



Aprovechamiento de cáscara de piñón (*Jatropha curcas* L.) y paja de arroz (*Oriza sativa* L.) para la elaboración de pellets como biocombustible

Use of pine nut husk (*Jatropha curcas* L.) and rice straw (*Oriza sativa* L.) for the production of pellets as biofuel

Autores: Wilmer Ponce¹
Ernesto Rosero²
Gisella Latorre²
Irvin Zambrano³
Carolina Zambrano³
Andrés Viteri⁴

Dirección para correspondencia: wilmerhps@hotmail.com

Recibido: 2020-07-20

Aceptado: 2020-09-27

Resumen

El uso de los biocombustibles sólidos es una de las alternativas para reemplazar a los combustibles convencionales en la producción de energía eléctrica y calorífica. Este trabajo tiene como objeto el aprovechamiento biomásico residual de la cáscara de piñón (*Jatropha curcas* L.) y paja de arroz (*Oriza sativa* L.) para la producción de pellets como biocombustible sólido. Se aplicó mediante un diseño experimental (Simplex-lattice) la mezcla en proporciones de 100%-0%, 75%-25%, 50%-50%, 25%-75%, 0%-100% respectivamente. Se efectuaron análisis a la materia prima y producto terminado en porcentaje del contenido de humedad, cenizas, volátil, carbono fijo, adicionalmente el contenido de celulosa y lignina a las materias primas. Para la obtención de pellets, se empleó un equipo de pelletizado marca KL 1500, los pellets se elaboraron con recirculación para eliminar el exceso de humedad para el mejoramiento de textura y dureza. Las mezclas de las biomásas lignocelulósicas, que presentaron un mayor contenido

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Portoviejo, Portoviejo, Ecuador.

² Universidad Técnica de Manabí, Departamento de Procesos Químicos, Portoviejo, Ecuador.

³ Universidad Técnica de Manabí, Escuela de Ingeniería Química, Portoviejo, Ecuador.

⁴ Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Portoviejo, Ecuador.

de carbono fijo fueron la M2 (75%-25%) = 16,53 ± 3,2 % y M5 (0%-100%) = 23,51 ± 0,72%, en lo referente a material volátil fueron la M1 (100%-0%) = 82,37 ± 2,0% y M2 (75%-25%) = 81,57 ± 3,47%. El poder calorífico calculado reveló que con una mezcla del 75% de paja de arroz con un 25% de cáscara de piñón se obtiene un poder calorífico de 29,21 ± 0,1 Mj/Kg y la mezcla de 50% de paja de arroz y 50% de cáscara de piñón, genera un valor de 29,01 ± 0,01 Mj/Kg. Concluyendo que las mezclas mencionada puede ser aprovechada para la generación de calor.

Palabras clave: Biocombustible sólido; biomasa; pellets; arroz; piñón.

Abstract

The use of solid biofuels is one of the alternatives to replace conventional fuels in the production of electrical and heat energy. The objective of this work is the residual biomass utilization of the pine nut husk (*Jatropha curcas* L.) and rice straw (*Oriza sativa* L) for the production of pellets as solid biofuels. The mixture was applied using an experimental design (Simplex-lattice) in proportions of 100% -0%, 75% -25%, 50% -50%, 25% - 75%, 0% -100% respectively. Analysis of the raw material and finished product were carried out as a percentage of the moisture, ash, volatile, and fixed carbon content, in addition to the cellulose and lignin content of the raw materials. To obtain pellets, a KL 1500 brand pelletizing equipment was used, the pellets were recirculated to remove excess moisture to improve texture and hardness. The mixtures of lignocellulosic biomasses, which had a higher fixed carbon content were M2 (75% -25%) = 16.53 ± 3.2% and M5 (0% -100%) = 23.51 ± 0, 72%, regarding volatile material, were M1 (100% -0%) = 82.37 ± 2.0% and M2 (75% -25%) = 81.57 ± 3.47%. The calculated calorific value revealed that with a mixture of 75% of rice straw with 25% of pinion husk, a calorific value of 29.21 ± 0.1 Mj / Kg is obtained and the mixture of 50% of rice straw and 50% of pinion shell, generates a value of 29.01 ± 0.01 Mj / Kg. Concluding that the mentioned mixtures can be used for heat generation.

