

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ.

## Comparative analysis of the Physicochemicals Characteristics of the rice husk.

### RESUMEN

En este estudio se hace un análisis comparativo de las principales propiedades fisicoquímicas de la cascarilla de arroz obtenida por investigaciones realizadas en las universidades de Canadá, California, RP China y de Ibagué Colombia, como punto de partida para la realización del proyecto de transformación de la biomasa arroceras en energía eléctrica y térmica.

Se concluye que existe una igualdad entre los rangos de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz para regiones tan distantes y diferentes como China, Canadá, Estados Unidos y Colombia; y que en ellas las temperaturas de oxidación alcanzada es del orden de 1200K, liberando alrededor del 67% del valor calórico en la etapa dominante de la combustión correspondiente a la combustión de los volátiles.

**PALABRAS CLAVES:** Cascarilla de arroz, Características, Energía, Fisicoquímicas.

### ABSTRACT

*In the present work it has made a comparative analysis of the main physicochemical properties of the rice husk. These properties were the result of investigations made in universities of Canada, USA, China R.P. and Colombia (universities of Ibagué).*

*These properties contributed elements to carry out a project to transform the biomass of the rice into electrical and thermal energy.*

*There is an equality in the properties of the rice husk, not concerning the origin place ( Canada, USA, China R.P, Colombia) the temperature of oxidation obtained is near to 1200 K, there it is free approximately 67% of the caloric value in the dominant stage of the combustion, corresponding to the combustion of volatile material.*

**KEYWORDS:** rice husk characteristics, energy, fisicoquímicas

## 1. INTRODUCCIÓN

La cascarilla de arroz es un tejido vegetal constituido por Celulosa y Sílice, elementos que ayudan a su buen rendimiento como combustible. El uso de la cascarilla como combustible representa un aporte significativo a la preservación de los recursos naturales y un avance en el desarrollo de tecnologías limpias y económicas en la producción de arroz uno de los principales cereales de nuestra canasta familiar.

La cascarilla de arroz presenta una gran variedad de características fisicoquímicas que es preciso estudiar, según la aplicación que se desee darle. El contenido de humedad, la composición química y el poder calorífico de la cascarilla son aspectos que hay que conocer para la

### AGUSTIN VALVERDE G.

Ingeniero Mecánico, M. Sc.

Director grupo de investigación en Eficiencia Energética y Medio Ambiente GEMA.

Universidad de Ibagué

agustin.valverde@unibague.edu.co

### BIENVENIDO SARRIA L.

Ingeniero Mecánico, Ph.D.

Centro de Estudio de Energía y Medio Ambiente CEEMA

Universidad de Cienfuegos Cuba.

Bslopez2000@yahoo.es

### JOSÉ P. MONTEAGUDO Y.

Ingeniero Mecánico. Ph.D.

Centro de Estudio de Energía y Medio Ambiente CEEMA.

Universidad de Cienfuegos Cuba

jpmyanes@yahoo.es

construcción y el funcionamiento de hornos y hogares mecánicos que son los más adecuados para la quema e incineración de este subproducto agrícola.

## 2. ANÁLISIS APROXIMADO DE LA CASCARILLA DE ARROZ

La composición inmediata de una sustancia es el contenido (porcentaje en masa) de carbono fijo, volátiles, humedad y cenizas, en la tabla 1 y 2 se muestra el análisis próximo de la cascarilla de arroz. Los volátiles tienen un papel importante durante la ignición en las etapas iniciales de la combustión de la biomasa. Tanto en el caso de la composición elemental como de la composición inmediata se debe determinar la humedad de la muestra.

Parámetros	Canadá				California		China
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>i</sub>	V <sub>T</sub>	V <sub>1</sub>
Material Volatil	66,40	67,30	63,00	67,70	63,52	65,47	51,98
Carbono Fijo	13,60	13,90	12,40	14,20	16,22	45,86	25,10
Ceniza	20,00	18,80	24,60	18,20	20,26	48,67	16,92
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,00	100,0	100,00

Tabla 1. Análisis próximo de la cascarilla de arroz en diferentes Variedades y por diferentes países.

