



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

## TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF MARABOU-COVERED AREAS FOR ENERGY PURPOSES USING GIS

✉ T. GARCÍA GARCÍA<sup>1\*</sup>, ✉ A. M. VIDAL CORONA<sup>2</sup>, ✉ A. L. FERNÁNDEZ PEDROSO<sup>3</sup>, ✉ ISABEL PÉREZ CABRERA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>GEOCUBA Camagüey - Ciego de Ávila. Carretera Central Oeste, No 221, e/ Ira y Avenida Hospital, Camagüey, Cuba.

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

Ave. Ignacio Agramonte No. 178, Camagüey, Cuba. E-mail: [alberto.vidal@inaf.cmg.minag.cu](mailto:alberto.vidal@inaf.cmg.minag.cu)

<sup>3</sup>Unidad Científico Tecnológica de Base Investigación e Innovación Tecnológica. Calle 174 No. 1723 e/ 17B y 17C.

Playa, La Habana, Cuba. E-mail: [abdielfp549@gmail.com](mailto:abdielfp549@gmail.com)

<sup>4</sup>Unidad Científico Tecnológica de Base Estación Experimental Agro-Forestal Camagüey.

Ave. Ignacio Agramonte No. 178, Camagüey, Cuba. E-mail: [isabel.perez@inaf.cmg.minag.cu](mailto:isabel.perez@inaf.cmg.minag.cu)

\*Autor para la correspondencia: [teo@camaguey.geocuba.cu](mailto:teo@camaguey.geocuba.cu)

### RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se pueden emplear en la cuantificación precisa de la biomasa forestal para la planificación de su aprovechamiento energético sostenible. Este estudio tuvo como objetivo proporcionar una herramienta integral para el inventario de áreas cubiertas por *Dichrostachys cinerea* (marabú) en el municipio Camagüey, que facilitara la selección de tecnologías y sistemas de máquinas rentables y ambientalmente responsables. Se realizó una caracterización tecnológica integral mediante una base cartográfica digital normalizada y SIG con el software QGIS. La metodología incluyó la delimitación de la superficie efectiva de marabú mediante teledetección, su clasificación en categorías diamétricas (fino y medio) y la evaluación de variables como rocosidad, pendiente y tenencia de la tierra. Los resultados determinaron que la superficie efectiva de marabú fue de 6310,45 hectáreas, dominada por la categoría "medio" (3517,41 ha), la cual se encontró principalmente en suelos poco rocosos y llanos. La mayor tenencia de la tierra con esta cobertura correspondió a Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS) y Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA), con una biomasa disponible de 137284,31 toneladas. Se concluyó que la metodología empleada garantiza un inventario de calidad y fundamenta la selección de tecnologías semimecanizadas para el aprovechamiento energético de la biomasa, y que es también aplicable a otros inventarios forestales.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica, teledetección, inventario, cartografía

### ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) are used for the precise quantification of forest biomass to plan its sustainable energy use. This study aimed to provide a comprehensive tool for inventorying areas covered by *Dichrostachys cinerea* (marabou) in the municipality of Camagüey, facilitating the selection of cost-effective and environmentally responsible technologies and machinery systems. A comprehensive technological characterization was carried out using a standardized digital cartographic base and GIS with QGIS software. The methodology included delineating the effective marabou area using remote sensing, classifying it into diameter categories (fine and medium), and evaluating variables such as rockiness, slope, and land tenure. The results determined that the effective marabou area was 6310.45 hectares, dominated by the "medium" category (3517.41 ha), which was found mainly on relatively flat, relatively unrocked soils. The largest share of land ownership with this coverage corresponded to Credit and Service Cooperatives (CCS) and Agricultural Production Cooperatives (CPA), with an available biomass of 137,284.31 tons. It was concluded that the methodology employed guarantees a high-quality inventory and justifies the selection of semi-mechanized technologies for the energy use of biomass, and is also applicable to other forest inventories.

**Keywords:** Geographic Information Systems, remote sensing, inventory, cartography

Recibido: 10/5/2025

Aceptado: 25/6/2025

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

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



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

En Cuba se han desarrollado investigaciones sobre el inventario de biomasa forestal con diversos propósitos. Sin embargo, estos estudios han abarcado solo un grupo reducido de especies y, en ciertos casos, no han cuantificado todos los componentes de la biomasa (Bravo et al., 2015). Por otra parte, los inventarios existentes no se orientan de forma específica hacia el aprovechamiento, el cual requiere considerar las características tecnológicas de las áreas a explotar. Esta consideración es fundamental para una selección adecuada de tecnologías, sistemas de máquinas y formas organizativas de la fuerza laboral en las brigadas de aprovechamiento forestal. La aplicación de estos elementos garantiza una mayor efectividad económica y minimiza el impacto ambiental (García et al., 2012).

