

Artículo Original

***ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA TUSA EN LA
PROVINCIA DE LOS RÍOS Y GUAYAS, ECUADOR***

***ESTIMATION OF THE ENERGY POTENTIAL OF CORN COB OF LOS RÍOS
AND GUAYAS PROVINCES, ECUADOR***

José Alfonso Martillo Aseffe ¹ <https://orcid.org/0000-0003-3620-7874>

René Lesme Jaén ^{2*} <https://orcid.org/0000-0001-7274-0153>

Luis Oscar Oliva Ruíz ³ <https://orcid.org/0000-0002-1140-0363>

¹ Facultad Técnica para el Desarrollo. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
Ave. Carlos Julio Arosemena, km. 1 ½, Ecuador.

² Centro de Estudios de Energía y Refrigeración. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial.
Universidad de Oriente. Patricio Lumumba s/n, Santiago de Cuba, Cuba.

³ Departamento de Manufactura y Materiales. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Universidad
de Oriente, Patricio Lumumba s/n, Santiago de Cuba, Cuba.

Recibido: Abril 22, 2019; Revisado: Junio 21, 2019; Aceptado: Octubre 8, 2019

RESUMEN

Introducción:

En el Ecuador la producción nacional de maíz supera el millón de toneladas métricas, siendo las provincias de Los Ríos y Guayas las de mayor producción, en ellas se concentran casi el 60 % de las áreas cosechadas y el 75 % de la producción. Durante el proceso de cosecha y separación de granos de maíz se obtienen residuos tales como tusas, hojas, raíces y tallos. De todos estos residuos, la tusa no tiene un valor de uso y es importante valorar sus potencialidades como combustible energético.

Objetivo:

En el presente se realiza una estimación del potencial energético de la tusa (Giga Joule/hectárea o kWh/ha) en las provincias de Los Ríos y Guayas.

Materiales y Métodos:

La metodología empleada consiste en la evaluación experimental de los coeficientes y volúmenes de residuos generados y la caracterización energética de la tusa como combustible para evaluar su poder calorífico.

Resultados y Discusión:

Como resultado se obtuvo que en las provincias de Los Ríos y Guayas durante la cosecha de maíz se generan 0,186 ton de tusas/ton de maíz con un potencial de 15,72 GJ/ha por cosecha.



Copyright © 2020. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: René Lesme, Email: lesme@uo.edu.cu



Conclusiones:

En las provincias de Los Ríos y Guayas la cosecha de maíz genera 0,741 ton de tallos/ton de maíz, 0,277 ton de raíces/ton de maíz, 0,461 ton de hojas/ton de maíz y 0,186 ton de tusas/ton de maíz, para un total de 1,992 ton de residuos/ton de maíz. El potencial energético de la tusa en es de 15,72 GJ/ha por cosecha.

Palabras clave: biomasa; energía; residuos.

ABSTRACT

Introduction:

Corn national production in Ecuador exceeds one million metric tons, Los Ríos and Guayas provinces have highest production where almost 60% of the harvested areas and 75% of the production are being concentrated. During harvesting process and corn grains separating, residues such as corn cobs, leaves, roots and stems are obtained. Of all these wastes corn cob does not have a use value and it is important to assess its potential as energy fuel.

Objective:

To carry out an estimation of corn cobs energetic potential in Los Ríos and Guayas provinces

Materials and Methods:

The used methodology consists in an experimental evaluation of coefficients (relation between residue and grain weight) and volumes of generated waste. The energy characterization of corn cobs as fuel were done, and its calorific value was evaluated.

Results and Discussion:

It was obtained that in Los Ríos and Guayas provinces, during corn harvest, 0.186 corn cobs tons / corn ton are generated, with an energy potential of 15.72 GJ/ha in each harvest.

Conclusions:

In Los Ríos and Guayas provinces, the corn harvest generates 0.741 stalks tons/ton of corn, 0.277 roots tons/corn ton, 0.461 leaves tons/corn tons and 0.186 corn cobs tons/corn tons, for 1.992 waste tons/corn ton. The corn cobs energy potential is 15.72 GJ/ha per harvest.

Keywords: biomass; energy; wastes.

