

EVALUACIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL DESFIBRADO DE TALLOS DE CAÑA ENERGÉTICA CON DIFERENTE CONTENIDO DE HUMEDAD

GRANULOMETRIC EVALUATION OF PARTICULATE MATERIAL FROM ENERGY CANE STALKS WITH DIFFERENT MOISTURE CONTENT

Osmany de la Caridad Aday-Díaz

Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara (INICA Villa Clara), Autopista Nacional km 246, Ranchuelo Villa Clara, Cuba.

email: osmany.aday@inicvc.azcuba.cu

Resumen

El máximo aprovechamiento de la biomasa de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) con vista a la generación y comercialización de electricidad resulta vital para la supervivencia de la industria azucarera moderna. El objetivo de esta investigación fue evaluar la granulometría del material desfibrado de tallos de caña energética con diferente contenido de humedad sin la extracción del jugo en los molinos, con el propósito de obtener biomasa para generación de vapor y electricidad. Se utilizaron tallos de caña energética del cultivar C90-176, bagazo y marabú [*Dychrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn.] troceado. Se evaluaron seis tratamientos, en los que se incluyeron tallos de caña energética desfibrados con diferentes contenidos de humedad, bagazo y marabú triturado. Se determinó en cada muestra el contenido de humedad y su composición granulométrica. Los tratamientos constituidos por el material desfibrado de tallos de caña energética con diferente contenido de humedad, no presentaron diferencias significativas entre ellos en cuanto a composición granulométrica de partículas pequeñas (≤ 1 mm) y de las fibras medianas (mayor de 3 mm y ≤ 4 mm). Por otro lado, las fibras grandes (< 4 mm) fueron en un porcentaje más bajo en las muestras de tallos de caña energética desfibrados inmediatamente después del corte. La composición granulométrica de los tallos desfibrados de la caña energética, no difieren significativamente de la del bagazo.

Palabras Clave: biomasa, bagazo, generación de electricidad

Abstract

The maximum use of sugarcane biomass (*Saccharum* spp.) for the generation and commercialization of electricity is vital for the survival of the modern sugar industry. The objective of this research was to evaluate the granulometry of the material of defibered energy cane stems with different moisture content without juice extraction in the mills, with the purpose of obtaining biomass for steam and electricity generation. Energy cane stems from the C90-176 cultivar, bagasse and chopped marabou [*Dychrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn.] were used. Six treatments were evaluated, which included shredded energy cane stems with different moisture contents, bagasse, and crushed marabou. The moisture content and granulometric composition were determined in each sample. The treatments made up of the shredded material from energy cane stems with different moisture content did not present significant differences between them in terms of granulometric composition of small particles (≤ 1 mm) and medium fibers (greater than 3 mm). and ≤ 4 mm). On the other hand, large fibers (< 4 mm) were in a lower percentage in the samples of energy cane stems defibrated immediately after cutting. The

granulometric composition of the defibrated stems of energy sugarcane does not differ significantly from that of bagasse.

Keywords: biomass, bagasse, electricity generation

Introducción

El bagazo es un residuo sólido del proceso de la molienda de tallos frescos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) y normalmente se emplea como biomasa en la cogeneración eléctrica (Botha y Blottnitz, 2006). Se obtiene luego de someter la caña de azúcar a diferentes procesos, primero se fracciona en pequeños trozos, luego es molida y se le extrae el guarapo que es el que contiene el azúcar y después mediante el proceso de imbibición adicionándole agua y alternando con la compresión, se obtiene una masa fibrosa, que contiene aproximadamente un 50 % de sólidos y un 50 % de agua (Rubio, 2015).