Cuba cuenta con un censo de las áreas infestadas de marabú (*Dichrostachys cinerea* (L.) Wr. et Arn.) y con algunos trabajos preliminares sobre la disponibilidad de su biomasa a nivel nacional. No obstante, estos datos presentan un carácter inicial y exigen métodos de inventario más precisos para determinar la biomasa existente. Una vez cosechada y transformada, dicha biomasa puede suministrarse como combustible alternativo en los centrales azucareros, con el fin de complementar la biomasa cañera (SODEPAZ, 2012).

En el año 2012 se ejecutó en Cuba el Proyecto SODEPaz, titulado “Aprovechamiento de la biomasa de marabú y otras especies energéticas como combustible en la generación de electricidad y recuperación ambiental en Camagüey”. Este proyecto contó con financiamiento de la Unión Europea y fue desarrollado por investigadores, especialistas y productores del Instituto de Investigaciones Agro-forestales, de la Empresa GEOCUBA Camagüey-Ciego de Ávila y de la Empresa Agro-forestal de Camagüey. El equipo formuló, validó e implementó directamente en esta provincia la “Metodología para la caracterización tecnológica e inventario de las áreas cubiertas de marabú con fines energéticos”. Dicha metodología se concibió como un apoyo al Programa de construcción y puesta en marcha de las bioeléctricas proyectadas a nivel nacional que emplean esta materia prima (Vidal et al., 2019; García et al., 2012), y ha servido como metodología básica para la presente investigación.

El objetivo principal de este estudio consistió en proporcionar una herramienta integral que recoja los principales aspectos técnicos, tecnológicos y metodológicos requeridos para el inventario de las áreas cubiertas por marabú en el municipio Camagüey. Esta herramienta facilita 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. Dicha selección se basa en una caracterización tecnológica adecuada de las áreas y en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) disponibles sobre bases digitales, gestionadas a través

del software QGIS. La finalidad última es convertir la biomasa en energía eléctrica y/o carbón activado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización tecnológica integral de la base de materia prima cubierta de marabú en el municipio Camagüey, se requirió inicialmente la normalización de la base cartográfica digital del mapa catastral y de suelo. Esta normalización facilitó las labores de procesamiento cartográfico, captura de datos, inventario, análisis, representación y cuantificación de la biomasa total verde por categorías de marabú con fines energéticos. El proceso se realizó en función de las variables objeto de estudio y cumplió con las indicaciones emitidas por MET:30-14 (MET, 2014a), MET: 40-60 (MET, 2014b), la Norma Cubana 13-18:88 (NC, 1988), Herrero (2003) y Vidal et al. (2019).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Definición de la superficie efectiva cubierta de marabú

La confección del estudio parte del análisis del área total del municipio mediante imágenes de teledetección, con el objetivo de delimitar la superficie efectiva cubierta por marabú. Para ello se determinó inicialmente la superficie total que ocupa esta especie dentro del municipio. A esta superficie se le descontó el área ocupada por la red hidrográfica y su faja hidrorreguladora, la red vial y otros cultivos no asociados al estudio. Como base para la representación temática se utilizó el catastro rural a escala 1:10 000 (Figura 1).

La tabla 1 describe la cobertura total de marabú en el municipio objeto de estudio, la cual comprende 6577.1982 hectáreas. De esta superficie total, solo un 5.74 % corresponde al área efectiva cubierta por dicha especie, que equivale a 6310.4456 hectáreas. Este dato establece una distinción clara entre la cobertura total y el área que la especie ocupa de manera efectiva.

### Definición de la superficie efectiva por categorías de marabú

A partir del primer mapa, y con una interpretación visual previa de las imágenes de teledetección que considera las variables de color y textura, se definió la clasificación del marabú en las categorías de fino, medio y grueso. Se determinó el área que ocupa cada una de estas categorías. Posteriormente se realizó una comprobación en el terreno, la cual se representa en el mapa mediante su composición temática (Figura 2).