1. INTRODUCCIÓN

Las fuentes y tipos de biomasa son distintas en cada país, sin embargo, dado el aumento sostenido de la producción agropecuaria, especial atención merecen los residuos de las cosechas agrícolas. La generación y gerencia de los residuos constituyen dos temas prioritarios en las sociedades modernas, sin embargo es necesario estimar sus volúmenes y sus potencialidades.

En el Ecuador la cosecha de maíz constituye un rico patrimonio de tradiciones agrícolas y alimenticias. La producción nacional de maíz seco supera el millón de toneladas métricas (ton), siendo las provincias de Los Ríos y Guayas las de mayor producción

(casi el 56% de toda la producción nacional), con un rendimiento promedio de 4,86 ton de maíz/ha por cosecha. En ambas provincias se concentra el 60% de las áreas cosechadas y el 75 % de la producción nacional (Salazar et al., 2017).

Tradicionalmente los residuos de la cosecha de maíz (hojas y tallos) se dejan en las áreas de cosechas o se utilizan como alimento de ganado, ya sea en estado verde o seco y se han realizado estudios sobre la valorización nutritiva de los mismos para evaluar la producción de carne y la rentabilidad en la alimentación de ovinos, (Sánchez et al., 2015).

En el caso de la tusa del maíz, su uso como combustible energético no está documentado y parte de estos materiales son dejados en el campo o quemados a cielo abierto provocando impactos notables en los medios receptores, contaminación del agua, el suelo, el aire, contribuyendo al cambio climático, afectando los ecosistemas y a la salud humana (Sánchez et al., 2015).

En el mundo varios son los estudios recientes dedicados a estimar potenciales energéticos de residuos en diferentes países y regiones (Scott et al., 2014, Huanguang et al., 2014, Aldana et al., 2014, Brosowski et al., 2016, Suzuki et al., 2017). Se han evaluado potenciales de residuos de las cosechas de cebada, maíz, arroz, soja, caña de azúcar, trigo, colza, sésamo, girasol, algodón, maní, cultivos de tubérculos etc, encontrándose diferencias ocasionadas por las prácticas culturales, las peculiaridades climáticas de cada región y las diferentes variedades de semillas utilizadas.

En el caso de los residuos de la cosecha de maíz, se han reportado coeficientes totales de residuos entre 0,5-3,2 kg de residuos por kg producto (kgr/kgp) en países de América del Norte y del Sur. En Asia Oriental y Meridional y Europa Oriental (Scott et al., 2014), valores entre 1-2 kgr/kgp en el caso de China (Huanguang et al., 2014) y en México 1 kgr/kgp (Aldana et al., 2014). En ninguno de estos trabajos los coeficientes se reportan por tipos de residuos.

Entre las metodologías aplicadas para la evaluación de los volúmenes y potenciales de residuos se encuentran, los sistemas de información geográfica (Perpiñá et al., 2009), y métodos estadísticos (Suzuki et al., 2017, Jiménez, et al., 2018), sin embargo, todas se fundamentan en una información preliminar sobre los coeficientes que estiman la cantidad de residuos producidos por áreas de cosechas o por unidad de masa de productos cosechados y el poder calorífico de estos residuos.

Cuando un residuo no se puede reutilizar como materia prima para obtener alimento animal u otros productos, como es el caso de la tusa, la opción más viable es su aprovechamiento para la obtención de energía, que es lo que se conoce como valorización energética, para lo cual es necesario estimar sus volúmenes, características técnicas y su potencial energético (Rodrigo et al., 2010).

El objetivo de éste trabajo es estimar el potencial energético de la tusa (Giga Joule/hectárea o kWh/ha) en las provincias de Los Ríos y Guayas, a través de la evaluación experimental de los coeficientes y volúmenes de residuos generados y la caracterización de la tusa como combustible.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Estimación de los volúmenes de residuos generados durante la producción de maíz

El maíz es una planta de fácil desarrollo y de producción anual, en el caso de Ecuador, se realizan dos cosechas al año. En el caso de la región de Guayas y Los Ríos en Ecuador las variedades de semillas más utilizadas son: H-551; H-553; H-601 y H-602, las cuales se diferencian por su rendimiento, la altura de la planta, el tamaño y el diámetro de la tusa fundamentalmente (Vera et al., 2013).

