



NOTA TÉCNICA

<https://cu-id.com/2284/v12n4e08>

Evaluación de la calidad de triturado del marabú cortado con una cosechadora forestal

Evaluation of the crushing quality of marabou cut with a forestry harvester

Ing. Orlando Cano-Estrella¹, Téc. Octavio López-Sánchez, MSc. Pedro Guerrero-Posada, Ing. Pedro San José-González.
Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. El objetivo del presente trabajo fue determinar las longitudes de fracción del material cosechado por la cosechadora forestal BMH480 en la cosecha directa del marabú y su correspondencia con la exigencia establecida para su empleo en la generación de energía eléctrica por la bioeléctrica Ciro Redondo de la provincia de Ciego de Ávila. Los trabajos experimentales fueron realizados en áreas ocupadas por esta planta en las provincias de Ciego de Avila y Camagüey durante los años 2017, 2018 y 2019, empleando para la determinación de las longitudes de fracción de material cosechado una metodología que, combinando el método de tamizado y la medición directa, permitió establecer su porcentaje en peso de acuerdo a los rangos establecidos por la exigencia. Los resultados obtenidos mostraron que el material cosechado admisible para su empleo por la bioeléctrica obtuvo del 87,32 al 97,35% del total del material procesado por la cosechadora, no obstante, la existencia de fracciones con longitudes no admisibles por la exigencia establecida debe ser analizada para su solución.

Palabras clave: fuentes renovables de energía, biomasa forestal, masa triturada.

ABSTRACT. The objective of this work was to determine the fraction lengths of the material harvested by the BMH480 forest harvester in the direct harvest of marabou and its correspondence with the requirement established for its use in the generation of electricity by the Ciro Redondo bioelectric plant in the province of Ciego de Avila. The experimental works were carried out in areas occupied by this plant in the provinces of Ciego de Avila and Camagüey during the years 2017, 2018 and 2019, using a methodology for the determination of the fraction lengths of harvested material that, combining the sieving method and direct measurement, allowed to establish its percentage by weight according to the ranges established by the requirement. The results obtained showed that the harvested material admissible for use by the bioelectric plant obtained from 87.32 to 97.35% of the total material processed by the combine; however, the existence of fractions with unacceptable lengths due to the established requirement must be analyzed for its solution.

Keywords: Renewable Sources of Energy, Forest Biomass, Crushed Mass.

INTRODUCCIÓN

La Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso eficiente de la Energía para 2014-2030, plantea crecer para el año 2030 en un 24% de generación eléctrica con el empleo de fuentes renovables de energía según Berriz (2016) y las bioeléctricas deberán producir el 14 % de la electricidad total del país, para ello se proyecta construir bioeléctricas en centrales azucareros que emplearán como combustible: la biomasa cañera, residuos forestales y marabú (Bravo et al., 2015; Bravo-Domínguez, 2017).

El bagazo de caña de azúcar constituye uno de los principales recursos cuyo aprovechamiento integral y eficiente ofrece nuevas perspectivas para el desarrollo del país, este constituye la principal fuente de biomasa, aunque también existen otras fuentes representadas por recursos forestales (Hernández-Sardiñas et al., 2017).

El marabú (*Dychrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn.), es un arbusto leñoso, que alcanza usualmente de 3 a 5 m de altura, diámetros que pueden llegar a 180 mm o más y crece formando masas compactas, que constituyen matorrales

¹ Autor para correspondencia: Orlando Cano-Estrella, e-mail: orlando.cano@iagric.minag.gob.cu, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5529-4638>

impenetrables (Manzanares *et al.*, 2008). Su dureza Janka de 1000 kg, lo ubica dentro de las maderas muy duras y alcanza un poder calórico superior entre de 18,06 y 20,20 MJ/kg según Alba-Reyes *et al.* (2018); Cantos-Macías *et al.* (2017); Guyat-Dupuy *et al.* (2014); Rubio-González, Iturria-Quintero, Freire, *et al.* (2021); Rubio-González, Iturria-Quintero, Freire-Seijo, *et al.* (2021), que en su caracterización química presenta altos contenidos de lignina y de extractivos de agua, propiedades que identifican a las maderas energéticas. Las características morfológicas y de crecimiento de esta planta no se ajustan propiamente a las tecnologías mecanizadas desarrolladas para la cosecha de las especies forestales empleadas internacionalmente con fines energéticos, según se identifica comparando con estudios registrados por diferentes autores (Gysling *et al.*, 2015; Tolosana *et al.*, 2008).

