

**Artículo Original**

**PROPIEDADES DEL MARABÚ (*DICHOSTACHYS CINEREA L.*)  
COSECHADO CON MÁQUINAS, COMO COMBUSTIBLE PARA LA  
GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD  
(SEGUNDA PARTE)**

**PROPERTIES OF MARABÚ, (*DICHOSTACHYS CINEREA L.*), HARVESTED  
WITH MACHINES, AS FUEL FOR ELECTRICITY GENERATION  
(SECOND PART)**

Angel Rubio-González <sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0890-5475>  
Pedro Jesús Iturria Quintero <sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9134-4209>  
Marisol Freire Seijo <sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1962-2809>  
Delvis Palmero Marín <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3524-5054>

<sup>1</sup> Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>2</sup> Departamento de Licenciatura Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>3</sup> Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Junio 13, 2020; Revisado: Agosto 15, 2020; Aceptado: Noviembre 16, 2020

**RESUMEN**

**Introducción:**

El marabú, *Dichrostachys cinerea (L.)*, se ha previsto sea utilizado como biomasa para la generación de electricidad en Cuba, en condición de combustible complementario a la biomasa cañera en la industria azucarera. Para esto se requerirán grandes cantidades, lo que obliga a emplear máquinas para su cosecha. Las propiedades como combustible de la biomasa de marabú, obtenida en esas condiciones, no han sido estudiadas a profundidad.

**Objetivo:**

Determinar la humedad y temperatura de la pila de marabú a la intemperie, composición microbiana, granulometría y ángulo de reposo de la pila de marabú cosechado con la máquina BMH-480 con el cabezal H 600.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

\* Autor para la correspondencia: Angel Rubio, Email: [arubio@uclv.edu.cu](mailto:arubio@uclv.edu.cu)



### **Materiales y Métodos:**

Se obtuvieron muestras del marabú cosechado y se determinaron sus propiedades en varios laboratorios, además se realizaron evaluaciones de campo para determinar propiedades influyentes en su logística y combustión. Para las evaluaciones se tuvo en cuenta principalmente el tiempo postcosecha.

### **Resultados y Discusión:**

Se presentan varias de las propiedades del marabú cosechado mecanizadamente y sus dependencias con el tiempo postcosecha.

### **Conclusiones:**

La humedad del marabú cosechado con máquinas, y apilado a la intemperie, disminuye con el tiempo, la inicial resulta alta, pero puede disminuir a valores del 20 % en períodos de secado a la intemperie de aproximadamente 12 días, y la temperatura de la pila de marabú, que se modifica con el tiempo de almacenamiento, alcanza un valor máximo de 62 °C. Se evaluaron también la composición microbiana de la biomasa de marabú, su granulometría y el ángulo de reposo de la pila.

**Palabras clave:** ángulo de reposo; biomasa; generación eléctrica; humedad, temperatura y granulometría de biomasa.

## **ABSTRACT**

### **Introduction:**

Marabú, *Dichrostachys cinerea* (L.), is expected to be used as biomass for electricity generation in Cuba, as a complementary fuel to sugarcane biomass in sugar industry. For this, large quantities will be required, forcing machines use for harvesting. Fuel properties of marabú biomass, obtained under these conditions, have not been studied in depth.

### **Objective:**

To determine humidity and temperature of open stacked marabú, and microbial composition, grain size and angle of repose of marabú. harvested with the BMH-480 machine with the H 600 head, pile

### **Materials and Methods:**

Samples of harvested marabú were obtained, and their properties were determined in several laboratories, as well as field evaluations to determine influential properties in their logistics and combustion. For the assessments, the post-harvest time was mainly taken into account.

### **Results and Discussion:**

Several of mechanically harvested marabú properties and their dependence with post-harvest time are presented.

### **Conclusions:**

Moisture of harvested with machines, and open stacked marabú, decreases with time. Initial value is high, but it can decrease to values of 20 % in open drying periods of approximately 12 days. Marabú stack temperature, which is modified with storage time, can reach values of 62 °C. Microbial composition of marabú biomass, its granulometric characteristics and the angle of repose of the stack were also evaluated.

