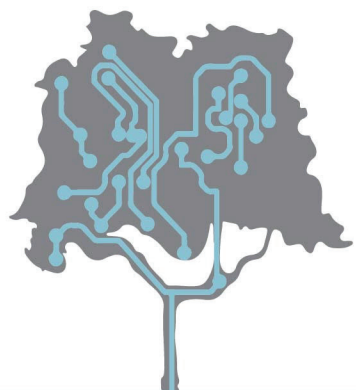




Red de Investigación Estudiantil de la Universidad del Zulia
Revista Venezolana de Investigación Estudiantil

REDIELUZ

Sembrando la investigación estudiantil

Vol. 10 N° 2

Julio - Diciembre 2020



ISSN: 2244-7334
Depósito Legal: pp201102ZU3769



VAC

Universidad del Zulia
Vicerrectorado Académico

REDIELUZ

ISSN 2244-7334 / Depósito legal pp201102ZU3769

Vol. 10 N° 2 • Julio - Diciembre 2020: 76 - 86

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA Y BIOECONÓMICA DE LAS BRIQUETAS ELABORADAS CON BIOMASA RESIDUAL DEL CULTIVO DE MAIZ EN ECUADOR

Energy and bioeconomic characterization of briquettes made with
residual biomass from corn culture in Ecuador

Carlos Delgado¹, Johnny Navarrete¹, Patricio Noles¹, Nancy Hernández²

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López" (ESPAM MFL), Área agroindustrial, Manabí, Ecuador¹. Laboratorio de Ecología, Facultad de Agronomía, Maracaibo, Venezuela, Universidad del Zulia (LUZ)². Dirección de correspondencia: cdelgado@espam.edu.ec

RESUMEN

La utilización de biomasa de origen animal y vegetal constituye fuentes energéticas renovables, enmarcado dentro de un nuevo enfoque denominado Bioeconomía, el cual tiene como propósito generar energía alternativa y sustituir la energía a base de combustibles fósiles. La presente investigación tiene como objetivo caracterizar las briquetas elaboradas con biomasa del cultivo de maíz en Ecuador evaluando su poder calorífico y realizando un análisis económico. La investigación fue de tipo experimental, con un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos y tres replicas cada uno, utilizando como testigo carbón doméstico. La composición de cada tratamiento fue 30% aglomerante como variable fija y 70% residuos agrícolas de maíz con una composición de: $T_1 = 42\%$ tusa - 28% tallo, $T_2 = 28\%$ tusa - 42% tallo, $T_3 = 35\%$ tusa - 35% tallo. En cuanto a los resultados obtenidos de las variables: resistencia de compresión, ceniza, tiempo de encendido, humedad y poder calorífico; el T_3 , fue el que cumplió con la mayoría de los requisitos establecidos en la Norma Técnica Colombiana 2060. Mientras menos contenido de humedad tenga los residuos, menor será el porcentaje de ceniza que emitan las briquetas y de la misma manera esto contribuirá a la obtención de mayor concentración de poder calorífico. Se recomienda continuar realizando investigaciones que permitan conocer cuales contaminantes y material particulado se genera al momento de la combustión de briquetas, para así conocer los componentes óptimos necesarios en la generación de esta energía alternativa.

Palabras clave: Energía alternativa, bioeconomía, residuos agrícolas, *Zea mays*, poder calorífico.

ABSTRACT

The use of biomass of animal and plant origin constitutes renewable energy sources, framed within a new approach called Bioeconomy, which aims to generate alternative energy and replace energy based on fossil fuels. The present research aims to characterize the briquettes made with biomass from the corn crop in Ecuador, evaluating their calorific value and conducting an economic analysis. The research was experimental, with a Completely Random Design (DCA) with three treatments and three replicates each, using household coal as a control. The composition of each treatment was 30% binder as a fixed variable and 30% maize agricultural residues with a composition of: $T_1 = 60\%$ stem - 40% stem, $T_2 = 40\%$ stem - 60% stem, $T_3 = 50\%$ stem - 50% stem. Regarding the results obtained from the variables: compression resistance, ash, ignition time, humidity and calorific value; T_3 was the one that fulfilled most of the requirements established in the Colombian standard 2060. The less moisture content the residues have, the lower the percentage of ash emitted by the briquettes and in the same way this will contribute to obtaining of higher concentration of calorific value. It is recommended to continue carrying out investigations that allow knowing which pollutants and particulate material are generated at the time of the combustion of briquettes, in order to know the optimal components necessary in the generation of this alternative energy.

