

Estimación de las propiedades físico-químicas de residuos agroindustriales para el aprovechamiento como biocombustible.

Palacios Vallejos Karla Yuliana¹, Romero Mendoza María Alexandra¹, Rosero Delgado Ernesto Alonso¹, Latorre Castro Gisela Beatriz¹

¹Universidad Técnica de Manabí. Ingeniería Química. Portoviejo.

kpalacios7879@utm.edu.ec, mromero9586@utm.edu.ec, erosero@utm.edu.ec, glatorre@utm.edu.ec

I. RECIBIDO: 22/02/2020

ACEPTADO:20/03/2020

Abstract— in Ecuador maize (*Zea mays L*) it's produced in the coastal, Andean and Amazon region, 45.521 hectares are harvested annually in Manabí. On the other hand, peanuts (*Arachishypogaea*) are another important crop in Manabí agriculture. Within the different agricultural or processing processes, heterogeneous waste, especially biomass, which represents an environmental problem due to the lack of techniques for its use, remaining in the field in the form of waste, which creates pollution problems. An assessment was made of the physicochemical properties that influence energy potential (humidity, ash, fixed carbon and volatile material) of these residues specifically of corn stalk (TM) and peanut shell (CM) for use in the development of a solid biofuel (pélet). CM's moisture content was 11.45% and TM 10.83%. The highest ash content in CM 18.93% and a lower content at TM=11.93%. The fixed carbon content in CM=15.78% and in TM=23.11%, similar values were obtained in the volatile material content between the two residues (CM=65.47% and TM=64.96%), these results indicate that the selected waste can be used for power generation as solid biofuels. In a pilot burner, pellets were burned for each selected agro-industrial waste reaching a maximum temperature of 751±39 °C for CM and 653±13 °C for TM in time of 9 and 4 minutes respectively.

Index Terms— biomass, energy potential, solid biofuel.

II. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia el uso de combustibles fósiles ha generado gases de efecto invernadero, provocando que la energía de la luz solar entre a la tierra, pero que no salga de la atmósfera.

El rápido aumento de la demanda y el consumo de combustibles fósiles, así como su consecuente impacto sobre el cambio climático y el medio ambiente, han puesto de manifiesto la importancia de desarrollar fuentes de energías alternativas y renovables. Los residuos de la biomasa o residuos orgánicos, como fuente de energía renovable, suponen una solución viable para satisfacer la demanda energética que, además, tiene en cuenta el cambio climático y contribuye a reducir la dependencia de los combustibles fósiles. En los países en desarrollo, este recurso supondría una fuente energía muy versátil que podría utilizarse tanto para fines industriales y comerciales como para uso doméstico [1].

Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA por sus siglas en ingles), la energía renovable es la que deriva de procesos naturales que se reponen constantemente, es decir, la que se obtiene de las continuas corrientes de energía recurrentes en el entorno natural, además menciona que para el año 2010, la biomasa sólida representó un 9,25% del total de la oferta de energía mundial [2], posesionándose como la mayor fuente de energía renovable.

A nivel mundial el maíz (*Zea mays L.*) es considerado el segundo cultivo de importancia después del trigo, debido a que se cultivan más de 168 mil millones de hectáreas con una producción anual de más de 876 mil millones de toneladas, en el Ecuador se produce el maíz amarillo duro y se cosecha en la región litoral, andina y amazónica, sin embargo, el mayor número de hectáreas cosechadas se da en la región litoral en la provincia de Los Ríos, en Manabí se cosechan 45.521 hectáreas anualmente [3]. Por otra parte, el maní (*Arachishypogaea*) se cosecha en las provincias del litoral principalmente en Manabí, El Oro, pequeñas cantidades en Guayas y Santa Elena [4].

Los residuos agroindustriales poseen un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen elaboración

de nuevos productos, aportar valor agregado a los productos originales y recuperar condiciones ambientales alteradas. Por ejemplo, como una fuente de combustible alternativo, el maíz es una opción viable que se puede utilizar de diferentes maneras, es neutral para el medio ambiente y no contamina el suelo o las aguas subterráneas, por lo que es un bien deseable en el mercado energético en la actualidad [5]. A su vez se estima que aprovechar la cáscara de maní en reemplazo de combustible fósil durante el proceso de generación de energía y se ha comprobado que se puede lograr una disminución de un 83% la huella de carbono de la cadena y, en algunos casos, del 100% [6].

