

Biocombustible Sólido A Partir De Residuos Que Generan Los Procesos Agroindustriales Del Sector El Empalme

SOLID BIOFUEL FROM WASTE GENERATED BY AGROINDUSTRIAL PROCESSES IN THE EL EMPALME SECTOR

José Villarroel Bastidas^{1*} 
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

*Josselin Macías Vera*²
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Bryan Espinoza Oviedo^{3*}
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Fecha recepción: 15 de junio de 2020
Fecha aceptación: 16 de julio de 2020

© 2020 Universidad de Córdoba. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el autor original y la fuente se acreditan.

RESUMEN

El biocombustible sólido, se obtiene mediante la compactación o densificación de residuos, no contienen aglutinantes, aditivos ni otra sustancia que puedan deteriorar las calderas e instalaciones de calefacción, su contenido es 100% residuos de los procesos

ABSTRACT

Solid biofuel is obtained by compacting or densifying waste, it does not contain binders, additives or other substances that can deteriorate boilers and heating installations, its content is 100% waste from agro-industrial processes, lignin acts as a natural binder. The

¹ Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Quevedo, Ecuador jvillarroel@uteq.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-9013-37763>

² Ingeniera Agroindustrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Quevedo, Ecuador josselinmver.macias@uteq.edu.ec

³ Bryan Espinoza Oviedo, Ingeniero Agroindustrial, Unidad Educativa Alec Peterson, Milagro

agroindustriales, la lignina actúa como aglutinante natural. Como objetivo principal es la preparación y caracterización física y química de la briqueta para ser utilizadas como biocombustible sólido, a los residuos Agroindustriales como: cascarilla de arroz, polvillo, cuesco y aserrín. Con un diseño de bloques completamente al azar y un arreglo factorial ABC que constó de 12 tratamientos y 2 réplicas lo que corresponde a 24 tratamientos. Los factores de estudio: Factor A (tipo de mezcla), Factor B (forma de las briquetas) y Factor C (tamaño de las briquetas). Para el proceso de compactación se diseñó y fabricó moldes de formas cilíndricas y rectangulares de 10 y 15 cm de altura. Se determinó el mejor tratamiento mediante análisis físicos y químicos preparado con cáscara de arroz 4 %, polvillo 14 %, cuesco 10 %, Aserrín 12 %, de forma cuadrada con un tamaño de 10 cm, con las siguientes características: 4.35 % cenizas, 11 % de humedad, poder calorífico 5268.20 Kcal/ kg, densidad 1 g/cm³ y una fuerza de compactación de 6.51 PSI; al ser este el tratamiento sobresaliente con las características deseadas en una briqueta, se procedió a realizar pruebas de temperatura y tiempo de combustión, donde alcanzo un rango de (127- 240)^oC en un tiempo de 30 minutos para ser totalmente calcinada.

PALABRAS CLAVE: Poder calorífico, biomasa, Compactación, energía, combustión.

main objective is the preparation and physical and chemical characterization of the briquette to be used as a solid biofuel, to Agroindustrial residues such as: rice husk, dust, stone and sawdust. With a completely randomized block design and an ABC factorial arrangement that consisted of 12 treatments and 2 replicates, which corresponds to 24 treatments. The study factors: Factor A (type of mixture), Factor B (shape of the briquettes) and Factor C (size of the briquettes). For the compaction process, molds were designed and manufactured with cylindrical and rectangular shapes of 10 and 15 cm in height. The best treatment was determined by physical and chemical analysis prepared with 4% rice husk, 14% dust, 10% husk, 12% sawdust, square in shape with a size of 10 cm, with the following characteristics: 4.35% ash, 11% humidity, calorific value 5268.20 Kcal / kg, density 1 g / cm³ and a compaction force of 6.51 PSI; This being the outstanding treatment with the desired characteristics in a briquette, we proceeded to carry out temperature and combustion time tests, where it reached a range of (127-240) °C in a time of 30 minutes to be fully calcined.

KEYWORDS: Calorific power, biomass, Compaction, energy, combustion.

INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como fin aprovechar y dar un valor agregado a los residuos Agroindustriales que se generan en grandes cantidades en la zona del cantón El Empalme Provincia del Guayas por la actividad agrícola y forestal que no son aprovechadas o industrializadas debido a la falta de información de estos subproductos que tienen un gran potencial para ser reutilizados en la elaboración de briquetas.

En la actualidad la utilización de estos subproductos tienen un alto grado de desaprovechamiento, debido a que se almacenan en grandes espacios físicos o se queman en calderas, sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor; unas de las vías para utilizar los residuos es convirtiéndolos en biocombustibles sólidos densificados ya que al fabricar y comercializar este tipo de combustibles, se disminuye considerablemente la cantidad de residuos, se reduce el volumen transportado, así como también se logra una combustión más limpia y eficiente (Gallipoliti, V; Martina, P; Corace , J; Aeberhardt, R; Garcia, Sola, 2012).

Las briquetas son utilizadas para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas; es un producto 100% ecológico y renovable, catalogada como bio-energía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas: poder calorífico similar, fácil y rápido encendido, baja humedad, alta densidad, ocupa menos espacio, homogéneas, fácil manipulación, sin

olores, humos ni chispas y menor porcentajes de cenizas (Gallipoliti, V; Martina, P; Corace , J; Aeberhardt, R; Garcia, Sola, 2012).

El objetivo de esta investigación fue la preparación y caracterización física y química de las briquetas con el fin de establecer la combinación óptima entre cascarilla de arroz, polvillo, aserrín y cuesco de Palma Africana, utilizando diferentes mezclas como material aglomerante, donde se realizó estudios de eficiencia energética (poder calorífico), contenido de humedad, ceniza, densidad, tamaño (dimensiones) y su forma.

1. MARCO TEÓRICO O REFERENCIAL

1.1. Biocombustibles sólidos

Son biocombustibles sólidos aquellos productos derivados de la biomasa sólida, los más importantes son los del tipo primario, constituidos por materias lignocelulósicas procedentes del sector agrícola y forestal y de las industrias de transformación que producen residuos de dicha naturaleza; la paja y los restos de poda de vid, olivo y frutales, la leña, las cortezas y los restos de podas y aclareos de las masas forestales son materias típicas para la elaboración de biocombustibles sólidos de origen agrario o forestal (Mosquera & Merino, 2006).

1.2. Briquetas

Se obtienen mediante la compactación o densificación de residuos (de origen lignocelulósico u otros materiales) y se producen bajo la aplicación de grandes presiones y temperaturas elevadas que

provocan la autoaglomeración de sus partículas, o mediante bajas y medianas presiones con ayuda de una sustancia aglomerante para lograr su compactación (Da Silva, 2013)

1.3. Densidad de las briquetas

Los factores que influyen en la densidad son la materia prima empleada y la presión ejercida por la prensa, cuanto mayor sea la densidad de la materia prima mayor será la densidad del producto final donde la presión de compactación en el proceso de fabricación son variables, y depende únicamente de la maquinaria utilizada (Da Silva, 2013).

1.4. Humedad de las briquetas

Para obtener productos compactados de calidad es preciso que el contenido de humedad no supere valores del orden del 15% y que esté por encima de valores del 8%, puesto que por debajo de este nivel no se obtienen una adecuada aglomeración, ya que el agua en determinadas proporciones actúa como sustancia termoplástica favoreciendo la autoglomeración y, por tanto, si no alcanzan estos porcentajes mínimos la compactación es defectuosa (Ortiz, 2008).

1.5. Contenido de cenizas

Los valores típicos de las cenizas o residuos sólidos no quemados varían entre 2 y 5%, cuando es superior al 15% incide negativamente en el rendimiento energético debido a que no es posible el aprovechamiento de la energía útil y genera problemas de sinterización. [10] Los valores de la humedad libre superficial y la retenida en los poros de la biomasa, están alrededor del 8% al 50% y para la materia volátil, el valor es mayor al 65% (Muñoz Muñoz, Pantoja, Alvaro, Cuatin,

& F., 2014).

1.6. Poder Calorífico

Es la cantidad de calor liberado durante la combustión por unidad de masa, a presión constante y a 25°C, según el estado de los productos, el Poder Calorífico Superior (P.C.S.) incluye el calor latente, mientras el Poder Calorífico Inferior (P.C.I.), no lo considera, la biomasa tiene un poder calorífico 50% menor que el resto de los combustibles, excepto al carbón (Muñoz Muñoz, Pantoja, Alvaro, Cuatin, & F., 2014).