En la tabla 1, se observa claramente que el porcentaje de carbono fijo se encuentra entre 12.40 – 25.10%, Las cenizas entre 16.92 – 24.6 % y el material volátil entre 51.98 – 67.7 % [1] para las diferentes variedades utilizadas . El análisis próximo de la cascarilla colombiana tabla 2, está dentro de los rangos encontrados a nivel mundial, teniendo mucha similitud con los resultados obtenidos por la Universidad de California [2].

Elemento	%
Carbono fijo	16.67
Cenizas	17.89
Volátiles	65.47

Tabla. 2 Análisis Próximo de la cascarilla de Arroz en Colombia

### 3. ANÁLISIS ÚLTIMO (ELEMENTAL) DE LA CASCARILLA DE ARROZ.

La composición elemental de una sustancia combustible es su contenido (porcentaje en masa) de carbono (C), hidrógeno (H), azufre(S), oxígeno(O), nitrógeno(N), humedad (W) y cenizas o material residual (A). Es la característica técnica más importante del combustible y constituye la base para los análisis de los procesos de combustión, entre ellos: cálculos de volúmenes de aire, gases y entalpía.

Las siguientes composiciones elementales de la cascarilla de arroz se basan en los diferentes porcentajes de humedad analizadas en estudios previos.

La composición elemental del combustible Tabla 3, expresa el por ciento en masa de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Cenizas y Humedad y se puede referir a:

- Masa de trabajo
- Masa analítica (Sin humedad externa)
- Masa seca (Sin humedad)
- Masa Combustible (Sin humedad y cenizas).

Los resultados obtenidos en la tabla 3 muestran los siguientes rangos de variabilidad para cada elemento: Carbono 37.6- 42.6 %; Hidrógeno 4.7 – 5.78; Oxígeno 31.37 – 37.62; Nitrógeno 0.38 – 1.88; Azufre 0.01 – 0.18; Cenizas 16.93 – 24.6, con un poder calórico entre 13.24 - 14.22 Mj / Kg [1] .

El análisis de la cascarilla de arroz presentado en la tabla 4 está dentro de los rangos encontrados a nivel mundial [2] excepto los porcentajes de azufre y nitrógeno que se encuentran por fuera, teniendo en cuenta que el análisis a nivel mundial se realizó en base seca y el de Colombia con diferentes porcentajes de humedad

El contenido de humedad de la cascarilla de arroz cuando sale del descascarador varía entre 5 y 40%, luego de estar expuesta a la intemperie, en época no lluviosa, la humedad promedio de la cascarilla está aproximadamente entre el 8 y 15%. El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.

Parámetros	Canadá				California		China
	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	v <sub>3</sub>	v <sub>4</sub>	V <sub>i</sub>	V <sub>T</sub>	V <sub>1</sub>
C	37,60	42,10	38,70	42,60	38,83	38,24	37,60
H	5,42	4,98	4,70	5,10	4,75	5,20	5,78
O	36,56	33,66	31,37	33,44	35,47	36,26	37,62
N	0,38	0,40	0,50	0,51	0,52	0,87	1,88
S	0,03	0,02	0,01	0,02	0,05	0,18	0,09
Cl	0,01	0,04	0,12	0,13	0,12	0,58	0,00
Ceniza	20,00	18,80	24,60	18,20	20,26	18,67	16,93
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Poder calórico Mj/Kg.	14,22	13,24	13,40	14,12	-	-	13,40

Tabla 3. Análisis Último de la Cascarilla de arroz a nivel Mundial

Cascarilla de arroz						
Humedad	C	H	O	N	S	Cenizas
8.6	42.5	6.0	36.2	0.21	0.49	14.6
8.9	39.1	5.2	37.2	0.27	0.43	17.8
9.4	33.4	4.3	38.5	0.38	0.32	23.1

Tabla 4. Composición elemental de la cascarilla de arroz a diferentes % de humedad en Colombia

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo del material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues en algunos casos, está puede ser utilizada, por ejemplo; la ceniza de la cascarilla de arroz como aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado entre otros.

El poder calorífico por unidad de masa Tabla 5 es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa[3]. Su poder calórico esta relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia en la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

CONTENIDO DE HUMEDAD	PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI) kj/kg
0	19880
10	17644
20	15412
30	13180
40	10947
50	8715
60	6413

Tabla 5 Poder calorífico inferior de la cascarilla de arroz en función del contenido de humedad.