El objetivo de este trabajo fue determinar las longitudes de fracción del material cosechado por la Cosechadora forestal BMH480 con cabezal triturador H600 en la cosecha directa del marabú para comprobar su correspondencia con la exigencia establecida para su empleo en la generación de energía eléctrica por la bioeléctrica Ciro Redondo de la provincia de Ciego de Ávila, en Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

La máquina utilizada en la investigación fue la cosechadora forestal BMH480 equipada con el cabezal triturador H600 (Figura 1), que posee como órgano de trabajo para el corte y triturado del marabú un rotor de cuchillas y martillos.



FIGURA 1. Cosechadora forestal BMH 480 con cabezal triturador H600.

Las investigaciones se desarrollaron en áreas infestadas con marabú de las provincias de Ciego de Ávila y Camagüey durante los años 2017, 2018 y 2019 (Tabla 1).

TABLA 1. Localización de las áreas muestreadas

Área	Lugar	Municipio	Provincia	Año
1	Vaquería La Fortuna	Ciro Redondo	Ciego de Ávila	2017
2	Vaquería La Fortuna	Ciro Redondo	Ciego de Ávila	2017
3	El Pantanal (Productor individual)	Florida	Camagüey	2018
4	CPA Pepito Torres	Ciro Redondo	Ciego de Ávila	2019

Para la realización de los trabajos de campo fue aplicada una metodología de evaluación que adoptó como base, el procedimiento normativo operacional PG-CA 042 IAgriC-Cuba (2013), un manual de combustibles de madera Valter *et al.* (2008) y la metodología desarrollada por el Instituto de Investigaciones Agroforestales para cuantificación del marabú (Bravo *et al.*, 2015).

La humedad de la masa triturada en base húmeda se determinó con el empleo del método gravimétrico, mediante el secado de las muestras en una estufa a temperatura de 105 °C durante 24 h. Se procesaron tres muestras en cada muestreo realizado.

El rendimiento del campo se definió a partir de los diámetros medios del fuste de las plantas medidas en cada área de muestreo y el equivalente que para este valor establece en rendimiento de campo la metodología desarrollada por Bravo *et al.* (2015).

La determinación de la densidad aparente de la masa triturada se basó en la metodología planteada en la norma europea CEN/TS 15103:2005 citada por Valter *et al.* (2008), empleando un recipiente de volumen 15 L del que se obtuvo su peso vacío (tara), se llenó de material triturado sin compactar y por la diferencia de pesos del recipiente lleno y su tara se obtuvo el peso del material contenido en el recipiente. Este proceso se realizó a las muestras tomadas en cada área muestreada, obteniendo el peso promedio en cada caso, aplicándose posteriormente la fórmula:

$$\text{Densidad Aparente (kg m}^{-3}\text{)} = \text{Peso promedio (kg)} \times 1000 / \text{Volumen recipiente (L)}.$$

La altura de corte de la cosechadora se obtuvo por medición directa en la diagonal del campo a los "tocones" dejados tras el pase de trabajo.