El bagazo es un material fibroso, con longitud promedio de 5 - 7,5 cm y con un diámetro que no excede de los 2 cm (González, 2006). Presenta una variada granulometría según el tamaño y la forma, su composición se puede diferenciar en partículas y fibras. Las partículas se obtienen del tejido parenquimatoso del tallo, las fibras del tejido esclerquimatoso y de la corteza. Al respecto, Muñoz (2012) definió que el bagazo con diámetro menor de 1.70 mm se considera “partícula” y con diámetro mayor de se considera “fibra”. El diámetro promedio del bagazo de caña en general es de 0,453 mm (Manals *et al.*, 2015). Según Resano *et al.* (2022), existe una gran variabilidad en la longitud de las fibras del bagazo, en el predominan las fibras que tienen rango de longitud entre 30,00 mm – 45,00 mm y con menor frecuencia el rango de longitud entre 0,50 mm – 25,00 mm.

La utilización de esta biomasa constituye, desde hace décadas y en especial en la actualidad, una fuente renovable de energía muy importante para la generación de electricidad y el impulso de un desarrollo sostenible (Rubio *et al.*, 2018). El máximo aprovechamiento de la biomasa cañera con vista a la generación y comercialización de electricidad resulta vital para la supervivencia de la industria azucarera moderna (Rubio-Rodríguez, 2018). El sistema de cogeneración bioenergética es una tecnología rentable, en el que la biomasa permite aminorar la contaminación provocada por los gases de efecto invernadero producidos en las calderas de los ingenios azucareros dejando de quemar combustibles fósiles (Verdezoto *et al.*, 2021).

El uso de la caña de azúcar para producir bioenergía podría impactar en la dinámica actual de uso de agua, debido a la necesidad de expansión del área cultivada y de incrementar su productividad, sin embargo, la demanda de agua de este cultivo por unidad de área es muy inferior a otros cultivos energéticos, incluso hace uso eficiente del agua y baja emisión de gases de efecto invernadero (Silalertruksa y Gheewala, 2018).

El término “caña energética” es reciente y significa el desarrollo de nuevos cultivares destinados a aumentar la biomasa total de caña de azúcar en lugar de solo azúcar. La idea principal es aumentar la eficiencia de conversión de la energía primaria de la caña de azúcar, la productividad agrícola o la bioenergía total por hectárea (Barbosa *et al.*, 2020). Otra fuente de biomasa que se ha comenzado a emplear en Cuba es el marabú [*Dychrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn.], considerado un excelente combustible, ya que posee un bajo contenido de humedad (22% de humedad de almacenaje, en el extremo inferior del rango para una astilla secada al aire). Este es un combustible joven, con un bajo contenido de carbono y alto de oxígeno (Rubio *et al.*, 2019).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la granulometría del material desfibrado de tallos de caña energética, con diferente contenido de humedad y sin la extracción del jugo en los molinos, con el propósito de obtener biomasa para generación de vapor y electricidad, así como determinar su contenido de ceniza (%).

Materiales y Métodos

Para evaluar la granulometría se concibieron en esta investigación seis tratamientos:

- Tratamiento 1: tallos de caña energética desfibrados inmediatamente después del corte
- Tratamiento 2: tallos de caña energética desfibrados a los 30 días después de cortada
- Tratamiento 3: tallos de caña energética desfibrados a los 45 días después de cortada
- Tratamiento 4: tallos de caña energética desfibrados a los 60 días después de cortada
- Tratamiento 5: bagazo de caña de azúcar
- Tratamiento 6: marabú triturado

Los tallos de caña energética que se emplearon en esta investigación fueron del cultivar C90-176 procedente del área experimental del INICA Villa Clara; el bagazo de la Empresa Azucarera “Ifraín Alfonso” obtenido después del proceso de molienda de la caña de azúcar sin precisar el cultivar; y el marabú troceado se colectó en las pilas de almacenaje de la Central Bioeléctrica “Ciro Redondo” (BIOPOWER), Ciego de Ávila.

Del cultivar de caña energética C90-176 se cortaron 10 tallos por cada tratamiento. Las muestras de los tratamientos 2, 3 y 4 se expusieron al sol para lograr una pérdida natural del contenido de humedad de los tallos hasta que fueron desfibrados. Estas muestras se protegieron de la lluvia y se evitó fuera un factor que incrementara o variara el contenido de humedad de los tallos.