#### 4. COMPOSICIÓN FÍSICO- QUÍMICA

En la tabla 6 y 7, se hace mención a algunas características que han sido obtenidas mediante investigaciones previas de fuentes fiables, obteniendo parámetros comunes para la evaluación de la cascarilla de arroz,. El alto contenido de sílice demostrado hace que su uso alimenticio en harinas para animales sea limitado. Uno de los elementos que apropia la combustión de cascarilla de arroz es la celulosa (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub> siendo el

componente principal de las fibras de este subproducto agrícola.

Parámetros	Canada				California		China
	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	v <sub>3</sub>	v <sub>4</sub>	V <sub>i</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>
Celulosa	29,20	33,47	25,89	35,50	-	-	-
Hemicelulosa	20,10	21,03	18,10	21,35	-	-	-
Lignina	20,00	18,80	24,60	18,20	-	-	-

Tabla 6 Características Químicas de la cascarilla de arroz a nivel Mundial

Los rangos obtenidos para el análisis químico a nivel mundial corresponden a los siguientes: La celulosa 25.89 – 35.5 %; Hemicelulosa 18.1 – 21.35 % y la Lignina 18.20 – 24.6 % [1]. presentados en la tabla 6.

La composición química de la cascarilla colombiana presenta un porcentaje de celulosa un poco mayor lo que es muy bueno por su aporte en la combustión [4] Tabla 7, pero la Lignina se encuentra dentro del rango obtenido a nivel mundial.

La lignina cuando es sometida a altas temperaturas desarrolla una propiedad aglomerante en la cascarilla de arroz, transformándola en una pasta sólida "Grumo de cascarilla al rojo vivo" difícil de romper.

ELEMENTO	PORCENTAJE (%)
Fibra (Celulosa)	39.05
Lignina	22.80
Proteínas	3.56
Extracto no Nitrogenado	6.60
Extracto con éter	0.93

Tabla 7. Análisis Químico de la composición de la cascarilla de arroz en Colombia.

#### 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ

Entre los porcentajes más relevantes de la composición química de la cascarilla de arroz se encuentran las cenizas, siendo la sílice la principal composición que no sufre disociación al quemarse, esto hace que se presente una difícil combustión continua y completa.

Aunque la cascarilla es muy utilizada hoy en día como fuente calorífica, requiere de mecanismos de aceleración para que se lleve a cabo una óptima combustión, entre ellos se cuenta los medios mecánicos que permiten obtener un bajo porcentaje de inquemados, en las tablas 8

y 9 observamos la composición mineral de la de cascarilla de arroz [1][5]. . .

Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte, algunas veces, presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión, y eleva los costos. Las condiciones para recolección, el transporte y el manejo en planta de la biomasa son factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética. La ubicación del material con respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional o de uso de combustibles no renovables.

### 5.1 Punto de fusión y ensuciamiento de la ceniza de la cáscara de arroz.

El punto de fusión de las cenizas y el nivel de ensuciamiento son dos factores básicos a los que se les debe prestar especial atención al diseñar y durante la explotación de los sistemas de combustión que utilizan biomasa como combustible. Ambos aspectos, fusión y ensuciamiento, dependen de la composición química de la ceniza la cual varía de un residuo a otro, como se puede apreciar en la tabla 8 y 9.

Parámetros	California	
	V <sub>i</sub> Cáscara	V <sub>2</sub> Tallo
S <sub>1</sub> O <sub>2</sub>	91,42	74,62
Al <sub>1</sub> O <sub>2</sub>	0,78	1,04
T <sub>1</sub> O <sub>2</sub>	0,02	0,09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14	0,85
CaO	3,21	3,01
MgO	< 0.01	1,75
Na <sub>2</sub> O	0,21	0,96
K <sub>2</sub> O	3,71	12,30
SO <sub>3</sub>	0,72	1,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,43	1,41
Total	100,00	100,00

Tabla 8. Composición mineral de las cenizas de cascarilla de arroz a nivel mundial

ELEMENTO	COMPOSICIÓN %
(K <sub>2</sub> O) Oxido de Potasio	1.10
(Na <sub>2</sub> O) Oxido de Sodio	0.78
(CaO) Oxido de Calcio	0.25
(MgO) Oxido de Magnesio	0.23
(SO <sub>4</sub> ) Sulfatos	1.13
(SiO <sub>2</sub> ) Sílice	96.51
Total	100,00

Tabla 9 Composición mineral de ceniza en la cascarilla de arroz en Colombia.