Keywords: Solid biofuel; biomass; pellets; rice; pinion.

Introducción

La mayor parte de los países en este planeta dependen de los combustibles de origen fósil los cuales suministran el 66% de la energía eléctrica a nivel global, y éste a su vez responde al 95% de la demanda energética del mundo, que incluye; la generación de calor, transporte y otros usos (Badii *et al.*, 2016). Sin embargo, este tipo de energía no renovable es finita y su extracción implica un alto impacto ambiental (Oviedo-Salazar *et al.*, 2015; Cortés y Londoño, 2017). Se han buscado alternativas, que suplan la necesidad de combustibles, una de ellas es la obtención de biocombustibles a partir de biomasa lignocelulósica (Quintero J. y Quintero L., 2015).

Los Biocombustibles de segunda generación, se pueden clasificar en: sólidos (Pellets y Briquetas), líquidos (bioetanol, bioaceite o biodiesel) y gaseosos (Biogás) (Kheang, 2017). Respecto a los pellets, son frecuentemente usados por la

facilidad de transporte y almacenamiento, ya que se opta por tener una forma cilíndrica, cuyo diámetro es inferior a 10 mm y la longitud no mayor a 30 mm (Forero-Núñez, 2012).

En virtud de obtener resultados viables y aprovechar los residuos que existen en el medio, se utilizaron la paja de arroz (*Oriza sativa* L.) y la cáscara de piñón (*Jatropha curcas* L.); cultivos que generan 700 ton/año (Serrano et al. 2017) y 50 ton/año de residuos lignocelulósicos respectivamente.

Metodología

Obtención de pellets

La materia empleada (biomasa) dentro de este estudio, fueron la paja de arroz (*Oryza sativa* L.) proveniente del sitio Charapotó-Sucre-Manabí-Ecuador, y las cáscaras de piñón (*Jatropha curcas* L.), pertenecientes a la Estación Experimental Portoviejo (INIAP). Los residuos fueron sometidos a reducción del tamaño con un Molino Eléctrico de Cuchillas marca FLAM-MC001, hasta un diámetro promedio de 2mm. Diferentes proporciones de cada residuo fueron sometidos a un mezclado basados en un diseño experimental (Simplex-Lattice) del cual se obtuvieron 5 diferentes mezclas siendo estas: M1 (100% de Paja de Arroz); M2 (75% paja de arroz, 25% cáscara de piñón); M3 (50% paja de arroz, 50% cáscara de piñón); M4 (25% paja de arroz, 75% cáscara de piñón) y M5 (100% de cáscara de piñón).

La elaboración de los pellets se llevó a cabo en un equipo peletizador KL 1500, a una presión de 20 MPa y una Temperatura de 110-130 °C. Para la elaboración se agregó 20% de agua a cada mezcla con la finalidad de obtener una mejor compactación de estos.

Balance de masa en la obtención de pellets

Se realizó el balance de masas en la obtención de pellets, mediante el diagrama descrito en el gráfico 1, y en el cual originó la ecuación 1 para el balance de materiales.

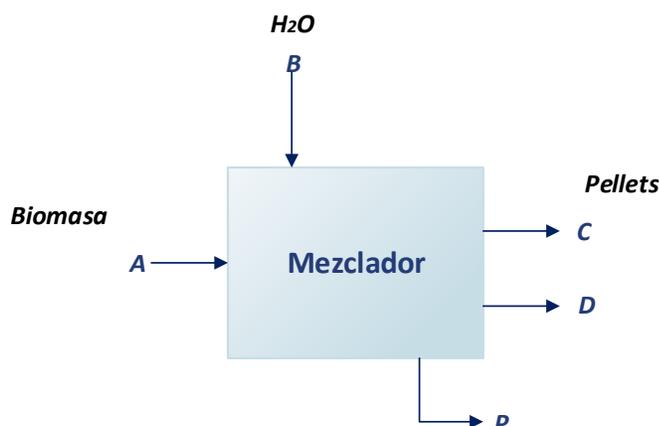


Gráfico 1. Diagrama del Balance de materiales.