- *Preparación de las muestras*

Las muestras de tallos de caña energética (Tratamientos 1, 2, 3, 4), se desfibraron en una desfibradora del laboratorio azucarero de la Empresa Azucarera “Ifraín Alfonso”. En el laboratorio del INICA Villa Clara, de la biomasa desfibrada de cada tratamiento se tomaron cinco submuestras, cada una con un volumen de 327 cm³.

En el caso del tratamiento 5 se partió de una muestra inicial de 10 kg de masa, colectada del bagazo obtenido después de la molienda de tallos de cultivares azucareros y de la extracción del jugo para la fabricación de azúcar. Se tomaron cinco submuestras, cada una con un volumen de 327 cm³, para determinar el contenido de humedad.

Las muestras del tratamiento 6 se colectaron de la biomasa de marabú triturado, en el área de almacenamiento de la Central Bioeléctrica “Ciro Redondo”, anexa al central azucarero de la Empresa Azucarera “Ciro Redondo”, Ciego de Ávila. El marabú fue cosechado con máquinas BMH-480 con el cabezal triturador H 600 (que posee como órgano de trabajo para el corte y triturado del marabú un rotor de cuchillas y martillos). De las pilas de almacenamiento, a una altura de 1 m desde el suelo y 50 cm de profundidad, se tomaron tres muestras de 1 kg de masa cada una. Posteriormente de cada muestra se tomaron cinco submuestras, cada una con un volumen de 327 cm³, para determinar el contenido de humedad.

Todas las muestras se pesaron en una balanza digital marca KERN_{EW} (Alemania) para determinar su peso fresco. Posteriormente estas se colocaron en una estufa de la marca BINDER AD 13250, a temperatura de 105 °C hasta que alcanzaron un peso constante (después de 72 horas) y se volvieron a pesar para determinar el contenido de humedad.

Cálculo de la humedad, ecuación:

$$\text{Humedad calculada (\%)} = 100 * (\text{masa inicial} - \text{masa final}) / \text{masa inicial} \quad (1)$$

- *Evaluación de la composición granulométrica*

Para determinar la proporción de tamaños del material particulado en las muestras desfibradas o trituradas, de cada tratamiento se tomaron tres submuestras (húmedas), de 1500 cm³ cada una y se tamizaron en los laboratorios del INICA Villa Clara (Figuras 1 y 2). Se emplearon cuatro tamices normalizados y numerados de la marca Retsch®, con diámetros de 4, 3, 2 y 1 mm. En orden decreciente se procedió a la agitación de los tamices por 10 minutos/submuestra. Las fracciones granulométricas se clasificaron en “partículas” y “fibras”, las que no pasaron por los tamices de 1 y 2 mm se consideraron “fibras”. Teniendo en cuenta el diámetro de las fracciones obtenidas y los criterios de Gonzáles (2006) y Muñoz (2012), estas se pesaron y clasificaron en:

- Partículas pequeñas ($\leq 1\text{ mm}$)
- Partículas grandes ($>1\text{ mm} \leq 2\text{ mm}$)
- Fibras pequeñas ($>2\text{ mm} \leq 3\text{ mm}$)
- Fibras medianas ($>3\text{ mm} \leq 4\text{ mm}$)
- Fibras grandes ($> 4\text{ mm}$)

