



Estudio del potencial energético de la cascara de arroz ecuatoriano peletizado para su uso como combustible

Study of the energy potential of pelletized Ecuadorian rice husk for use as fuel

Ing. Luis Enrique Velázquez Áraque Ph.D.¹, Josué Manuel Aguilar Sierra² & Edgar Alejandro Tulcán Álvarez³

Recibido: 05/09/2019 – Revisado: 22/01/2020 -- Aceptado: 25/03/2020

Resumen

Mediante el presente trabajo investigativo se dará a conocer un estudio de las posibilidades de peletización de la cáscara de arroz ecuatoriano y su utilización como biocombustible, debido a que el Ecuador, su industria agroindustrial este desecho no es aprovechado en su totalidad por lo cual se propone a la utilización como fuente de energía de origen biológico dando así el origen a un producto denominado pellet, los cuales se pudo evidenciar en previas investigaciones el potencial energético del uso exclusivo de esta biomasa de cascarilla de arroz, por lo cual, se propuso una mejora a este producto mediante la adición de un aglutinante como es el almidón de yuca de origen biológico en diferentes proporciones los cuales son sometidos a diferentes análisis y se obtuvo que la mejor proporción es de 70% cascara de arroz y 30% almidón dando valores óptimos para su producción.

Palabras Claves

Pellet, cascara de arroz, aglutinante, biomasa, residuos agroindustriales

Abstract

Through the present research work will be released a study of the possibilities of pelletization of Ecuadorian rice husk and its use as a biofuel, because Ecuador, its agroindustrial industry this waste is not used in its entirety for which it is proposed to the use as a source of energy of biological origin thus giving rise to a product called pellet, which could be evidenced in previous research the energy potential of the exclusive use of this rice husk biomass, for which, an improvement was proposed to this product by adding a binder such as cassava starch of biological origin in different proportions which are subjected to different analyzes and it was obtained that the best ratio is 70% rice husk and 30% starch giving optimum values for their production.

Key Words

Pellet, rice husk, binder, biomass, agroindustrial waste

1. Introducción

Los pellets son un tipo de biocombustible formado a partir de residuos agroindustriales (biomasa), su formación ocurre al compactar dicha biomasa en rodillos o matrices las cuales le dan la forma de diminutos cilindros.

La quema de estos produce energía calórica la cual es altamente aprovechada en diversos trabajos de proceso industrial, como la generación de vapor o electricidad, los principales materiales para la fabricación de pellets a nivel mundial son los restos de madera y biomasa de característica agrícola.

En la actualidad ha aumentado la necesidad de buscar diversos tipos de combustibles que reemplacen al petróleo siendo este el más común a nivel mundial.

Ecuador por su parte está dando un gran paso al desarrollar biocombustibles como la gasolina extra que cuenta con un 5% de etanol, logrando evitar de manera considerable el impacto ambiental negativo producido por los productos convencionales derivados del petróleo.

El presente trabajo se elaboró con el fin de determinar la

¹ Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química; orcid: 0000-0001-7890-012X; luis.velazqueza@ug.edu.ec

² josueaguilar024@gmail.com

³ alejandroat9526@gmail.com



caracterización fisicoquímica de los pellets a partir de la cáscara de arroz ecuatoriano para cumplir con las normas internacionales vigentes [1].

También aporta al desarrollo de la matriz productiva de nuestro país agregando nuevas maneras de aprovechar los residuos agrícolas producidos por las diferentes industrias, obteniendo un biocombustible sólido que pueda ser utilizado en las operaciones de generación de energía.

Experimentalmente la cascara de arroz se ha empleado en la transformación de energía partiendo como desecho hasta desempeñarse como fuente de calor.

Países como España, Brasil, China y Colombia empezaron con investigaciones sobre la cascara de arroz desde inicios de los años 90, llegando a crear hornos de lecho fluidizado con el fin de quemar la cascara de arroz para obtener cenizas altas en sílice que en ese entonces era utilizada para la construcción de edificios de concreto.

En cuanto a la utilización en procesos industriales son pocas las investigaciones realizadas, sin embargo, existen diferentes tipos de propuestas las cuales abarcan un plus al desarrollo de energía de manera especial, entre las principales podemos mencionar a el Instituto Tecnológico Agroalimentario en España la misma que utiliza este tipo de biomasa para la cogeneración de energía eléctrica.