### 5.2 Punto de fusión

Como consecuencia del empleo de los Fertilizantes en los cultivos de la agricultura, la mayoría de los residuos agrícolas tienen en sus cenizas contenidos elevados de Óxidos de Potasio (K<sub>2</sub>O).

Los óxidos de potasio tienen un punto de fusión relativamente bajos y en la medida que aumenta su proporción, el valor de la temperatura de fusión disminuye. Sin embargo, la ceniza de la cáscara de arroz se caracteriza por tener un bajo contenido de óxidos de potasio K<sub>2</sub>O = 3.71 %, pero la ceniza del Tallo de la planta de arroz tiene un mayor contenido de óxidos de potasio K<sub>2</sub>O = 12.30 %.

Por otro lado, la ceniza obtenida al quemar tanto la cáscara como el tallo de arroz, tienen un alto contenido de óxidos de sílice Si<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 91.42 y 74.67 %, respectivamente. El punto de fusión del óxido de silicio es relativamente alto (1450 °C).

Por estas razones lo normal es que al quemar cáscara de arroz no deben presentarse los problemas de la escorificación por bajo punto de fusión de sus cenizas y algunas investigaciones plantean [1][6] que la temperatura de fusión de la ceniza de la cáscara de arroz está alrededor de los 1500 °C, siendo un poco menor para la ceniza de los tallos al tener estos mayor contenido de compuestos alcalinos.

#### 5.1.2 Ensuciamiento.

El termino ensuciamiento se refiere a los depósitos que se acumulan sobre la superficie de transferencia de calor con las cuales se ponen en contactos los gases de la combustión. El ensuciamiento frecuentemente se asocia, en sentido general, con la reducción de la velocidad de transferencia de calor y la corrosión.

Al quemar la cáscara de arroz lo usual es que se produzca una ceniza muy fina, la cual es fácilmente arrastrada, fuera de la cámara de combustión, con los gases producidos. Esta ceniza puede ser separada y colectada mediante el empleo de ciclones separadores o filtros de manga.

El “Índice de Alkali” se utiliza para evaluar la tendencia de los combustibles a producir ensuciamiento cuando se queman. Este índice relaciona la masa de óxidos metálicos (K<sub>2</sub>O más Na<sub>2</sub>O), presentes en la ceniza con los generados térmicamente. Algunos investigadores señalan que[1][7]:

- Para índice de alkali mayor que 0.17 Kg/GJ el ensuciamiento es probable.
- Para índice de alkali por encima de 0.34 kg/GJ es casi seguro que ocurra ensuciamiento.

Índice de Alkali, Kg/GJ	Material
1.75	Corteza de almendra
1.64	Tallo de arroz
1.10	Paja de trigo
0.50	Cáscara de arroz
0.07	Carbón bituminoso

El Índice de Alkali, puede ser útil como una indicación de los problemas que se tendrán con la ceniza.

Esto fundamenta el criterio que al quemar la cáscara para producir el calor del Proceso de Secado del grano, sus gases no se pueden poner en contacto directo con el arroz cáscara pues lo puede contaminar.

El alto contenido de ceniza de la cascarilla de arroz y las características de su ceniza imponen severos requerimientos sobre el diseño de los sistemas de combustión.

### 6. EFECTOS DEL ALTO CONTENIDO DE MATERIA VOLÁTIL EN LA COMBUSTIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ

En cualquiera de las formas en que se encuentran los residuos agrícolas (pacas, briquetas) se requiere tener un profundo conocimiento de los mecanismos de la combustión.

- Alta eficiencia de la combustión.
- Diseño efectivo del sistema.
- Operación efectiva.

Una partícula simple de un combustible sólido durante su combustión está sometida a diferentes eventos interrelacionados entre sí, los cuales son:

- Calentamiento.
- Secado.
- Desvolatilización.
- Combustión de los volátiles y el char.

La información fundamental que se necesita saber acerca de las características de la combustión de los residuos agrícolas son:

- Temperatura a la cual comienza la desvolatilización.
- Temperatura de inicio de la combustión del char.
- Influencia del secado sobre el proceso de desvolatilización.
- La composición de los productos de la desvolatilización.
- El efecto de la liberación y combustión de los volátiles sobre el proceso de combustión total (global).