La tabla 2 presenta los resultados de la clasificación del marabú medio. El análisis arrojó que esta categoría posee una superficie efectiva de 3517.4073 hectáreas. Dicha superficie resulta mayor en comparación con la cobertura asignada a la categoría de marabú fino.

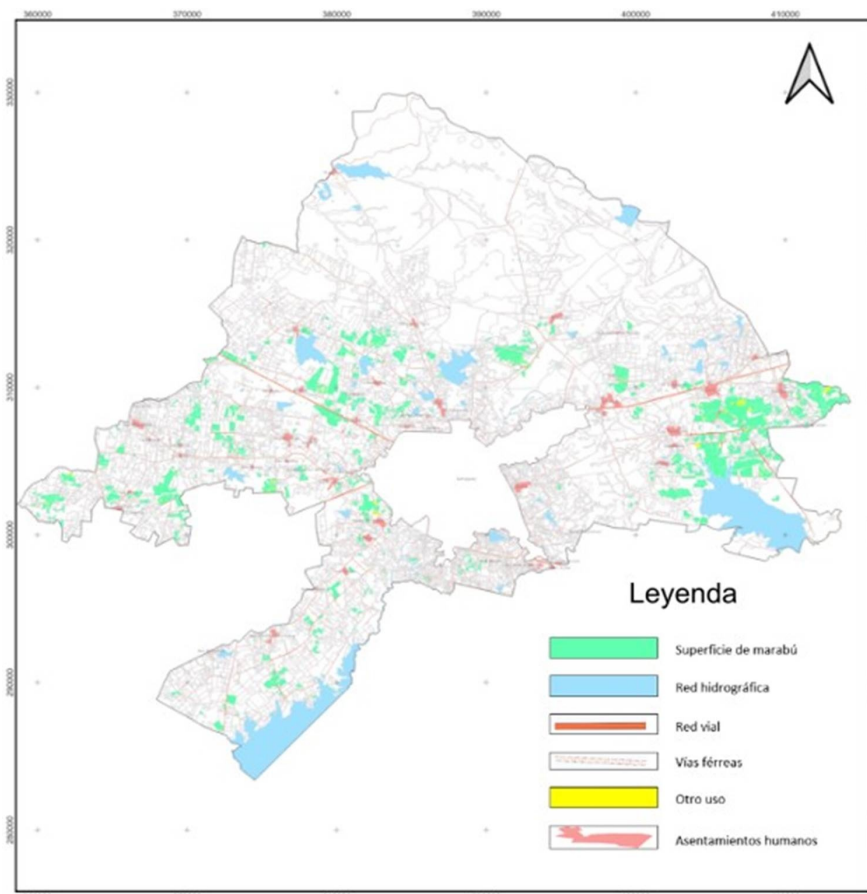


Figura 1. Superficie efectiva cubierta de marabú.

Tabla 1. Descripción de la superficie efectiva cubierta por marabú. Municipio "Camagüey"

Descripción de la superficie efectiva cubierta por marabú							
No	Superficie de manejo					UM: ha	
	Área Total Municipio	Cobertura Total	Red Hidrográfica	Red Vial	Otros Usos	Efectiva de marabú	% aprovechar
1	109892,8067	6577,1982	16,5775	136,1083	114,0668	6310,4456	5,74

