

# Caracterización físico-química del cuesco y fibra obtenidos del procesamiento de palma africana para un aprovechamiento eficiente de la energía térmica en calderas

Physicochemical characterization of shell and fiber obtained from oil palm processing for an efficient thermal energetic benefit in boilers

**William Alexis Paucar Caiza**

Ingeniero en Petróleos. Magíster en Gestión Ambiental

Escuela Politécnica Nacional

[william.paucar@epn.edu.ec](mailto:william.paucar@epn.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-1601-2404>

**Rodolfo Jefferson Rubio Aguiar**

Magíster en Administración de Empresas.

Experto en Eficiencia Energética.

Universidad Internacional SEK

[rodolfo.rubio@uisek.edu.ec](mailto:rodolfo.rubio@uisek.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-2665-016X>

PERSPECTIVAS

[https://revistas.uniminuto.edu/index.php/](https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Pers/issue/view/195)

[Pers/issue/view/195](https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Pers/issue/view/195)

ISSN 2145-6321

e-ISSN 2619-1687

Vol 6 - No. 21, 2021

110-126



RECIBIDO : ABRIL 18 -2021

ACEPTADO: SEPTIEMBRE 13 - 2021

## RESUMEN

En este estudio se realizó la caracterización fisicoquímica del cuesco y fibra obtenidos del procesamiento de palma africana con el fin de determinar las condiciones óptimas para un aprovechamiento eficiente de la energía en el proceso de combustión en calderas de biomasa. Los residuos de cuesco y fibra se obtuvieron de una empresa palmicultora ubicada en la región costa del Ecuador. Se realizaron los siguientes ensayos: contenido de cenizas, humedad, análisis granulométrico, densidad y poder calórico. De los análisis de laboratorio, se obtuvieron resultados de humedad, poder calórico y porcentaje de cenizas dentro del rango necesario para una combustión eficiente. En el análisis granulométrico se determinó la distribución de tamaños del cuesco y se realizaron pruebas de fluidizado en un secador de lecho fluido con el fin de observar el comportamiento de las partículas de cuesco y fibra en la columna de fluidización. Se realizaron pruebas de fluidizado utilizando un porcentaje determinado de cuesco y fibra. En las pruebas de fluidización se observó que no es posible obtener una mezcla homogénea del cuesco y la fibra; como consecuencia, la combustión en calderas será menos eficiente.

**Palabras Clave:** palma africana, poder calórico, aprovechamiento eficiente de energía, combustión en calderas, pruebas de fluidizado análisis granulométrico.

## ABSTRACT

In this study, the physicochemical characterization of the shell and fiber obtained from the processing of African palm was carried out in order to determine the optimal conditions for efficient use of energy in the combustion process in boilers. The shell and fiber residues were obtained from a palm oil company located in the coast region of Ecuador. The following tests were carried out: ash content, moisture content, grain size analysis, density and calorific value. From laboratory analyzes, results of moisture content, calorific value, and ash percentage were obtained within the necessary range for efficient combustion. In the granulometric analysis, the size distribution of the shell was determined and fluidizing tests were carried out in a fluid bed dryer in order to observe the behavior of the shell and fiber particles in the fluidization column. Fluidization tests were carried out using a certain percentage of shell and fiber. In the fluidization tests it was observed that it is not possible to obtain a homogeneous mixture

of the shell and the fiber, as a consequence the combustion in boilers will be less efficient.

**Keywords:** African palm, calorific value, efficient use of energy, combustion in boilers, fluidized tests, granulometric analysis.

### Introducción

La palma africana (*Elaeis guineensis*) es uno de los cultivos agroindustriales más grandes en Ecuador, ya que, ocupa una gran cantidad de mano de obra en las diferentes fases de campo, productiva y de industrialización. este cultivo ha alcanzado importancia económica gracias a la demanda del mismo a nivel mundial, esto se evidencia en un aumento de las plantaciones en el Ecuador de un 187 % entre los años de 1995 y 2005 (Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana [Ancupa], 2011).



**Figura 1.** Fibra y cuesco obtenidos del procesamiento de palma africana

El aceite de palma africana se obtiene de la parte pulposa de la fruta, en este proceso se utilizan algunas operaciones de tipo convencional y de las cuales se derivan subproductos como raquis (racimos vacíos), torta de palmiste, cuesco, fibra y efluentes. Es un gran desafío para esta industria la disposición y aprovechamiento de los subproductos antes mencionados ya que estos pueden ser reaprovechados o desechados, pero antes deben someterse a algún tratamiento previo (Ocampo, 1994).