Keywords: Alternative energy, bioeconomy, agricultural residues, *Zea mays*, calorific value.

Recibido: 15-10-2020 Aceptado: 21-12-2020

INTRODUCCIÓN

La biomasa de origen animal y vegetal en la actualidad puede ser utilizada como fuente energética, constituyendo una alternativa de energía limpia y de bajo costo que fácilmente puede sustituir la energía a base de combustibles fósiles que usualmente son usados en hogares o en diferentes industrias. La utilización de fuentes energéticas renovables se encuentra enmarcado dentro del nuevo enfoque denominado Bioeconomía (Rodríguez *et al.*, 2017).

La Bioeconomía se define como la producción y utilización intensiva en conocimientos sobre los recursos, procesos y principios biológicos para la provisión sostenible de bienes y servicios en todos los sectores de la economía, siendo su punto de partida la producción sustentable de biomasa vegetal, animal y microbiana, aprovechando la fotosíntesis para producir, además de alimentos, energía y una amplia gama de biomateriales amigables con el ambiente (FAO 2011, GBS 2015). El enfoque de la bioeconomía aspira a copiar los fundamentos de la inteligencia biológica, en la cual un ser vivo constituye una maquinaria capaz de procesar una serie de compuestos para transformarlos en energía, biomasa y otros subproductos (Hodson de Jaramillo 2018).

América Latina y el Caribe poseen un gran potencial aprovechable en los ámbitos de la bioenergía, biotecnología, biodiversidad y servicios ambientales; sin embargo el concepto de bioeconomía ha recibido poca atención en las políticas públicas de los países de la región, en comparación con otras regiones como Europa. En la actualidad existen iniciativas que pueden servir de base para su desarrollo y el tema está empezando a posicionarse en la agenda pública en varios países de la región como Argentina, Colombia y más recientemente Ecuador (Rodríguez *et al.* 2017).

Ecuador es un país generador de biomasa por excelencia, debido a su creciente economía agrícola, gran cantidad de recursos forestales y pecuarios de cuyos desechos se puede producir energía limpia y renovable, siendo también uno de los países con mayor consumo energético, y ocupando el cuarto lugar en América Latina (INP 2014). Para el año 2013 la biomasa energética proveniente de la leña, carbón y residuos agrícolas tuvo una aportación del 5% de la producción total en la matriz energética, indicando este comportamiento un cambio enfocado en la utilización de recursos renovables como fuente principal de energía (CONELEC 2015).

La provincia de Manabí utiliza principalmente como fuente energética gas licuado de petróleo (GLP), seguido de la leña que aporta el 14% de combustible utilizado en los hogares para la cocción de alimentos (INEC 2010). La obtención de biomasa a partir de subproductos agrícolas, como lo es la elaboración de briquetas, resulta una alternativa que confronta y soluciona más de un problema ambiental; por ser un recurso renovable de bajo costo y ambientalmente amigable en especial para las poblaciones que no tienen acceso al GLP.

Las briquetas son formas de biocombustibles eficientes donde se concentra la mayor parte de la energía proveniente de la biomasa y en cuyo proceso de fabricación se aplican altas presiones y temperaturas en combinación con un aglomerante preferiblemente natural y empleando un molde, con el fin de incrementar la baja densidad aparente de la biomasa (Alarcón 2017).

El maíz duro (*Zea mays*) en el Ecuador es una de las pocas especies que se cultivan en las cuatro regiones naturales del país, por lo que es considerado uno de los productos agrícolas más importantes, abarcando una superficie de siembra aproximada de 500 mil ha (Quiroz y Merchán 2016). Es una realidad que al aumentar la producción agrícola también aumente la generación de residuos, y al no tener el tratamiento adecuado la disposición final de desechos contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero (GEI) que son la causa principal del cambio climático.