De la misma manera en el Instituto de Energía Renovable de Corea del sur, se emplea este tipo de proceso de reutilización de biomasa con el fin de obtener combustible de gasificación en forma de pellets.

El arroz se utiliza como alimento desde la antigüedad. Más de la mitad de la población del mundo consume arroz como componente principal de la dieta, se dividen en arroces glutinosos y los no glutinosos, los primeros tienen alrededor de 83% amilopectina y alrededor de un 17% amilosa y los segundos tienen alrededor de un 27% de amilosa y alrededor de un 73% de amilopectina. El tamaño del grano de arroz como producto final depende de la variedad utilizada. [2]

La planta de arroz posee tallos muy ramificados y puede medir entre 0,6 y 1,8 metros de altura. Los tallos terminan en una inflorescencia, una panícula de 20 a 30 cm de largo. Cada panícula se compone de entre 50 y 300 flores o espiguillas, a partir de las cuales se formarán los granos: el

fruto obtenido es un cariopsis.

El grano de arroz (arroz con cáscara o paddy) se compone de una cubierta protectora exterior, la cáscara y la cariopsida o fruto del arroz (arroz integral o pardo, llamado también arroz descascarillado). El arroz integral o pardo se compone de las capas exteriores: pericarpio, tegumento o cubierta seminal y nucela; del germen o embrión; y del endospermo. Éste se compone de la capa de aleurona, consistiendo el endospermo propiamente dicho en la capa de subaleurona y en el endospermo amiláceo o interno. La capa de aleurona contiene al embrión. El pigmento de color pardo del arroz integral lo contiene el pericarpio que sería la capa más externa del grano. [3]

La cascarilla o gluma constituye el 20% del peso del arroz integral o pardo, aunque sus valores van desde 16% a 28%. La distribución del peso del arroz pardo es la siguiente: pericarpio, 1-2%; 5 aleurona, nucela y cubierta seminal 4-6%; germen, 1%; escutelo 2%; y endospermo, 90-91%. (JULIANO, 1994). Tiene dimensiones de 5-10 mm por 1,5-5 mm de largo y ancho y con respecto al peso del grano, los mil granos pesan 27 g. [3]

La cascarilla de arroz tiene varias aplicaciones incluyendo: Conversión de la biomasa: se obtienen azúcares que pueden ser convertidos a otros químicos orgánicos, como por ejemplo etanol y furfural, en la elaboración de abonos y material para el cultivo de hongos, obtención de papel y de pulpa en materiales de construcción, como combustible, obtención de productos de silicio a partir de la cascarilla o de sus cenizas [4].

La cascarilla de arroz tiene una naturaleza fuerte, leñosa y abrasiva; por lo cual, es resistente a factores ambientales, protegiendo al grano de arroz de sufrir deterioro durante el tiempo de desarrollo de la planta de arroz, a causa del ataque de insectos o de hongos. La cascarilla de arroz no es apta para el consumo humano debido a su alto contenido de sílice, aunque en algunos casos, se usa para la alimentación de animales de granja. La cascarilla casi no aporta fibra a la dieta de los animales, y provoca la irritación de los tractos digestivos de los animales que la consumen por el alto contenido de sílice. [3]

Existen procesos para densificar biomasa o residuos agrícolas entre los que se encuentran la peletización y diseño de briquetas, cuyo objetivo es reutilizar estos desechos para la producción de energía calórica o térmica



empleada como fuente natural y sustentable, la pelletización consiste en compactar cierta cantidad de residuos o desechos obteniendo un producto denominado pellet. (Riegelhaupt, 2014)

Los pellets son pequeñas porciones de material aglutinado de cualquier tipo de biomasa, destinados a la producción de energía, se los consideran una especie de biocombustible sólido debido a la biomasa utilizada en su producción. [2]

