



Estudio de las posibilidades de peletización de la cáscara del cacao ecuatoriano y su uso como biocombustible

Study of possibilities pelletizing cocoa shell Ecuador and their use as biofuel

Luis Velazquez-Araque

Jose Cárdenas Murillo

Vicente Carrillo

Jhonathan Valenzuela

Fecha de recepción: 10 de junio del 2015

Fecha de aceptación: 04 de julio del 2015

Estudio de las posibilidades de peletización de la cáscara del cacao ecuatoriano y su uso como biocombustible

Study of possibilities pelletizing cocoa shell Ecuador and their use as biofuel

Luis Velázquez-Araque¹, José Cárdenas Murillo², Vicente Carrillo³, y Jhonathan Valenzuela⁴

Como citar: Velázquez, L., Cárdenas, J., Carrillo, V., Valenzuela, J. (2015). Estudio de las posibilidades de peletización de la cáscara del cacao ecuatoriano y su uso como biocombustible. *Revista Universidad de Guayaquil*. 121(3), 79-84. DOI: <https://doi.org/10.53591/rug.v121i3.395>

Resumen

En Ecuador, existe una constante necesidad de generar energía térmica y eléctrica. De la misma manera, el calentamiento global causado por el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero y la búsqueda de la independencia energética, han creado una nueva industria enfocada en la generación de energía mediante el aprovechamiento de los recursos renovables. La biomasa se ha establecido como la tercera fuente principal para la producción de electricidad como fuente importante para la generación de energía térmica. Sin embargo, los problemas relacionados con la baja densidad de los diferentes tipos de biomasa y la dificultad en el traslado y almacenamiento han causado la necesidad de generar sólidos con densidad más alta y mayor dureza conocidos como pellets y briquetas. Este trabajo desarrolla un análisis de las posibilidades para peletizar la cáscara del cacao ecuatoriano y su uso como biocombustible. Varias configuraciones de pellets fueron propuestas basadas en la relación del diámetro y la longitud. Se desarrolló un montaje experimental para triturar y tamizar la cáscara del cacao con el fin de obtener un tamaño de partícula menor a 1.5mm. Luego los pellets fueron elaborados, usando una máquina de pequeña escala de pellets y finalmente quemados en una cámara de combustión para la evaluación del potencial energético por medio del poder calorífico superior y contenido de cenizas. Finalmente, la selección de la configuración del pellet más eficiente desde un punto de vista energético fue realizada, tomando en consideración las normas internacionales de calidad de pellets. Este proyecto a gran escala representaría un ahorro en los costos del sector industrial contribuyendo también a reducir las emisiones de contaminación del medio ambiente debido a la quema de combustibles fósiles y también evitando que la cáscara del cacao sea un foco de propagación de especies de *Phytophthora*, una causa importante de pérdidas económicas en la industria del cacao.

Palabras clave: biomasa, cáscara de cacao, biocombustibles, efecto invernadero, pellets

Summary

In Ecuador, there is a constant need to generate electric and thermal energy, also global warming caused by increased emissions of greenhouse gases and the pursuit of energy independence, have created a new industry focused on energy generation by harnessing renewable sources. Biomass is established as the third leading source for producing electricity as the main source for the generation of thermal energy. However, the problems related to the low density of the different types of biomass and the difficulty in carrying and storing have caused the need to generate solids with higher density and stronger hardness known as pellets and briquettes. This paper develops an analysis of the possibilities for pelletizing the Ecuadorian cocoa pod husk and its use as biofuel. Several pellets configurations were proposed based on the diameter and length ratio. An experimental setup was established to crush and screen the cocoa pod husk in order to obtain less than 1.5 mm particle size. Then the pellets were made using a small scale pellet machine and finally burned in a combustion chamber for the evaluation of the energy potential by means of the high heat value and ash content. Finally, the selection of the most energy efficient pellet configuration is made taking into consideration international pellet quality standards as well. This large-scale project would represent a cost savings in the Ecuadorian industrial sector leading further to lowering smog emissions into the environment from burning fossil fuels and also it would prevent the cocoa pod husk as a focus for the spread of *Phytophthora* species which is a main cause of economic losses in the cocoa industry