### Definición de la superficie efectiva en función de los obstáculos

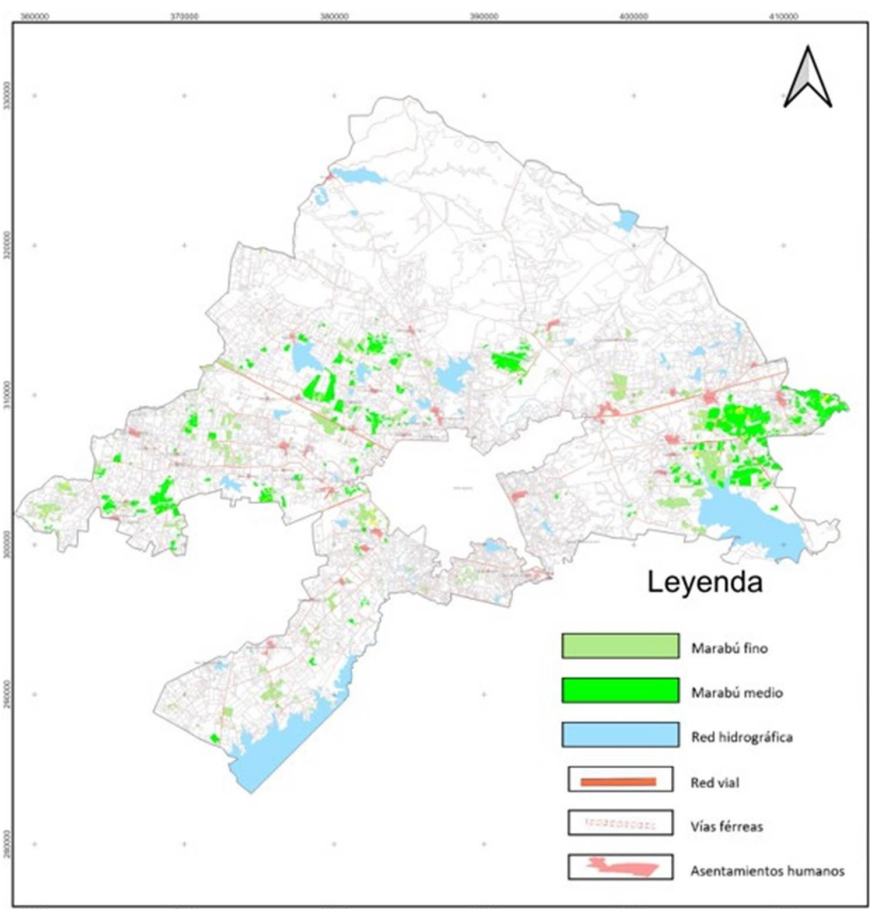
Con base en el segundo mapa, se capturaron previamente los datos de la variable rocosidad presente en el mapa de suelos para integrarlos a la base catastral. Esta integración define, para cada categoría de marabú, la superficie que representa en términos de suelos poco rocosos, moderadamente rocosos, rocosos y extremadamente rocosos. Los resultados de esta clasificación se muestran en el mapa a través de su composición temática (Figura 3).

Según se describe en la tabla 3, el área de marabú se representa en superficie según el concepto de rocosidad. La categoría de marabú medio es la que ocupa la mayor

superficie clasificada como poco rocosa, con un valor de 3155.8358 hectáreas. Esta distribución refleja la preferencia edáfica de la categoría.

### Definición de la superficie efectiva en función de la pendiente

A partir del segundo mapa, y con una captura previa de los datos de la variable pendiente del mapa de suelos, esta información se integró a la base catastral. El proceso define la superficie que representa cada categoría de marabú según el rango de pendiente, considerando suelos llanos, ligeramente ondulados, ondulados y alomados. La representación de estos datos se muestra en el mapa mediante su composición temática (Figura 4).



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

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

Descripción de la base de materia prima del marabú en función del diámetro en la base						
No	Categoría marabú	Superficie de manejo:				
		Cobertura Total	Red Hidrográfica	Red Vial	Otros Usos	Efectiva de marabú
1	Fino	2967,9921	12,3568	79,005	83,592	2793.0383
2	Medio	3609,2061	4,22	57,10	30,47	3517.4073
	Total	6577.1982	16,5775	136,1083	114,0668	6310,4456

En la [tabla 4](#) se observa que la categoría de marabú medio también domina en los suelos llanos. Esta categoría ocupa la mayor superficie en dicho tipo de relieve, con un total de 2155,41 hectáreas. El dato confirma la adaptación del marabú medio a diferentes condiciones topográficas.

#### **Definición de la superficie efectiva en función de la tenencia**

Con base en los mapas anteriores, se estableció una relación por cada tipo de marabú que incluye la superficie en hectáreas y las toneladas de biomasa disponibles para los

principales tenentes del territorio. Estos tenentes se agrupan en las categorías de: Campesinos independientes, CCS y CPA, Empresas Agropecuarias, UBCP y otras entidades. La representación de esta distribución se muestra en el mapa a través de su composición temática ([Figura 5](#)). La cuantía de la biomasa se incorpora una vez concluido el inventario del marabú, en la segunda etapa del trabajo.