Con la finalidad de determinar parámetros unívocos y asegurar una mayor protección del consumidor final se han adoptado diferentes normas, las cuales no son una simple certificación de producto sino de sistema, que examina toda la cadena: producción/recepción de la materia prima, almacenaje del combustible y entrega del pellet al consumidor final. Junto a las normas técnicas de calidad y trazabilidad del pellet, también se considera la sostenibilidad de la cadena, que es cada día más relevante en el sector de las biomásas. Asimismo, para asegurar la conformidad con los temas de la sostenibilidad, el productor ha de indicar la cantidad de materia prima certificada FSC (certificación forestal) o PEFC (certificación forestal paneuropea) como se muestra en la tabla 1. En un futuro próximo por lo menos el 70% de la materia prima empleada se habrá de certificar FSC o PEFC. [5]

Tabla 1. Parámetros físicos y químicos para biomásas mixtas según los estándares franceses

Parámetros	Unidad	Agro+	Agro
Diámetro	Mm	6- 8	6-16
Longitud	Mm	10- 30	10- 30
Humedad	% wt	< 11	<15
Poder calorífico	MJ/kg	> 15	> 14
Densidad	kg/m ³	> 650	> 650
Contenido de cenizas	% wt	< 5	< 7

Fuente: [6]

Los estándares franceses poseen la certificación ENplus y cuentan con un sistema interno de gestión de calidad basado en las normas EN ISO 9001 y prEN 15234 el cual depende directamente de las asociaciones representantes de los intereses del sector del pellet en el propio país. [5]

Entre las normas internacionales adoptadas con certificación ISO se destacan los siguientes países:

- Alemania: DIN 51731 (empleada mayormente para juzgar la calidad y la idoneidad del pellet)
- Austria: ÖNORM M7135 (incluye todos los requisitos

y las normas de control para el pellet. Contempla parámetros muchos más severos que la DIN 51731 y numerosos productores la han adoptado como base para construir estufas y calderas que alcanzan la máxima potencia y el máximo rendimiento con la quema de pellets correspondientes a los requisitos determinados por ésta.)

- Escandinavia: SCAN standard.
- Italia: UNI/TS 11263 (clasifica los biocombustibles sólidos y define sus características de productos para el empleo como combustibles). [7]

Tabla 1. Cuadro comparativo de los requisitos alemanes y austriacos seleccionados en pellets

Parámetros	Unidad	DIN 517315	Ö NORM M 7135
Diámetro	Mm	4 - 10	4 - 10
Longitud		< 50 mm	< 5 x D
Densidad	kg / dm ³	1.0 - 1.4	> 1.12
Contenido de agua	%	< 12	< 10
Abrasión	%	--	< 2.3
Contenido de cenizas	%	< 1.5	< 0.5
Contenido de energía	Mj / kg	17.5 - 19.5	> 18
Contenido de azufre	%	< 0.08	< 0.04
Contenido de cloro	%	< 0.03	< 0.02
Contenido de nitrógeno	%	< 0.3	< 0.3
Metales pesados	%	Regulado	No regulado

Fuente: [8]

Siendo Austria el país con normas y certificaciones más actuales entre las cuales se destacan:

- Biocombustibles sólidos - Distribución del tamaño de partículas de los gránulos desintegrados (ISO 17830: 2016) ÖNORM EN ISO 17830: 2016 11 15
- Quemadores de pellets para calderas pequeñas - definiciones, requisitos, pruebas, marcado. ÖNORM EN 15270: 2008 03 01
- Biocombustibles sólidos. Determinación de la durabilidad mecánica de gránulos y briquetas. Parte 1: Pellets (ISO 17831-1: 2015). ÖNORM EN ISO 17831-1: 2016 04 01 [9]

La planta de arroz que se cultiva por un año se lo conoce con el nombre de ``arroz semiacuático``, se da en los climas templados y subtropicales. El arroz en el clima tropical luego de la cosecha que se ha realizado puede sobrevivir como perenne al rebrotar.

Las alturas de las plantas varia están dependen de cada variedad y condición de su crecimiento, el rango es entre

0.4m a 1m como se muestra en la figura 1.