El hecho de que los coeficientes de residuos dependan de las prácticas culturales, las condiciones climáticas de cada país, así como, las variedades de semillas utilizadas y que en la literatura científica sobre el tema sólo se especifican coeficientes totales de residuos, no así, el coeficiente de cada residuo y es de nuestro interés determinar el volumen de tusas por hectárea cosechada o por tonelada de maíz producida, nos dimos a la tarea de efectuar un proceso experimental para la evaluación del coeficiente de cada residuo de la cosecha de maíz.

Durante el proceso de cosecha y separación de granos de maíz se obtienen residuos tales como tusas, hojas, raíces y tallos. Las hojas (hojas de la planta y la mazorca), los tallos y las raíces se generan básicamente en el campo mientras que las tusas) residuos que queda después del desgrane de la mazorca) y sus hojas se generan en las unidades de proceso (Figura 1).

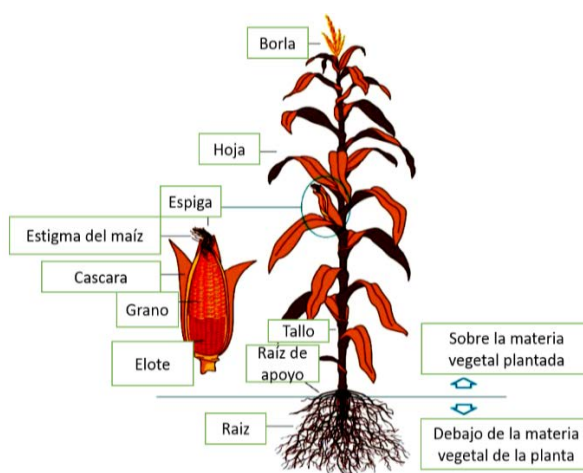


Figura 1. Partes de la planta y la mazorca de maíz (Arun y Ramanan, 2016)

El número de muestra para realizar el estudio se determinó a través de la expresión (1) que se utiliza cuando no se conoce la población total (Webster, 2000):

$$N = \frac{Z^2 \cdot \pi(1 - \pi)}{E^2} \quad (1)$$

Donde:

N. Número de muestra.

Z. Nivel de confianza. Se tomó el valor de 1,96 para un nivel de confianza de 95%

π . Probabilidad de éxito (0,5)

$(1-\pi)$. Probabilidad de fracaso (0,5)

E. Error máximo admisible (0,05)

El número de muestra determinada por la ecuación 1 es de 384 y fueron analizadas 1510 distribuidas como se muestra en la Tabla 1 para mejorar la precisión de los estimadores estadísticos.

Tabla 1. Número de muestras por área

<i>Regiones</i>	<i>Cantones</i>	<i>Número de muestra</i>
Los Ríos	Ventanas, Vinces, Palenque, Babahoyo, Mocache	1100
Guayas	Pedro Carbo, Nobol	400
	Total	1510

El análisis de regresión de la relación entre el peso de la tusa y el peso del grano se llevó a cabo con programa profesional *Statgraphics Centurion XVI.II* con el objetivo de evaluar si existía una correlación positiva entre las variables.

Los coeficientes de residuos se determinaron a través de la ecuación 2, para lo cuál se realizó el pesaje de cada una de las partes que conforman la planta, relacionando el peso de cada parte de la planta con el peso del grano de maíz obtenido después del desgranado de la mazorca.

$$C_R = \frac{\text{Valores medios peso del residuo}}{\text{Valores medios del peso del maíz}} \quad (2)$$

Las figuras 2 a, b, c, d, e, f, g, h muestran la secuencia de las mediciones realizadas para la determinación de los coeficientes de residuos.