El proceso de extracción de la palma africana se realiza en forma mecánica. Además algunos subproductos que se obtienen del procesamiento de la misma como el cuesco y la fibra pueden ser utilizados para producir vapor de agua, mismo que se utiliza para la autogeneración de energía eléctrica y para cocinar la fruta en los esterilizadores de la planta de procesamiento de palma africana (Ministerio de Comercio Exterior, 2017).

El cuesco de palma africana puede ser usado como combustible alternativo tanto para uso industrial como comercial, además es un buen sustituto del diésel y GLP. El uso de cuesco de palma africana como alternativa para producir energía térmica puede generar importantes ahorros, además la inversión en la implementación de la infraestructura asociada al proceso de producción de la misma puede recuperarse entre 4,3 y 3,8 años. Por otro lado, la legislación del Ecuador brinda incentivos tributarios al uso de energías renovables (Heredia, 2017).

Por otro lado, los análisis experimentales del proceso de combustión de biomasa, específicamente del cuesco de palma africana, muestran que las temperaturas alcanzadas son muy similares a los valores que se reportan en la literatura de combustión de biomasa. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la operación en condiciones de altura (2.634 m s. n. m.), tal como se da en algunos casos en el Ecuador, necesita un exceso de aire que se encuentre por encima de los valores comunes utilizados a condiciones normales. Durante el proceso de combustión se generan cantidades de ceniza, las cuales requieren de tratamientos y estudios a profundidad (Heredia, 2017).

Actualmente, la fibra y el cuesco se mezclan y se queman a diferentes porcentajes en calderas de vapor sin un tratamiento previo, por lo tanto, se debe considerar que sin un tratamiento previo la combustión de la fibra no es una buena alternativa para obtener energía, como consecuencia hay un gran interés por métodos rentables de refinamiento y compactación de la misma con el fin de aprovechar al máximo su energía (Van Dam, 2016).

## 2. Materiales y métodos

La caracterización de la biomasa es muy importante, ya que, se puede prever el comportamiento de la misma en las diferentes fases involucradas en su uso como fuente de energía (obtención, transporte y conversión energética). Las propiedades de la biomasa que fueron estudiadas son: físicas y químicas (Gaona, 2014).

### Caracterización física del cuesco y la fibra

#### Humedad

Es la cantidad de agua total que contiene la masa de una muestra de biomasa, es decir, es el contenido de agua por kilogramo de materia seca (Gaona, 2014). Para determinar la humedad de los residuos de biomasa (cuesco y fibra) se tuvo en cuenta la norma TAPPI-T-412m. Se utilizó la siguiente ecuación para calcular la humedad:

$$\%H = \frac{M_o - M_f}{M_o} * 100$$

Donde:

Mo: Masa inicial (g)

Mf: Masa final (g)

#### Distribución de tamaños

*Granulometría:* sirve para determinar la distribución por tamaños de las partículas de un árido. Se utilizan cedazos

o tamices con el fin de conocer la distribución de tamaños de las partículas de una muestra de árido (García et al., 2009). Para la caracterización física se realizó el análisis granulométrico utilizando una muestra considerable equivalente a 1300g y un sistema de tamices manual Soiltest INC., y se procedió a realizar el tamizado manual para obtener diferentes tamaños de cuesco en cada tamiz.

## **Cálculo de la densidad real y aparente del cuesco**

### **Densidad real**

Es la medida del cambio de volumen provocado por el desplazamiento de un fluido por un peso conocido de granos (Levenspiel, 1993).

$$\rho_r = \frac{m_r}{V_r}$$

Para el cálculo de la densidad real del cuesco se utilizó el principio de Arquímedes (Hewitt, 2009).

### **Densidad aparente**

Es la medida del volumen que ocupa un peso conocido de partículas.

$$\rho_a = \frac{m_a}{V_a}$$

Para el cálculo de la densidad aparente se utilizó el método de la probeta.

## **Caracterización química del cuesco y la fibra**

### **Contenido de cenizas**

El contenido de cenizas nos brinda información acerca de la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. Las cenizas son un tipo de residuo

inorgánico que queda después de la combustión del carbón fijo (Gaona, 2014).

La determinación del contenido de cenizas se realizó con base en el método de ensayo BS EN 14775:2009, que corresponde a la norma para la determinación del contenido de cenizas de biocombustibles sólidos.