El estudio de la morfología del arroz se plantea de dos fases:

- fase vegetativa:** puntos de germinación, plántula e inicio y pleno macollamiento.
- fase reproductiva:** inicio de primordio floral a emergencia de la panoja a madurez. [10]

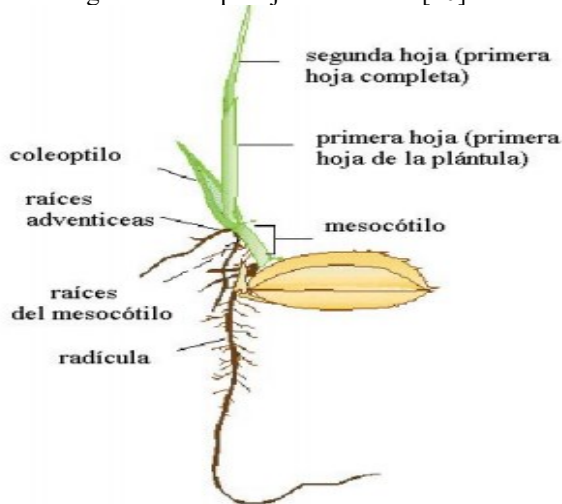


Fig. 1. Planta de arroz

Fuente: [10]

Alternativa ambiental amigable, ayudaría a combatir el cambio climático al ser sustituto de gran parte de consumo por parte de petróleo en los vehículos, lo que produciría un menor impacto en contaminación al ambiente [11].

El biocombustible se adapta a la tecnología existente en la actualidad, a diferencia si se toma el hidrogeno se deberá realizar un proceso con tecnología diferente, la que conllevaría a cambiar toda la tecnología solo para el uso del hidrogeno. [12]

Se lo aplica como combustible dando un calor y poder calorífico de 16720 KJ/Kg y en el proceso de la incineración la ceniza posee un porcentaje de sílice mayor a 90% lo que se lo considera como una fuente de sílice.

Pero esta sílice posee gran porcentaje de impureza como: Ca, Mg, Mn, Al, Fe, Br, P, por lo concerniente se los debe eliminar. Si se aplica el método de precipitación se podría obtener silicatos de calcio [13].

Se los utiliza para la fabricación de ladrillos de cal, arena,

fabricación de cemento, fabricación de las porcelanas dieléctricas entre otros. [14]

No posee nutrientes significativos, presenta un alto grado de dióxido de silicio, lo que le da la característica de no ser consumo para el ser humano, tiene un bajo porcentaje de celulosa del 40% como se muestra en la figura 2 y 3 respectivamente [14]

Cenizas	18,59%
Sílice (SiO ₂)	94,50%
Oxido de Calcio (CaO)	0,25%
Oxido de magnesio (MgO)	0,23%
Oxido de Potasio (K ₂ O)	1,10%
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0,78%
Sulfatos (SO ₃)	1,13%

Fig. 2. Propiedades minerales de la cascara de arroz

Fuente: [14]

CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ	
Componente	%
Ceniza de Sílice (SiO ₂)	94,1
Oxido de Calcio (CaO)	0,55
Oxido de magnesio (MgO)	0,95
Oxido de Potasio (K ₂ O)	2,10
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	0,11
Sulfato	0,06
Cloro	0,05
Oxido de titanio (TiO ₂)	0,05
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0,12
Otros componentes (P ₂ O ₅ , F ₂ O ₃)	1,82
Total	100,0

Fig. 3. Propiedad química de ceniza de la cascara de arroz

Fuente: [15]



2. Materiales y métodos

Consiste en determinar las propiedades fisicoquímicas de los pellets partiendo del 100% de cáscara de arroz ecuatoriano y luego la combinación de cáscara de arroz ecuatoriano y el material aglutinante en diversas proporciones, las cuales deben cumplir con las normas internacionales de elaboración de pellets.

Para evaluar la calidad y características del producto se deben cumplir con los requisitos en la norma ENplus y cuentan con un sistema interno de gestión de calidad basado en las normas EN ISO 9001 y EN 15234 (fabricación de pellets).

2.1 Calidad del producto

El biocombustible peletizado de acuerdo con los resultados obtenidos en las 3 configuraciones realizadas y analizando su poder calorífico, porcentaje de ceniza, humedad, pérdida de masa frente al tiempo y friabilidad, se lo puede considerar dentro de la familia de bio combustibles sólidos.

2.2 Ensayos de caracterización

Para la caracterización de los pellets de cáscara de arroz ecuatoriano se contempló determinar propiedades como:

- Poder calorífico
- Densidad
- Humedad
- Masa normalizada
- Diámetro
- Longitud
- Contenido de cenizas
- Friabilidad

Los métodos de ensayo se realizan basados en experimentaciones anteriores referentes a este tipo de procesos.