$$\mathbf{A+B=C+D+P} \quad (1)$$

Donde:

A= Entrada de Biomasa

B= Entrada de H₂O

C= Pellets

D= Partículas finas

P= Pérdida de Masa

Caracterización de materia prima

Análisis proximal

Inicialmente se efectuó el análisis proximal de biomasa a las materias primas empleadas para conocer las características que poseen: humedad (%H), cenizas (%C), materia volátil (%MV), carbono fijo (%CF), los métodos empleados están basados por lo informado por Adegoke *et al.* (2014) y la Norma ASTM E870 – 82.

El contenido de humedad (%H) se la realizó a temperaturas de (105+/-2)°C durante 1 hora como lo expresa la norma BS EN 14774-3 (2009) en una estufa marca PRECISION, empleando la ecuación 2.

$$\%H = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_3} * 100 \quad (2)$$

Donde:

M1: Masa del recipiente vacío (g)

M2: Masa Inicial antes del secado (g)

M3: Masa final después del secado (g)

Las cenizas (%C) se ejecuta durante 3 horas a 575°C en mufla (Sluiter *et al.*, 2008) el equipo utilizado fue una mufla Termolyne marca THERMO SCIENTIFIC y se expresa mediante la ecuación 3:

$$\%C = \frac{(\text{Peso de la muestra incinerada+crisol}) - \text{Peso del crisol}}{\text{Peso de la Muestra}} * 100 \quad (3)$$

La materia volátil (%MV) se realizó a 950°C durante 7 minutos como lo manifiesta la ASTM D1762 – 84, expresado mediante la ecuación 4:

$$\%MV = \frac{A-B}{A} * 100 \quad (4)$$

Donde:

A: Peso inicial (g)

B: Peso Final (g)

El carbono fijo (%CF), según la norma ASTM E870 – 82 (2006), es la fracción de carbono residual que permanece luego de retirar de la muestra la humedad, las cenizas y el material volátil, su fórmula es:

$$\%CF = 100 - \%H - \%C - \%MV \quad (5)$$

Determinación porcentual de celulosa y lignina

Para determinar el Porcentaje de Lignina (%L) y Celulosa (%CE) se utilizó la metodología de Domínguez-Domínguez et al. (2012).

Caracterización del pellets

Para la caracterización de pellets, se determinó por medio del análisis proximal de biomasa, descrito en la caracterización de la materia prima.

Determinación de densidad y diámetros del pellet:

Para los diámetros (longitud y diámetro) de los pellets se efectuó a través de un nonio y la densidad mediante el cálculo de la masa sobre el volumen, la masa se calcula mediante el peso de la balanza analítica con precisión 0.0001 g y el volumen mediante una probeta.

El análisis

Poder calorífico:

Se calculó mediante la metodología de Adegoke *et al.* (2014), el cual emplea los porcentajes de carbono fijo y material volátil eliminando el porcentaje de humedad existente en el material volátil; expresado mediante la ecuación 6.

$$PC = 2,326[147,6\%C + 144(\%MV - \%H)] \quad (Mj/Kg) \quad (6)$$

Análisis de datos

El análisis de datos a las biomásas lignocelulósicas PA y CP de los resultados de %H, %C, %MV, %CF, %CE y %L se realizaron mediante estadística descriptiva y superficie de respuesta a optimización con la ayuda del programa estadístico Statgraphics Centurion XV.

Resultados

Balances de masas en la obtención de pellets

Durante el proceso de obtención de pellets, el mayor valor generado de pellets corresponde al CP con 752.4 g, mientras que la mezcla de PA 500 g – CP 500 g es la que menos generó con 638.7 g de pellets (Tabla 1).