El Ecuador por ser un país eminentemente agrícola posee grandes extensiones de cultivos, para el año 2014, la producción de residuos agrícolas superó los 10 millones de toneladas [2]. La elevada cantidad de residuos producidos permite la apertura de un campo interesante de explotación de los mismos a través de su conversión energética a electricidad, calor y producción de biocombustibles de elevado valor agregado. En este caso los residuos agroindustriales serán aprovechados presentando una alternativa menos contaminante de generación de energía.

La principal alternativa se deriva a la producción de biocombustibles de segunda generación, también llamados combustibles sólidos o denominados pellets, estos se pueden producir directamente de la biomasa o mediante su transformación y están visionados a substituir a combustibles de origen fósil [7]. Otra de las alternativas se centra en la gasificación y pirólisis que pretenden transformar residuos sólidos en gas o combustibles de síntesis a través de la combustión.

La densificación para obtención de pellets, se denomina peletizado y se realiza mediante prensado; es la propia lignina de los residuos la que actúa de aglomerante, mientras que el carbono es el verdadero combustible presente en los residuos y el material volátil facilita su ignición. El mismo se puede aplicar en cualquier proceso industrial o doméstico que requiera calor, así como en procesos de secado industriales, polideportivos, hoteles, calefacción [8].

Dentro de las principales ventajas que ofrece el uso de este tipo de fuentes de energía se encuentran: la fácil obtención, los bajos niveles de emisión de gases de efecto invernadero producidos por los procesos de transformación y el bajo costo de recolección [9].

El objetivo de esta investigación; fue realizar la estimación de las propiedades físico-químicas de la cáscara de maní y el tallo de maíz para determinar el posible aprovechamiento de estos dos residuos agroindustriales en la producción de un biocombustible sólido.

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

Se utilizaron para la caracterización los siguientes residuos agroindustriales (RA); Cáscara de maní (CM) (*Arachishypogaea*), y tallo de maíz (TM) (*Zea mays L.*).

A. Análisis físico-químicos

Fueron evaluados la humedad, el contenido de cenizas, material volátil y carbono fijo; debido a que son componentes que influyen en el potencial energético.

La humedad se determinó en una termobalanza modelo BMA150 a una temperatura de 115°C durante un periodo de 5-10 minutos. [10]

El proceso de determinación de ceniza se ejecutó durante 2 horas a 600°C en una mufla Thermolyne Cientific FD1315M. [10]

Se calculó el porcentaje de pérdida de peso que se produce en cada muestra al calentarlas en atmósfera inerte (es decir, en ausencia de oxígeno o de cualquier otro oxidante) a 950°C durante 7 minutos para calcular el material volátil. [10] [11]

El carbono fijo es la fracción de carbono residual que permanece luego de retirar de la muestra la humedad, las cenizas y el material volátil. [10] [12]

B. Elaboración de los comprimidos (pellets)

El proceso de elaboración de los pellets consistió en densificar los residuos agrícolas (previamente molida y tamizada) en una peletizadora modelo KL 1500.

C. Combustión de los pellets

La quema de los pellets se la realizó en un equipo de combustión piloto, sometiendo a quema 200g de pellet, las variables evaluadas fueron el incremento de temperatura durante un período de 25 minutos. Los resultados fueron utilizados para establecer la cinética de combustión.

IV. RESULTADOS

En la tabla 1 se presenta los resultados promedios obtenidos de un análisis proximal de los residuos agroindustriales y de los pellets.

En las figuras 1 y 2 se presentan las cinéticas de combustión de los pellets elaborados con CM y TM, cada una de las imágenes muestra picos que indican los máximos alcanzados con respecto a la temperatura; conocer la cinética de la combustión es de gran importancia porque ésta permite confirmar la cantidad de energía que se desprende, manifestándose visualmente como fuego, debido a la oxidación de la biomasa hasta convertirse en CO_2 .