2.3 Determinación de Poder calorífico

La determinación de este ensayo se realizó mediante el empleo de una bomba calorimétrica basándose en la técnica MMQ-114 en laboratorios AVVE de la ciudad de Guayaquil.

2.4 Resultados del ensayo de poder calorífico.

El valor de poder calorífico que se obtuvo para la composición de 100% cáscara de arroz fue de 14.32 MJ/kg. Como se muestra en la tabla 3

Tabla 2. Resultados del poder calorífico de las diferentes configuraciones de pellets.

Muestra	Configuración	Poder calorífico	Unidades
Cáscara de arroz y material aglutinante	90%-10%	14.3962 *	Mj/Kg
Cáscara de arroz y material aglutinante	80%-20%	14.4135 *	Mj/Kg
Cáscara de arroz y material aglutinante	70%-30%	14.4460 *	Mj/Kg

Fuente: Autores

*Datos obtenido de Laboratorios AVVE

2.5 Determinación de densidad

El volumen y el peso de un pellet se midió para determinar la densidad a granel, de acuerdo con la norma ÖNORM M7135, para el peso se usó una balanza calibrada con una precisión de 0,001 gramo, y para el volumen se usó una probeta.

2.6 Resultados de la determinación de densidad

Para la configuración geométrica de los pellets de acuerdo a su medida de diámetro se reportan los siguientes resultados en las tablas 4 y 5:

Tabla 3. Resultados de las densidades para las diferentes configuraciones de pellets.

	6 mm	8 mm	10 mm
Densidad (kg/m ³)	1662,28	2069,01	1502,42

Fuente: Autores

Tabla 4. Resultados de densidades de las diferentes configuraciones de pellets.

Muestra	Configuración	Densidad	Unidades
Cáscara de arroz y material aglutinante	90%-10%	1862.10	Kg/m ³
Cáscara de arroz y material aglutinante	80%-20%	1655.20	Kg/m ³
Cáscara de arroz y material aglutinante	70%-30%	1448.30	Kg/m ³

Fuente: Autores

Cabe recalcar que la densidad de un pellet debe de ser mayor a 650 Kg/m³ de acuerdo a la norma francesa de fabricación y calidad de pellets.

2.7 Determinación de humedad

Para la determinación de esta propiedad se pesó 100 gr de muestra de pellets de las 3 configuraciones, luego se procedió a llevarlas a un secador a una temperatura de 110°C durante 1 hora, para finalmente pesar la muestra seca, de acuerdo a la norma ÖNORM G 1074. El porcentaje



de humedad se lo calcula mediante la siguiente formula:

Humedad

$$H = \frac{P_i - P_s}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

H = humedad

P_i = peso inicial o húmedo

P_s = peso seco

2.8 Determinación de la masa normalizada

Para la ejecución de este parámetro se utilizaron 10 pellets de cada configuración pasándolos a una mufla a 300°C y retirándolos cada 30 segundos de manera tal que se produzca la reducción de masa con respecto al tiempo, el proceso termina una vez que la masa se mantiene constante y no se puede incinerar más obteniendo así la gráfica 1

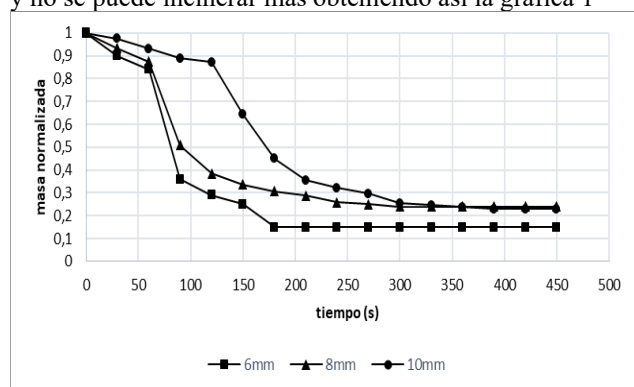


Fig. 4. Resultados de la determinación de masa normalizada para diferentes configuraciones de pellets

Fuente: Autores

3. Resultados

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos de los ensayos experimentales de los pellets de mezcla de cáscara de arroz y material aglutinante, los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad de Guayaquil, y Laboratorios AVVE, donde se realizaron los análisis químicos de las configuraciones de los pellets.