**Keywords:** angle of repose; biomass; electricity generation; moisture, temperature and granulometry of biomass.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las bioeléctricas (como se ha dado en llamar en Cuba a las plantas de generación de electricidad con biomasa, anexas a los centrales azucareros) demandan, en los períodos fuera de zafra, grandes cantidades de biomasa y el marabú es una de ellas (Rubio-González et al., 2021). Esto obliga a la mecanización de su cosecha y a su almacenamiento para la creación de una capacitancia para los períodos en que la lluvia u otros fenómenos impidan la cosecha. Ante estas circunstancias, el conocer el comportamiento de la biomasa almacenada en grandes pilas, tales como la humedad y temperatura de la pila a la intemperie en función del tiempo (Montenegro, 2014), la composición microbiana (Choque, 2015) y el ángulo de reposo de dicha pila son de suma importancia. Por otro lado, su granulometría 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-González, 2015).

En (ECIAZ, 2018) se encontró un reporte de características del marabú cosechado con máquinas y en él se reporta una densidad de  $550 \text{ kg/m}^3$  y una humedad desde 13 hasta 28 %. La granulometría reportada fue: 70,17 % menos de 100 mm, 14,6 % entre 100 y 150 mm, 8,88 % entre 150 y 200 mm y 6,35 % más de 200 mm.

En la literatura consultada no se encontraron reportes de humedad y temperatura en función del tiempo de almacenamiento, ni sobre composición microbiana, ni ángulo de reposo de la pila.

A partir de lo anterior, para esta segunda parte del estudio de las propiedades del marabú como combustible, se definió como objetivo determinar la humedad y temperatura de la pila de marabú a la intemperie, composición microbiana, granulometría y ángulo de reposo de la pila de marabú cosechado con la máquina BMH-480 con el cabezal H 600.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La humedad de la biomasa tiene una gran influencia sobre su calor de combustión y como este combustible será almacenado en pilas, la determinación de su variación en el tiempo es de suma importancia. El procedimiento seguido para este estudio consistió en:

- Formación, en el campo, de una pila de marabú cosechado por la máquina y descargado desde la altura máxima de volteo de ella (masa aproximada 12 t).
- Datos de la cosecha: Densidad de campo media (75 t/ha), suelo pardo, condición climática seca durante la cosecha y altura de corte de la máquina alta (25 cm).
- Datos de la pila: diámetro a nivel del suelo 8,50 m, altura en su centro 3,30 m.
- Muestreo de la pila: Toma de dos muestras, a una altura de 1 m desde el suelo y 50 cm de profundidad. Tomadas en puntos opuestos de la pila (cara Norte y cara Sur). Masa aproximada de 1 kg. Pesaje inmediato (masa inicial). Conservación

en sobres de papel. Primera muestra tomada inmediatamente formada la pila y considerada del día 0. Toma de muestras cada dos días y en el mismo horario.

- Control de ocurrencia de lluvias cada día.
- Masa final, obtenida mediante secado en estufa hasta peso constante. Norma E871 – 82 (Revisión 2013).
- Cálculo de la humedad, ecuación 1:

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

El conocimiento de la temperatura de la pila tiene gran importancia por dos razones: es un indicador de posibles procesos de descomposición con pérdida de biomasa y una medida de potenciales peligros de auto-inflamación. La medición se realizó siguiendo el procedimiento siguiente:

- Medición de la temperatura en dos caras de la pila, Norte y Sur, para observar posibles variaciones de temperatura por la influencia del sol. Se utilizó un termómetro de bulbo de mercurio, rango de temperatura de 0 a 90°C y precisión de 1°C.
- Mediciones a una altura de 1 m desde el suelo y profundidades de 160; 120; 60 y 30 cm en cada cara.
- Permanencia del termómetro durante 10 minutos en cada posición de medición.
- Repetición del proceso de medición en tres momentos del día: mañana, mediodía y tarde, coincidiendo con los días de medición de humedad.

Este experimento fue desarrollado del 5 al 27 de marzo de 2019, lo que debe ser tenido en cuenta, pues la temperatura de la pila depende de la temperatura ambiente, la que a su vez depende de la época del año.

Para el estudio de la composición microbiana de la biomasa de marabú las condiciones del experimento fueron: marabú procedente de la máquina, almacenado a cielo abierto en pilas sobre suelo. Se emplearon muestras de biomasa con las siguientes características: A) recién cortada, B) 5 días de cortada y C) 10 días de cortada. Cada una de las muestras se colocó en placas de Petri y se observaron al microscopio estereoscópico (100 x). Además, de cada muestra se tomó 1 g se mezcló con 9 mL de agua destilada estéril y una gota de Tween-20. Se agitó en Vortex 1 minuto, se tomó una alícuota y se observó al microscopio óptico (aumento 400 x). Se describió la presencia de grupos microbianos de acuerdo con sus características morfológicas.