Keywords: biomass, cocoa shell, biofuels, greenhouse, pellets

¹ Ingeniero - Ph.D., Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: revistaug@ug.edu.ec

² Ingeniero Químico, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: revistaug@ug.edu.ec

³ Ingeniero Químico, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: revistaug@ug.edu.ec

⁴ Ingeniero Químico, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: revistaug@ug.edu.ec

Introducción

El cacao es un fruto natural producido en el Ecuador y de acuerdo con el Tercer Censo Agrícola de 2012, la producción del cacao del país fue 133.323 toneladas con una superficie cosechada de 390.176 hectáreas. La semilla es principalmente utilizada en la industria chocolatera y la cáscara del cacao (CPH) es utilizada para generar fertilizantes, pesticidas, etc., buscando explotar este tipo de residuos como materia prima [3]

El desarrollo de nuevas investigaciones en los últimos años sobre el uso de CPH para contribuir a la co-combustión o combustión completa, generando energía limpia en la industria y disminuyendo el consumo de combustible, conlleva a explorar posibilidades para la peletización de CPH y su uso como biocombustible enfocado en la contribución a la combustión dentro de los procesos industriales, en función de los siguientes parámetros: diámetro, densidad de partículas, valor de calor, humedad y contenido de ceniza [2]

La necesidad de generar energía eléctrica y térmica, el calentamiento global causado por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero, el aumento en los precios de los combustibles fósiles y la búsqueda de la independencia energética, han creado una nueva industria basada en generar energía mediante el aprovechamiento de los recursos renovables

La biomasa está constituida como el tercer recurso para producir electricidad como fuente principal para la producción de energía térmica. Sin embargo, los problemas relacionados con la baja densidad de los diferentes tipos de biomasa y dificultades en el transporte y almacenamiento han provocado la necesidad de generar sólidos con una mayor densidad y dureza, conocidos como pellets y briquetas [1]. Este trabajo busca desarrollar un análisis de las posibilidades de peletización de la cáscara del cacao y su uso como biocombustible.

Según Sikkema et al., 2009, en el informe final sobre los productores, consumidores y comerciantes de pellets de madera, varios parámetros físicos y químicos de pellets están enumerados siguiendo las normas francesas en la Tabla 1.

En una investigación anterior, Syamsiro et al., 2007, obtuvo resultados experimentales en la combustión de bio-pellets hechos con CPH de Indonesia, mostrando el potencial de este tipo de residuo agrícola para ser utilizado como alternativa de combustible para sistemas de combustión. El desarrollo de los

Tabla 1. Parámetros Físico-Químicos para las biomásas mezcladas de acuerdo a las normativas francesas. [6].

Parámetro	Unidades	Agro+	Agro
<i>Oiómetro</i>	<i>mm</i>	6 8	6 16
<i>Longitud</i>	<i>mm</i>	10 30	10 30
<i>!-!umedod</i>	<i>pz M.</i>	< 11	< 15
<i>Poder calorífico</i>	<i>MJ/kg</i>	> 5.5	> 14.7
<i>Densidad</i>	<i>kg/m3</i>	> 650	> 650
<i>Contenido de ceniza</i>	<i>% wt</i>	< 5	< 7

pellets propuestos y la evaluación experimental del potencial energético basado en su composición y la selección adicional de la configuración del pellet con la mayor eficiencia energética de acuerdo con las normas internacionales de calidad es el principal objetivo de esta investigación

De acuerdo con lo anterior, el desarrollo de esta investigación busca generar y aplicar tecnologías que apoyen la transformación de la matriz energética del Ecuador para el desarrollo social y económico, y también prevenir que la cáscara del cacao sea un foco para la propagación de especies de *Phytophthora*, un patógeno que produce pérdidas económicas importantes en la industria del cacao.

Materiales y métodos

Este estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad de Guayaquil, específicamente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Facultad de Ingeniería Química y el Laboratorio de Petróleos. La investigación se divide en las siguientes etapas:

Recolección de materia prima

La cáscara del cacao CCN-51, un tipo de cacao clonado del Ecuador (Figura 1) fue recogido y seleccionado de las fincas ubicadas en la provincia del Guayas, Ecuador.