La configuración más idónea y cuyas características se acogen a los estándares internacionales de fabricación de Pellets es la configuración geométrica de 8 mm debido a los resultados obtenidos y al combinarlo con el material aglutinante la mejor configuración es la de 70% cáscara de arroz y 30% material aglutinante, presentando una mayor

resistencia al impacto, así como mayor poder calorífico como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Selección de la configuración óptima para el proceso de fabricación y calidad de los pellets

Parámetros	Unidad	90%-10%	80%-20%	70%-30%
Diámetro	mm	8	8	8
Longitud	mm	10	10	10
Humedad	%wt	10	10	10
Poder calorífico	Mj/Kg	14.3962	14.4135	14.4460
Densidad	Kg/m ³	1862.10	1655.20	1448.30
Contenido de cenizas	%wt	19.81	18.92	17.43
Friabilidad	--	0.33	0.33	0.5

Fuente: Autores

En la tabla 6 se puede comparar las 3 configuraciones determinando cada una de las características fisicoquímicas, cabe recalcar que el contenido de cenizas es alto debido a que el proceso de fabricación de los pellets fue de tipo manual, lo que impide una mayor compactación de las partículas.

Una vez que se obtuvieron los resultados de esta prueba se puede apreciar que el pellet con la configuración de 100% de cáscara de arroz presenta un alto poder calorífico, y al adicionar el material aglutinante dado a las características del mismo incrementa su valor siendo la configuración de 70-30 mejor con respecto a las otras dos configuraciones, esto se debe a la mejor compactación de las partículas presentes en el mismo.

Los resultados que se obtuvieron del análisis de densidad mostraron que la configuración de 8 mm y 100% de cáscara de arroz es la más idónea a ser utilizada debido, mientras al combinar la cáscara de arroz ecuatoriano se pudo determinar que la configuración 90-10 reporta la mayor densidad de entre las 3 muestras, este en un factor importante en cuanto a la compactación del material particulado antes de volverse pellet.

El resultado obtenido de humedad es igual en todas las configuraciones, debido a las especificaciones de la norma de calidad internacional se realizó un secado previo de la materia prima, por consecuente el producto final al no pasar por ningún proceso de aumento de humedad esta se mantiene constante hasta el final del proceso.

Los resultados obtenidos de este ensayo dan a conocer el tiempo en que demora el pellet a sus diferentes configuraciones ser incinerado por completo,



manteniéndose en mejor condición el pellet de configuración 8 mm y 70-30, por encima de las otras 2 configuraciones.

El contenido de ceniza obtenido en las 6 configuraciones es mayor al especificado por las normas internacionales de fabricación de pellets, dado que la elaboración de los mismos fue de tipo manual en una peletizadora adaptada para el proceso, acondicionada por los mismos autores del presente trabajo, esto influye en la compactación de las partículas y al momento de la incineración provoca un desgaste mucho más rápido al habitual.

Este parámetro nos demuestra que a mayor porcentaje de aglutinante la resistencia al impacto será mucho mayor, el mejor resultado de friabilidad se obtuvo de la configuración de 6 mm y 70-30, mientras que los 2 restantes se mantienen iguales.

Una vez concluidos los análisis de calidad de los pellets de cáscara de arroz ecuatoriano y aglutinante, se determinó que la elaboración de los mismos es viable debido a que cumple con las especificaciones impuestas por las normas Agro y Agro+, destacando como mejor configuración la forma geométrica de 8 mm y 70% cáscara de arroz ecuatoriano y 30% material aglutinante obteniendo así la tabla 7.

Tabla 7. Comparación de los resultados obtenidos frente a las normas internacionales de calidad de pellets

Parámetros	Unidad	Agro+	Agro	70%-30%	Parámetros
Diámetro	mm	6-8	6-16	8	Diámetro
Longitud	mm	10-30	10-30	10	Longitud
Humedad	% wt	< 11	< 15	10	Humedad
Poder calorífico	MJ/kg	> 15	> 14	14.446	Poder calorífico
Densidad	kg/m ³	> 650	> 650	1448.3	Densidad
Contenido de cenizas	% wt	< 5	< 7	17.43	Contenido de cenizas

Fuente: Autores

4. Conclusiones

Se determinó que la configuración idónea para generación de energía es la de 70% cáscara de arroz ecuatoriano y 30% material aglutinante, siendo este apto para su utilización en hornos o calderas de tipo industrial.