Una de las características principales en el biocombustible sólido es su poder calorífico ya que depende de la composición química del mismo, el cual se define como tal, altos poderes caloríficos indican buenos combustibles y bajos poderes caloríficos señalan malos combustibles [15]. Para el caso de las briquetas, el poder calorífico está en función del material del cual está compuesto, suponiendo que la briqueta está compuesta de madera sin aditivos, entonces su poder calorífico será igual al de la madera que la conforma, análisis realizados en las briquetas indican que el poder calorífico de las briquetas es mayor a 4300 kcal/kg (García, 2014).

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Los tratamientos se realizaron en el taller mecánico de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), situado en el km 7 de la Vía Quevedo – Santo Domingo, Cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos, entre las coordenadas geográficas 01° 06'

de latitud Sur y 79° 29' de longitud Oeste. A una altura de 73 msnm. Los diferentes residuos Agroindustriales como (cascarilla de arroz, cuesco, aserrín, y polvillo) para la elaboración de las briquetas, fueron recolectados en distintas empresas ubicadas en el sector “El Empalme” provincia del Guayas.

Los análisis de las briquetas fueron realizados en el laboratorio de bromatología del campus finca experimental La María de la UTEQ, localizado en el km 7 de la vía Quevedo - El Empalme, C. P. 73. Mocache, Los Ríos. Situada en las coordenadas geográficas 70°27'13" de latitud Sur y 01°06'02" de longitud Oeste, a una altura de 73 msnm, temperatura promedio de 25 °C, humedad relativa de 84.0 % la cual cuenta con los equipos y materiales necesarios para la realización de los análisis de humedad, densidad aparente, cenizas y poder

calorífico.

2.1. Diseño de la investigación

Se utilizó el diseño completamente al azar DCA para establecer la combinación adecuada en la elaboración de briquetas, procesándose los datos a través de un ANOVA de tres factores teniendo como tratamientos la mezcla, forma y tamaño, luego se empleó la prueba de TUKEY ($p \leq 0.05$) para determinar la diferencia entre tratamientos.

Para efectuar la investigación se empleó los siguientes factores de estudios:

A= Tipo de mezcla (cascarilla de arroz - polvillo - cuesco - aserrín).

B= La forma (cilíndrica - cuadrada)

C= Tamaño (10 cm - 15 cm).

Tabla 1. Factores de estudio que intervienen en la elaboración de briqueta.

FACTORES DE ESTUDIO	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Factor A: Mezcla.	a_0	Mezcla 1 Cáscara de arroz 1 % Polvillo 16 % Cuesco 8 % Aserrín 15 % Agua 60%
	a_1	Mezcla 2 Cáscara de arroz 2 % Polvillo 14 % Cuesco 12 % Aserrín 12 % Agua 60%
	a_2	Mezcla 3 Cáscara de arroz 4 % Polvillo 14 % Cuesco 10 % Aserrín 12 % Agua 60%
Factor B: Forma.	b_0	Cilíndrica
	b_1	Cuadrada
Factor C: Tamaño.	c_0	10 cm
	c_1	15 cm

Elaborado por: Villarroel, J. & Macías, J. 2020

Tabla 2. Combinación de los tratamientos propuesto para la elaboración de briquetas.

<i>Tratamientos</i>		<i>Descripción</i>
T1	$a_0b_0c_0$	Mezcla 1 + cilíndrica + 10 cm
T2	$a_0b_0c_1$	Mezcla 1 + cilíndrica + 15 cm
T3	$a_0b_1c_0$	Mezcla 1 + cuadrada + 10 cm
T4	$a_0b_1c_1$	Mezcla 1 + cuadrada + 15 cm
T5	$a_1b_0c_0$	Mezcla 2 + cilíndrica + 10 cm
T6	$a_1b_0c_1$	Mezcla 2 + cilíndrica + 15 cm
T7	$a_1b_1c_0$	Mezcla 2 + cuadrada + 10 cm
T8	$a_1b_1c_1$	Mezcla 2 + cuadrada + 15 cm
T9	$a_2b_0c_0$	Mezcla 3 + cilíndrica + 10 cm
T10	$a_2b_0c_1$	Mezcla 3 + cilíndrica + 15 cm
T11	$a_2b_1c_0$	Mezcla 3 + cuadrada + 10 cm
T12	$a_2b_1c_1$	Mezcla 3 + cuadrada + 15 cm

