del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- 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 *Dyckrostachys cinerea* var. *Africana* Brenan & Brummitt (Marabú). *Memorias*, 23.
- Cano-Estrella, O., López-Sánchez, O., Guerrero-Posada, P., & San José-González, P. (2022). Evaluación de la calidad de triturado del marabú cortado con una cosechadora forestal. *Revista Ingeniería Agrícola*, 12(4). <https://www.redalyc.org/journal/5862/586272874008/586272874008.pdf>
- García, J. M., Vidal, A., Herrero, J. A., & Bautista, E. (2012). Manual de Procedimiento para el aprovechamiento de impacto reducido de los bosques de Cuba. *Proyecto "Desarrollo del Sector Forestal en Cuba". La Habana. Dirección Forestal.*
- Herrero, J. A. (2003). *Fajas forestales Hidrorreguladoras*. Agroinform.
- SODEPAZ. (2012). *Aprovechamiento de la biomasa de marabú y otras especies energéticas como combustible en la generación de electricidad y recuperación ambiental en Camagüey*. EUROPEAID.
- 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.