Para el aislamiento de los microorganismos presentes, de cada muestra se tomó 1 g, se mezcló con 9 mL de agua destilada estéril y una gota de Tween-20. Se agitó en Vortex 1 minuto y se realizaron diluciones decimales hasta 1/1000. De esta última se tomaron alícuotas de 100 µL y se inocularon por diseminación con espátula de Drigalsky en placas de Petri con medio de cultivo Agar Glucosa Saboureaud 4% (AGS) (Fluka) y Agar nutriente (AN) (Fluka) (tres repeticiones por muestra y medio de cultivo). Las placas del primero se incubaron a 28 °C y oscuridad, y el segundo a 30 °C y oscuridad. A las 24 h de incubación se observaron las colonias crecidas, se confirmó el grupo microbiano (bacterias, levaduras u hongos filamentosos) por observación al microscopio óptico en preparaciones directas con agua destilada estéril o lactofenol. En los casos en que fue posible se identificó el género presente. Las colonias con caracteres culturales diferentes se aislaron y purificaron en similares medios de cultivo. Estas

pruebas fueron realizadas en el Instituto de Biotecnología de las Plantas (IBP) de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV).

La granulometría se determinó a partir de tres muestras representativas de la biomasa procesada por la cosechadora, las cuales se obtuvieron y pesaron. Las muestras se separaron en cuatro grupos, longitudes de < 1 mm, 1–20 mm, 21–80 mm, 81–250 mm, con el empleo de tamices. Posteriormente, se pesaron por separado las fracciones de cada muestra. A continuación, se determinó el porcentaje que representa el peso de cada fracción del total de la muestra. Estas pruebas fueron realizadas en el IBP de la UCLV.

El ángulo de reposo de la pila de marabú se determinó a partir de la geometría de la pila y se evaluó para el primer día y el día 22 en que concluyó la prueba de humedad. La medición se repitió en tres ocasiones, se promedió y se redondeó a un ángulo exacto.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 pueden verse los resultados de las mediciones de la humedad media de la pila de marabú a la intemperie, mientras que en la Figura 1 los mismos se muestran gráficamente.

**Tabla 1.** Humedad en pila vs tiempo

<i>Día</i>	<i>Muestra</i>	<i>Masa fresca (kg)</i>	<i>Masa seca (kg)</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Humedad promedio (%)</i>	<i>Lluvia día anterior</i>
0	(0-1)	1,38	0,81	41,30	40,45	-
	(0-2)	1,49	0,90	39,60		
2	(2-1)	1,21	0,73	39,67	38,42	Ligera
	(2-2)	1,13	0,71	37,17		
4	(4-1)	1,15	0,74	35,65	34,94	-
	(4-2)	1,11	0,73	34,23		
6	(6-1)	1,14	0,79	30,70	30,81	-
	(6-2)	1,10	0,76	30,91		
8	(8-1)	1,32	0,92	30,30	27,55	-
	(8-2)	1,29	0,97	24,81		
10	(10-1)	1,17	0,92	21,37	26,79	Ligera
	(10-2)	1,18	0,80	32,20		
12	(12-1)	1,08	0,82	24,07	21,47	-
	(12-2)	1,06	0,86	18,87		
14	(14-1)	1,25	0,97	22,40	25,37	Fuerte
	(14-2)	1,27	0,91	28,35		
16	(16-1)	1,07	0,78	27,10	26,61	Fuerte
	(16-2)	1,11	0,82	26,13		
18	(18-1)	1,10	0,89	19,09	21,58	-
	(18-2)	1,08	0,82	24,07		
22	(22-1)	1,04	0,76	26,92	28,51	Fuerte
	(22-2)	1,13	0,79	30,09		