Ecuación para el cálculo del contenido de cenizas:

$$CZ = \left[ \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} * 100 \right] * \left( \frac{100}{100 - H} \right)$$

Donde:

m1: masa del crisol vacío y limpio

m2: masa en gramos del crisol y la muestra antes del ensayo

m3: masa en gramos del crisol y la muestra después del ensayo

H: contenido de cenizas.

### **Poder calórico**

El poder calórico de un combustible es el calor que se desprende por unidad de masa de combustible en un proceso de combustión completa. El poder calórico de un combustible es una indicación de la energía químicamente combinada en el combustible referente a un ambiente estandarizado. La estandarización implica la temperatura, el estado del agua (vapor o líquido) y los productos de la combustión (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, etc.) (Toscano,2009).

Los ensayos para obtener el poder calórico del cuesco y la fibra se realizaron en el laboratorio de Biomasa del INER-Ecuador utilizando una bomba calorimétrica.

### **Pruebas de fluidizado en el secador de lecho fluido**

Posteriormente, se procedió a realizar las pruebas de fluidización en el secador de lecho fluido que se encuentra en el Laboratorio de Química de la UISEK. El secador fue diseñado y construido por estudiantes de pregrado de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK. Se utilizó un secador con características básicas.

El secador de lecho fluido se constituye de las siguientes partes:

- Estructura de soporte
- Sistema de calentamiento de aire
- Ventilador centrífugo (*blower*)
- Cámara de calentamiento
- Distribuidor de aire y cámara de secado.



**Figura 2.** Secador de lecho fluido

### 3. Resultados

Se realizaron ensayos de laboratorio por triplicado del cuesco y de la fibra. Los resultados se presentan a continuación:

**Tabla 1.** Cálculos de humedad del cuesco y fibra

Muestra	Porcentaje de cuesco (%)	de humedad	Porcentaje de humedad fibra (%)
M1	19,674		37,483
M2	19,592		38,423
M3	19,598		37,832
<b>PROMEDIO</b>	<b>19,621</b>		<b>37,913</b>

### Análisis granulométrico

Se realizó el proceso de tamizado y se procedió a medir la masa de la muestra que quedó retenida en cada tamiz, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2.** Resultados del proceso de tamizado

Malla #(in)	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (g)	% parcial retenido	% retenido acumulado	% que pasa
3/4	19,00	158,31	12,18	12,18	87,82
1/2	12,50	156,76	12,06	24,24	75,76
3/8	9,50	780,21	60,02	84,25	15,75

1/4	6,35	40,06	3,08	87,33	12,67
4	4,75	36,70	2,82	90,16	9,84
10	2,00	38,27	2,94	93,10	6,90
80	0,14	50,31	3,87	96,97	3,03
100	0,074	38,07	2,93	99,90	0,10
<b>Sumatoria</b>		1298,70	99,89		

Al realizar la sumatoria del peso retenido en cada tamiz, al final tuvimos un error de 0,1 %, que se considera como un valor bajo, el error que existe se debe a pérdidas de los residuos en el proceso del tamizado. La muestra retenida en la malla de 3/8" es la que predomina en la muestra seleccionada inicialmente para el análisis.

### Densidad real y aparente

Para obtener los valores de las densidades del cuesco y la fibra se realizaron ensayos por triplicado en el Laboratorio de Química de la UISEK.

**Tabla 3.** Cálculos de la densidad real y aparente del cuesco

Muestra	Cuesco		Fibra
	Densidad real (g/cc)	Densidad aparente (g/cc)	Densidad aparente (g/cc)
1	1,415	0,495	0,081
2	1,386	0,473	0,069

3	1,354	0,522	0,063
<b>Promedio</b>	<b>1,385</b>	<b>0,497</b>	<b>0,071</b>

### Contenido de cenizas

Al medir el contenido de cenizas se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4.** Cálculos del contenido de cenizas del cuesco

Muestra	Porcentaje de cenizas cuesco (%)	Porcentaje de cenizas fibra (%)
1	5,591	9,063
2	5,832	10,720
3	5,923	9,874
<b>Promedio</b>	<b>5,782</b>	<b>9,886</b>

### Poder calórico

Después de realizar los ensayos por triplicado del poder calórico superior del cuesco y la fibra en los laboratorios de INER se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 5.** Capacidad calórica del cuesco y la fibra

Muestra	Cuesco PCS(MJ/kg)	Fibra PCS(MJ/kg)
1	20,22	19,84
2	20,24	19,65
3	20,23	19,71
<b>Promedio</b>	<b>20,23</b>	<b>19,73</b>

### **Pruebas de fluidización en el secador de lecho fluido**

Para determinar el efecto de fluidización en la combustión de calderas, se realizaron pruebas de fluidización a condiciones de laboratorio, es decir a presión y temperatura constantes.