La [tabla 5](#) muestra que la principal tenencia de la tierra con cobertura de marabú recae en las CCS y las CPA del municipio Camagüey. Esta tenencia se relaciona con la superficie cubierta por ambas categorías de marabú, fino y medio,

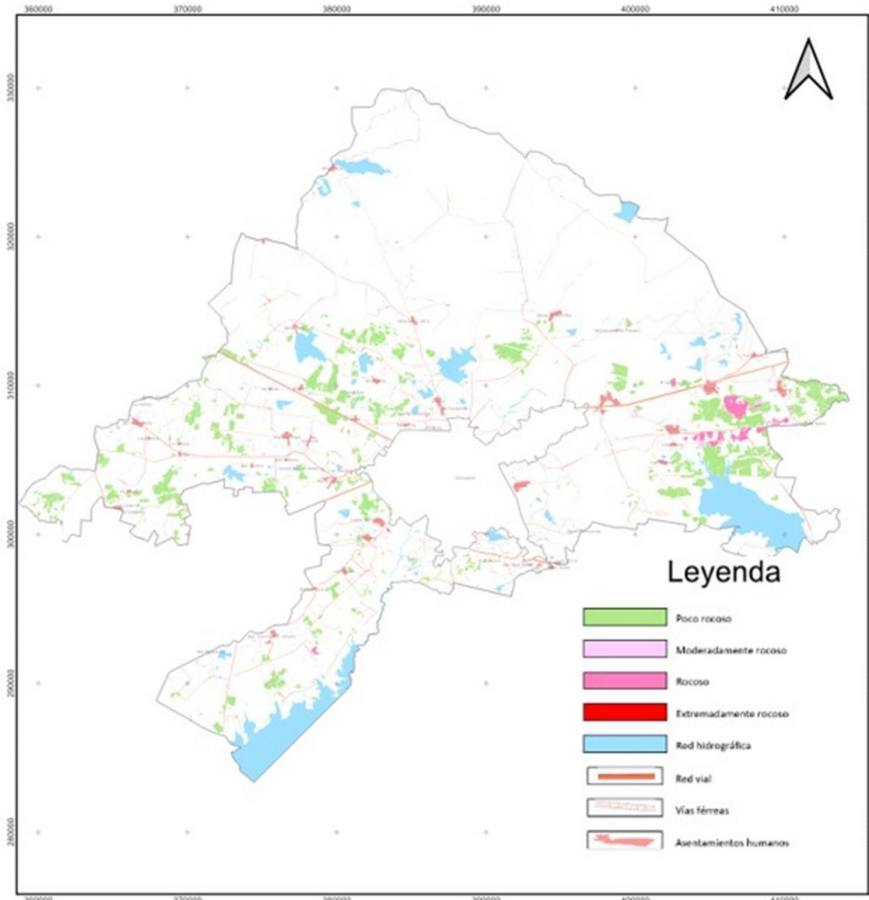


Figura 3. Caracterización tecnológica de la base de materia prima del marabú en función de los obstáculos.

Tabla 3. Descripción de la base de materia prima del marabú en función de los obstáculos.

Descripción de la base de materia prima del marabú en función de los obstáculos						
No.	Categoría marabú	Superficie cubierta por Obstáculos				UM: ha
		Área efectiva	Poco rocoso	Moderadamente rocoso	Rocoso	Extremadamente rocoso
1	Fino	2793,0383	2646,5496	42,8878	103,6009	
2	Medio	3517,4073	3155,8358	33,8951	327,6764	
	Total	6310,4456	5802,3854	76,7829	431,2773	

y con la disponibilidad de esta biomasa. En su conjunto, estas formas de tenencia ocupan 2607,1611 hectáreas, lo que representa una biomasa disponible de 137284,31 toneladas.

**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 definieron las tecnologías posibles, los sistemas de máquinas y las formas de organización de la fuerza laboral para el aprovechamiento total de la biomasa de

marabú en la producción de electricidad y/o carbón activado. En este proceso se expresaron las toneladas de biomasa disponibles por las categorías de marabú fino y medio. La representación de estos elementos se muestra en el mapa mediante su composición temática (Figura 6). La cuantía específica de la biomasa se incorporó una vez concluido el inventario del marabú.

La tabla 6 brinda la tecnología más idónea para el aprovechamiento de la biomasa del marabú con fines energéticos o para la producción de carbón activado.