Tabla 1. Balance de materiales de PA, CP y mezclas correspondientes.

ENTRADAS		SALIDAS		
A	B	C	D	P
PA: 1000 g	200 g	746,6 g	89,9 g	363,5 g
PA: 750 g CP: 250 g	200 g	740,7 g	132,5 g	326,8 g
PA: 500 g CP: 500 g	200 g	638,7 g	177,0 g	384,3 g
PA: 250 g CP: 750 g	200 g	742,4 g	129,3 g	328,3 g
CP:1000 g	200 g	752,4 g	167,0 g	280,6 g

PA: Paja de arroz

CP: Cáscara de piñón.

Caracterización de la materia prima

El análisis proximal, %CE y %L a las biomásas lignocelulósicas (tabla 2), representa un mayor contenido en PA a excepción del %CF, que éste refleja un mayor resultado en CP.

Tabla 2. Análisis proximal, Lignina y Celulosa de la biomasa residual de PA y CP.

B.R.	%H	D.E.	%C	D.E.	%MV	D.E.	%L	D.E.	%CE	D.E.	%CF	D.E.
		±		±		±		±		±		±
PA	11,7	0.3	13,7	1.05	88.04	1.3	71,7	1.5	61.29	2.1	9,89	1.3
		±				±		±		±		±
CP	10,5	0.1	13.03	± 0.2	77.07	4.4	58,2	6.7	52,5	1.4	20,4	4.5

B.R.: Biomasa Residual.

Caracterización de pellets

En la figura 2-A se observa que los pellets elaborados con M2 y M5 alcanzaron un mayor contenido de humedad que es más del 10%, por el contrario, la mezcla que menor contenido de humedad presentó fue M1 con un 7,4 % de humedad. Estos valores muestran que los pellets elaborados con M2 y M5 deberían someterse a un proceso de secado para incrementar su PC y para una mejor conservación. En la misma figura, en el contenido de cenizas que se obtuvieron donde el M4 sobresalió con más del 16%, a diferencia del M2 que bordea el 12%, éste último, es más atractivo para un proceso de combustión. En el proceso de los datos de material volátil, resaltó el M1, M2 y M3, que tiene más del 75%; el carbono fijo resaltó el M4 que representa más del 20%.

El poder calorífico de los pellets, con un rango de 28.14 MJ/Kg a 29.21 MJ/Kg, en el cual resaltó el M2.

