

# Estudio experimental de la combustión de la cascarilla de arroz en una cámara de lecho fijo

Luis Tipanluisa<sup>1</sup>, Gustavo Moreno<sup>2</sup>, José Guasumba<sup>3</sup>, Santiago Celi<sup>4</sup>, Jaime Molina<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidad Internacional SEK, luis.tipanluisa@uisek.edu.ec

<sup>2</sup> Universidad Internacional SEK, gustavo.moreno@uisek.edu.ec

<sup>3</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sjguasumba@espe.edu.ec

<sup>4</sup> Universidad Internacional SEK, santiago.celi@uisek.edu.ec

<sup>5</sup> Universidad Internacional SEK, jaime.molina@uisek.edu.ec

Recibido: 23-12-2014. Aceptado después de revisión: 25-03-2015

---

**Resumen.** Este artículo presenta un estudio experimental de la combustión de la cascarilla de arroz, donde se realiza la estimación de la densidad energética, basado en un estudio de campo en las ciudades de Quevedo y Ventanas. Se determina su poder calorífico superior, y su contenido de humedad según la Norma UNE-EN 14774. Se establece que la cascarilla de arroz debe ingresar a la cámara de combustión de lecho fijo con una humedad inferior al 15% para reducir las emisiones de CO, cenizas y hollín. 14 kg/h de cascarilla de arroz fueron quemados, y se obtuvo 34.01 kW térmicos por hora sobrepasando los 650 °C de temperatura. La partícula de cascarilla de arroz permanece en combustión durante un tiempo promedio de 4 segundos.

**Palabras Claves:** cascarilla de arroz, celulosa, temperatura de encendido.

**Abstract.** This paper shows an experimental study of the combustion of rice husk, based on an estimation of the energy density, based on a field study in the cities of Quevedo and Ventanas. The gross calorific value is determinate, and its moisture content according to the UNE-EN 14774. It was establish that rice husk must enter to the combustion chamber of fixed bed with humidity below 15% to reduce CO emissions, ash and soot. 14 kg/h of rice husk was burn and it was obtain 34.01 kW thermal per hour exceeding 650 °C temperature. Each rice husk particle remained burning during 4 seconds on average.

**Keywords:** cellulose, ignition temperature, rice hulls.

## 1. Introducción

Uno de los residuos agroindustriales más importantes que dispone el Ecuador es la cascarilla de arroz, al hacer referencia a un residuo vegetal generado en el proceso productivo del arroz. El Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP) en una de sus publicaciones manifiesta que el residuo del arroz en promedio corresponde a un 22% del total de la producción. También algunos estudios indican que la cubierta del arroz, en peso corresponde 20-25% [1]. A su vez, su valor calorífico esta entre 13-15 MJ/kg el cual es uno de los más bajos para combustibles de la biomasa leñosa [2]. Se conoce que a pequeña escala esta biomasa se utiliza para aislamientos térmicos, abono, y para procesos de combustión en ladrilleras, secadoras de grano; En el ámbito de la construcción se pueden producir fibras, para elaboración de paneles dado su carácter de ignífuga y de baja conductividad térmica [3]. La cascarilla de arroz es un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice, elementos que ayudan a su buen rendimiento como combustible [4]. Se realiza este estudio experimental de combustión a fin de obtener datos para valorar su aprovechamiento.

### 1.1 Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz utilizada fue recolectada de la ciudad de Ventanas. En la tabla 1 se muestran las propiedades de este residuo, análisis próximo, análisis último determinado según la Norma ASTM E870-82 [5] y el análisis de los componentes [6].

Tabla 1. Propiedades de la cascarilla de arroz.

Análisis próximo (%)		Análisis último (%)		Análisis de los componentes <sup>a</sup> (%)	
Volátiles	59	Carbón	39.6	Celulosa	34.4
Humedad	7.4	Oxígeno	37.52	Hemicelulosa	29.3
Cenizas	19.3	Silicio	15.21	Lignina	19.2
		Hidrógeno	4.97	Cenizas	17.1
		Nitrógeno	1.83		
		Azufre	0.4		

<sup>a</sup> Williams, P. Nugranad, N. (2000) Comparison of products from the pyrolysis and catalytic pyrolysis of rice husks.

### 1.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad se determina mediante la Norma UNE-EN 14774 para lo cual se debe conocer el peso húmedo, lo que se hace comparando el peso normal y el peso seco, que se determina manteniendo la biomasa en una estufa a 105 °C hasta que dos pesadas consecutivas sean iguales.

### 1.3 Combustión

Para una adecuada combustión de la biomasa se debe controlar un contenido de humedad inferior al 15% [7], un adecuado suministro de la biomasa y el balance energético de la cámara de combustión [8], para obtener una combustión balanceada, evitar el exceso de gases contaminantes y aprovechar al máximo su contenido energético.