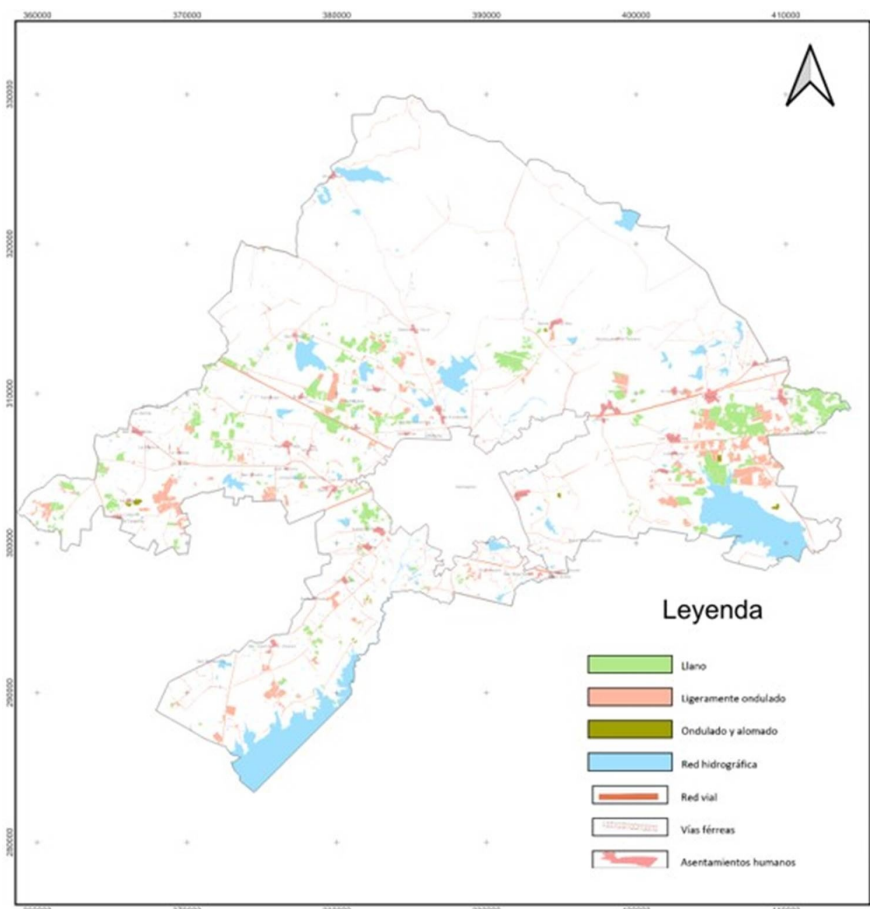


Figura 4. Caracterización tecnológica de la base de materia prima del marabú en función de los rangos de pendientes.

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

Descripción de la base de materia prima del marabú en función de los rangos de pendientes		Superficie por rangos de pendientes			
No.	Categoría marabú	UM: ha			
		Área efectiva	Llano	Ligeramente Ondulado	Ondulado Alomado
1	Fino	2793,0383	1619,5602	1143,6809	29.7972
2	Medio	3517,4073	2155,41	1315,1527	46.848
	Total	6310.4456	3774,9668	2458,8336	76,6452

Dado que el marabú fino y medio se desarrolla en los tres tipos de relieves existentes y sus dimensiones diamétricas medias son pequeñas (2,27 y 5,50 cm, respectivamente), se propone su uso para la producción de electricidad o carbón activado. La tecnología recomendada es semimecanizada e incluye la tala y el desrame con motosierras, el acopio de las trozas de forma manual o con cargadores sobre tractor para alimentar las máquinas trituradoras móviles, y su transportación con carretas o camiones. El proceso concluye con el traslado de la materia prima al punto de procesamiento para su transformación final.

El presente estudio constata la ausencia de áreas cubiertas por la categoría de marabú grueso. Esta situación se atribuye a la alta demanda de carbón vegetal, destinado fundamentalmente a la cocción de alimentos. La cercanía de la ciudad de Camagüey, donde radica el grueso de la población provincial, ejerce una presión de aprovechamiento que explica la no existencia de esta categoría. Estos resultados son similares en cuanto a área efectiva a la caracterización tecnológica realizada por Vidal et al. (2022) en el municipio Céspedes y a la vez difiere en cuanto a la presencia de individuos de categoría gruesa.