Para la determinación del fraccionamiento del material triturado se tomaron de la tolva de la máquina tres muestras de 3 kg de material triturado cada una en cada área muestreada, estableciéndose para su análisis detallado siete rangos de medidas por la longitud en milímetros de los fragmentos que las componen: ≤ 1 , $>1 - <5$, $\geq 5 - <25$, $\geq 25 - <100$, $\geq 100 - \leq 250$, >250 y las fibras; identificando a estas últimas, como un segmento de material de longitud mayor de 50 mm, espesor no mayor a 1 mm y ancho variable. La selección del material de cada rango se realizó combinando dos formas de ejecución: por tamizado las inferiores a 5 mm, empleando dos tamices de malla con agujeros de sección cuadrada de 1 mm² y 25 mm², respectivamente; y por medición directa de su longitud, con el empleo de patrones de medidas establecidos a tales efectos, para el resto de los rangos. El material

contenido en cada rango, incluyendo las fibras, fue pesado con una balanza digital de precisión 0,1 g y determinada su presencia en por ciento respecto al peso total de la muestra analizada.

El cumplimiento por parte de la masa triturada muestreada con la exigencia establecida para su consumo por la Bioeléctrica de Ciro Redondo se analizó a partir de los resultados obtenidos, considerando para ello los valores de los rangos incluidos en los cuatro grupos que responden a lo indicado en la Tabla 2, fragmentos: <5, $\geq 5 - \leq 250$, Fibras (≤ 250) y >250 mm.

Los datos experimentales obtenidos fueron procesados estadísticamente determinando sus parámetros de medida de estadística descriptiva de tendencia central y de dispersión: media, desviación media cuadrática y coeficiente de variación.

TABLA 2. Exigencia a cumplir por la masa triturada

Longitud de la fracción en la masa triturada (mm)				
Admisible			No admisible	
<5	$\geq 5 - \leq 250$	Fibras (≤ 250)	>250	Fibras (> 250)
Hasta 15%	Todas		Ninguna	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los campos trabajados mostraron una superficie irregular del suelo, debido a la ausencia de labores culturales durante años y la acción de factores de erosión natural.

En la Tabla 3 se registran las condiciones de realización de los trabajos de campo, donde los diámetros medios obtenidos están en correspondencia con la edad de los campos, ocupados por plantas de un elevado crecimiento, y sustentan los rendimientos de campo registrados, según lo planteado por Bravo et al. (2015).

El resto de los parámetros presentados en la Tabla 3 son constructivos de la cosechadora, excepto la altura de corte que la establece el operador a través de los mandos de la máquina.

Los resultados obtenidos en las evaluaciones de la calidad de trabajo recogidos en la Tabla 4, muestran que la velocidad de trabajo de la máquina se mantuvo en el entorno de 1 km h⁻¹ (máximo de 1,8 km h⁻¹) debido a la dificultad que para su desplazamiento representaron las condiciones del campo respecto a la distribución y alta densidad de las plantas sobre el mismo; además, la velocidad de desplazamiento de la cosechadora estuvo influenciada por la necesidad de realizar el corte evitando que se produzcan "arrollamientos" de plantas que afecten su flujo de alimentación, lo cual empeora su efectividad aportando más pérdidas por concepto de producto no cosechado.

TABLA 3. Condiciones de realización del trabajo

Indicadores	UM	Área muestreada			
		1	2	3	4
Fecha	-	30/09/17	06/10/17	27/04/18	12/06/19
<u>De la parcela experimental</u>					
Edad del campo	años	15		15	12
Diámetro medio de las plantas	mm	55,7		47,76	58,72
-Desviación media cuadrática	±mm	28,38		19,14	30,99
-Coeficiente de variación	%	50,95		40,07	52,78
Rendimiento del campo	t ha ⁻¹	83		64	90
<u>De la cosechadora</u>					
Ancho de trabajo del rotor	mm			2300	
Velocidad de rotación del rotor	min ⁻¹			1600	
Altura de corte preestablecida	mm	100	100	100	250
Ancho de vía de la cosechadora	mm			2620	

Las alturas de corte registradas presentaron un alto coeficiente de variación, en ello incidieron factores debidos a las condiciones de campo y las características constructivas de la máquina: en el primer caso, la distribución y crecimiento no uniforme de los plantones sobre un terreno que presentó irregularidades (simas y cimas) formando una vegetación compacta dificulta la visibilidad del operador durante el desarrollo de la labor de cosecha; y la anchura de trabajo del rotor que, al ser menor que el ancho de vía de la máquina, da lugar durante su desplazamiento al aplastamiento sucesivo de plantas por los patines del cabezal triturador H600 y las esteras de la máquina, lo cual provoca la presencia de plantas "acamadas" que son cortadas a diversas alturas en pases de trabajo posteriores.