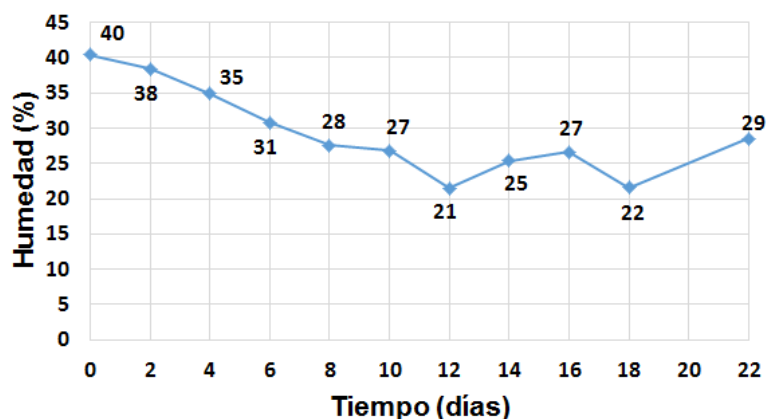


Figura 1. Humedad de la pila a la intemperie vs tiempo

De la Figura 1 se pueden sacar dos conclusiones:

- La humedad media disminuye constantemente con el tiempo y las lluvias ligeras no la afectan significativamente. Esto se puede apreciar en el comportamiento hasta el día 12, valorando lo ocurrido los días 4 y 12 después de lluvias ligeras.
- Las lluvias fuertes afectan la humedad y pueden llegar a revertir su tendencia a disminuir, provocando incrementos. Esto se aprecia, sobre todo, a partir del día 12.

Mediante un modelo estadístico lineal del proceso de secado de los primeros 8 días (ecuación 2), prácticamente sin lluvias:

$$H (\%) = -1,55 * D + 40,6 \quad (2)$$

Se establece que se puede alcanzar una humedad (H) de hasta un 22 % en 12 días (D), lo que resulta un valor conveniente para la combustión.

En las Tablas 2 y 3 se puede ver la temperatura de la cara Norte y la cara Sur de la pila respectivamente, para cada día que se evaluó y a diferentes profundidades; mientras que en la Figura 2 se ha graficado el comportamiento en el tiempo.

Tabla 2. Temperatura de la pila vs tiempo. Cara Norte (°C)

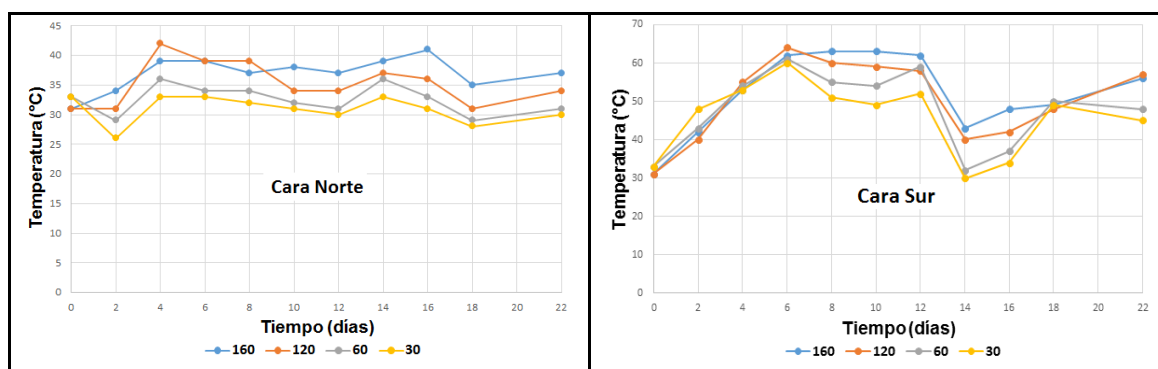
Tiempo (días)	Profundidad (cm)				Lluvia día anterior
	160	120	60	30	
0	31	31	33	33	-
2	34	31	29	26	Ligera
4	39	42	36	33	-
6	39	39	34	33	-
8	37	39	34	32	-
10	38	34	32	31	Ligera
12	37	34	31	30	-
14	39	37	36	33	Fuerte
16	41	36	33	31	Fuerte
18	35	31	29	28	(1)
22	37	34	31	30	Fuerte

(1) El día anterior al 20 llovió copiosamente, lo que impidió la entrada al campo para tomar lecturas.