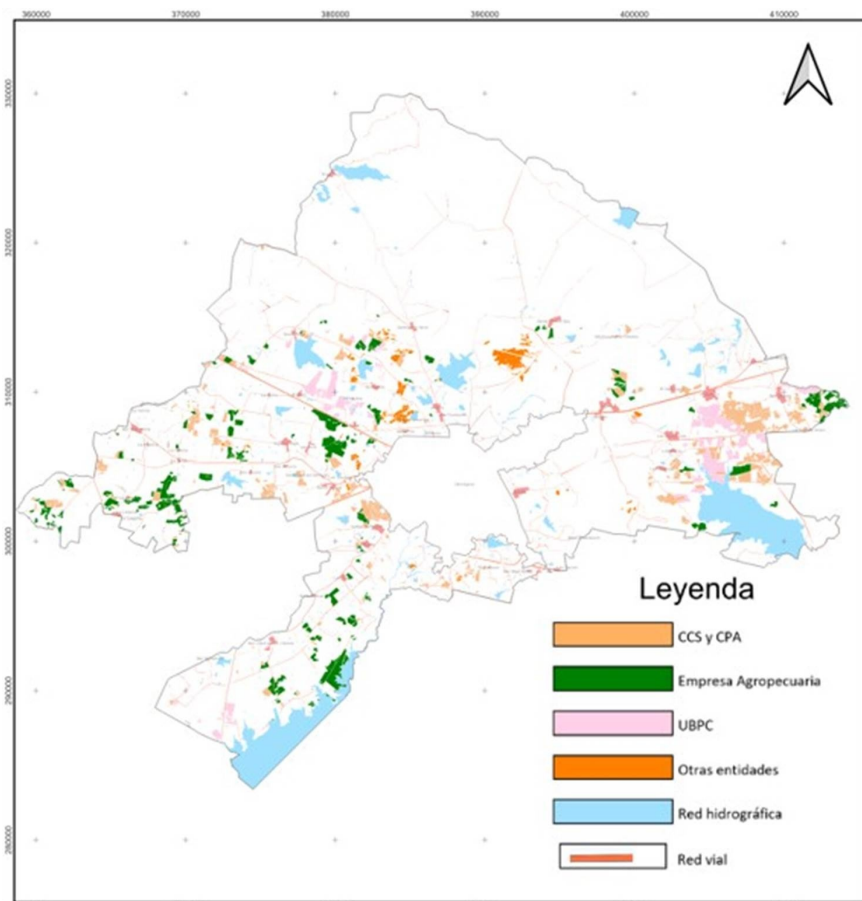


Figura 5. Caracterización tecnológica de la base de materia prima del marabú en función de los tenentes.

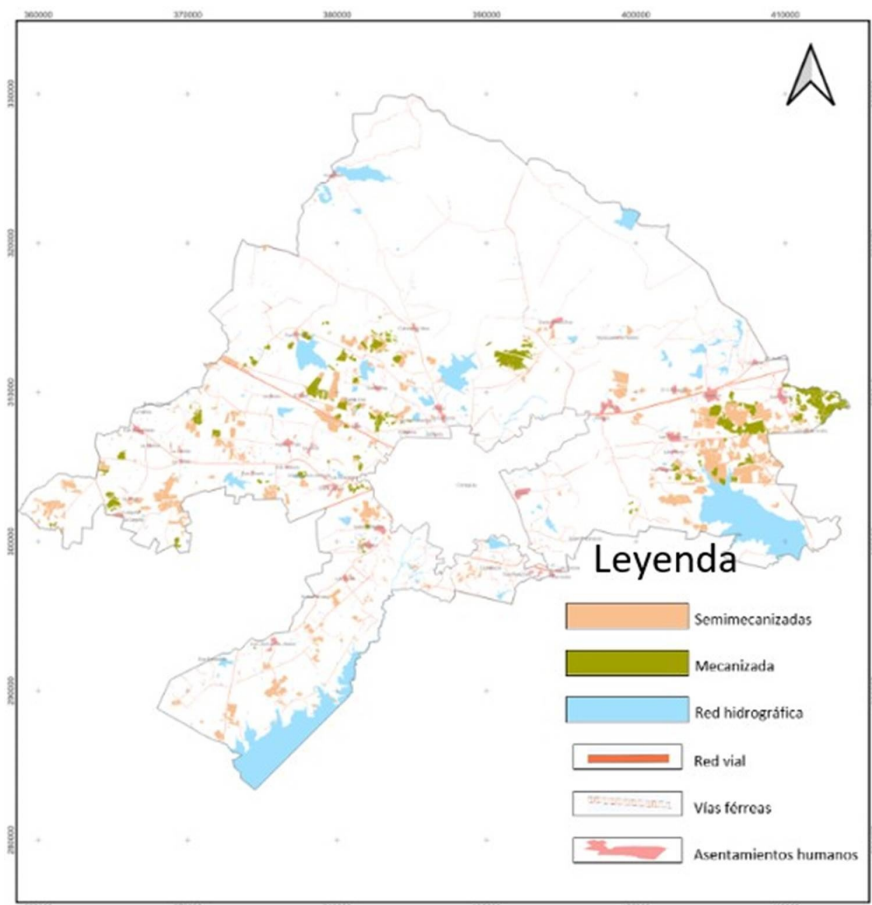
Tabla 5. Descripción de la base de materia prima del marabú en función de la tenencia.