**Figura 3.** Pruebas en secador de lecho fluido

Se realizó la mezcla de cuesco y fibra con la cantidad de 70 % cuesco y 30 % fibra que es el óptimo que se utiliza en la palmicultora en la cual se obtuvieron las muestras:

Masa total (cuesco y fibra) = 280g

Masa de la fibra (30 %) = 84g

Masa del cuesco (70 %) 196g

Se realizaron pruebas con el fin de observar el comportamiento del cuesco y la fibra en la columna de fluidización del secador de lecho fluido.

Para la comparación de resultados del análisis fisicoquímico del cuesco y la fibra, se tomó como referencia los estudios realizados por (Soh, 2016a) en “The potential of the Malaysian oil palm biomass as a renewable energy source”. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6.

**Tabla 6.** *Propiedades de combustión para biomasa de palma de aceite*

<b>Biomasa</b>	<b>Contenido de humedad(%b.s.)</b>	<b>Contenido de cenizas(%b.s.)</b>	<b>Contenido de materia volátil(%b.s.)</b>	<b>Poder calorífico superior (MJkg<sup>-1</sup>)</b>
Tusa	67.00±1.41	4.60±0.50	87.04±0.42	18.88±0.74
Fibra	37.09±2.06	6.10±0.94	84.91±0.62	19.06±0.32
Cuesco	12.00± 1.08	3.00±1.27	83.45±0.68	20.09±0.43

(b.s.)En base seca.

Fuente: adaptado de Soh (2016 a).

En este estudio se realizaron ensayos de laboratorio para corroborar o contrastar los resultados obtenidos por Soh (2016a), el objetivo fue determinar si los valores obtenidos experimentalmente están dentro del rango necesario para una combustión eficiente.

Los valores obtenidos experimentalmente del porcentaje de cenizas 5,782 % para el cuesco y 9,886 % para la fibra son bajos y muy similares a los valores obtenidos por Soh (2016a), los cuales son: contenido de cenizas del cuesco 3 % y 6,10 % para la fibra.

Estos resultados se corroboran cuando se dice que el contenido de cenizas de la biomasa en calderas debe ser bajo, debido a que un alto contenido de cenizas disminuye el contenido calórico del combustible; como consecuencia, disminuye el rendimiento térmico de la caldera, ya que, se reduce la temperatura de combustión cuando la ceniza absorbe calor e interfiere entre el contacto del combustible y comburente (Gaona, 2014). Los valores obtenidos experimentalmente del poder calórico superior 20,23MJ/kg para el cuesco y 19,73 MJ/kg para la fibra, son valores altos y muy similares a los que se muestran en los estudios de Soh (2016a), los cuales son: 20,09MJ/kg para el cuesco y 19,06MJ/kg para la fibra. Por otro lado, el valor del contenido de humedad del cuesco cuyo valor es 19,621 %, difiere con el valor obtenido por Soh (2016a), cuyo valor para el cuesco es 12 %, dando una diferencia relativamente amplia entre el valor calculado y el valor referencial, sin embargo, los valores de humedad obtenidos en este estudio están dentro de los parámetros de humedad óptimos para la combustión de biomasa en calderas. Así, la humedad es un factor muy importante en la combustión de la biomasa, cuyo valor debe ser menor al 40 % (Soh, 2016b). Además, un elevado porcentaje de humedad minimiza la eficiencia en la combustión, esto debido a que el calor liberado es usado para la evaporación del agua y no es aprovechado para reducir químicamente el material en cuestión (Martínez, 2015). La densidad aparente del cuesco es 0,497g/cc y de la fibra es 0,0713 g/cc, los cuales son bajos.

Por lo tanto, los materiales que presentan una densidad aparente baja necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte,

además, algunas veces presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión y eleva los costos del proceso (Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central [FOCER], 2002, p. 11).