Del análisis de la composición de la masa triturada por longitud de la fracción, le corresponde al rango de $\geq 25 - < 100$ mm los mayores porcentos con un valor promedio de 31,43%. Las Fibras, presentaron altos valores y longitudes inferiores a 250 mm siendo admisibles para su consumo. El grupo comprendido en los rangos desde ≥ 25 hasta ≤ 250 mm de longitud (incluyendo a las Fibras) alcanzó un valor promedio de 76,34%, comportamiento que se corresponde al obtenido por Rubio-González, Iturria-Quintero, Freire-Seijo, et al. (2021)), que registra a un grupo similar como las de mayor presencia en el material muestreado. Las

fracciones ≤ 1 mm, fluctuaron entre 3,18 y 9,51% del material cosechado y su presencia internacionalmente se identifica a no más del 5%, lo que se corrobora en investigaciones realizadas por Esteban et al. (2013) y Vignote (2016). Estas fracciones incorporan tierra, hojas y corteza, por lo que su disminución mejora la calidad del material cosechado y su combustión (Ramos, 2017). En la exigencia establecida en la Tabla 2 no se especifican restricciones sobre este rango, pero su impacto negativo es válido por incidir su porcentaje en la exigencia planteada de hasta un 15% de fracciones admisibles < 5 mm.

Las fracciones de longitudes superiores a 250 mm presentes en la mayoría de los muestreos es negativa y no admisible para el consumo por la bioeléctrica.

TABLA 4. Resultados de calidad de trabajo

Parámetros	UM	Áreas Muestreadas			
		1	2	3	4
Velocidad de trabajo	km h ⁻¹	0,89	0,91	1,1	1,3
Altura de corte	mm	200,5	243,63	278,09	441,06
-Desviación media cuadrática	±mm	176,27	202,34	231,15	275,19
-Coeficiente de variación	%	87,93	83,05	83,12	62,39
Humedad de la masa triturada	%	33,56	37,85	34,62	30,32
Densidad aparente de la masa triturada	kg m ⁻³	211,6	232,6	217,1	169,08
Composición de la masa triturada por longitud de la fracción en mm					
≤1		9,51	7,61	3,89	3,18
>1 - <5		13,41	9,64	9,86	3,75
≥5 - <25		8,99	1,67	3,61	3,08
≥25 - <100	%	32,38	19,6	36,84	36,89
≥100 - ≤250		16,99	45,02	20,69	23,46
>250		0	10,43	2,63	3,35
Fibras (≤250)		18,72	6,03	22,46	26,28

La Figura 2 presenta la comparación de los resultados de la composición de la masa triturada con la exigencia a cumplir para su utilización por la bioeléctrica de Ciro Redondo.

En la Figura se puede determinar que las fracciones comprendidas en los rangos incluidos desde ≥ 5 hasta ≤ 250 mm (incluyendo a las Fibras) alcanzan valores entre el 72,32% al 89,72% y son las de mayor contenido de masa maderable dentro de los requisitos exigidos por la bioeléctrica, mien-

tras la masa triturada total admisible para el consumo por la bioeléctrica, incluyendo las < 5 mm, varió del 87,32% al 97,35%; registrándose en todos los muestreos realizados valores de fracción no admisibles por la exigencia, indistintamente, por su límite inferior, superior o por ambos, aspecto que limita el adecuado aprovechamiento del material cosechado. Esta situación debe ser estudiada para adoptar acciones que posibiliten su eliminación.