La utilización de biomasa para la elaboración de briquetas se presenta como una alternativa de proyección a una economía circular o de cascada, al incorporar un sistema de producción que usa como materia prima residuos de un cultivo que no puedan ser usados como compost o alimento animal; contribuyendo al desarrollo de una economía más sostenible evitando que a futuro estos residuos se conviertan en pasivos ambientales y a su vez satisfaciendo las necesidades energéticas de la población. Por lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente trabajo es caracterizar las briquetas elaboradas con biomasa del cultivo de maíz en Ecuador evaluando su poder calorífico y realizando un análisis económico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en la comunidad “San Miguel de Tres Charcos” del cantón Rocafuerte, Provincia de Manabí (0° 55' 6" Sur y 80° 29' 10" Oeste), Ecuador, durante el período abril - septiembre de 2019. La zona fue seleccionada en colaboración con El Instituto de Preinversión Ecuatoriana, encargado del atlas bioenergético del país, ya que la zona se caracteriza por poseer comunidades productoras de maíz (Fig.1a).

Oeste), Ecuador, durante el período abril - septiembre de 2019. La zona fue seleccionada en colaboración con El Instituto de Preinversión Ecuatoriana, encargado del atlas bioenergético del país, ya que la zona se caracteriza por poseer comunidades productoras de maíz (Fig.1a).

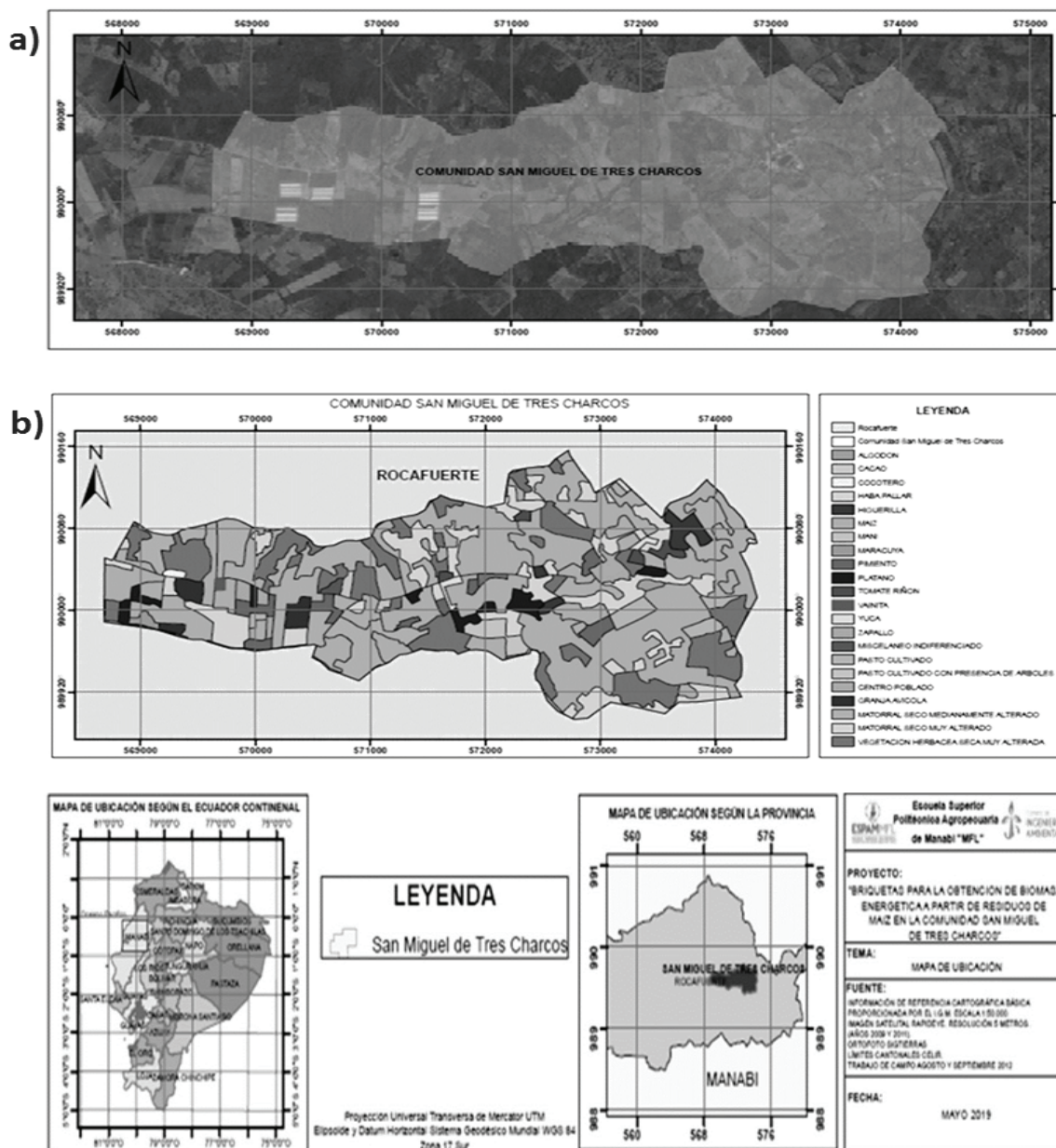


Figura 1. a) Ubicación de la Comunidad San Miguel de Tres Charcos. b) Sistema Agroproductivo de San Miguel de Tres Charcos (Fuente: Delgado *et al.* 2019).