En lo que se refiere al análisis granulométrico, se determinó que existe mayor peso de cuesco retenido en el tamiz de 3/8", esto quiere decir que el tamaño de esta muestra incidirá mayormente en las pruebas de fluidización, así como también en el proceso de combustión ya que el tamaño de la partícula afecta la combustión de la biomasa, por tanto, "es de vital importancia siempre reducir el tamaño de partícula para aumentar la superficie útil sobre las que se puedan dar las reacciones de oxidación" (Gaona, 2014, p. 12).

Al realizar las pruebas de fluidizado en el secador de lecho fluido, no se logró que el contacto entre el aire caliente y el combustible sea adecuado, es decir, que todas las partículas estén rodeadas por aire caliente, ya que, se detectaron masas de fibra que aparecían en la columna de aire, originando que no todas las partículas estén en contacto con el aire caliente, esto genera que no se complete el proceso de combustión y por ende un bajo aprovechamiento energético. Para mitigar este efecto se necesitaría una elevada turbulencia en la cámara de combustión y optimizar la distribución de aire de combustión a través de toberas de inyección dirigidas a las zonas con presencia de combustible y llama (Cigalat, 2012).

#### **4. Conclusiones**

Los valores obtenidos en la caracterización química del cuesco y la fibra para determinar su potencial energético se encuentran dentro de los rangos reportados como óptimos para una combustión más eficiente en calderas de biomasa. Los valores obtenidos de la caracterización física del cuesco y la fibra permitieron determinar las condiciones necesarias para una combustión más eficiente en calderas de biomasa.

Al realizar las pruebas de fluidizado no se logró obtener una mezcla uniforme del cuesco y la fibra, esto hace que el contacto entre el aire caliente y el combustible no sea adecuado y, por tanto, no se genere una combustión eficiente.

## Referencias

- Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana. (2011). *Estadísticas de la producción de palma africana en el Ecuador*. [https://issuu.com/ancupa/docs/palma\\_nov](https://issuu.com/ancupa/docs/palma_nov)
- Cigalat, E. (2012). *Factores que afectan al rendimiento de una calera de combustión de biomasa*.
- Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central. (2002). *Manual sobre energía renovable (biomasa)*. [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/5EA2E564AF6F41D405257CC1005B2354/\\$FILE/Manuales\\_sobre\\_energ%C3%ADa\\_renovableBIOMASA.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/5EA2E564AF6F41D405257CC1005B2354/$FILE/Manuales_sobre_energ%C3%ADa_renovableBIOMASA.pdf)
- García, C., Saval, J., Baeza, F. y Tenza, A. (2009). *Determinación de la granulometría de un árido*. Universidad de Alicante - *Prácticas de Materiales de Construcción I.T.O.P – Práctica N° 3*. (Curso 2.008 – 2.009). [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10998/3/Pr%C3%A1ctica%20N%C2%BA%203%20\\_Granulometria%20I\\_.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10998/3/Pr%C3%A1ctica%20N%C2%BA%203%20_Granulometria%20I_.pdf)
- Gaona, D. (2014). *Mezcla de cascarilla de nuez de palmiste y raquis como combustible alternativo para generación eléctrica (tesis de pregrado)*. Carrera de Ingeniería Química, Universidad Central, Quito, Ecuador
- Heredia, M. (2017). *Cuesco de palma africana, un nuevo combustible para uso comercial en Ecuador: análisis económico y evidencia experimental*. Coordinación General del Sistema de Información Nacional – CGSIN. 10.13140/RG.2.2.19364.07042
- Hewitt, P. G. (2009). *Conceptos de física*. Editorial Limusa S.A. de C.V.

- Levenspiel, O. (1993). *Flujo de fluidos e intercambio de calor*. Oregon State University.
- Martínez, A. (2015). *Diferencia entre poder calorífico inferior y superior de la biomasa*.
- Ministerio de Comercio Exterior. (2017). *Informe sobre el sector palmicultor ecuatoriano*. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/informe-palma-esp%C3%B1ol-.pdf>
- Ocampo, A. (1994). *La palma aceitera africana, un recurso de alto potencial para la producción animal en el trópico*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación.
- Soh, L. (2016a). The potential of the Malaysian oil palm biomass as a renewable energy source. *Energy Conversion and Management*, 141, 285-298. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.081>
- Soh, L. (2016b). Biocombustibles de segunda generación de la biomasa de palma de aceite. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), pp. 137-148.
- Toscano, L. y Barriga, A. (2009). Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión de biomasa. *Revista Tecnológica ESPOL*, (oct.), 1-10. <https://core.ac.uk/download/pdf/12391539.pdf>
- Van Dam, J. (2016). Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), pp. 149-156.