La caracterización de los pellets de mezcla de cáscara de

arroz y material aglutinante mediante la determinación de las características fisicoquímicas permitió determinar la calidad de los mismos al cumplir con los estándares planteados por las normas internacionales Agro y Agro+, la adición de almidón de yuca como material aglutinante mejoró notablemente la friabilidad de los mismos.

El uso de los pellets de configuración 70-30 puede ser aprovechado por industrias que requieran grandes cantidades de energía obteniendo un ahorro significativo en comparación con los combustibles convencionales.

La utilización de pellets a nivel industrial busca impulsar la matriz de desarrollo productivo del país, generando nuevas maneras de regeneración de energía a través de residuos agroindustriales, generando de esta manera un valor agregado a los mismos.

Referencias.

- [1] C. G. A. & J. S. C. Ines Maria Rios, «Biocombustibles solidos: una solucion al calentamiento global,» 25 octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/BiocombustiblesSolidos.pdf>.
- [2] Edison, «Pellets agrícolas,» Grupo editorial Lumen, Buenos Aires, 2011.
- [3] Landires, «Estudio de Factibilidad del Uso de la Cascarilla de Arroz como Combustible para Secado de Arroz en Ecuador,» Guayaquil, 1995.
- [4] C. A. G. Carlos Andres Forero, «Produccion y uso de pellets de biomasa para la generacion de energia termica,» 26 febrero 2008. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/268746363_Produccion_y_uso_de_pellets_de_biomasa_para_la_generacion_de_energia_termica_Una_revision_a_los_modelos_de_l_proceso_de_gasificacion.
- [5] L. Pepiciello, «Concereal,» 25 Marzo 2011. [En línea]. Available: http://www.concereal.es/norma_EN14961-2.
- [6] R. Sikkema, «Final report on producers, traders and consumers of wood pellets,» European Commission, Vienna, 2009.
- [7] G. Palazzetti, «Palazzetti,» 15 Enero 2018. [En línea]. Available: http://www.palazzettigroup.com/es/mundo_palazzetti/2012/09/pellet_de_calidad_marcas_y_certificaciones.
- [8] W. H. R. Janssen, «Pelletsatlas,» 22 Octubre 2009. [En línea]. Available: https://pelletsatlas.info/wp-content/uploads/2015/09/D75_Standards_WIP_HFA_Fin_al091116.pdf.



- [9] A. Standards, «Austrian Standards,» 12 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://shop.austrian-standards.at/HeaderSearch.action?searchTerm=pellet&search-submit=&searchScope=full>.
- [10] I. A. S. Olmos, «apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz,» 01 marzo 2017. [En línea]. Available: <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/academico/Apunte-MORFOLOGIA.pdf>.
- [11] X. I. Hidalgo, «energética21,» 12 Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://www.energetica21.com/descargar.php?seccion=articulos&archivo=krrMI1uxULvYQ6WQ6DrPPnEQWBDEa0AAprMxh7k2HUPYP1pJpVZ50dJ.pdf>.
- [12] S. C. & G. Quezada, «"Los biocombustibles" el cotidiano,» 15 septiembre-octubre 2009. [En línea]. Available: <http://cache.oalib.com/cache?m=400600F22D9B7A3C6973A6EE5066887C.html>.
- [13] A. D. Gonzales, «Produccion de biocombustible de tercera generacion,» 10 septiembre 2009. [En línea]. Available: <http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/eventos/siquia/siquia2009pon12.pdf>.
- [14] A. M. K. Geraldine, «elaboracion y comercializacion de material de construccion a base de la cascarilla de arroz,» 27 noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7969/1/BCIEQ-%20T-%200002%20Alvarez%20Marcillo%20Kerly%20Geraldine.pdf>.
- [15] A. Prada, «la descomposicion termica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral,» *ORINOQUIA*, p. 16, 14 septiembre 2010.