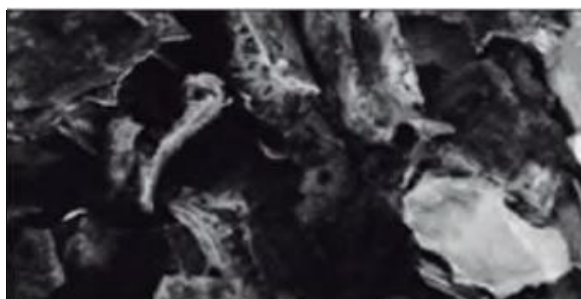


Figura 1. Muestra de cáscara del cacao tipo CCN-51 recolectada.

Secado: La materia prima pasó a través de un secado previo bajo la luz solar y a través de un secado con vapor para disminuir el porcentaje de humedad al 13% como se observa en la figura 2



Figura 2. Secado a vapor utilizando en la facultad.

Trituración: Con el fin de obtener el tamaño adecuado del material para la etapa de molienda, la cáscara del cacao fue triturada mediante un molino de martillos para obtener un tamaño de 8mm.

Molienda y tamizado: La cáscara del cacao se hizo pasar por un molino de bolas y luego tamizada para obtener un polvo con un tamaño de grano menor a 1 mm, siguiendo las referencias en [4] para una adecuada pelletización posterior.

Pelletizado: El material ya molido y evaluado, fue llevado a la máquina de pelletizado, la cual fue diseñada y construida durante este estudio siguiendo referencias anteriores [5].



Figure 3. Molino de bolas

En la Figura 4a es posible ver una prensa de tornillo construida para compactar el material y por lo tanto obtener pellets con dimensiones de acuerdo con las normas internacionales. Tres diferentes diámetros de 6mm(A), 8 mm (B), 10 mm (C) y 15 mm de longitud fueron estudiados. (Figura 4b).



Figura 4a. Prensa de tornillo construida por Dora para elaborar los pellets.

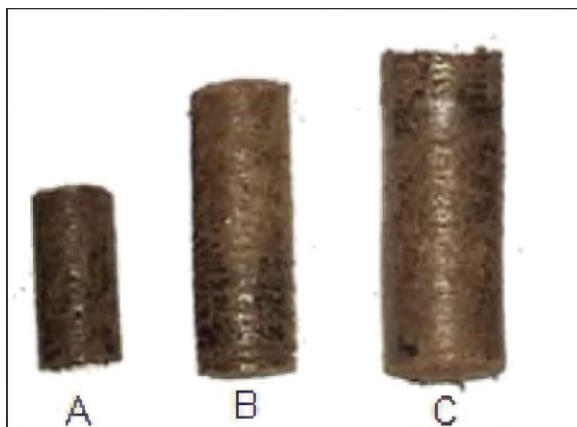


Figura 4b. Muestras de pellets para ensayos.

Análisis Físico-Químico: Durante esta etapa se realizaron pruebas de laboratorio que fueron realizadas en el Laboratorio de Petróleo de la Universidad de Guayaquil, certificado con las normas ISO 17025 para determinar la friabilidad, porcentaje de ceniza, humedad y mayor poder calorífico de las configuraciones de los pellets propuestos.

Selección: Después de obtener los resultados de las pruebas de laboratorio, se realizó un análisis para determinar cuál de las configuraciones de los pellets propuestos está en mejor acuerdo con las normas de calidad internacional para pellets.

Resultados y discusión

Para calcular el contenido de humedad de la materia prima, 2 muestras de la cáscara de cacao fueron secadas antes de la trituración y un horno a $80 + 5^\circ \text{C}$ durante aproximadamente 5 horas y luego se pesaron. Después de no observar variación alguna en el peso, el contenido de humedad fue calculado por medio de la ecuación. 1. Esto dio un resultado promedio del 13%. Esto, para una configuración de un pellet de 100% cáscara de cacao

$$MC = \frac{IW - DW}{DW} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

MC: Contenido de Humedad

DW: Peso del secado

IW: Peso Inicial

Luego, en la prensa de tornillo fueron elaborados los pellets de tres diámetros diferentes: 6, 8, 10 mm y con una longitud de 15 mm. Como dato de referencia, 25 unidades fueron producidas para cada configuración. Las pruebas de friabilidad fueron realizadas simultáneamente después terminando con un gran número de pellets de cada configuración, usando el método sugerido por Soto et al., 2008. Esta prueba consistía en lanzar una secuencia de pellets desde una altura de 1 metro, sobre un piso de cerámica y ver cuantas piezas se rompen. Después de ejecutar esta prueba, se determinó una relación entre los elementos iniciales y finales; posteriormente se calculó este parámetro por medio de la ecuación. 2.

$$FR = \frac{IE}{FE} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde.