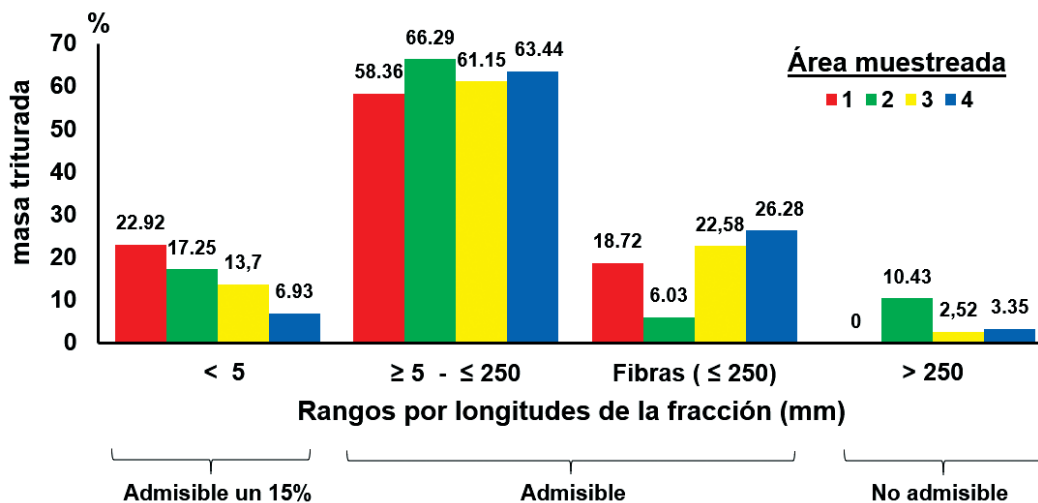


FIGURA 2. Comparación del material cosechado con la exigencia establecida

CONCLUSIONES

- Las fracciones con longitudes ≥ 5 a ≤ 250 mm registraron un promedio de 80,68% del total de masa cosechada y representan las de mayor contenido maderable en el material cosechado, lo que es favorable para el proceso de combustión;
- El material triturado admisible para su empleo por la bioeléctrica alcanzó valores entre el 87,32 al 97,35% del total de material cosechado;
- El material triturado presentó fracciones con longitudes no admisibles por la exigencia para su consumo por la bioeléctrica, lo que limita su calidad por este concepto y requiere de acciones que posibiliten su eliminación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alba-Reyes, Y., Pérez-Gil, M., Chong, N., & Arteaga-Pérez, L. E. (2018). Diseño de una planta de torrefacción de marabú con fines energéticos. *Tecnología Química*, 38(1), 123-137, ISSN: 0253-5777, e-ISSN: 2224-6185.
- Bérriz, L. (2016). La Política energética cubana en el camino del desarrollo sostenible. *Revista Energía y Tú*, 75, 4-11, ISSN: 1028-9925.
- Bravo, J. A., Vidal, A., Hernández, A., Peña, Y., & Valle, M. (2015). *Metodología para el inventario y cuantificación del marabú*. Instituto de Investigaciones Agroforestales (INAF, ISBN: 978-959-7215-21-9).
- Bravo-Domínguez, J. F. (2017). *Cogeneración de energía, eléctrica y térmica, mediante un sistema híbrido biomasa-solar para explotaciones agropecuarias en la Isla de Cuba*. Ciemat, ISBN: 84-7834-780-1.
- Cantos Macías, M. A., Quesada-González, O., Rodríguez-McFarlanes, R., Brito-Soubanell, A. L., & Casanova-Gómez, A. (2017). Guachapelí contra Marabú y la cinética de sus pirólisis. *Revista Cubana de Química*, 29(3), 362-378, ISSN: 0258-5995, e-ISSN: 2224-5421.
- Esteban, L. S., Fernández, P. M., Mira, A., & Rodero, P. (2013). *Biocombustibles sólidos de calidad del sur de Europa*. Ed. CEDER-CIEMAT (Centro de Desarrollo de Energías Renovables). <https://www.researchgate.net/publication/309322446>
- Guyat-Dupuy, M., Velázquez-Viera, D., Aguirre-Dorado, F., & Capote-Pérez, V. (2014). Características del *Dichrostachys cinerea* (L) Wight et Arm.(Marabú) para la producción de carbón. *Revista Forestal Baracoa*, 33(2), 67-72.
- Gysling, J., Pardo, E., & Bañados, J. C. (2015). *Industria de astillas: Vol. Boletín No. 149*. INFOR, Santiago de Chile, Chile.
- Hernández-Sardiñas, A., González-Morales, V. M., & Freide-Orozco, M. L. (2017). Aprovechamiento de las posibles fuentes de biomasa para entregar más electricidad en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez. *Centro azúcar*, 44(4), 14-26, ISSN 0253-5777, e-ISSN: 2223-4861.
- IAgric-Cuba. (2013). *Sistema de gestión de la calidad. Pruebas de maquinaria agrícola. Determinación de las condiciones de ensayo* (p. 10). Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric).