Elaborado por: Villarroel, J. & Macías, J. 2020

Para el proceso de compactación se diseñó y se fabricó moldes con alturas de 10 cm y 15 cm de forma rectangular y cuadrada, como se muestra en el gráfico 1, los cuales garantizaron la solidez del material al momento de extraer el molde. Se lo realizó utilizando una prensa hidráulica de 15 toneladas fuerzas en la cual se prensó el material dentro del molde eliminando el mayor porcentaje de agua.

El secado de las briquetas se efectuó utilizando una mufla ajustada a una

temperatura de 50 °C por 24 horas, transcurrido el tiempo se retiró las briquetas y se dejó a la intemperie con intenso sol, hasta obtener un peso constante para conseguir briquetas con menor porcentaje de humedad para su fácil combustión. Cuando las briquetas alcanzaron un peso constante fueron almacenadas en un lugar seco libre de humedad, para luego ser sometida a los diferentes análisis establecidos en la investigación.

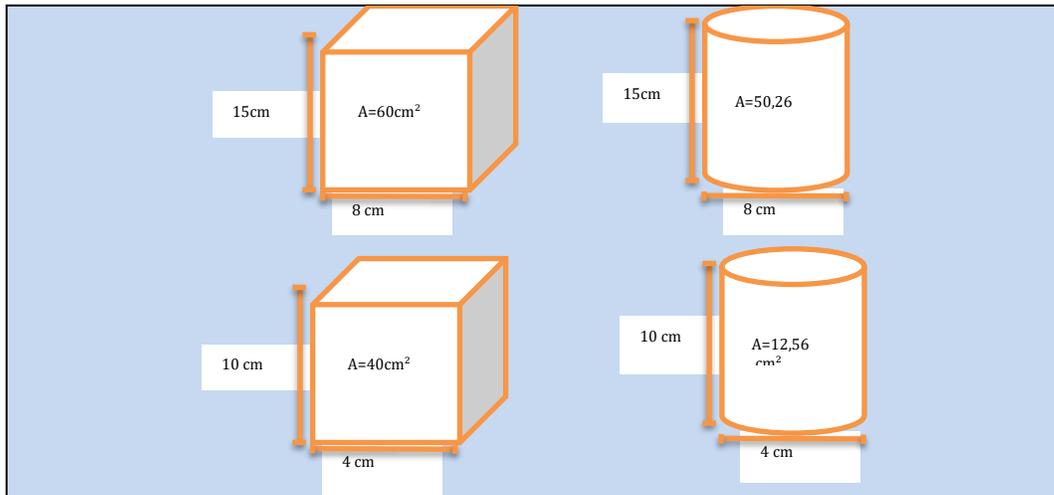


Gráfico 1. Diseño de moldes para el proceso de elaboración de las briquetas
Elaborado por: Villarroel, J. & Macías. J. 2020