**Tabla 3.** Temperatura de la pila vs tiempo. Cara Sur (°C)

<i>Tiempo (días)</i>	<i>Profundidad (cm)</i>				<i>Lluvia día anterior</i>
	<i>160</i>	<i>120</i>	<i>60</i>	<i>30</i>	
0	31	31	33	33	-
2	42	40	43	48	Ligera
4	53	55	54	53	-
6	62	64	61	60	-
8	63	60	55	51	-
10	63	59	54	49	Ligera
12	62	58	59	52	-
14	43	40	32	30	Fuerte
16	48	42	37	34	Fuerte
18	49	48	50	49	(1)
22	56	57	48	45	Fuerte

(1) El día anterior al 20 llovió intensamente, lo que impidió entrar al campo para tomar lecturas.



**Figura 2.** Temperatura de cada punto de la pila en la cara Norte y la Sur vs tiempo. Profundidades de la toma de muestra (30, 60, 120 y 160) en cm

Se observa en la figura de la cara Norte que del segundo al cuarto día hay un incremento de la temperatura y después una cierta estabilización, aunque con aumentos y disminuciones (variaciones entre 30 y 38 °C). El incremento de la temperatura es debido al conocido fenómeno de descomposición biológica y térmica que sufre todo material orgánico sometido a condiciones de intemperie en el trópico y las variaciones responden al fenómeno de la lluvia. La temperatura tiende a ser mayor hacia el interior de la pila donde los procesos de descomposición son más intensos producto del propio incremento de la temperatura (mutua influencia), y en general los puntos de muestreo tienen comportamientos similares en el tiempo.

En la cara Sur, también hay un incremento de la temperatura y después una cierta estabilización, todo debido a iguales razones que en la Norte, pero alcanzándose valores de temperatura muy superiores (variaciones entre 50 y 62 °C). La disminución que viene a continuación está dada por la lluvia, que tiende a enfriar la pila. Este fenómeno de enfriamiento se manifiesta más intensamente en la cara Sur por tener esta las

temperaturas más altas (lo que se valorará más adelante). Posteriormente, el agua de lluvia intensifica la descomposición y las temperaturas vuelven a incrementarse. La temperatura, no tan bien definida como en la cara Norte, tiende también a ser mayor hacia el interior de la pila y en general los diferentes puntos medidos tienen comportamientos similares.

En la Figura 3 se graficó el comportamiento de la temperatura promedio del día de cada cara en función del tiempo. La cara Sur prácticamente todo el tiempo mantiene una temperatura superior a la cara Norte. En Cuba, dada su latitud, el sol está inclinado al Sur en la época del año en que se efectuó el estudio. Esto hace que la cara Sur se caliente más y que esto incremente el proceso de descomposición, fenómenos que sumados incrementan la temperatura. La temperatura máxima que se alcanzó fue de 62 °C, el día 6, en la cara Sur.

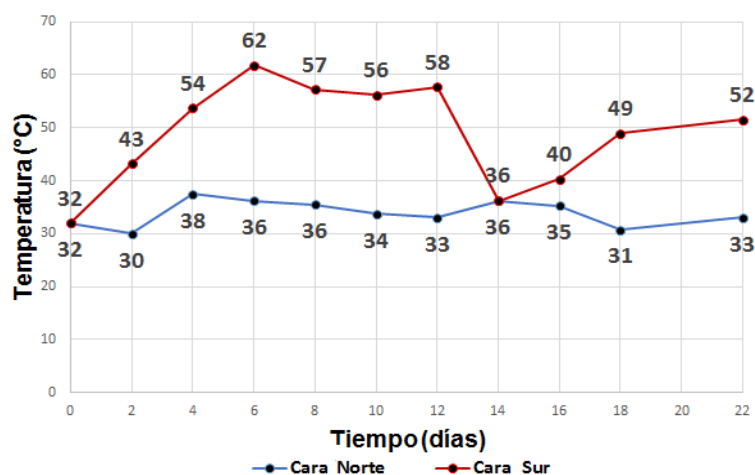
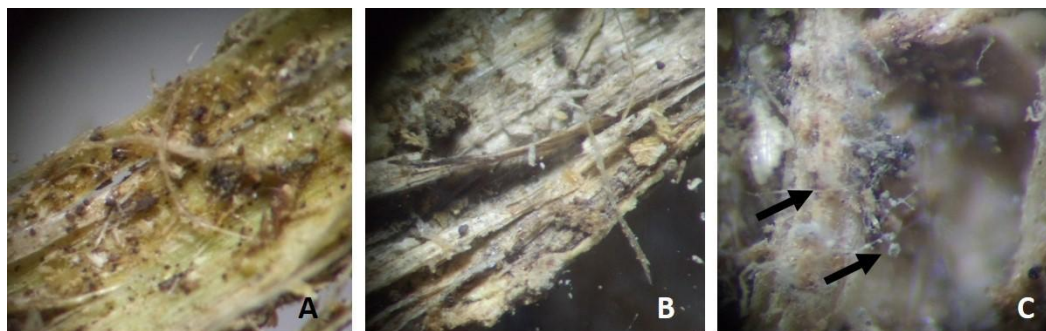