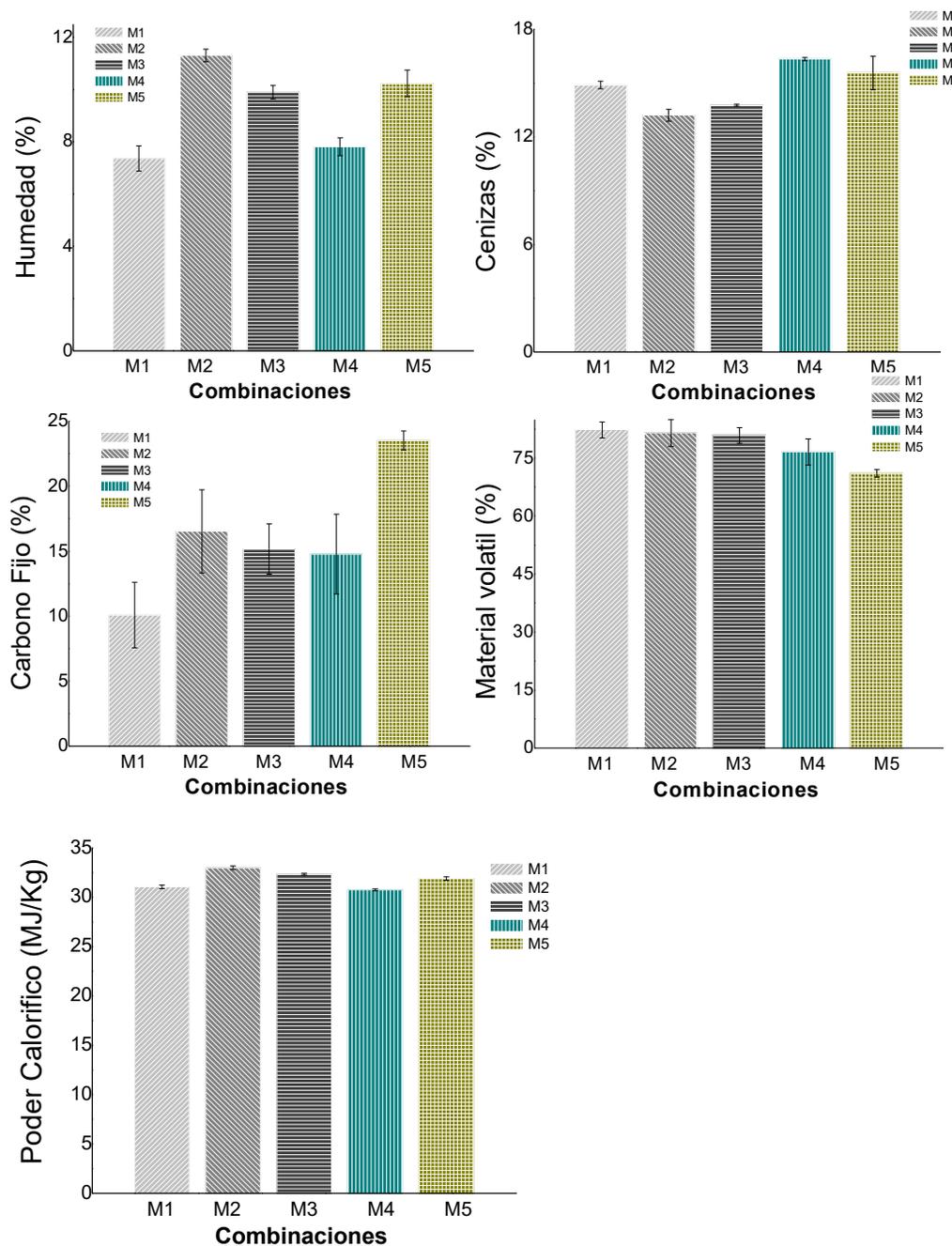


Figura 2A. Análisis proximal y poder calorífico de combinaciones de PA y CP.

En la optimización de la mezcla, mientras mayor tenga el contenido de PA, excepto en Humedad, aumenta el PC, según se indica la Tabla 3, para ello, a través de las gráficas de superficie (Figura 2B), se generaron las ecuaciones de optimización que se presentan en la Tabla 4 para mejorar la eficiencia de mezcla.