3. RESULTADOS

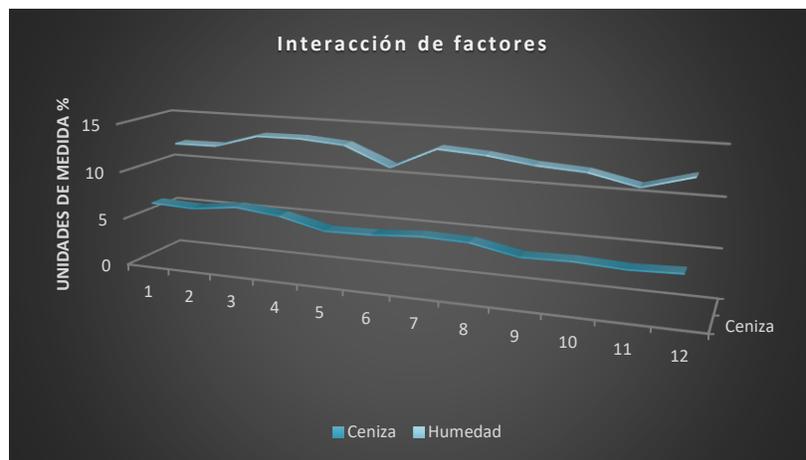


Gráfico 2. Muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p < 0.05$) de la interacción de $A \times B \times C$.
Diferencias de medias entre tamaño de las briquetas de la prueba de significación Tukey ($p < 0.05$). 1.- Ceniza (DS); 2.-Humedad (DS) Elaborado por: Villarroel, J. & Macías. J. 2020

El gráfico N° 2, indica el resultado de la interacción $A \times B \times C$ en Ceniza el cual presentó diferencia significativa con valores bajos en las interacciones $a_0 + b_0 + c_0 =$ (Mezcla 1 + cilíndrica + 10 cm),

$a_0 + b_0 + c_1$ (Mezcla 1 + cilíndrica + 15 cm), $a_0 + b_1 + c_0 =$ (Mezcla 1 + cuadrada + 10 cm), mientras que los más altos los reportaron $a_2 + b_0 + c_0 =$ (Mezcla 3 + cilíndrica + 10 cm), $a_2 + b_0 + c_1 =$

(Mezcla 3 + cilíndrica + 15 cm 4), $a_2 + b_1 + c_0 =$ (Mezcla 3 + cuadrada + 10 cm 3), $a_2 + b_1 + c_1 =$ (Mezcla 3 + cuadrada + 15 cm).

Con respecto a la humedad el resultado de la interacción $A \times B \times C$, presentó diferencia significativa con valores bajos en las interacciones $a_0 + b_1 + c_1 =$ (Mezcla 1 + cuadrada + 15 cm 4), $a_0 + b_1 + c_0 =$

(Mezcla 1 + cuadrada + 10 cm), $a_1 + b_1 + c_0 =$ (Mezcla 2 + cuadrada + 10 cm), $a_1 + b_0 + c_0 =$ (Mezcla 2 + cilíndrica + 10 cm), $a_1 + b_1 + c_1 =$ (Mezcla 2 + cuadrada + 15 cm), mientras que los más altos los reportaron $a_1 + b_0 + c_1 =$ (Mezcla 2 + cilíndrica + 15 cm), $a_2 + b_1 + c_0 =$ (Mezcla 3 + cuadrada + 10 cm).

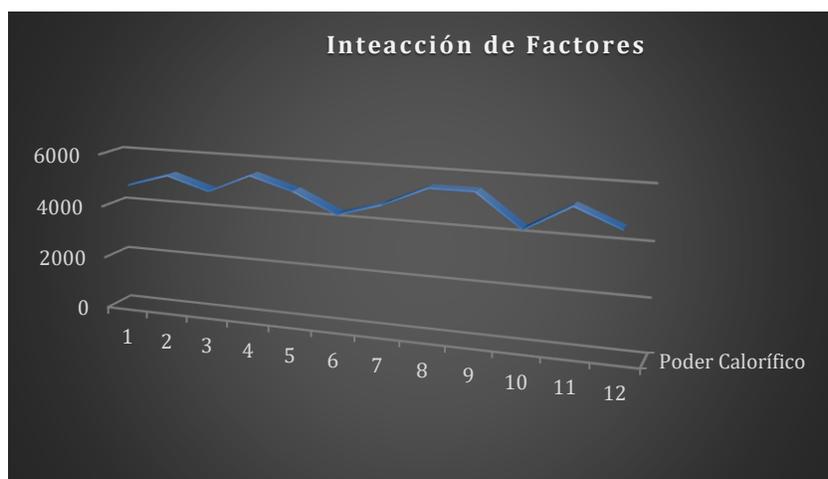


Gráfico 3. Muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p < 0.05$) de la interacción de $A * B * C$.
Diferencias de medias de las briquetas de la prueba de significación Tukey ($p < 0.05$). Poder calorífico (DS)
Elaborado por: Villarroel, J. & Macías, J. 2020

El gráfico N° 3, indica el resultado de la interacción $A \times B \times C$ del contenido calorífico el cual presentó diferencia significativa con valores bajos en las interacciones $a_2 + b_0 + c_0 =$ (Mezcla 3 + cilíndrica + 10 cm), $a_1 + b_1 + c_1 =$ (Mezcla 2 + cuadrada + 15 cm), mientras que los más altos los reportaron $a_2 + b_0 + c_1 =$ (Mezcla 3 + cilíndrica + 15 cm), $a_1 + b_0 + c_1 =$ (Mezcla 2 + cilíndrica + 15 cm).