TABLA I
ANÁLISIS PROXIMAL DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS Y PELLETS ELABORADOS

%	CÁSCARA DE MANÍ		TALLO DE MAÍZ	
	RESIDUO	PELLETS	RESIDUO	PELLETS
Humedad	11.45±0.23	9.88 ± 0.17	10.83±0.66	10.40±0.30
Cenizas	18.93±3.98	16.22±1.79	11.93±3.76	12.30±0.20
Material volátil	65.47±4.67	68.41±1.14	64.96±2.15	63.90±0.70
Carbono fijo	15.78±2.17	15.37±1.14	23.11±4.20	23.80±0.50

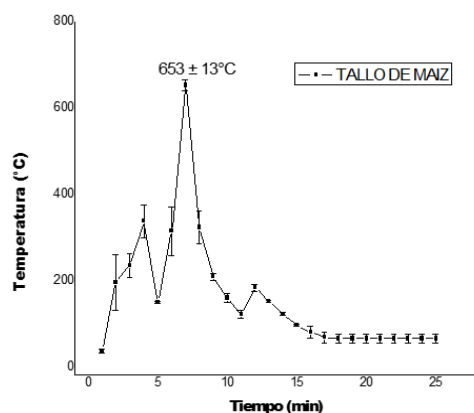


Fig. 1. Cinética de combustión de pellets elaborados con tallo de maíz.

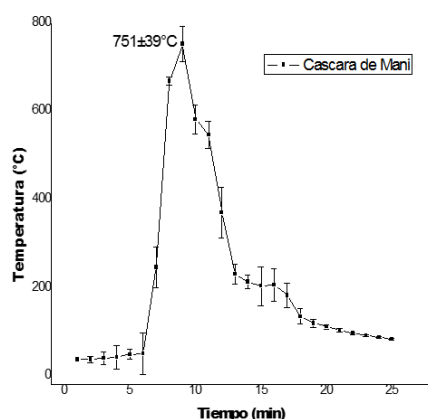


Fig. 2. Cinética de combustión de pellets elaborados con cáscara de maní.

V. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de los análisis realizados a los residuos agrícolas (tabla I) mostraron que tanto para la cáscara de maní (CM) como para el tallo de maíz (TM), presentaban similar contenido de humedad en los residuos como en los pellets, lo que contrasta el resultado reportado por Fonseca, Rodríguez y Camargo [13] con una humedad de 4,39% en su trabajo sobre caracterización del residuo de maíz, mientras Espinoza Bazurto y Leon Rios [14] informan un valor de humedad de 9,2% en su informe sobre obtención de papel a partir de la cáscara de maní (*Arachishypogaea*). Con un contenido de humedad inferior al 50% pueden ser aprovechados por un proceso de combustión directa, pirólisis o gasificación, Si los residuos salen con alto contenido de humedad antes del proceso de conversión energética es necesario la implementación de operaciones de secado, lo cual incrementa los costos para su aprovechamiento Para residuos con más del 50%, el proceso a usar es de fermentación o digestión anaerobia [15].

El contenido de cenizas más alto en la CM=18.93% y un menor contenido en el TM=11.93%. Dentro del reporte efectuado por Gatani, Argüello y Sesín [16] informan cenizas de 2-4% para la cáscara de Maní. Las cenizas corresponden a la cantidad de materia sólida no combustible presente en un material. El poder calórico de un material se obtiene de acuerdo al contenido de cenizas. Si se tiene un alto contenido de cenizas en los residuos agrícolas, se reduce el poder calorífico y mayor es el contenido de residuos [15].

Estos residuos presentan un contenido de carbono fijo bajo en CM=15.78% y un valor más alto en TM=23.11%, que en referencia al informado por Adegoke, Fuwape y Fabiyi [17], el contenido de carbono fijo en su reporte estipula valores de entre 10.23% al 12.07%, evidencia similar valor de contenido fijo en lo que concierne a la cáscara de maní con características parecidas a la madera, al tener mayor contenido de carbono fijo mayor será su temperatura en un proceso de conversión energética ya que este es el combustible que está realmente presente en la biomasa.

Con relación al contenido de material volátil se obtuvo valores similares entre ambos residuos (CM=65.47% Y TM=64.96%), efectuando una comparación con el informe de Al-Kassir y Al-Karany [10] reportó en su trabajo valores de materias volátiles desde 32,62% al 82,00%; lo que indica que los valores de los residuos están dentro de este rango y pueden ser utilizados como combustibles por tener un porcentaje alto de volátiles gracias a que el material volátil facilita su ignición.

Aunque los resultados obtenidos en la evaluación de las propiedades fisicoquímicas tanto para residuos agroindustriales como para pellets presentan valores similares (Tabla I), los biocombustibles sólidos presentan un crecimiento exponencial durante los últimos años, debido principalmente a las ventajas que ofrecen, como la facilidad de almacenamiento, transporte, la duración que poseen y la capacidad energética[18].