Caracterización de la comunidad productora de maíz

Se tomaron las coordenadas geográficas de la comunidad productora de Maíz en formato UTM con un GPS. La información fue procesada con el software ArcGIS v10.4.1 que conjuntamente con los datos proporcionados por el departamento de Gestión de Riesgo del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GAD) del Cantón Rocafuerte, permitió la georreferenciación de los sistemas productivos de la comunidad. Con la finalidad de conocer el manejo de los residuos de cultivo de maíz en la comunidad se realizó una encuesta como instrumento de investigación a 24 agricultores de maíz de la comunidad San Miguel de Tres Charcos.

Toma y procesamiento de muestras

Se colectaron de forma manual 54 kg de tallo y de tusa una vez terminado el ciclo de cultivo. Con la finalidad de obtener una materia prima libre de residuos, tanto las tusas como los tallos fueron limpiados manualmente con ayuda de brochas y una vez limpia la materia prima se utilizó una estufa a 35 y 60 °C por 180 minutos para el secado, manteniendo los residuos (tallos y tusas) separado durante el proceso; este método fue desarrollado en la presente investigación.

Posterior al secado se determinó la humedad, considerando como óptimo aquella menor al 10%, para ello se calentó en la estufa a una temperatura de 150 °C por 30 minutos (Andrades *et al.* 2015), los resultados se expresaron en porcentaje me-

dante la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{[(PiCp + Pm) - (Pf)]}{Pm} * 10$$

Donde $PiCp$ = peso del crisol más muestra húmeda; Pf = peso del crisol más muestra seca; Pm = Peso de la muestra

La biomasa residual fue triturada con un molino MS 300 y pasada por un tamiz de tres mm, con el fin de obtener una granulometría que facilitara la compactación. Se utilizó como aglomerante el almidón de yuca, mediante la metodología expuesta por García *et al.* (2019). El proceso de briquetado se realizó a temperatura ambiente de $\pm 30^{\circ}\text{C}$, se utilizó una masa de 60 g y un diámetro fijo de 70,68 mm, obteniendo una longitud aproximada de 50 mm y una densidad de 263,15 kg.m³. Para la compactación se sometió a una presión de 1000 kg.cm² aproximadamente, con un tiempo de sostenimiento de carga de 15 minutos (Fonseca y Tierra 2011).

Diseño experimental

Se aplicó el Diseño Completamente al Azar (DCA) debido a la homogeneidad entre unidades experimentales, considerando un peso de 60 g para cada una, se contempló el potencial de poder calorífico que generó cada tratamiento, considerando óptimo al tratamiento que resultó con mayor poder calorífico. El tratamiento de las briquetas fue establecido en una composición de 30% aglomerante y 70% de residuos de cultivo de maíz, siendo este último el único componente variable dentro del diseño experimental (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de tratamientos aplicados en la elaboración de briquetas

Tratamientos	Carbón (%)	Aglomerante (%)	Residuos del cultivo (%)	Composición de residuos de cultivo de maíz (%)	
				Tusa	Tallo
T ₁	0	30	70	42	28
T ₂	0	30	70	28	42
T ₃	0	30	70	35	35
Testigo (T ₀)	100	0	0	0	0

Fuente: Datos de la investigación (2019).

Pruebas de laboratorio

Se probó la resistencia de compresión, la cual se realizó según Berasteguí *et al.* (2017), esta prueba fue realizada en LUP CONSTRUC (laboratorio de Mecánica de suelos, hormigones y asfaltos ubicado en la ciudad de Portoviejo). Para ello se tomó en cuenta que la masa de cada briqueta fue de 60 g, siendo necesario comparar los resultados con los valores que propone la Norma Técnica Colombiana 2060 (ICONTEC 2003) referente a los requisitos de resistencia de compresión.