### 1.4 Eficiencia de la combustión de biomasa

Se pueden indicar rendimientos de la biomasa que están entre el 25 y el 35% cuando se produce vapor de alta presión para la generación de electricidad [7]. Entre los residuos que pueden ser combustionados para obtener energía térmica y eléctrica, están todos aquellos que resultan de las operaciones procedentes directamente del laboreo y transformación agrícola, o de procesos industriales donde interviene materia prima vegetal, como cáscara de almendra, cascarilla de arroz, serrín, viruta, recortes de chapa de madera, etc.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Materiales

El sistema térmico utilizado para combustionar la cascarilla de arroz que se muestra en la Figura 1, consiste de una cámara de combustión de lecho fijo de 0.3 m<sup>3</sup>, intercambiador de calor de tres etapas en tubos, tolva de carga, sistemas para circulación de aire forzado y mecanismo de alimentación.

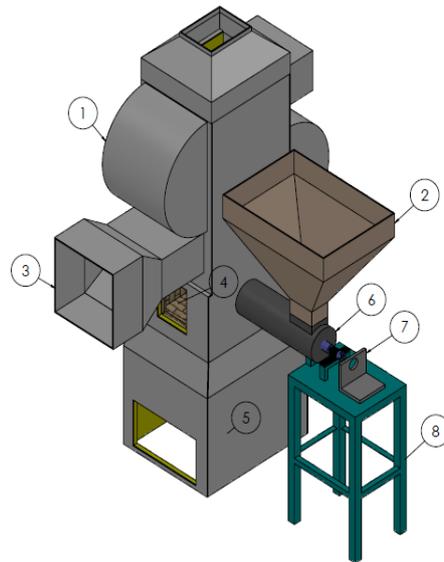


Figura 1. Sistema térmico de combustión de biomasa.



Figura 2. Mecanismo de control motor-reductor y variador de velocidad.

La alimentación de la cascarilla de arroz se realiza mediante un mecanismo de control motor-reductor y variador de velocidad, como se muestra en la Figura 2.

## 2.2 Método

El estudio experimental se realiza en tres fases, primero se determina el poder calorífico de la cascarilla de arroz, luego se establece su contenido de humedad y finalmente se combustiona la biomasa en la cámara de lecho fijo utilizando el sistema térmico.

El poder calorífico de la biomasa se obtiene mediante la ecuación (1) [9], en donde se calcula la aportación calorífica de los componentes elementales carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre, de acuerdo a su proporción en por ciento de la biomasa base seca, expresándose el resultado en MJ/kg.

$$\begin{aligned}
 PCS = & \left( 1 - \left( \frac{\%H_2O}{100} \right) \right) (0.3708(\%C)) \\
 & - 1.1124(\%H) + 0.1391(\%O) \\
 & - 0.3178(\%N) - 0.1391(\%S)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

donde, PCS corresponde al poder calorífico superior, %H<sub>2</sub>O es porcentaje de contenido de agua, %C, %O, %N y %S son los porcentajes de carbono, oxígeno, nitrógeno y azufre respectivamente. La ecuación 1 se ha utilizado en varios estudios [10].

El poder calorífico inferior (PCI) se obtiene restando el calor de evaporización del agua. Siguiendo la Norma UNE-EN 14774 se determina el contenido de humedad de la cascarilla de arroz con la ecuación 2.

$$\%h = \frac{P_h - P_s}{P_h} \quad \text{Ecuación (2)}$$

donde: P<sub>s</sub> es el peso seco en kg, P<sub>h</sub> el peso húmedo kg, %h es el porcentaje de humedad en base húmeda.

La combustión de la biomasa es realizada de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Realizar un control del contenido de humedad de la cascarilla de arroz, manteniendo un valor inferior al 15% en la tolva de carga. Comprobándose este valor se realiza el transporte y alimentación de la biomasa desde la tolva de carga hasta la cámara de combustión a través de un tornillo sin fin de longitud 0.87 m controlando las rotaciones del tornillo sin fin a 1 RPM mediante un motor-reductor y un variador de velocidad con el fin de regular la mezcla aire combustible.
- Encender el ventilador centrífugo ubicado en la parte inferior del sistema térmico para ingreso de aire hacia la cámara de combustión.
- Encender el ventilador axial para el ingreso de aire de proceso al intercambiador de calor y encender de forma manual la cascarilla.
- Realizar la medición y registro de datos; temperaturas y velocidades de aire en la cámara de combustión e intercambiador de calor.
- Evacuar las cenizas por la parte inferior de la cámara de combustión y apagar el equipo.

### 3. Resultados y/o Discusión

#### 3.1 Resultados

En la tabla 2 se muestran los datos del poder calorífico en base húmeda determinados según la variación del contenido de humedad de la cascarilla de arroz.

Tabla 2. Variación del PCI con el contenido de humedad de la biomasa.