4. Discusión

4.1. Cenizas

En relación a ceniza se obtuvo un valor de 4.69 % para la mezcla 3 (cascarilla 4%,

polvillo 14 %, cuesco 10 % y aserrín 14 %), este valor es similar al reportado por los autores (Muñoz Muñoz, Pantoja, Alvaro, Cuatin, & F., 2014), En su investigación sobre Aprovechamiento de los residuos agroindustriales como biocombustible y biorrefinería, la cual indica que el porcentaje obtenido de cenizas en su estudio es de 4, 12 %.

Además se hallaron valores de 5.53 % para la forma cuadrada y 5.66 % en la forma cilíndrica, estos datos están por debajo de (8, 13, 20) % de cenizas referenciados por (Valderrama, Curo, Quispe, Llantoy, & Gallo, 2014) en su investigación con el tema, “Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de

energía calorífica en cocinas no convencionales”, lo cual indica que utilizar diferentes formas para la elaboración de las briquetas no afecta en el contenido de cenizas del biocombustible, sin embargo utilizar formas cilíndricas ayudan a no desintegrarse con los golpes, a diferencia de las briquetas de formas cuadradas que se desintegran con gran facilidad al ser manipuladas (Valderrama, Curo, Quispe, Llantoy, & Gallo, 2014).

El autor (Fernández Llorente, 2011) “En su estudio con el tema Características, barreras y retos para la implantación comercial de la biomasa sólida como combustible”, indica que el contenido en ceniza depende del propio origen de la biomasa donde el incremento de cenizas en el biocombustible es perjudicial en proceso de combustión o en cualquier otro proceso termoquímico, pues se tiende a incrementar la formación de escorias dentro de las calderas (Fernández, 2011).

4.2. Humedad

Con lo referente al contenido de humedad se alcanzó el 11.98 % en la mezcla 3 (cascarilla 4%, polvillo 14 %, cusco 10 % y aserrín 14 %), este valor es similar al 12.3 % señalados por (Gallipoliti, V; Martina, P; Corace , J; Aeberhardt, R; Garcia, Sola, 2012), En su investigación sobre Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico la cual indica que la humedad del biocombustible sólido es muy importante, porque el grado de humedad de la briqueta depende directamente de su rendimiento, en caso de obtener un mayor porcentaje la misma humedad deformaría la briqueta ya que esta no lleva ningún tipo de producto químico ni aditivo para su compactación

(Gallipoliti, V; Martina, P; Corace , J; Aeberhardt, R; Garcia, Sola, 2012).

La forma cuadrada obtuvo 12.78 % y la cilíndrica 12.71 % de humedad, los mismos que están por debajo del dato citado por (Carrillo, y otros, 2014), en su investigación con el tema, “Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para su uso en pélets y briquetas”, en el cual indica que los valores límites permitidos de contenido de humedad (CH) es el 18 %.

Con relación al tamaño de la briqueta la humedad presentó un valor alto (12.63%) en $c_0 = 10$ cm, mientras que: $c_1 = 15$ cm el valor fue inferior (12.36%), los mismos que están entre los rangos citados por (Carrillo, y otros, 2014), en su investigación con el tema, Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para su uso en pélets y briquetas, donde indica los valores límites permitidos de contenido de humedad (CH) 18 %. La forma más sencilla de saber que una briqueta tiene un porcentaje de humedad adecuado es observar su forma, si su forma es completamente rectangular o cuadrada con la mezcla bien compactada la briqueta está en su punto óptimo de humedad caso contrario si se observa que el bloque no está muy compactado y se rompe con gran facilidad significa que la briqueta tiene un porcentaje de humedad demasiado alto (Ortiz, 2008).