FR: Friabilidad

IE: Cantidad inicial de

elementos

FE: Cantidad final de

elementos

En la figura 5, se muestran los resultados de friabilidad para las configuraciones probadas.

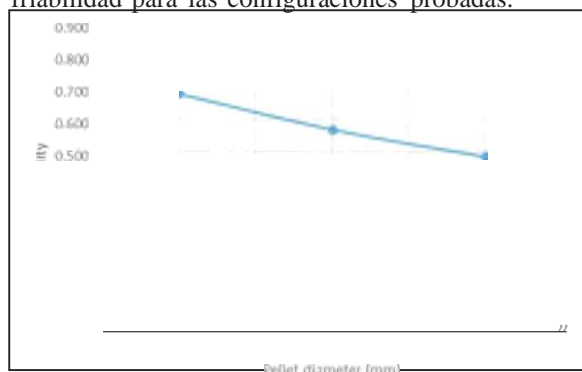


Fig. 5. Friabilidad los Dellets vs. diámetro.

De acuerdo a esto, la configuración de los pellets de 6mm (A) muestra la mejor consistencia y por lo tanto una mayor resistencia al impacto y mantiene su forma durante más tiempo que las otras configuraciones probadas.

Ensayos del poder calorífico superior (HHV)

Los resultados de estos análisis fueron obtenidos por medio de una bomba calorimétrica de oxígeno (Figura 6)



Fig. 6. Bomba calorimétrica de oxígeno usada para los ensayos del poder calorífico superior.

Las muestras de la cáscara del cacao de un gramo, fueron seleccionadas y luego ensayadas con este equipo. Para obtener el valor del poder calorífico superior, se utilizó la ecuación 3

$$HHV = C_{bomb} \times \Delta T - Q_w \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde,

HHV: Poder calorífico superior (kcal/kg)

C_{bomb}: Capacidad calorífica de la bomba (kcal/°C)

ΔT: Diferencia de Temperatura de agua (°C)

Q_w: Masa de combustible (g)

Q_w: Calor de oxidación del alambre fusible. (kcal).

De esta manera, el valor del poder calorífico para la cáscara del cacao, dio como resultado un promedio de 20,2 MJ/kg. en comparación con los resultados de Higman, 2003 y Syam siro et al., 2007. el valor de calor alto obtenido para la evaluación de la cáscara del cacao ecuatoriano CCN-5 1 es superior en 26,25% y 18,88% respectivamente.

Efecto de la dimensión de los pellets en las pérdidas de masa

En la Figura 7 se puede observar el efecto de la dimensión de los pellets en las pérdidas de la masa de CPH. El pellet de diámetro de 10mm produjo la

pérdida de masa más rápida de CPH. Seguido por el pellet diámetro de 8 mm y, finalmente, el pellet de diámetro de 6mm, el cual produjo la pérdida de masa más lenta.

Según Syamsiro et al., 2011, la relación del área de superficie del pellet con respecto a su masa (R) es un parámetro importante para la reacción de combustión. Este parámetro fue calculado para todas las configuraciones de los pellets y resultó en

Tabla 2. Relación entre el área superficial y la masa de los pellets de diferentes diámetros.