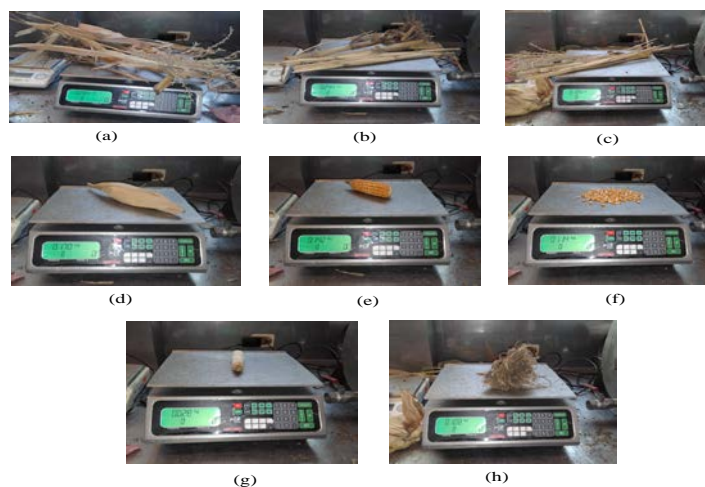


Figura 2. Planta de maíz y sus partes. (a) Planta con raíz, tallo, hoja y mazorca. (b) Planta sin mazorca. (c) Planta sin hojas y mazorca (d) Mazorca. (e) Mazorca sin hojas. (f) Granos. (g) Tusas. (h) Raíz.

A los valores del coeficiente de residuos se le determinó la varianza a través de la fórmula VAR utilizando el programa profesional *Microsoft Excel*.

2.2. Caracterización de los residuos de tusa de maíz. Poder calorífico.

Las muestras de tusa (Humedad 10 %) objeto de estudios fueron tomadas de ambas provincias, Los Ríos y Guayas y determinada su composición elemental, inmediata y poder calorífico bajo en los laboratorios del Centro de Excelencia y Generación

Distribuida (NEST) de la Universidad Federal de Itajubá, Brasil.

La humedad de la biomasa en base de trabajo fue determinada con una balanza de humedad y pesaje modelo MAC (obtenida de forma automática por el equipo) cuya precisión de lectura del 0,1 %. El análisis aproximado fue realizado por una balanza termo gravimétrica LECO (TGA 701), temperatura de trabajo desde 100°C hasta 1000°C y resolución de 0,001 gramos. El análisis inmediato fue realizado con un analizador Perkin Elmer (CHNSO, Model 2400), precisión $\leq 0,2\%$. El valor calórico fue obtenido mediante un calorímetro Labcontrol modelo C2000. Este equipo posibilita la obtención del poder calorífico superior (LHV_s), dado que las muestras no sufrieron ningún tratamiento previo, el resultado es considerado en base de trabajo y el valor calórico inferior (LHV_b) en base de trabajo fue determinado a partir de la ecuación 3 (Faires, 1986).

$$LHV_b = LHV_s - \chi[W_t + 0,09H_s(1 - W_t)] \quad (3)$$

Donde:

LHV_s : Poder calorífico superior en base de trabajo, kJ/kg.

χ : Calor latente del agua (2310 kJ/kg a 25°C).

W_t : Humedad de la biomasa en base de trabajo, %.

H_s : Contenido de hidrógeno en el combustible en base seca, % másico.

2.3. Potencial energético de los residuos de tusa de maíz.

Para la estimación del potencial energético se utilizó la siguiente expresión:

$$PE_t = CR_t \cdot R_{mha} \cdot PCI_{bt} \quad (4)$$

Donde:

PEt. Potencial energético de la tusa por hectárea, GJ/ha

CRt. Coeficiente promedio de residuos de tusa, Kgr/Kgp

R_{mha} . Rendimiento de maíz por hectárea, ton/ha

PCI_{bt} . Poder calorífico bajo de la tusa, MJ/kg.

Para establecer una relación de equivalencia entre el potencial energético de la tusa y el de otros combustibles, se utilizaron los datos de valor calórico bajo reportados en la tabla 2.

Tabla 2. Poder calorífico bajo de diferentes combustibles

<i>Combustible</i>	<i>Poder calorífico bajo, MJ/kg</i>	<i>Referencias</i>
Petróleo Crudo	40,14	Faires, 1986
GLP	46,46	
Gasolina	44,00	
Keroseno	43,02	
Gas Natural	44,53	
Madera	21,31	
Carbón Mineral	30,92	
Biogás	25,94	Baptista, 2001

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de regresión.

Los modelos analizados se reportan en la tabla 3.