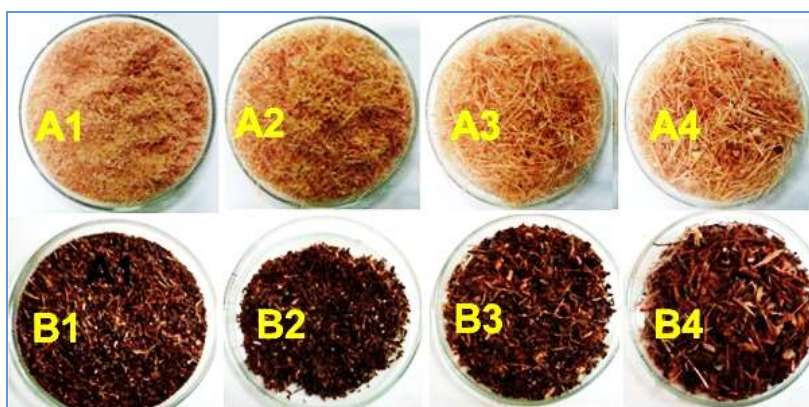


Figura 1. Fracciones granulométricas obtenidas hasta 4 mm de diámetro. A (caña), B (marabú). 1 (Partículas pequeñas), 2 (Partículas grandes), 3 (Fibras pequeñas), 4 (Fibras medianas)



Figura 2. Fibras grandes de más de 4 mm de diámetro por tratamiento. A: Tratamiento 1. B: Tratamiento 2. C: Tratamiento 3. D: Tratamiento 4. E: Tratamiento 5. F: Tratamiento 6.

En el procesamiento estadísticos de los datos de humedad de las muestras de cada tratamiento y de la composición granulométrica, los valores de porcentajes se transformaron mediante la expresión: $y = \text{ArCos} \sqrt{x}$. Posteriormente se realizó análisis de normalidad mediante la prueba de *Shapiro Wilks* y análisis de varianza (ANOVA) simple de efecto fijo. La comparación de medias fue realizada mediante la prueba de Múltiple de Rango de Duncan ($p < 0,05$). El paquete estadístico utilizado fue STATGRAPHICS Centurion para Windows, Version 15.1.

- *Determinación del contenido de ceniza*

La determinación del contenido de ceniza (%) se realizó en el laboratorio de la Central Bioeléctrica “Ciro Redondo”. En este caso se procesaron otras cinco muestras de tallos de caña energética, que de forma inmediata al corte fueron desfibradas en el laboratorio azucarero de la Empresa Azucarera “Ifraín Alfonso”, además una muestra de bagazo de este ingenio y otra muestra de marabú triturado procedente de las mismas pilas almacenadas en la Central Bioeléctrica (siete muestras en total).

Resultados y Discusión

Se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en cuanto al contenido de humedad (Tabla 1). Fue mayor en los tallos de caña energética desfibrados inmediatamente después del corte, estos presentaron una humedad promedio de 73,83% y está decreció de forma significativa hasta los 60 días después de cortada. No existieron diferencias en el contenido de humedad entre los tratamientos 5 y 6 (tallos que fueron desfibrados a los 60 días y el bagazo de caña de azúcar). La humedad del marabú troceado fue significativamente menor en relación con los demás tratamientos y presentó valores en un rango de 17,49 a 38,40%.

Tabla 1. Contenido de humedad de las muestras de cada tratamiento

Tratamiento	Masa fresca (g)	Masa seca (g)	Humedad (%)
1	117,38	30,81	73,83 a
2	105,26	40,74	61,39 b
3	86,02	39,97	53,83 c
4	76,30	42,49	44,43 d
5	76,01	39,04	48,75 dc
6	190,21	126,53	26,78 e

Valores promedio con la misma letra, dentro de cada columna, indican no diferencia significativa según la Prueba de Duncan ($p < 0,05$). Error estándar de la media (EEx): 2,16

Normalmente la humedad del bagazo oscila entre 45 y 50% de humedad (Rodríguez y Rosabal, 2017). Esto quiere decir que, de una unidad de masa de combustible quemado en las calderas, aproximadamente la mitad es bagazo y la otra es agua. En la combustión, la humedad disminuye el Poder Calorífico Inferior base húmeda (PCIbh), aumenta el volumen de gases y disminuye el rendimiento.

La humedad inicial del marabú cosechado con máquinas puede oscilar entre 41,30 y 39,60%.

En períodos de secado a la intemperie de aproximadamente 12 días, su humedad disminuye con el tiempo a valores que oscilan alrededor del 20% (Rubio *et al.*, 2021b).