Humedad (%)	PCI <sub>BH</sub> (MJ/Kg)
6.4	13.50
10	12.89
15	12.05
20	11.21
25	10.37
30	9.53
35	8.68
40	7.84
45	7.00
50	6.16

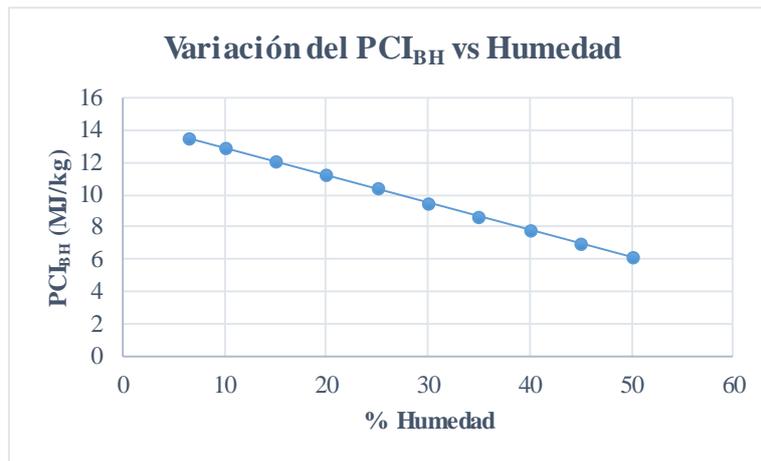


Figura 3. Gráfica de la variación del PCI vs humedad.

En la Figura 3 se puede observar la variación del poder calorífico de la cascarilla de arroz de acuerdo a distintos valores de humedad, además se puede apreciar como el poder calorífico se ve afectado por el contenido de humedad de la biomasa.

En la tabla 3 se muestran datos promedio de las temperaturas en el intercambiador de calor y las velocidades de aire de entrada y salida en el sistema térmico de combustión de biomasa.

En la Figura 4, se observa la temperatura de combustión ( $T_c$ ), la temperatura de pared interior ( $T_{pi}$ ) y la temperatura de pared exterior ( $T_{po}$ ) de la cámara de combustión, además se aprecia que la temperatura a la que se combustiona la cascarilla de arroz es de alrededor de 680 °C.

### 3.2 Discusión

La cascarilla de arroz es un residuo que se obtiene del proceso productivo del arroz, en el Ecuador la mayor producción de arroz se encuentra en las provincias de Guayas y Los Ríos, en el año 2013 según datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC) se obtuvo una producción de 1516.045 TM de arroz en cáscara, si 22% corresponde a la cubierta del arroz [1], se puede indicar que la cantidad de residuo es de 331329 TM factibles de aprovechamiento.

A pesar de contar con una gran cantidad de este residuo, su aprovechamiento es reducido, se utiliza en pequeña escala en el sector florícola, para la elaboración de ladrillos, como combustible para el secado de granos. La mayor parte se quema al aire libre o se abandona en el campo.

Tabla 3. Velocidades y temperaturas en el intercambiador de calor.

Parámetro	Denominación	Valor Promedio	Unidad
Temperatura de entrada del aire	Tci	25.48	°C
Temperatura de salida del aire	Tco	139.98	°C
Temperatura entrada de gases	Thi	229.64	°C
Temperatura de salida de gases	Tho	56.01	°C
Velocidad de entrada del aire	Vci	8,2	m/s
Velocidad de salida del aire	Vco	4.79	m/s
Velocidad de ingreso de gases	Vhi	8.04	m/s

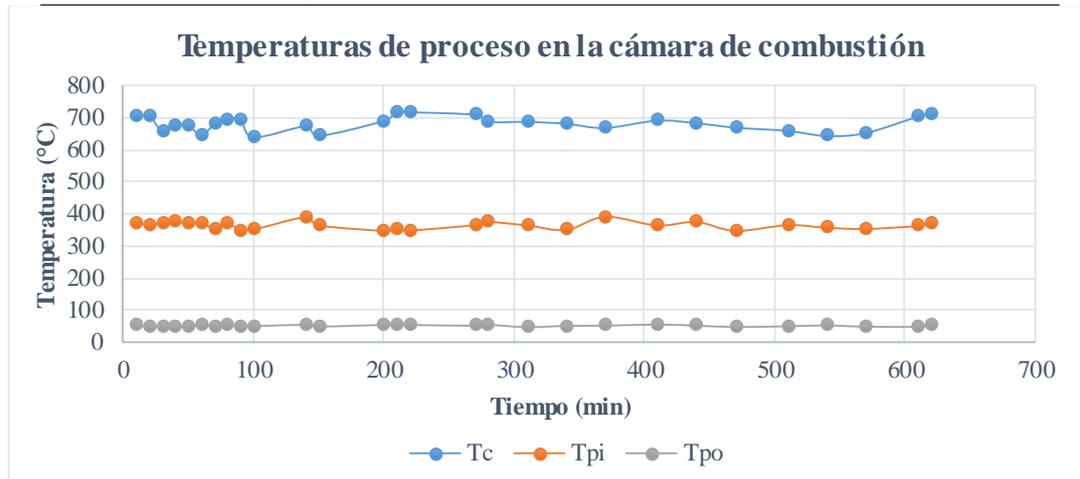


Figura 4. Temperaturas de proceso en la cámara de combustión.