El poder calorífico se estimó mediante el método establecido por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales en el laboratorio de Análisis Químico Instrumental de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ASTM D240-19, 2019). Para determinar el tiempo de encendido se adaptó la metodología de Alarcón (2017). Las briquetas de 60 g se sometieron a una temperatura entre 125-160 °C tomando el tiempo hasta la combustión, posteriormente se contabilizó el tiempo de combustión total de las briquetas y el tiempo que continuaron encendidas en un lapso 10 min. Para conocer el porcentaje de cenizas residuales se utilizó la técnica de ceniza en seco, establecida por la Association of Official Analytical Chemists (Horwitz, 1980) detallada a continuación:

$$\% \text{ de Ceniza en base seca} = \frac{\text{Peso de ceniza}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

Donde: el peso de cenizas = Peso del crisol con cenizas - peso de crisol vacío; peso de la muestra = Peso de crisol con muestra - peso de la muestra.

Análisis de datos

Se empleó la estadística descriptiva para resumir los datos cuantitativos que se recopilaban dentro de la investigación. En cuanto a los resultados obtenidos en las pruebas de humedad, el poder calorífico, la resistencia del material y la ceniza residual, se realizó una prueba de comparación de varianzas (ANOVA) con un nivel de confianza del α 0,05 % con ayuda del software estadístico Statgraphics versión 2016; con la finalidad de establecer diferencia entre los tratamientos se utilizó la prueba post-hoc de Tukey.

Análisis económico

Para el análisis económico se estimó el precio unitario de las briquetas, tomando en cuenta la metodología de Álava y Díaz (2018). Para conocer la producción de las briquetas se utilizó una matriz donde se consideraron los costos directos e indirectos, empleados en una unidad de biocombustible de residuo de maíz.

Para los costos directos se tomó en cuenta equipos como la estufa con una tarifa de 0,42 \$.h, la unidad de molienda eléctrica con 0,02 \$.h y la balanza analítica que tiene un costo de 0,001 \$.h. De acuerdo al rendimiento de los equipos, éste se estimó en función al tiempo que se invirtió para la producción de una briqueta que fue de 0,30 h. Así mismo, la mano de obra se estableció en base a los salarios mínimos de un laboratorista, correspondientes a una jornada diaria de 8 h, la cual se deduce como costos hombre-hora. La materia prima (tusas y tallos) no se le asignó costo, sin embargo se toma en cuenta el transporte de estos residuos, por lo que se estableció un valor mínimo de 0,001 \$.g trasladado. El almidón de yuca es comercializado en \$1 por libra, siendo el costo de producción de 0,002 \$.g; mientras que para el valor del agua, en el país oscila entre 0,35 y 0,48 \$.m³, o su equivalencia de 0.0001 \$.ml de agua según la Contraloría General del Estado (2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del uso de los residuos del cultivo de maíz

El Cantón Rocafuerte posee una superficie de 27.387 ha, y el cultivo de maíz cubre una superficie de 5.929 ha. En las encuestas realizadas a la Asociación de Agricultores de la comunidad San Miguel de Tres Charcos se contabilizó la existencia de sesenta agricultores de maíz. El levantamiento georreferencial indicó que aproximadamente el 92% de tierras utilizadas para la actividad agrícola son empleadas para el cultivo de maíz (Fig. 1b).

Según las encuestas el 87% de los agricultores colectaron los tallos, de igual forma el 54 % colectaron las tusas resultantes del desgrane de maíz. Con respecto al tratamiento de la biomasa residual, solo el 21 % procesaron los tallos; donde el 13 % utilizaron la henificación y los 8 % emplearon el ensilaje de tallo. Por otro lado, del 54 % de las tusas recolectadas, solo el 4% fue sometido a henificación.

De la biomasa residual de los tallos que no fueron tratados (79 %) 39 % fue incinerado, 35 % desechado, 18 % regalado, 4 % vendido y 4 % intercambiado. En relación con la biomasa residual de las tusas no tratadas (96 %), su uso fue el siguiente: desechadas después del desgrane (54 %), incinerada (21 %), regalada (17 %), vendidas (4 %) e intercambiada (4 %). Es importante destacar que los agricultores que crían ganados, los residuos son dirigidos a la alimentación de los animales.