Según Suarez *et al.* (2000), el bagazo posee un Poder Calórico Superior base seca (PCSbs) de 4132,86 kcal/kg (17,3 MJ/kg) y Poder Calórico Inferior base seca (PCIbs) de 3774,48 kcal/kg (15,8 MJ/kg), mientras que el marabú alcanza un PCSbs de 4945,82 kcal/kg (20,7 MJ/kg) y PCIbs de 4610,6 kcal/kg (19,3 MJ/kg). En Argentina Diez *et al.* (2010) determinaron que en Tucumán es aconsejable utilizar 17,375 kJ/kg (4150,74 kcal/kg) como valor promedio de PCIbs del bagazo.

Por su parte Alonso *et al.* (2014), señalaron que el bagazo de la caña de azúcar con aproximadamente un 50% de humedad posee un PCSbh de 2190 kcal/kg (9,17 MJ/kg) y PCSbh de 1524,13 Kcal/kg (6,38 MJ/kg), mientras que cuando está completamente seco su PCIbs es de 4563 Kcal/kg (19,1 MJ/kg). Otra referencia al respecto es la de Rodríguez y Ponce (2017), en su artículo se plantea que el PCSbs en Cuba es de 4 691 kcal/kg, mientras que en Australia, Sudáfrica, Estados Unidos (EE.UU) y Puerto Rico, este oscila entre 4 542 y 4622 kcal/kg, para un promedio de 4 606 kcal/kg.

Las partículas de los tratamientos constituidos por el material desfibrado de tallos de caña energética con diferente contenido de humedad (CEH), no presentaron diferencias significativas entre ellos en cuanto a composición granulométrica de partículas pequeñas (≤ 1 mm) y de las fibras medianas (mayor de 3 mm y ≤ 4 mm) (Figura 3). Las diferencias entre estos tratamientos se observaron en el porcentaje de las partículas grandes (mayor de 1 mm y ≤ 2 mm), en este caso la fracción de estas fue mayor en el tratamiento 1 que presentó mayor contenido de humedad. Las fibras pequeñas fueron significativamente más abundantes en los tratamientos 1 y 4, sin influencia de la humedad de las muestras (Figura 3).