Figura 3. Temperatura promedio de cada cara vs tiempo

En cuanto a la composición microbiana, en la observación directa de las muestras al microscopio estereoscópico se constató la presencia de micelio abundante sobre la biomasa en la muestra de 10 días de cortada (Figura 4), en el resto de las muestras con el aumento utilizado no se observó.

Al microscopio óptico se detectó la presencia de bacterias, levaduras, hifas y estructuras de reproducción de hongos filamentosos. Entre estos últimos se observaron conidióforos de *Penicillium sp.* y *Aspergillus sp.* en la muestra de 10 días de cortada. Las levaduras y bacterias predominaron en la biomasa recién cortada. Posteriormente, con el crecimiento microbiano en las placas de Petri con medios de cultivo AGS y AN se confirmó la presencia de los tres grupos microbianos, con predominio de bacterias y levaduras en las muestras recién cortadas, hongos, levaduras y bacterias en la de 5 días de cortada y hongos filamentosos en la de 10 días de cortada. Especialmente en la muestra de cinco días de cortada se identificaron los hongos filamentosos *Rhizopus sp.* y *Penicillium sp.* y en la de 10 días *Aspergillus sp.*





**Figura 4.** Biomasa de marabú, observación directa al microscopio estereoscópico (100 x). A) Recién cortada. B) 5 días de cortada. C) 10 días de cortada. Las flechas indican la presencia de micelio y estructuras de reproducción de hongos filamentosos

En un resumen cronológico se observa: en el marabú recién cortado predominan bacterias y levaduras, después (5 días) surgen hongos filamentosos *Rhizopus sp.* y *Penicillium sp.* y por último (10 días) aparecen hongos filamentosos *Aspergillus sp.* Esto denota un incremento, en el tiempo, de la composición microbiana que acelera el proceso de descomposición y pérdida de biomasa. Lo descrito es un proceso típico de incremento de la flora microbiana en procesos de descomposición. Los microorganismos están presentes en la planta viva y en el ambiente y se multiplican aceleradamente en las nuevas condiciones (pila y cese del flujo de alimentos a la planta). Todos estos fenómenos biológicos tienen un impacto directo en el comportamiento de la temperatura de la pila de marabú y en la pérdida de biomasa en el tiempo. Este último fenómeno quedó para investigaciones futuras.

En la Tabla 4 se muestra la evaluación granulométrica del marabú cosechado. De aquí resulta que la fracción de 21–80 mm aparece en mayor proporción, seguida de la fracción con longitudes entre 81–250 mm. Aproximadamente el 85 % de la biomasa presenta una longitud entre 21 y 250 mm. El 13 % de la biomasa tiene dimensiones de 1 a 20 mm y el 2 % es inferior a 1 mm. No se observaron fracciones con longitud por encima de los 250 mm. En las tres muestras evaluadas los datos obtenidos presentaron poca variación. Observaciones personales del autor principal, durante algunas sesiones de cosecha, permitieron comprobar que, en ocasiones, sobre la cama de la máquina donde se acumulaba la biomasa cosechada, caían ramas no procesadas por la máquina de dimensiones grandes. Esto puede resultar peligroso.

**Tabla 4.** Análisis granulométrico

<b>Rango de medida</b>	<b>Muestra I</b>		<b>Muestra II</b>		<b>Muestra III</b>		<b>Promedio</b>
	<b>Peso (g)</b>	<b>(%)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>(%)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>(%)</b>	
Biomasa total	1770	100	1540	100	1930	100	-
< 1 mm	35	2.01	31	2.01	38	1.97	1,98
1–20 mm	240	13.56	185	12.01	270	13.99	13,26
21–80 mm	920	51.98	770	50.00	1004	52.02	51,41
81–250 mm	575	32.48	554	35.98	618	32.02	33,35

Dada las diferencias numéricas en los tamices utilizados en esta prueba y los empleados en (ECIAZ, 2018) resultó imposible una adecuada comparación, no obstante se puede valorar que en este estudio se encontró que el 66,65 % son partículas menores de 80 mm, mientras que (ECIAZ, 2018) reporta 70,17 % con menos de 100 mm, lo que se considera concordante.