Descripción de la base de materia prima del marabú en función de la tenencia						
Categoría marabú	Área efectiva/Biomasa	Superficie por tenentes (ha) / Biomasa por tenentes (TON)				
		CCS y CPA	Emp. Agrop, Cmg	UBPC	Otras entidades	
1	Fino	2793,0383	1182,2162	920,5400	582,1664	108.1157
		51754,99	21906,4600	17057,5800	10787,5500	2003.4000
2	Medio	3517,4073	1424,9449	842,1626	813,7353	436.5645
		284804,53	115377,8500	68189,8900	65888,1700	35348,6200
Total		6310.4456	2607,1611	1762,7026	1395,9017	544,6802
		336559,52	137284,31	85247,47	76675,72	37352,02

### CONCLUSIONES

La aplicación de geotecnologías libres en QGIS para procesos cartográficos, de teledetección, fotointerpretación y SIG garantiza una caracterización integral y precisa de la base de materia prima forestal. Esta metodología permite una correcta delimitación del área efectiva, la cuantificación de la biomasa disponible y la clasificación detallada de las categorías de la especie.

El enfoque metodológico basado en QGIS fundamenta inventarios de biomasa de alta calidad para su aprovechamiento integral. Además, facilita la selección de tecnologías y sistemas de máquinas rentables y sostenibles. Esta metodología es aplicable y recomendable para inventarios en bosques naturales y plantaciones con fines similares.



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

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

Descripción de la base de materia prima del marabú en función de las tecnologías de aprovechamiento						
No.	Categoría marabú	Área efectiva	Superficie por tecnologías		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	4333,0238	160111,7	176447,82

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bravo, J. A., Vidal, A. M., Hernández, R. A., Valle, M., Padrón, R., & Paredes, L. (2015). Estimación de la biomasa aérea total verde con corteza de la vegetación de *Dichrostachys cinerea* (L.) Wr. Et Arn. Memorias de la Jornada Científica 45 Aniversario de la Fundación de la Estación de Guisa.

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*. Proyecto

“Desarrollo del Sector Forestal en Cuba”. Dirección Forestal MINAG.

Herrero, J. A. (2003). *Fajas forestales hidrorreguladoras*. Dirección Forestal MINAG.

MET. (2014a). *Metodología para la Creación del Mapa Base de datos para el Catastro Rural e Implementación en el SIG* (MET Nos. 30-14). Instituto de Planificación Física.

MET. (2014b). *Indicaciones generales de redacción empleadas para la Mapificación Topográfica Digital* (MET Nos. 40-60). Instituto de Planificación Física.

NC. (1988). *Norma Cubana: 13-18:88. Mapa Catastral Especificaciones de Calidad*.

- SODEPAZ. (2012). *Aprovechamiento de la biomasa de marabú y otras especies energéticas como combustible en la generación de electricidad y recuperación ambiental en Camagüey* (p. 36). SODEPAZ.
- Vidal, A., García, T., Bravo, J. A., Toirac, W., Hernández, A., Delgado, M., Álvarez, Y., Batista, F., Valle, M., & Padrón, R. (2019). *Metodología para la caracterización tecnológica e inventario de las áreas cubiertas de marabú con fines energéticos* (Segunda versión, p. 100).
- Vidal, A., García, T. G., Méndez, M. D., Arguelles, W. T., & Carmenate, L. L. (2022). *Caracterización tecnológica de las áreas cubiertas de marabú con fines energéticos mediante la aplicación de SIG*. *Revista Forestal Baracoa*, 41, <https://cu-id.com/0522/v41e07>. <https://forestbaracoa.edicionescervantes.com/index.php/fb/article/view/783>