En la figura 1 se muestra la temperatura máxima que alcanzaron los pellets elaborados con el tallo de maíz, siendo esta de $^{\circ}\text{T}_{\text{máx.}}$ de $653\pm 13^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de 4min, esta temperatura es baja en comparación la quema de los pellets elaborados a base de tallo de maíz, esto puede deberse a su contenido de material volátil lo que disminuyó su energía en la quema y se consumió más rápido debido a la volatilidad del mismo.

En la figura 2 se observa el comportamiento de la quema de pellets elaborados a partir de cáscara de maní, alcanzando una $^{\circ}\text{T}_{\text{máx.}}$ de $751\pm 39^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de 9 minutos.

Comparando el informe de Rivadeneria y colaboradores [19] en el que reportan que el perfil de temperaturas alcanzadas durante la combustión de las muestras de: Astilla de madera y Piñón supera los 700°C con excepción de una que está por debajo de los 600°C , comparando la mayor temperatura observada está en directa relación con el contenido energético que tiene similitud a los resultados obtenidos; por el contrario el reporte de Rhéna y colaboradores [20], basado sobre “Efecto de la composición de la materia prima en pellets de biomasa leñosa en las características de combustión”, lograron obtener temperaturas que 700, 800 y 1000°C con variaciones de 5, 10 y 15 % vol. de concentración de oxígeno respectivamente para la quema de pellets en quemadores domésticos.

Cabe enfatizar que, en Ecuador, la biomasa es muy abundante, pero debido a ser un país en desarrollo todavía no se la explota como debería, una alternativa es aprovecharla en la producción de biocombustibles sólidos. La biomasa tiene carácter de energía renovable gracias a su contenido energético es un biocombustible de “carbono neutral”, es decir, que la cantidad de CO_2 emitida por la combustión procede de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético [21]. Densificar la biomasa de tal forma que pueda ser aprovechada de la mejor manera, creando dos tipos de productos, las briquetas y los pellets, siendo la principal alternativa para su posterior uso en la producción de energía que sea rentable y amigable con el medio ambiente.

VI. CONCLUSIÓN

La determinación de las propiedades físicas, energéticas señalan que las especies estudiadas presentan buenas características para ser aprovechados como fuentes de energía.

La importancia de la caracterización de la cáscara de maní y el tallo de maíz, servirá para futuros análisis en los cuales se necesite conocer la cantidad de ceniza, material volátil, carbono fijo y la humedad al momento seleccionar una tecnología para su aprovechamiento energético, entre los que destaca la producción de pellets.

En cuanto a su competitividad con el carbón, combustible sólido mejor posicionado en el sector industrial por sus características y poder energético, los pellets y briquetas tiene la ventaja sobre éste de que su tiempo de ignición es mucho más corto, por otra parte, el pellet tiene una gran ventaja sobre el uso de combustibles derivados de petróleo, debido a que un litro de gasoil (combustible fósil) puede generar 8,800 Kcal y un kilo de pellet (de baja humedad) genera 4,600Kcal, por tanto se puede alcanzar la misma energía generada por el combustible fósil, con 1,91 kilos de pellets, con las ventajas ambientales que esto representa.

VII. AGRADECIMIENTO

Nuestros sinceros agradecimientos al Ingeniero Ernesto Rosero, PhD., por los conocimientos impartidos, por brindarnos su apoyo y dedicación al ser nuestro guía y asesor durante el proceso de esta investigación.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2012). Conversión de residuos agrícolas orgánicos en fuente de energía. Centro Internacional de Tecnología Ambienta.
- [2] Instituto nacional de prevención del ecuador. (2014). Atlas bioenergético de la república del ecuador. ESIN consultora S.A.
- [3] Bravo, E., & León, X. (2013). Monitoreo participativo del maíz ecuatoriano para detectar la presencia de proteínas transgénicas. La granja, Revista de Ciencias de la Vida, 17(1), pp. 16-24.
- [4] Guamán Jiménez, R., & Comte Saltos, E. (2014). Evaluation of lines of peanut (arachis hypogaea l.) for harvest yield and quality of seed for crops in the province of Santa Elena. Rev. Alternativas UCSG, 15(1), pp. 10-16.
- [5] Writer, C. (febrero de 2018). Cuáles son los beneficios del uso del maíz como fuente de combustible. Recuperado el 13 de mayo de 2019, de <https://www.geniolandia.com/13091190/cuales-son-losbeneficios-del-uso-del-maiz-como-fuente-de-combustible>