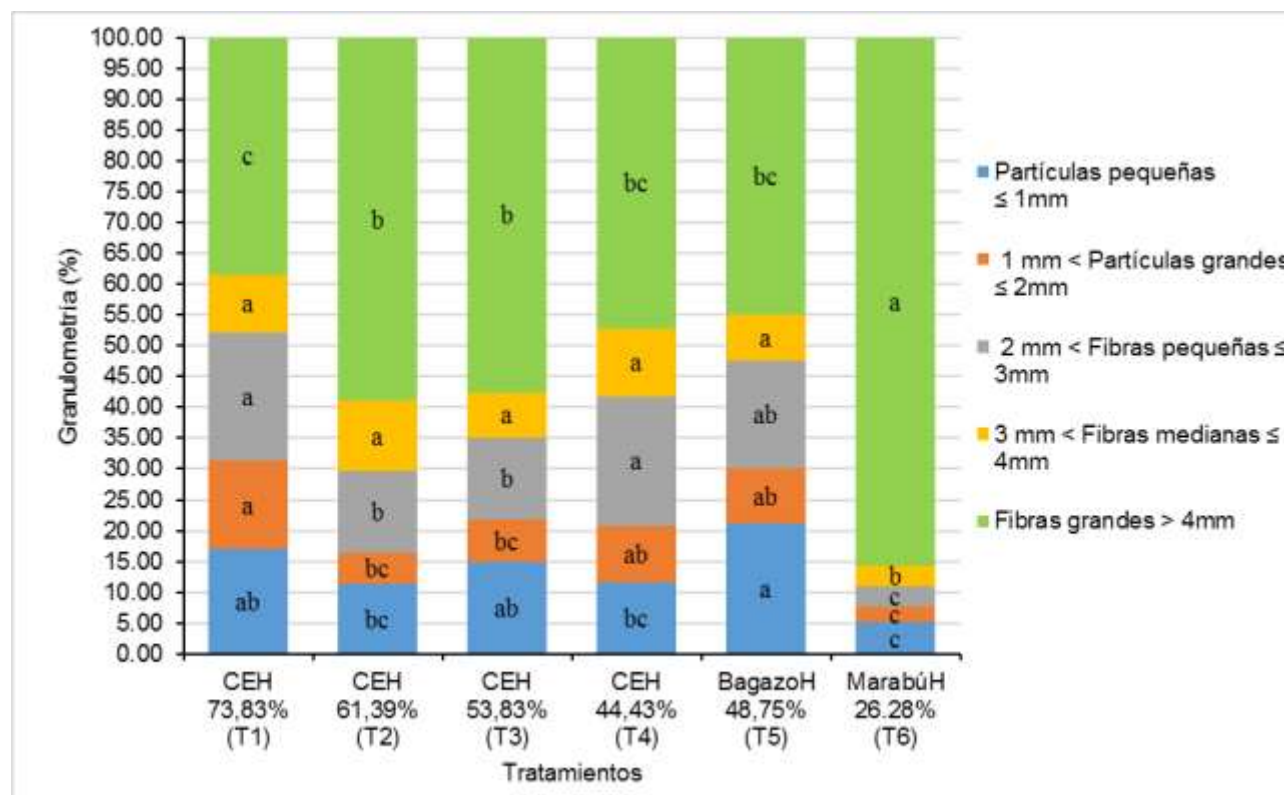


Figura 3. Composición granulométrica por tratamiento. Valores promedio con la misma letra, en dirección horizontal, indican no diferencia significativa entre tratamientos atendiendo a cada fracción granulométrica, según la Prueba de Duncan ($p < 0,05$)

Por otro, lado las fibras grandes (mayor de 4mm) fueron en un porcentaje más bajo en las muestras de tallos de caña energética desfibrados inmediatamente después del corte. Se determinó que en este tratamiento las fibras medianas y grandes constituyen menos del 50% de la composición granulométrica total.

En las muestras de tallos desfibrados a los 45 y 60 días después de cortada (Tratamientos 3 y 4) y del bagazo de caña de azúcar (BagazoH) (Tratamientos 5), con un rango de 40,5 y 62,4% de humedad en sus muestras, predominan las fibras medianas y grandes, estas constituyen entre 58 y 70% de la masa desfibrada. Estos resultados indican que se pueden obtener una proporción de fibras de mayor tamaño de los tallos de caña energética, cuando estos poseen menos del 60% de humedad en el momento en que se someten a un proceso de desfibrado, ya sea en máquinas desfibradoras, desmenuzadoras o picadoras.

De forma general no se observaron diferencias notables en la composición granulométrica del bagazo de tallos de caña azucarera con relación a los tratamientos con tallos de caña energética desfibrados. Sin embargo, en el bagazo se encontró hasta un 21,7% de fracciones granulométricas de hasta 2 mm de diámetro, de 4 a 6% más que en los tratamientos con caña energética. El 52,33% de las partículas de bagazo estuvieron constituidas por fibras medianas y grandes.

En las muestras del material triturado de marabú, solo el 7,6% de la biomasa evaluada está compuesta por partículas pequeñas y grandes (menores de 2 mm de diámetro) y 3,6% de fibras pequeñas ≤ 3 mm de diámetro. En ellas predominan las fibras grades de más de 4 mm de diámetro.

Según ECI AZ (2018) el 70,17% de las partículas de la masa triturada del marabú posee menos de 100 mm de largo. Rubio-González *et al.* (2021), determinaron un mayor porcentaje de partículas superiores a los 80 mm (33,35%) que en el bagazo ($\approx 0\%$), y de hecho presenta algunas partículas superiores a los 200 mm dimensiones que nunca alcanza el bagazo. Por su parte, Cano *et al.* (2022) corroboraron los resultados anteriormente publicados, ellos encontraron que las fracciones con longitudes ≥ 5 a ≤ 250 mm representa el 80,68% del total de masa cosechada del marabú, lo que es admisible para su empleo por la bioeléctrica y favorable para el proceso de combustión.