El autor (Ortiz, 2008) en su investigación con el tema Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad en España señala que es preciso que el contenido de humedad no supere valores del orden del 15 % y que esté por encima

de valores del 8%, puesto que por debajo de este nivel no se obtienen una adecuada aglomeración, ya que el agua en determinadas proporciones actúa como sustancia termoplástica favoreciendo la autoglomeración y, por tanto, si no alcanzan estos porcentajes mínimos la compactación es defectuosa (Ortiz, 2008).

4.3. Poder calorífico

De acuerdo al poder calorífico se alcanzó un valor de 4902,18 Kcal/kg en la mezcla 2 (casarilla 2 %, polvillo 14 %, cuesco 12% y aserrín 12%), este valor es similar a los datos reportados por (Gallipoliti, V; Martina, P; Corace, J; Aeberhardt, R; Garcia, Sola, 2012), en su investigación sobre Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico, menciona 4289,4 Kcal/kg en las briquetas.

El poder calorífico energía en las briquetas de formas cuadradas con valores 5069,08 Kcal/kg, este dato es similar 5092,5 kcal/kg, planteado por los autores (Soto & Núñez, 2008), en su investigación con el tema “Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de pinus radiata (d. don)”, esta variación muestra que utilizar diferentes formas para la elaboración de las briquetas influye en su poder calorífico, lo cual, es un aspecto muy importante ya que las briquetas con un alto poder calorífico consiguen elevar la temperatura muy rápidamente (Soto & Núñez, 2008).

El autor García, (2014). En su investigación con el tema Diseño de proceso y de planta piloto para la fabricación de briquetas de aserrín, señala que el poder calorífico es uno de los aspectos más importantes porque es la

cantidad de energía que desprende el combustible al producirse la combustión ya que altos poderes caloríficos indican un biocombustible de calidad y bajos poderes caloríficos señalan malos combustibles, por lo tanto, se obtiene altos poderes caloríficos ya que las briquetas están elaboradas con subproductos con alto nivel de energía (García, 2014).

5. CONCLUSIONES

La Mezcla 3= a_2 compuesta de (casarilla de arroz 4%, polvillo 14%, cuesco 10%, aserrín 12% y 60 % de agua), obtuvo diferencia significativa en cenizas con el 4.96 %, 11.98 % humedad y un poder calorífico de 4917.43 kcal/kg, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que las concentraciones de los diferentes desechos Agroindustriales influyen en el proceso de elaboración de briquetas como biocombustible.

Se observó diferencia significativa en las briquetas de formas cuadradas, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que la utilización de diferentes formas en la elaboración de las briquetas afecta la calidad y el rendimiento energético.

De acuerdo a los resultados obtenidos el tamaño óptimo de la briqueta fue la de 15 cm = c_1 ya que presento diferencia significativa en humedad con el (12.63%), y un elevado poder calorífico de (5025.06 kcal/kg), por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que las características físicas varían en las briquetas elaboradas a partir de residuos Agroindustriales.

Tabla 3. Costo de materias primas directas en el proceso de elaboración de las briquetas.

INSUMOS	CANTIDAD (g)	Mezcla 1			Mezcla 2			Mezcla 3					
		$a_0 b_0 c_0$	$a_0 b_0 c_1$	$a_0 b_1 c_0$	$a_0 b_1 c_1$	$a_1 b_0 c_0$	$a_1 b_0 c_1$	$a_1 b_1 c_0$	$a_1 b_1 c_1$	$a_2 b_0 c_0$	$a_2 b_0 c_1$	$a_2 b_1 c_0$	$a_2 b_1 c_1$
C. de Arroz	50-100-200	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005	0.005	0.005	0.005	0.050	0.050	0.050	0.050
Polvillo	800 -700-700	0.045	0.045	0.045	0.045	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
Cuesco	400-600-500	0.060	0.060	0.060	0.060	0.025	0.025	0.025	0.025	0.080	0.080	0.080	0.080
Aserrín	750-600-600	0.048	0.048	0.048	0.048	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038
Agua	3000-3000-3000	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
Total, costo fijo		0.181	0.181	0.181	0.181	0.133	0.133	0.133	0.133	0.233	0.233	0.233	0.233
% Rendimiento		0.188	0.440	0.253	0.510	0.165	0.318	0.206	0.404	0.253	0.488	0.257	0.301
Conversión a briqueta kg		0.235	0.549	0.316	0.638	0.206	0.397	0.258	0.505	0.316	0.609	0.321	0.576
Costo de producción USD por kg		0.768	0.329	0.571	0.283	0.646	0.335	0.516	0.263	0.737	0.383	0.726	0.405