La cascarilla de arroz tiene un elevado contenido de materia volátil, en comparación con los carbones, como se puede observar en su análisis aproximado. Por otro lado, los resultados de los Análisis Termogravimétricos [1][2], al estudiar la cinética de la combustión de la cáscara de arroz revelan que, en el intervalo de temperatura entre los 200 y 300 °C las partículas sufren una considerable pérdida en masa correspondiéndose con la liberación y combustión de los compuestos volátiles. Entre los 300 y 530 °C se produce la combustión del char, sin observarse cambios apreciables en la pérdida de peso de las partículas.

Temperatura °C	Compuesto %			
	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
400	1	38	47	14
500	4	33	46	17
600	13	37	25	25
700	20	38	20	25

Tabla 10. Variación de los volátiles de la cáscara de arroz, con la temperatura

Durante el Proceso de Desvolatilización las partículas están sometidas a la descomposición térmica con la subsiguiente liberación de los compuestos volátiles y a la formación de los alquitranes y el char. La cantidad de estos compuestos depende de la composición y de las condiciones de operación. Se ha observado que con el aumento de la temperatura, el contenido de CO<sub>2</sub> decrece incrementando los valores de H<sub>2</sub>, CO y CH<sub>4</sub>, presentes en los compuestos volátiles [1][2]. En la tabla 10 se muestra la evolución de estos compuestos gaseosos de la cascarilla de arroz, al variar la temperatura. Los constituyentes gaseosos combustibles (H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>) pueden llegar a representar más del 70 – 80 % en volumen, a altas temperaturas.

### Nomenclatura Utilizada

$V_1, V_2, V_3, V_4$  = Variedades de cascarilla de arroz.

$V_T$  = Tallo de cascarilla de arroz.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En estudios realizados por las universidades de Canadá, California, RP China y de Ibagué Colombia, se describe que la cascarilla de arroz cuando se oxida alcanza por lo menos 1223 K, presentando los residuos como ceniza carbonizada.

Las propiedades fisicoquímicas de la cascarilla de arroz en el Departamento del Tolima está entre los rangos que se manejan a nivel mundial.

La cascarilla de arroz y otros residuos agrícolas secos, alcanzan rápidamente la temperatura de ignición, cuando entran a la cámara de combustión.

La etapa dominante de la combustión de la cascarilla donde se libera alrededor del 67 % del valor calórico es la combustión de los volátiles.

Al quemar cascarilla de arroz se debe tener un control sobre la temperatura de fusión de la ceniza la cual no debe sobrepasar los 1500°C, para evitar el ensuciamiento de las paredes internas del horno y la corrosión.

Es muy probable que al quemar cascarilla de arroz se produzcan problemas de ensuciamiento, avalado por el índice de álcali y porque además esta posee un 20 % de contenido de ceniza, el cual es alto en comparación con otros residuos.

Los sistemas deben diseñarse para minimizar el arrastre de ceniza en la corriente de gases y la erosión de los componentes, a su paso a través de los tubos de la caldera y los intercambiadores de calor.

## 8. BIBLIOGRAFIA

[1] FERNANDEZ, Beatriz. Tesis de Maestría en Eficiencia Energética, CEEMA, UCF, 2004. Aerodinámica de la combustión con doble Turbolizador Estático .

[2] VALVERDE, Agustín. Tesis de Maestría en Eficiencia Energética, CEEMA, UCF, 2006. Estudio sobre el uso de la cascarilla de arroz en los molinos del Departamento del Tolima.

[3] CERQUERA, Diego y GALINDO, Oscar Estudio de la eficiencia energética del proceso de secado de arroz del Molino Roa S.A. Universidad de Ibagué. Ibagué. 2006

[4] INDUARROZ. Revista Induarroz, Números varios, Bogotá, D.C., 2000 y 2002.

[5] GAITAN, Oscar G. Diseño y construcción de un calentador de agua usando como combustible cascarilla de arroz. Universidad de Ibagué, 2004.

[6] CIFUENTES O. José Elvis, TRUJILLO J. José F. Diseño de un incinerador de cascarilla de arroz para el Molino San Joaquín. Universidad de Ibagué. Ibagué, 2000.