En este estudio experimental uno de los factores más críticos es determinar la velocidad de la alimentación de la cascarilla arroz a la cámara de combustión de lecho fijo, debido a que es necesario que exista un adecuado control y sincronización de la cantidad de biomasa que ingresa a la cámara, el ingreso de aire, el área de combustión, y la evacuación de ceniza. Caso contrario, la biomasa que alimenta el hogar apaga la llama produciendo la generación de humo.

Las muestras de cascarilla de arroz se obtuvieron de la ciudad de Ventanas con un contenido de humedad del 10 % luego del proceso de pilado, la combustión se realizó a una altura de 2600 metros sobre el nivel del mar, por lo que es necesario prestar atención al control del contenido de humedad ya que el poder calorífico inferior de la cascarilla de arroz se ve afectado con el incremento de la humedad.

#### 4. Conclusiones

Se determinó que la velocidad de rotación adecuada para el tornillo sin fin, es de 1 RPM, con ella, se garantiza una adecuada alimentación de la cascarilla de arroz a la cámara de combustión, tomando en cuenta un desplazamiento horizontal de 0.87 m, desde la tolva de carga.

El tiempo de llenado de la cámara de combustión es de 5.34 minutos. Y la producción energética es de 34.01 kW térmicos en una capacidad promedio de 14 kg/h.

La temperatura de combustión de la cascarilla de arroz sobrepasa los 650 °C, manteniendo un control del contenido de humedad en la tolva de carga inferior al 15%.

En el análisis energético de la cámara de combustión se obtiene los siguientes datos: temperatura del lecho 680 °C, temperatura de pared interior 363 °C, temperatura de pared exterior 50 °C, temperatura en el exterior de los tubos del intercambiador 229 °C, en cuanto a las velocidades del aire de entrada 12 m/s y salida de gases 8 m/s.

#### Agradecimientos

A todas las personas e Instituciones que han brindado su apoyo técnico y recursos para el desarrollo de esta investigación.

## Referencias

- [1] B. M. Jenkins, "Physical properties of biomass," Biomass handbook, 860-891, 1989.
- [2] E. Natajaran, E. Ganapathy, "Pyrolysis of Rice Husk in a Fixed Bed Reactor," 2009.
- [3] J. Aguilar, "Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia," Tesis de Maestría, Dep. Ingeniería Agrícola, Gestión Ambiental, Universidad de Sucre, Sincelejo, 2009.
- [4] A. Valverde, B. S. López, J. P. M. Yanes, "Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz," Scientia et Technica, vol. 5, no 37, pp. 255-260, 2007.
- [5] M. A. Echeverría, O. A. Lopez, "Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica," Tesis de grado, Fac. de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecánica, Quito, 2010.
- [6] P. T. Williams, N. Nugranad, "Comparison of products from the pyrolysis and catalytic pyrolysis of rice husks". Energy, vol. 25, no 6, p. 493-513.
- [7] M. Ortega, Energías renovables, 1ª ed. Madrid: Paraninfo, 2000.
- [8] G. Salvi, La combustión teorías y aplicaciones, 2ª ed. Madrid: DOSSAT, 1975.
- [9] S. B. Castañeda, S. Balderrama, et al, "Factibilidad de generación de electricidad mediante gasificación de residuos de aserradero en el norte de México". Madera y Bosques, vol. 17, no 2, p. 67-84, 2011.
- [10] L. Meraz, A. Domínguez, I. Kornhauser, F. Rojas, "A thermochemical concept-based equation to estimate waste combustion enthalpy from elemental composition," Fuel, vol. 82, no 12, p. 1499-1507, Agosto 2003.
- [11] Determinación del contenido de humedad: Método de secado en estufa. UNE-EN 14774-2, 2010.
- [12] INEC, Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos, 2013. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/procesador-de-estadisticas-agropecuarias-3/>
- [13] AGROCALIDA, Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de Calidad del Agro, 2010. Disponible en: <http://www.agrocalidad.gob.ec/>
- [14] MAGAP. Ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca, Panorama de la cadena del arroz, 2010. Disponible en: <http://www.agricultura.gob.ec/>
- [15] PRONACA, Procesadora Nacional de Alimentos, 2010. Disponible en: <http://www.pronaca.com/site/principal.jsp>.