Tabla 3. Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0,844	61,53%
Multiplicativa	0,7795	60,77%
Raíz Cuadrada Doble	0,7785	60,60%
Raíz Cuadrada de Y	0,7761	60,23%
Exponencial	0,7677	58,93%
Lineal	0,7586	57,55%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0,7569	57,29%
Raíz Cuadrada de X	0,7487	56,05%
Cuadrado de X	0,7428	55,18%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0,7407	54,86%
Logaritmo de X	0,7141	50,99%
Log-Y Cuadrado-X	0,7117	50,65%
Cuadrado Doble	0,6909	47,74%
Cuadrado de Y	0,6763	45,74%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0,6498	42,22%
Inversa de Y	-0,6442	41,50%
Cuadrado-Y Log-X	0,6006	36,07%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0,5578	31,11%
Doble Inverso	0,4775	22,80%
Curva S	-0,4530	20,52%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0,4150	17,22%
Inversa de X	-0,3716	13,81%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0,2870	8,24%

Los resultados muestran un mejor ajuste entre el peso de la tusa y el peso del grano con el modelo log-Y raíz cuadrada-X, (Ecuación 5).

$$Tusa = e^{1,57855 + 0,127884 * \sqrt{\text{gramos de maíz}}} \quad (5)$$

El coeficiente de correlación del modelo es de 0,7844 y el R² de 61,53 %, lo cual significa que hay un ajuste apropiado entre el peso de la tusa y el peso del grano, dado que exceden el umbral del 60% (Webster, 2000).

3.2. Coeficientes de residuos de la cosecha de maíz.

Los coeficientes de residuos derivados de la producción de maíz, obtenidos experimentalmente a través de la ecuación 2 y siguiendo la secuencia representada en la figura 2 se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Valores medios del coeficiente de residuos de la cosecha de maíz en la provincia de Los Ríos y Guayas de Ecuador

<i>Provincias</i>	<i>Cantones</i>	<i>Coefficientes de Resíduos (kgr/kgp)^(*)</i>					
		<i>Tallos</i>	<i>Raíz</i>	<i>Hojas¹</i>	<i>Hojas²</i>	<i>Tusas</i>	<i>Total</i>
Los Ríos	Palenque	0,330	0,182	0,316	0,008	0,176	1,012
Los Ríos	Mocache	0,280	0,080	0,248	0,022	0,120	0,750
Los Ríos	Vince	1,031	0,452	0,535	0,051	0,211	2,280
Los Ríos	Ventanas	1,231	0,260	0,393	0,029	0,220	2,133
Los Ríos	Babahoyo	0,990	0,150	0,532	0,028	0,210	1,910
Guayas	Pedro Carbo	0,899	0,723	0,420	0,045	0,158	2,245
Guayas	Nobol	0,432	0,089	0,562	0,041	0,204	1,328
Promedio		0,741	0,277	0,429	0,032	0,186	1,665

^(*)Corresponde a la relación de kg de residuos/ kg de producto (maíz).1. Hojas de la planta, 2. Hojas de la mazorca

En el caso de la tusa se obtuvo un valor medio de todas las muestras analizadas de 0,186 kilogramos de tusas por kilogramo de maíz seco cosechado, con una varianza de 0,005 de kilogramos de tusa / kilogramos de maíz y una desviación estándar de 0,07 kg de tusa/kilogramos de maíz, los valores muestran una dispersión mínima con respecto al valor medio obtenido, de forma tal que podemos afirmar que el coeficiente de residuos de la tusa es de $0,186 \pm 0,07$ kg de tusas/kg de maíz.

Utilizando el valor medio del coeficiente de residuos de la tusa y teniendo en cuenta que el rendimiento de maíz promedio en las regiones de Los Ríos y Guayas es de 4,86 ton/ha se pueden obtener 0,9 ton de tusas por hectárea.

3.3. Caracterización de los residuos de tusa de maíz.

Se determinó la composición elemental de la tusa en base seca y libre de cenizas, el porcentaje de cenizas volátiles y carbón fijo y el poder calorífico inferior, Tabla 5.