El ángulo de reposo del primer día resultó 38° y el del día 22 de 29°. La disminución del ángulo de reposo se atribuye al efecto del propio peso de la pila y a la lluvia, factores que redujeron la altura de la pila con el tiempo.

Teniendo en cuenta el hecho de que el marabú será empleado principalmente en calderas de vapor diseñadas para quemar bagazo de caña de azúcar, resulta interesante una comparación de sus principales propiedades. Esta comparación se muestra en la Tabla 5, de la que se pueden obtener algunas valoraciones.

**Tabla 5.** Comparación de propiedades del marabú y el bagazo

<i>Propiedad</i>	<i>Unidades</i>	<i>Marabú</i>	<i>Bagazo</i>
Análisis elemental. Masa orgánica seca (1)			
H	%	5,75	6,12
C	%	44,43	44,95
O	%	48,47	48,73
N	%	1,35	0,20
Análisis inmediato. Masa seca (2)			
Volátiles	%	72,28	85,61
Carbono fijo	%	23,65	11,95
Contenido de ceniza	%	4,26	2,44
Álcalis en la ceniza (K <sub>2</sub> O y Na <sub>2</sub> O) (3)	%	4,44 – 8,05	3,40 – 4,60
Calor específico de combustión inferior de la masa seca (3)	MJ/kg	17,85	17,63
Índice de álcalis (Calculado)	Kgálcalis/GJ	0,11 – 0,19	0,05 – 0,06
Humedad de trabajo (3)	%	20	50
Calor específico de combustión inferior de la masa de trabajo (3)	MJ/kg	14,28	7,96
Granulometría (3)	% con <80 mm	66,65	≈100
Ángulo de reposo. Primer día	Grados	38	45
Fuentes para el bagazo: (1) (Rodríguez-Machín et al., 2019) (2) (Travieso y Kaltschmitt, 2012) y (3) (Rubio-González, 2015).			

La composición elemental de ambas biomásas es muy parecida, resultando ambas abundantes en oxígeno dada su condición de combustibles jóvenes. El análisis inmediato pone de manifiesto una menor presencia de volátiles y mayor de carbono fijo

en el marabú. El contenido de ceniza del marabú es superior. El marabú presenta un mayor contenido de álcalis, no obstante su índice de álcalis puede considerarse aceptable al estar, como promedio, por debajo de 0,17 kg<sub>álcalis</sub>/GJ que se considera el valor límite aceptable (Travieso y Kaltschmitt, 2012). 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.

El calor de combustión de la masa seca, de ambas biomásas, es similar, aunque ligeramente superior el del marabú. La humedad de trabajo sí presenta una diferencia significativa lo que lleva a que el calor específico de combustión inferior de la masa de trabajo del marabú sea muy superior al del bagazo.

En cuanto a la granulometría, el marabú cosechado con la máquina evaluada presenta un mayor porcentaje de partículas superiores a los 80 mm (33,35 %) que el bagazo ( $\approx 0$  %), y de hecho presenta algunas partículas superiores a los 200 mm dimensiones que nunca alcanza el bagazo.