Los agricultores regularmente no emplean tratamientos a la biomasa residual por falta de información y educación para la transformación de los residuos (Velázquez *et al.*, 2002). Simbaña (2015), reporta la ausencia de registros en la transformación de los residuos de maíz en el Ecuador. El mal manejo de los residuos agrícolas de maíz en la comunidad potencia impactos negativos ambientales, deteriorando la calidad de aire al ser incinerados. La incineración es un método poco sustentable que genera más basura y causa graves problemas sobre las propiedades físicas de los suelos (Lozano *et al.* 2010).

La biomasa residual de las cosechas agrícolas, como la proveniente del cultivo de maíz, son cruciales en tiempos de sequía donde existe escasez de alimentos para los animales, pudiendo ser utilizado para alimentar el ganado por medio de pastoreo *in situ* (SAGARPA 2015). El correcto manejo, valoración y aprovechamiento de los residuos permitiría alcanzar una mejor calidad de vida, principalmente por los beneficios económicos de aperturar un nuevo mercado sustentable para dichos residuos; siendo las áreas rurales del Ecuador un escenario

ideal, donde la agricultura es la base de su economía (Calderón *et al.* 2017, Santucci *et al.* 2015).

Determinación del poder calorífico a partir de los residuos del cultivo de maíz.

Determinación de humedad de los residuos

Al determinar el porcentaje de humedad inicial, se evidenció mayor humedad en las tusas (22,06 %) en relación al tallo (21,45 %). Posterior a la desecación, se obtuvo una humedad final en las tusas de 6,27 % y en los tallos de 6,06 %. García *et al.* (2012) sugieren que un alto contenido de humedad (>25 %) afecta la generación de poder calorífico neto, así como también en la eficiencia de combustión y la temperatura generada, al comparar estos resultados con lo obtenido en el presente estudio, se evidencia que los residuos utilizados cuentan con la humedad pertinente (menor al 10 %).

Resistencia de compresión

La resistencia a la compresión en los tres tratamientos fue menor a la esperada. El mayor valor se obtuvo en el T₃ (48,06 kg.f), siendo sin embargo inferior al testigo (48,06) (Tabla 2). El análisis de varianza realizado arrojó un $P < 0,05$, indicando que existe diferencia significativa. Al evaluar los resultados de la prueba de múltiples rangos Tukey se observaron claramente tres grupos de menor resistencia, encontrándose en el primero los T₁ y T₂, en el segundo grupo los tratamientos T₂ y T₃ y el tercer más resistente formado por el grupo testigo (Tabla 3)

Tabla 2. Variables físicas de las briquetas evaluadas

Variables	Tratamientos				Norma Colom.	Cumplimiento
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	NTC 2060	
Resistencia (kg.f)	69	37,52	42,53	48,06	≥ 80	No cumple
Humedad (%)	7,5	9,22	9,40	8,68	≤ 2,5	No Cumple
Tpo. de Encendido (min)	30	1	1,15	1,13	-	Aceptable
Ceniza (%)	9,05	7,26	7,05	6,68	≤ 30	Cumple
P. Calorífico (MJ.kg-1)	27,31	15,14	15,24	15,55	≥ 12,50	Cumple

Fuente: Datos de la investigación (2019).

Tabla 3. Prueba Tukey para la Resistencia de compresión

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T_1	3	37,52	X
T_2	3	42,53	XX
T_3	3	48,07	X
T_0	3	69,0	X
Contraste	Significancia	Diferencia	+/- límites
$T_0 - T_1$	*	31,48	8,32
$T_0 - T_2$	*	26,47	8,33
$T_0 - T_3$	*	20,93	8,33
$T_1 - T_2$		-5,01	8,33
$T_1 - T_3$	*	-10,54	8,33
$T_2 - T_3$		-5,53	8,33

* indica una diferencia significativa.

Fuente: Datos de la investigación (2019).

La poca resistencia a la compresión de las briquetas puede obedecer a una pobre compactación o adhesión de los materiales utilizados (Macea y Pastrana 2016). La resistencia de compresión es una característica física importante, ya que esto evita el quiebre o rompimiento de las briquetas, como sucede con el carbono (Benedicto *et al.* 1997). Sin embargo, el valor de resistencia de compresión propuesto por la Norma Técnica Colombiana 2060 (ICONTEC 2003) es de 80 kg.f para briquetas con 60 g de masa, lo que indica que las briquetas fabricadas en el presente trabajo no cumple con la norma en este parámetro.