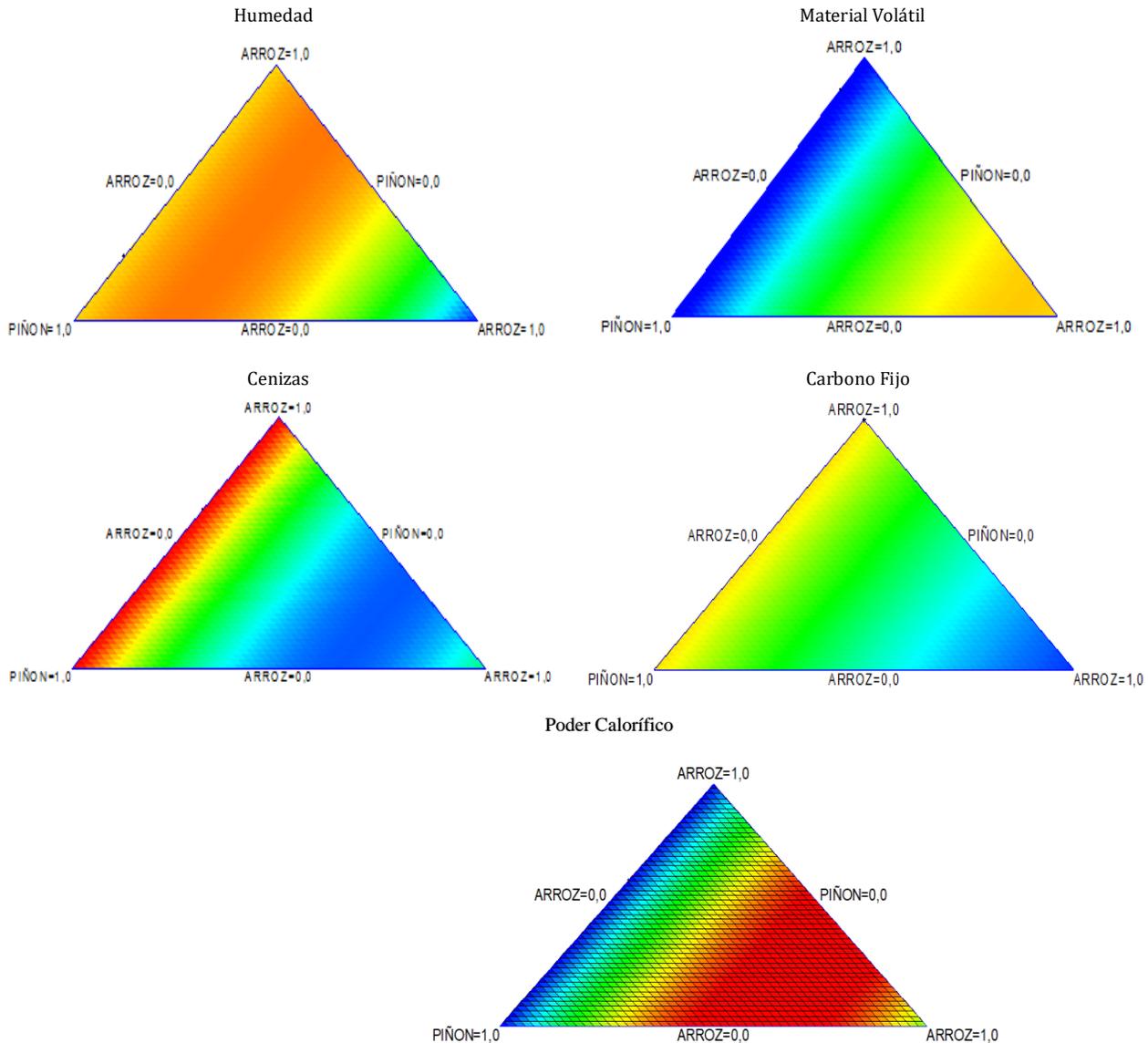


Figura 2B. Gráficas de superficie del proceso de mezcla de la biomasa residual de PA y CP del análisis proximal de biomasa y poder calorífico.

Tabla 3. Optimización de mezcla de la biomasa residual de PA y CP para los análisis proximales y poder calorífico.

Factor	Bajo	Alto	%H	%C	%MV	%CF	PC
PA	0,0	100	25,1	63,3	87,7	100	60,2
CP	0,0	100	74,9	36,7	12,3	0,0	39,8

Tabla 4. Ecuaciones de optimización de mezcla de la biomasa residual de PA y CP para el análisis proximal de biomasa y poder calorífico.

$$\begin{aligned}
 \%H &= 7,73406 * X_{PA} + 9,85099 * Y_{CP} + 4,25165 * X_{PA} * Y_{CP} \\
 \%C &= 14,7003 * X_{PA} + 15,8101 * Y_{CP} - 4,1657 * X_{PA} * Y_{CP} \\
 \%MV &= 82,2863 * X_{PA} + 71,176 * Y_{CP} + 14,757 * X_{PA} * Y_{CP} \\
 \%CF &= 10,7475 * X_{PA} + 22,8649 * Y_{CP} - 6,33968 * X_{PA} * Y_{CP} \\
 PC \text{ (Mj/Kg)} &= 28,6622 * X_{PA} + 28,391 * Y_{CP} + 1,32893 * X_{PA} * Y_{CP}
 \end{aligned}$$

1.1. Determinación de densidad y diámetros

En la tabla 5, la densidad y diámetro de los pellets, el M5, proporcionó mayor densidad (1001,64 Kg/m³), mientras el M2 presentó mayor longitud en los productos generados después del proceso de peletizado.