La forma, tipo y disposición de la fibra depende del grado de preparación que tenga la caña en el proceso de extracción de jugo, el número de juegos de cuchillas, desmenuzadoras, picadoras y molinos. Un análisis granulométrico tiene como finalidad obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de material, su clasificación y el porcentaje de particulado que se quemará más eficientemente. La granulometría de la biomasa resulta también de gran interés a los efectos de su manipulación por los transportadores mecánicos (desde el almacén hasta las calderas de vapor) (Grimolizzi, 2020), por los dosificadores y alimentadores de los hornos de las calderas, así como por su impacto en la eficiencia de la combustión (Rubio, 2015).

En las muestras analizadas en el laboratorio de la Central Bioeléctrica “Ciro Redondo” (Tabla 2), se determinó que el contenido de ceniza en las muestras de tallos desfibrados de caña energética con respecto al bagazo, se incrementó en 2,39%, debido fundamentalmente al contenido de azúcares en los tallos. Según Rodríguez y Rosabal (2017) el contenido de cenizas

en el bagazo puede variar entre 0,32 – 2,6%, mientras que Rodríguez *et al.* (2019) informan 2,44%.

Debe tenerse presente que, durante la molienda de la caña de azúcar, la biomasa es lavada con agua (proceso llamado de imbibición) que produce un efecto de disolución de buena parte de los álcalis, lo que reduce su presencia en el bagazo; algo similar ocurre con la ceniza total (Rubio-González *et al.*, 2021). El contenido de ceniza en la biomasa almacenada del marabú cosechado, puede ser superior al del bagazo, según fuentes consultadas este puede variar desde 0,8 hasta 4,26% (Rodríguez y Rosabal, 2017; Rodríguez *et al.*, 2019).

Tabla 2. Contenido de cenizas en las muestras evaluadas

Muestra	Cenizas (%)
M-1 Tallos troceados de caña energética	2,59
M-2 Tallos troceados de caña energética	3,60
M-3 Tallos troceados de caña energética	3,79
M-4 Tallos troceados de caña energética	2,40
M-5 Tallos troceados de caña energética	2,59
M-6 Bagazo de caña de azúcar	1,40
M-7 Marabú	0,8-1,1*(4,26**)

*Fuente: Rodríguez y Rosabal (2017). ** Fuente: Rodríguez-Machín *et al.* (2019)

Conclusiones

Los tallos de caña energética que fueron secados al sol en condiciones naturales por un período de hasta 60 días mantuvieron un nivel de humedad superior al 40%.

La composición granulométrica de los tallos de la caña energética con diferentes contenidos de humedad y desfibrados, no difieren significativamente de la del bagazo.

Los tratamientos constituidos por el material desfibrado de tallos de caña energética con diferente contenido de humedad, no presentaron diferencias significativas entre ellos en cuanto a composición granulométrica de partículas pequeñas (≤ 1 mm) y de las fibras medianas (mayor de 3 mm y ≤ 4 mm).

En la masa triturada del marabú predominaron las fibras de 4 mm de diámetro (más del 80%), mientras que en el bagazo esta representa el 52,33%.

Referencias

- Alonso, W., Luengo, C.,A., Morales L.,A., García del Pino, G., Evangelista J. (2014). Energy Recovery from Sugarcane: Study of Heating Value Variations of Sugarcane-trash with Moisture Content during the Milling Season. American Journal of Biomass and Bioenergy 3(1), 1-33. <https://doi.org/10.7726/ajbb.2014.1001>.
- Barbosa, L.A., Baldassin Jr., R., y de Almeida, E.(2020). Energy from sugarcane. In: Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives, first ed. Elsevier, London, pp. 117-139. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814236-3.00007-X>.
- Botha, T. y Blottnitz, H. (2006). A comparison of the environmental benefits of bagasse derived electricity and fuel ethanol on a life-cycle basis. Energy Policy, 2654–2651.