	A ($\phi = 6\text{ mm}$)	B ($\phi = 8\text{ mm}$)	C ($\phi = 10\text{ mm}$)
$R(\text{cm}^2/\text{g})$	9.69	5.76	5.01

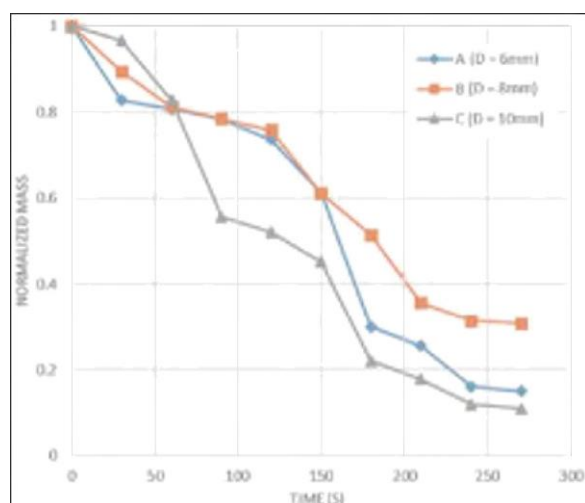


Figura 7. Masa normalizada vs. Tiempo para los pellets de diferente diámetro.

Contenido de Ceniza

El contenido de ceniza fue calculado como la relación de la masa al final de la combustión respecto a la masa inicial de los pellets y sus resultados son mostrados en la tabla 3

Table 3. Contenido de cenizas para pellets de diferentes diámetros.

	A ($D = 6\text{ mm}$)	B ($D = 8\text{ mm}$)	C ($D = 10$)
Contenido de Cenizas (@ wt)	10.07	30.81	10.92

Debido a que tomó mayor tiempo para los pellets del tipo B para quemarse completamente, el contenido de ceniza es más alto seguido por el tipo C y finalmente por el tipo A

Conclusión

Con esta investigación, fue posible proponer un método para la fabricación de pellets de la cáscara del cacao y de esta manera confirmar la posibilidad de peletización de este residuo agrícola. En términos de friabilidad, la composición de los pellets de 100% cáscara del cacao (CPH) mostró una buena respuesta. De acuerdo con el valor del poder calorífico superior, la cáscara de cacao ecuatoriano CCN 51 ha mostrado resultado muy prometedor como biocombustible en comparación con las referencias extranjeras. El estudio del efecto de la dimensión de los pellets confirmó los resultados anteriores de las referencias que indican que un área superficial mayor proporciona la pérdida más rápida de masa del pellet. Por lo tanto, la mejor configuración del pellet resultó la del diámetro de 10 mm y una longitud de 15 mm. Estos resultados confirman el potencial de la cáscara del cacao como biocombustible y llevan a proponer nuevas posibilidades para el uso de una energía más limpia

Trabajo futuro

El siguiente paso en esta investigación será estudiar el rendimiento de los pellets de CPH con materiales aglutinantes en términos de valor del poder calorífico y la reacción de combustión.

Agradecimientos

La divulgación de los resultados de esta investigación fue apoyada por la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil y el Proyecto Prometeo de la Secretaría Ecuatoriana de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Universidad de Guayaquil

Referencias

- Brenes O., (1990): "Posibilidades de la utilización de los subproductos del beneficio del cacao: la cáscara de cacao constituyen un subproducto". Seminario Regional sobre Tecnología Postcosecha y Calidad Mejorada del cacao. Turrialba, Costa Rica.
- International Cocoa Organization, (201 A): Annual Report 2012/2013, London United Kingdom, Ministerio de agricultura, ganadería y pesca; Sistema de Información Nacional de agricultura, ganadería, Acuicultura y Pesca, censos y encuestas 2012, 2014.
- Syamsiro M., Saptoadi H., Tambunan B.H. (2011): "Experimental Investigation on Combustion of Bio Pellets from Indonesian Cocoa Pod Husk". Asian Journal of Applied Sciences.
- Soto G., Núñez M. (2008): "Fabricación de Pellets de Carbonilla Usando Aserrín de Pinus radiata (D. Dong) como Material Aglomerante". Maderas, Ciencia y Tecnología. Vol. 10, n.2.
- Sikkema R., Steiner M., Junginger M., Hiegel W., (2009): "Final Report on Producers, Traders and Consumer of Wood Pellets". Pelets@las.
- Higman, M. V. d. Burgt (2009): "Gasification", Elsevier.



Ing. Luis Velazquez-Araque, PhD.
Prometeo Universitario de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.
Ing. guim. Jose Cárdenas Murillo
Docente Universitario de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.
Ing. guim. Vicente Carrillo
Docente Universitario de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.
Ing. guim. Jhonathan **Valenzuela**
Docente Universitario de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.