Tabla 5. Densidad y diámetro en las mezclas de biomasa en los pellets.

Mezclas	Proporciones (PA-CP)	Densidad	D.E.	Longitud (cm)	Díámetro
		(PA-(Kg/m ³))			D.E. (mm)
M1	100%-0%	970,26	±19,45	2,33	±0,23 10
M2	75%-25%	893	±18,16	2,43	±0,17 10
M3	50%-50%	937,93	±14,18	2,40	±0,24 10
M4	25%-75%	954,47	±40,42	2,22	±0,11 10
M5	0%-100%	1001,64	±30,7	2.24	±0,23 10

Discusión

Los resultados obtenidos de los análisis realizados a la materia prima mostraron que tanto para la paja de arroz (PA) como para la cáscara de piñón (CP), presentaban similar contenido de humedad (PA=11.65% y CP=10.48%) así como el de cenizas (PA=13.72% y CP=13.03%), en cuanto al material volátil, contenido de celulosa y lignina; la paja de arroz presentó los mayores valores, al contrario el contenido de carbono fijo que fué mayor en la cáscara de piñón, estos valores son similares a informados por Abril et al. (2009) para este tipo de residuos. Los diferentes niveles en el contenido de carbono fijo, material volátil así como el de cenizas, son parámetros que afectan directamente al poder calorífico de los pellets, sobre esto Boumanchar et al. (2017) mencionan que es posible incrementar el poder calorífico incrementa el contenidos de material volátil y carbono fijo.

Poder calorífico de los pellets

En la Figura 2A, se observan los resultados obtenidos del cálculo de poder calorífico de los cuales, los pellets elaborados únicamente con un solo tipo de biomasa lignocelulósica se obtuvieron valores de 28,59Mj/Kg y 28,48 Mj/Kg para el 100% de paja de arroz y cáscara de piñón respectivamente, referente a las mezclas el mayor poder calorífico se obtiene en una mezcla de 75% de paja de arroz con 25% de cáscara de piñón.

En la tabla 4 se observa las ecuaciones de optimización realizada para maximizar un análisis proximal ideal, en el cual, parámetro de interés como el poder calorífico obtuvieron como resultado que con una mezcla del 60,31% de paja de arroz y 39,81% de cáscara de piñón se obtiene un poder calorífico de 28,87 Mj/Kg, valor que se lo obtiene a partir del grafico de superficie de respuesta (Figura 2B), y reemplazando las fracciones de la mezcla en la ecuación de optimización (Tabla 4). Casanova, Solís, y Carrillo (2017) informan un poder

calorífico de $18,90 \pm 13$ Mj/Kg para pellets elaborados a partir de residuos de aserradero; Lee et al. (2015) indican un poder calorífico de 18.2 ± 0.1 Mj/Kg para pellets elaborados a partir de desechos de pino, Abril, D., Navarro, E. y Abril, A. (2009) lograron alcanzar un poder calorífico de 24,2 Mj/Kg con una mezcla 50/50 de carbón bituminoso y madera residual, por su parte Seijas et al. (2014) informan valores de 16,55 Mj/Kg con aserrín de madera, En la presente investigación únicamente se llegó al cálculo teórico de los niveles de las variables independientes para alcanzar el máximo valor (óptimo) del poder calorífico, quedando pendiente la validación de estos niveles mediante métodos de combustión.