- Cano, O., López, O., Guerrero, P., González, J. (2022). Evaluación de la calidad de triturado del marabú cortado con una cosechadora forestal. *Ingeniería Agrícola* 12(4), 63-68.
- Diez O.,A., Cárdenas G.,J. y Mentz L., F. (2010). Poder calorífico superior de bagazo, médula y sus mezclas, provenientes de la caña de azúcar de Tucumán, R. Argentina. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* Vol. 1, 9-38.
- ECIAZ. (2018). Notificación a Azuimport., Características del marabú desfibrado para bioeléctricas., Pruebas realizadas en el central azucarero Ignacio Agramonte, Camagüey, Cuba, Documento interno de Grupo Empresarial AZCUBA, 1-2.
- González, P. (2006). El bagazo como combustible y su relación con los principales factores agroindustriales. Fuentes de energía en la industria de la caña de azúcar. *Mundo Eléctrico. Revista Especializada del Sector Eléctrico* 20(63), 1-10.
- Grimolizzi, G. (2020). Manejo de materiales a granel. 1-99. <http://www.fernandezantonio.com.ar/Documentos/G-U0501%20Materiales%20a%20Granel.pdf> (accedido el 23 de septiembre de 2020).
- Manals, E., M., Penedo, M., Salas, D. (2015). Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal. *Revista Tecnología Química* 35(2), 1-10.
- Muñoz, M. (2012). Caracterización del bagazo de cuatro ingenios azucareros de Guatemala. *Memoria anual de resultados 2012. CENGICAÑA. Guatemala*, 6 p.
- Resano, D., Guillen, O.,W., Ubillús, F., Barranzuela J.,L. (2022). Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Información Tecnológica* 33(2), 247-258, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200247>
- Rodríguez, A., D. y Rosabal, L., B. (2017). Tecnología de las secciones de paso en rotación para la quema eficiente del meollo en las calderas de bagazo. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba* 7(3), 78-101.
- Rodríguez, L., Arteaga, L.E., Pala, M., Herregods-V., K., Pérez, R.,A., Feys, J., Prins, W. y Ronsse, F. (2019). Influence of citric acid leaching on the yield and quality of pyrolytic bio-oils from sugarcane residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* Vol. 137, 43-53.
- Rubio, A. (2015). Generadores de vapor. Funcionamiento y explotación., Editorial Feijóo. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba, Libro digital, pp. 75-103.
- Rubio, A. (2019). Estudio de la pérdida de calor por incombustión mecánica volátil en calderas RETAL, mediante simulación aerodinámica. *International Sugar Journal* 100(1189), 32-34.
- Rubio, A. y Rubio, M. (2018). Integración y esquemas energéticos para el máximo aprovechamiento de la biomasa cañera en la generación de electricidad. *Centro Azúcar* 45(4), 20-31.
- Rubio, A., Iurria P.,J., Freire M., Palmero 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.
- Rubio, A., Hernández, B. y Rubio, M. (2018). Programa cubano para el máximo aprovechamiento de la biomasa cañera para la generación de electricidad. *Revista ATAC* 79(1), 4-11.
- Silalertruksa, T., Gheewala, S.,H. (2018). Land-water-energy nexus of sugarcane production in online version at doi:10.1016/j.rser.2018.12.025. Thailand. *Journal Clean Prod.* Vol. 182, 521–528. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018>.
- Suarez, J., Luengo, C., Fonseca, F., Bezzon, G., Beaton, P. (2000). Thermochemical properties of cuban biomass. *Energy Sources* Vol. 22, 851–857.
- Verdezoto, L., Parco, F., Jácome, C., Katan, W. y Mora, A. (2021). Energía renovable a partir de la biomasa de la caña de azúcar. *Revista de Investigación Talentos* 8(1), 9-26.