- [6] Díaz Carballo, N. (3 de agosto de 2015). Potencial energético de la cáscara de maní. Recuperado el 13 de mayo de 2019, de <https://www.3donline.com.ar/potencial-energetico-de-la-cascara-de-mani/>
- [7] Alejos, C., & E., C. (2015). Biocombustibles de primera generación. REVISTA PERUANA DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA, 18(2), pp. 20-21.
- [8] Velásquez, S., Bernabé, P. S., Bernabé, N. S., A. C., Rodríguez, L. S., & Castañeda., M. A. (2014). Optimización del proceso de densificación de desechos lignocelulósicos para la conformación de pellets energéticos. Sciéndo, ciencia para el desarrollo., 17(1), 84-81.
- [9] Vargas, F., Guerrero, C., & Arango, J. (2008). Tecnologías para el aprovechamiento de biocombustibles. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- [10] Al-Kassir, Al-Karany, R. (2013). Caracterización y preparación de residuos de biomasa con ensayos experimentales de secado térmico y combustión no contaminante. Portoalegre: Instituto Politécnico de Portoalegre.
- [11] Castells, X., Cadavid, C., Campos, P., Flotats, R., García, M., Gaya, F., . . . Velo, G. (2005). Tratamiento y valorización energética de residuos. España: Díaz de Santas.
- [12] AENE. (2009). Muestreo y caracterización de la biomasa residual en Colombia. Anexo B. Bogotá.
- [13] Fonseca, S. D., Rodríguez, H. A., & Camargo, G. (2017). Caracterización de residuos de maíz del municipio de Ventaquemada, Colombia. Avances en Ciencias e Ingeniería, 8(2), pp. 29-36.
- [14] Espinoza Bazurto, J. R., & Leon Rios, K. S. (2017). Obtención de papel a partir de la cáscara de maní (*Arachis hypogaea*). Facultad de ingeniería química. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- [15] Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M., & Duarte, M. (2011). Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. Upme, IDEAM, Colciencias,UIS.
- [16] Gatani, M., Argüello, R., & Sesín, S. (2010). Effect of chemical treatments on the mechanical properties of peanut shell and cement blends. Materiales de construcción, 60(298), pp. 137-147.
- [17] Adegoke, O., Fuwape, J., & Fabiyi, J. (2014). Combustion Properties of Some Tropical Wood Species. Nigeria: Energy and powe.
- [18] Bolívar, V., & Valenzuela Macías, J. A. (2015). Estudio de las posibilidades de peletización de la cáscara de cacao y su utilización como biocombustible (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química).
- [19] Rivadeneria Rivera, D. A., Ramirez Peñaherrera, V. E., Narváez Cueva, R. A., Heredia Skagadi, M. A., da Cruz, L. A., & Amador de Matos, A. M. (2017). First analysis of emissions during the combustion of pellets of *Jatropha curcas* at 2635 masl. Investigación y Saberes, Vol. 2, N°3, pp. 65-79.
- [20] Rhéna, C., Öhmanb, M., Grefa, R., & Wästerlunda, I. (2007). Effect of raw material composition in woody biomass pellets on combustion characteristics. Biomass and Bioenergy, Vol. 31, pp.66–72.
- [21] Fernández, J. (2004). Energía de la biomasa. En Colección "Energías renovables para todos" (págs. 397-445). Madrid: Fundación Iberdrola.



Palacios Vallejos Karla Yuliana. Estudiante del noveno semestre de la Escuela de Ingeniería Química en la Facultad de Ciencias Matemática, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.



Romero Mendoza María Alexandra. Estudiante del noveno semestre de la Escuela de Ingeniería Química en la Facultad de Ciencias Matemática, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.



Rosero Delgado Ernesto Alonso. Doctor en Ciencias Técnicas - Procesos Biotecnológicos. Ingeniero Agroindustrial. Docente Principal de la Universidad Técnica de Manabí desde el 2015. Imparte las disciplinas de Ingeniería de los Bioprocesos, Biotecnología y Estadística y Control de calidad. Director del grupo de

investigación de Biotecnología Aplicada de la Universidad
Técnica de Manabí.