#### 4. CONCLUSIONES

- 1- La humedad del marabú apilado a la intemperie disminuye constantemente con el tiempo y las lluvias ligeras no la afectan significativamente; las lluvias fuertes sí la afectan y pueden llegar a revertir su tendencia a disminuir provocando incrementos. La humedad inicial resulta alta, pudiendo llegar al 40 %, y puede disminuir a valores del 20 % en períodos de secado de unos 12 días (sin lluvias).
- 2- La temperatura interior de la pila es superior en la cara Sur que en la Norte, en ambas caras en los primeros días hay un incremento, después una estabilización con tendencia a la disminución. La lluvia tiende a incrementar la temperatura por la aceleración de la descomposición de la biomasa. El valor máximo alcanzado fue de 62 °C el día 6 del experimento, en la cara Sur.
- 3- En el marabú recién cortado predominan bacterias y levaduras, a los 5 días existen bacterias, levaduras y hongos filamentosos *Rhizopus sp.* y *Penicillium sp.* y a los 10 aparecen además hongos filamentosos *Aspergillus sp.* Esto denota un incremento, en el tiempo, de la composición microbiana que acelera el proceso de descomposición y pérdida de biomasa.
- 4- En el estudio granulométrico se observó que la fracción de 21–80 mm aparece en mayor proporción, seguida de la fracción con longitudes entre 81–250 mm. El 33,35 % de las partículas tienen más de 80 mm.
- 5- El ángulo de reposo de la pila de marabú cosechado varió desde 38°, el primer día, hasta 29° el último día de evaluación.
- 6- El marabú, en comparación con el bagazo, presenta muy buenas propiedades como combustible para la generación de electricidad, excepto en cuanto al contenido de ceniza y presencia de álcalis en la misma (son más altos), y a su granulometría.

#### REFERENCIAS

Choque, D., Descomposición de la biomasa de residuos orgánicos bajo un sistema de

- compostaje abierto y cerrado., Bio/Sc. Vol. 2, No. 1, 2015, pp. 21-30.
- ECIAZ., 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, 2018, pp. 1-2.
- Grimolizzi, G., Manejo de materiales a granel., 2020, pp. 1-99. <http://www.fernandezantonio.com.ar/Documentos/G-U05-01%20Materiales%20a%20Granel.pdf> (accedido el 23 de septiembre de 2020).
- Montenegro, L., Determinación del riesgo de auto-combustión en almacenamiento de biomásas para la producción de gas mediante gasificación., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor, Universidad Politécnica de Madrid, España, 2014. [http://oa.upm.es/33430/7/LUCIA\\_MONTENEGRO\\_MATEOS.pdf](http://oa.upm.es/33430/7/LUCIA_MONTENEGRO_MATEOS.pdf) (accedido el 23 de septiembre de 2020).
- E871 – 82 (Revisión 2013)., Standard method for moisture analysis of particulate wood fuels. [https://www.google.com/search?source=univ&tbm=isch&q=E871+%E2%88%92+82+\(Revisi%C3%B3n+2013\).&client=firefox-b-ad&sa=X&ved=2ahUKEwiztoSRprDtAhVFp1kKHeafAScQjKegQIBRAB&biw=1600&bih=786](https://www.google.com/search?source=univ&tbm=isch&q=E871+%E2%88%92+82+(Revisi%C3%B3n+2013).&client=firefox-b-ad&sa=X&ved=2ahUKEwiztoSRprDtAhVFp1kKHeafAScQjKegQIBRAB&biw=1600&bih=786)
- Rodríguez-Machín, L., Arteaga-Pérez, L.E., Pala, M., Herregods-Van De Pontseele, K., Pérez-Bermudez, R.A., Feys, J., Prins, W. & Ronsse, F., 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, 2019, pp. 43-53.
- Rubio-González, A., Generadores de vapor. Funcionamiento y explotación., Editorial Feijóo. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2015, Libro digital, pp. 75-103.
- Rubio-González, A., Iturria Quintero, P.J., Rodríguez-Machín, L., & Palmero Marín, D., Propiedades del Marabú (*Dichrostachys cinerea* L.) como combustible, cosechado con máquinas para la generación de electricidad (Primera Parte)., Centro Azúcar, Vol. 48, No. 1, 2021, pp. 93-104.
- Travieso, D., & Kaltschmitt, M., *Dichrostachys cinerea* as a possible energy crop-facts and figures. Biomass Conv. Bioref. , Vol. 2, 2012, pp. 41–51.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran la no existencia de conflictos de intereses.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Dr.C. Angel Rubio-González. Realizó la dirección científica del trabajo, las coordinaciones para obtención de muestras y análisis, y escribió el artículo.
- M.Sc. Pedro Jesús Iturria Quintero. Realizó el procesamiento de parte de las muestras y colaboró en la escritura del artículo.
- Dra.C. Marisol Freire Seijo. Coordinó la toma de algunas muestras, la realización de pruebas de laboratorio y colaboró en la escritura del artículo.
- Ing. Delvis Palmero Marín. Realizó la recolección de varias de las muestras, procesó parte de ellas y colaboró en la escritura del artículo.