- Manzanares, K., Núñez, A. B., Velázquez, D., Guyat, M. A., Guerra, C., Carlos S, & Sosa, M. (2008). Caracterización y alternativas de uso de la especie *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight et Arm.(Marabú). *Revista Forestal Baracoa*, 27(1), 3-12, ISSN: 0138-6441, e-ISSN: 2078-7235.
- Ramos, H. E. (2017). Bosque y energía: Biomasa forestal. *Revista Montes*, 129, 45-47, ISSN: 0027-0105.
- Rubio-González, A., Iturria-Quintero, P. J., Freire, M., & Palmero-Marín, D. (2021). Propiedades del marabú (*Dichrostachys cinerea* L.) cosechado con máquinas, como combustible para la generación de electricidad” (Primera parte). *Centro Azúcar*, 48(1), 93-104, ISSN 0253-5777, e-ISSN: 2223-4861.
- Rubio-González, A., Iturria-Quintero, P. J., Freire-Seijo, M., & Palmero-Marín, D. (2021). Propiedades del marabú (*Dichrostachys cinerea* L.) cosechado con máquinas, como combustible para la generación de electricidad” (Segunda parte). *Centro Azúcar*, 48(2), 23-34, ISSN 0253-5777, e-ISSN: 2223-4861.
- Tolosana, E., Ambrosio, Y., & Laina, R. (2008). *Guía de la maquinaria para el aprovechamiento y elaboración de biomasa forestal*. Cesefor. [https://www.pfcyl.es/sites/default/files/biblioteca/Guia Maquinaria Biomasa.pdf](https://www.pfcyl.es/sites/default/files/biblioteca/Guia%20Maquinaria%20Biomasa.pdf), España.
- Valter, E., Antonini, E., & Zuccoli, L. (2008). *Manual de combustibles de madera*. Publisher: Valladolid-España: Asociación Española de Valorización Energética AVEBIOM. <https://www.avebiom.org>
- Vignote, S. (2016). *La biomasa, importancia, características y formas de preparación* (p. 36). Universidad politécnica de Madrid, España, <https://www.researchgate.net/publication/311171316>.

Orlando Cano-Estrella, Inv. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba. orlando.cano@iagric.minag.gob.cu, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5529-4638>

Octavio López-Sánchez, Téc., Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba. octavio.lopez@iagric.minag.gob.cu, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6539-3923>

Pedro A. Guerrero-Posada, Inv. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), filial Camagüey, Cuba. Teléfono: (53) 6917595 32 252305 32 282013 (Ext. 163), e-mail: esp.ext.iagric@dlg.cmg.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0235-9327>

Pedro San José-González, Ing. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba. pedro.sanjose@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0725-1913>

CONTRIBUCIONES DE AUTOR:

Conceptualización: O. Cano. Curación de datos: O. Cano, P. Guerrero. Análisis formal: O. Cano, P. Guerrero. Investigación: O. Cano, O. López, P. Guerrero, P. San José. Metodología: O. Cano, P. Guerrero. Supervisión: O. Cano. Redacción–borrador original: O. Cano, P. Guerrero. Redacción–revisión y edición: O. Cano, P. Guerrero.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