Tabla 5. Características de las tusas

<i>Análisis Elemental (% másico), base seca y libre de cenizas</i>		<i>Normas</i>
<i>Elementos</i>	<i>Valores</i>	
Carbono (C)	48,50	ASTM D 5373-08
Hidrógeno (H)	5,64	
Oxígeno (O)	45,46	
Nitrógeno (N)	0,40	
Azufre (S)	0,01	
<i>Análisis Inmediato (% másico)</i>		
Cenizas	1,73	ASTM D 3175
Volátiles	79,36	ASTM D 3174
Carbón fijo	17,14	ASTM D 3172
Humedad	1,77	ASTM D 3173
<i>Valor calórico inferior en base de trabajo (MJ/kg)</i>		
17,40		

Los valores resultantes de las características de la tusa están dentro del rango de los obtenidos por otros autores (Biagini et al., 2014, Suhartono et al., 2016).

3.4. Potencial energético de la tusa

Considerando el coeficiente promedio de residuos de tusa (0,186 kgr/kgp) (Tabla 5), un rendimiento de maíz promedio por hectárea de 4.86 ton/ha en la provincia de Los Ríos y Guayas (Tabla 1) y el poder calorífico bajo de la tusa (17,40 MJ/kg) (Tabla 6), podemos estimar un potencial energético de la tusa (Ecuación 4) de 15,72 GJ/ha por cosecha (4,37 MWh/ha por cosecha) como energía primaria de carácter renovable, teniendo en cuenta que 3600 kJ/kWh (Faires, 1986).

Para establecer una relación de equivalencia entre el potencial energético de la tusa y otros combustibles utilizados en el área rural ecuatoriana, en la figura 3 se muestra la cantidad másica de combustible equivalente por unidad de área por cosecha, tomando en consideración el poder calorífico de estos combustibles reportado en la tabla 3.

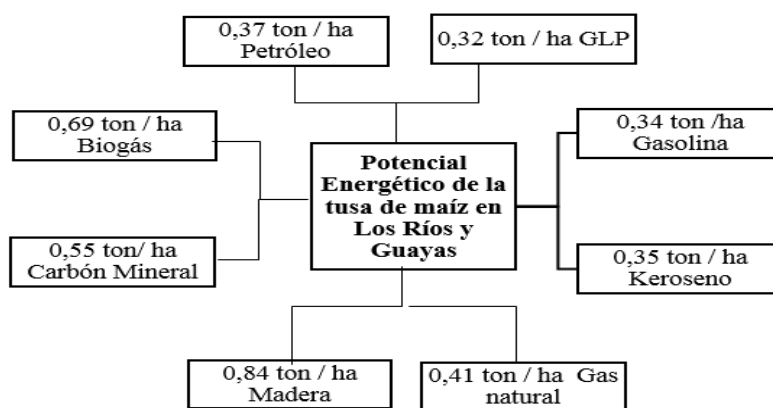


Figura 3. Potencial energético equivalente de una hectárea de residuos de tusa de maíz

4. CONCLUSIONES

1. La correlación estadística entre el peso de la tusa y el peso del grano es significativa, ajustada a un modelo exponencial con un coeficiente de correlación de 0,78 y R^2 de 61,53 %.
2. El valor medio del coeficiente de residuos de tusa en las provincias de Los Ríos y Guayas, Ecuador, es de 0,186 ton de tusas/ton de maíz con una desviación estándar de $\pm 0,07$ kg de tusa/kg de maíz.
3. El potencial energético de la tusa en las provincias de Los Ríos y Guayas calculado a través del valor medio del coeficiente de residuos de tusa es de 15,72 GJ/ha por cosecha, equivalente a 0,37 toneladas de petróleo crudo, 0,32 toneladas de GLP, 0,34 toneladas de gasolina, 0,35 toneladas de keroseno, 0,41 toneladas de gas natural, 0,84 toneladas de madera, 0,35 toneladas de carbón mineral y 0,69 toneladas de biogás.

AGRADECIMIENTOS

Al M.Sc. Lic. Juan López Vera, profesor de la Facultad de Especialidades Empresariales de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador.