REFERENCIAS

- [1]. Carrillo, A., Correa, F., Rutiaga, J., Márquez, F., González, Jurado, E., & Garza, F. (2014). Contenido de Humedad y Sustancias Inorgánicas en Subproductos Maderables de Pino. Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente (SciELO).
- [2]. Cediell, Alexandra; Rivera, José L; Montalvo, Andrea S; Sierra, Fabio E; Forero, Carlos, «Estudio preliminar del potencial energético de cuesco de palma y cáscara de coco en Colombia,» Ingeniería Solidaria, Vol. 8, N° 14, P. 20, 2012.
- [3]. Da Silva, D. (2013). Proyecto de Creacion de una Fabrica de Briquetas de Aserrin en Santa Rosa del Aguaray. Santa Rosa- Praguay.
- [4]. Fernández Llorente, M. (2011). Características, barreras y retos paara la implementación comercial de la biomasa sólida como combustible. Vida Rural, 60 - 64.
- [5]. Fernández, M. (2011). Características, barreras y retos para la Implementación comercial de la Biomasa Sólida como Combustible. Vida Rural, 60 - 64.
- [6]. Forero Núñez, Carlos Andrés; Guerrero Fajardo, Carlos Alberto; Sierra Vargas, Fabio Emiro; «Producción y Uso de Pellets de Biomasa para La Generación de

- Energía Térmica: Una Revisión A Los Modelos Del Proceso De Gasificación,» Iteckne, Vol. 9, N° 1, P. 22, 2012.
- [7]. Gallipoliti, V; Martina, P; Corace, J; Aeberhardt, R; Garcia, Sola. (2012). FABRICACION DE BRIQUETAS CON ASERRIN BLANCO DE PINO. ANALISIS INMEDIATO Y OBTENCION DE SU PODER CALORIFICO. 10(2), 129-137.
- [8]. García, M. (2014). Diseño de Proceso y de Planta Piloto para la Fabricación de Briquetas de Aserrín,. Perú.
- [9]. Mera, M; Simbaña, E, «Evaluación de la capacidad calorífica de biocombustible sólido a partir de residuos lignocelulósicos de café (Coffea Spp) frente a leña de Espino (Vachellia Macracantha) y eucalipto (Eucalyptus Globulus Labill),» Axioma, N° 15, P. 36, 2016.
- [10]. Mosquera, P., & Merino, L. (2006). Eficiencia Energética y Kioto de Empresa y Energías Renovables. Fundación confemetal, 184.
- [11]. Muñoz Muñoz, D., Pantoja, M., Alvaro, J., Cuatin, G., & F., I. (2014). Aprovechamiento de residuos Agroindustriales como combustible. Biotecnología en el sector agropecuario, 12(2), 20.
- [12]. Ortiz, L. (2008). Producción de Biocombustibles Sólidos de Alta densidad en España (Vol. 5). España: Gamesal.
- [13]. Salinas, E; Gasca, Víctor., «Los Biocombustibles,» El Cotidiano, N° 157, P. 76, 2009.
- [14]. Soto, G., & Núñez, M. (2008). Fabricación de Pellets de Carbonilla usando aserrín de Pinus Radiata, como material Aglomerante. Maderas, Ciencia Y Tecnología., 10(2), 129-137.
- [15]. Valderrama, A., Curo, H., Quispe, C., Llantoy, V., & Gallo, J. (2014). Briquetas de Residuos Sólidos orgánicos como Fuente de Energía Calorífica en cocinas no Convencionales. Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT. Recuperado el 20020, de Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT.
- [16]. Vargas, J., Alvarado, P., Vega-Baudrit, J., Porras M, «Caracterización del subproducto cascarilla de arroz en búsquedas de posibles aplicaciones como materia prima en procesos,» Dialnet, Vol. 23, N° 1, P. 91, 2013.