Conclusiones

La paja de arroz (*Oriza sativa* L.) y la cáscara de piñón (*Jatropha curcas* L.) muestran una composición química (cenizas, material volátil y carbono fijo) adecuada para ser utilizados como materia prima en la elaboración de pellets con fines energéticos. Las mezclas de biomásas lignocelulósicas evaluadas, presentaron un poder calorífico comparable con algunos informes de otras investigaciones, siendo para la presente investigación la mezcla del 60,19% PA y 39,81% CP la óptima para obtener el máximo poder calorífico con estos dos tipos de biomásas lignocelulósicas. El poder calorífico calculado para M2 fue de $29,21 \pm 0.10$ Mj/Kg y M3 fue de $29,01 \pm 0.01$ Mj/Kg siendo estos los dos valores más relevantes dentro de las mezclas evaluadas, demostrando la buena capacidad calorífica que puede ser aprovechada para la generación de calor en equipos como calderas.

Referencias bibliográficas

- Abril, D., Navarro, E., & Abril, A. (2009). LA PAJA DE ARROZ. CONSECUENCIAS DE SU MANEJO Y ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO. Revista Agron, pp. 69-79.
- Adegoke, O.A., Fuwape, J.A., y Fabiyi, J.S. (2014). Combustion properties of some tropical Wood species and their pyrolytic products characterization. Energy and Power, 4(3), 54-57.
- Badii, M. H., Guillen, A. & Abreu, J. L. (2016). Energías Renovables y Conservación de Energía (Renewable Energies and Energy Conservation). Daena: International Journal of Good Conscience, 11(1), 141-155.
- Boumanchar, I., Chhiti, Y., Alaoui, F. E. M. H., El Ouinani, A., Sahibed-Dine, A., Bentiss, F., Jama Ch. & Bensitel, M. (2017). Effect of materials mixture on the higher heating value: Case of biomass, biochar and municipal solid waste. Waste management, 61, 78-86
- Casanova Treto, P., Solís, K., & Carrillo, T. (2017). Propiedades térmicas y fisicoquímicas de pellets con fines energéticos elaborados a partir de residuos de aserradero. Ingeniería, 27(1), pp.54-67.

- Cortés, S., & Londoño, A. A. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25(38), 375-390.
- Forero-Nuñez, C.A., Guerrero-Fajardo, C.A. y Sierra-Vargas, F.E. (2012). Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos del proceso de gasificación. *Iteckne*, 9 (1),21-30.
- Kheang,L.(2017).Biocombustibles de segunda generación de la biomasa de palma de aceite. *Revista Palmas*, 37,137-148. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11929>
- Lee, J. S., Sokhansanj, S., Lau, A. K., Lim, C. J., Bi, X. T., Basset, V., Yazdanpanah, F. & Melin, S. (2015). The effects of storage on the net calorific value of wood pellets. *Canadian Biosystems Engineering*, 57(1).
- Oviedo-Salazar, J. L., Badii, M. H., Guillen, A., & Serrato, O. L. (2015). Historia y Uso de Energías Renovables History and Use of Renewable Energies. *Daena Int. J. Good Conscience*, 10(1), 1-18.
- Quintero, J. & Quintero, L. (2015). Biomasa: Métodos de producción, potencial energético y medio ambiente. *Revista I3+*, 2(2), 28 – 44 p.
- Seijas Velásquez, S., Seijas Bernabé, P., Seijas Bernabé, N., Chávez Sánchez, A., Salgado Rodríguez, L., & Alva Castañed, M. (2014). Optimization of densification process of lignocelulosic wastes for energetic pellets manufactured. *SCIENDO*, 17(1), pp. 74-81.
- Serrano, J., Mejía, W., Ortiz, J., Sánchez, A., & Zalamea, S. (2017). Determinación del potencial de generación eléctrica a partir de biomasa en el Ecuador.
- Sluiter, A.; Hames, B.; Ruiz, R.; Scarlata, C.; Sluiter, J.; Templeton, D. Determination of Ash in Biomass: Laboratory Analytical Procedure (LAP).8 pp.; NREL/TP-510-42622. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2008. <http://www.nrel.gov/docs/gen/fy08/42622.pdf>.