REFERENCIAS

- Aldana, H., Lozano, F.J., Acevedo, J., Evaluating the potential for producing energy from agricultural residues in Mexico using MILP optimization., *Biomass and Bioenergy*, Vol. 67, 2014, pp. 372 – 389.
- Arun, K.M, & Ramanan, V., Comparative studies on gasification of corn cob, Casuarina wood and coconut shell in a fixed bed gasifier., *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, Vol. 8, No.7, 2016, pp. 544-552.
- Baptista, T.M., Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte., Tesis presentada para la obtención del Título de Doctor en Zootecnia - Producción Animal, Universidad Estadual Paulista, Facultad de Ciencias Agrarias e Veterinarias, Campus de Jaboticaba– SP, Brasil., 2001.
- Biagini, E., Barontini, F., Tognotti, L., Gasification of agricultural residues in a demonstrative plant: Corn cobs., *Bioresource Technology*, Vol. 173, 2014, pp. 110–116.
- Brosowski, A., Thrän, D., Mantau, U., Mahro, B., Erdmann, G., Adle, P., Stinner, W., Reinhold, G., Hering, T., Blanke, C., A review of biomass potential and current utilization –Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany., *Biomass and Bioenergy*, Vol. 95, 2016, pp. 257-272.
- Faires, V.M., *Termodinámica.*, Edición Revolucionaria, 1986, pp. 1-807.
- Huanguang, Q., Laixiang, S., Xinliang, X., Yaqing, C., Junfei, B., Potentials of crop residues for commercial energy production in China: A geographic and economic analysis. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 64, 2014, pp.110 -123.
- Jiménez, R., López, E.J., González, F., Curbelo, J.A. Evaluación preliminar del potencial energético de diferentes biomásas en la provincia de Cienfuegos. *Centro Azúcar*, Vol. 45, No.2, 2018, pp. 24-32.
- Perpiñá, C.D., Perez-Navarro, A., Peñalvo, E., Vargas, C., Cárdenas, R., Methodology based on Geographic Information Systems for biomass logistics and transport optimization., *Renewable Energy*, Vol. 34, No. XX, 2009, pp. 555–565.
- Rodrigo, M., Centeno, L.M, Muruais, J., Maíllo, D.A, Ramírez, J., Vallina, D., Tolosa, E., Guía de valorización energética de residuos., *Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas*, 2010, pp. 4-147.
- Salazar, D., Cuichán, M., Ballesteros, C., Márquez, J., Orbe, D., Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua., *Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales, El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)*, Quito, Ecuador, 2017, pp. 3-23.
- Sánchez, A., Torres, E., Estupiñan, V., Vargas, J., Sánchez, J., Sánchez, N., Valoración nutritiva del rastrojo de *Zea mays* y *Oryza sativa* para la alimentación de ovinos en el trópico ecuatoriano., *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, Vol. 4, No. 3, 2015, pp. 235-249.
- Suhartono, B., Dwi, P., & Ikrimah, N., Synthetic gas (syngas) production in downdraft corn cob gasifier and its application as fuel using conventional domestic (lpg) stove., *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 11, No. 8, 2016, pp. 200-215.

- Scott, B.N., Felby, C., Jellesmark, T., Agricultural residue production and potentials for energy and materials services. *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 40, 2014, pp. 59-73.
- Suzuki, K., Tsuji, N., Shirai, Y., Hassan, M.A., Osaki, M., Evaluation of biomass energy potential towards achieving sustainability in biomass energy utilization in Sabah, Malaysia., *Biomass and Bioenergy*, Vol. 97, 2017, pp. 149-154.
- Vera, D., Delfini, G.L., Godoy, L.,Díaz, E., Ávila, F., Fiallos, F.; Meza, G., Análisis de estabilidad para el rendimiento de híbridos de maíz (*Zea mays*) en la Región Central del Litoral Ecuatoriano., *Scientia Agropecuaria*, Vol.4, 2013, pp. 211 – 218.
- Webster, A.L., *Estadística aplicada a los negocios y a la economía.*, 3ra Edición, Editorial Irwin McGraw-Hill, 2000, pp. 1-651.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

- M.Sc. José Alfonso Martillo Aseffe. Realizó las pruebas experimentales para evaluar los coeficientes de residuos, el procesamiento estadístico y evaluación de los resultados.
- Dr.C. René Lesme Jaén. Trabajó en la caracterización energética de la tusa, la evaluación de los resultados y en la confección del artículo.
- Dr.C. Luis Oscar Oliva Ruíz. Colaboró en las pruebas experimentales para la obtención de los coeficientes de residuos, el potencial energético y en la revisión del artículo.