Humedad

La menor humedad se registró en el T_3 (8,68 %), siendo mayor que el testigo (7,5 %) (Tabla 2). El análisis de varianza para humedad arrojó la existencia de diferencia significativa ($P < 0,05$), a través de la prueba de Tukey se identificó 3 grupos homogéneos, el primer grupo lo conforma el testigo (T_0), el segundo grupo lo conforman los tratamientos T_1 y T_3 y en el tercer grupo se encuentra el T_2 (Tabla 4).

A pesar de observar diferencias significativas, no hubo grupos claramente definidos, sin embargo, los valores obtenidos están por debajo del 14 %, lo que indica que están dentro del rango establecido para la producción de briquetas (Fonseca y Tierra 2011).

Tabla 4. Prueba de Tukey para la humedad

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T_0	1	7,5	X
T_3	3	8,67667	X
T_1	3	9,22	XX
T_2	3	9,4	X
Contraste	Significancia	Diferencia	+/- límites
$T_0 - T_1$	*	-1,72	0,829452
$T_0 - T_2$	*	-1,9	0,829452
$T_0 - T_3$	*	-1,17667	0,829452
$T_1 - T_2$		-0,18	0,586511
$T_1 - T_3$		0,543333	0,586511
$T_2 - T_3$	*	0,723333	0,586511

* indica una diferencia significativa.

Fuente: Datos de la investigación (2019).

Tiempo de encendido

En todos los tratamientos el tiempo de encendido de las briquetas estuvo por debajo de 1,15 min., siendo el de menor tiempo el T_1 , mientras que el testigo tardó 30 minutos en encenderse (Tabla 2). Todos los tratamientos incluido el testigo tuvieron un promedio de tiempo de combustión total de 70 min, esto se debe a que todos los tratamientos de las briquetas a base de residuos de cultivo de maíz son de fácil encendido, principalmente esta propiedad se atribuye al bajo grado de humedad de los componentes (menos de 10 %).

Ceniza

El contenido de cenizas fue mayor en el testigo, mientras que en la prueba estadística los tratamientos muestran una diferencia significativa ($P < 0,05$). Al realizar la prueba *post-hoc* de Tukey se identificaron 3 grupos homogéneos en el primer grupo está los tratamientos T_2 y T_3 mientras que en el segundo grupo se encuentran los T_1 y T_2 y el grupo tres está integrado solo por el testigo (Tabla 5).

Los resultados obtenidos se encuentran dentro de la Norma Técnica Colombiana 2060 (ICONTEC 2003) para las briquetas, debido a que el contenido de ceniza debe ser inferior a 30 %.

Tabla 5. Prueba de Tukey de Contenido de Ceniza

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T_3	3	6,68	X
T_2	3	7,05	XX
T_1	3	7,26333	X
T_0	3	9,05	X
Contraste	Significancia	Diferencia	+/- límites
$T_0 - T_1$	*	1,78667	0,738692
$T_0 - T_2$	*	2,0	0,738692
$T_0 - T_3$	*	2,37	0,738692
$T_1 - T_2$		0,213333	0,522334
$T_1 - T_3$	*	0,583333	0,522334
$T_2 - T_3$		0,37	0,522334

* indica una diferencia significativa.

Fuente: Datos de la investigación (2019).

Se observó que las cenizas producidas no se convierte en material volátil que sea transportado por el aire, por lo tanto, pueden ser empleado como fertilizante para plantas, pudiendo reutilizar la biomasa re-

sidual de la utilización de las briquetas en un nuevo subproducto empleando la utilización en cascada de los distintos residuos lo que contribuya a la conservación del ambiente y base de la bioeconomía.

Poder calorífico

El mayor poder calorífico de las briquetas fue el T_3 con un valor de 15,55 MJ.kg⁻¹, sin embargo es inferior a lo observado en el testigo, cuyo valor fue de 27,31 MJ.kg⁻¹ (Tabla 2). Las pruebas de varianzas indicaron que existe una diferencia estadísticamente significativa al realizar la prueba *post-hoc* de Tukey formando dos grupos, el primero constituido por los tratamientos y el segundo por el testigo (Ta-

bla 6). Este resultado supera el valor mínimo establecido por la Norma Técnica Colombiana 2060 (ICONTEC 2003). El poder calorífico se logró gracias al reducido porcentaje de humedad de los residuos ligados con el proceso de molienda, secado y compactación (Alarcón 2017).

Tabla 6. Prueba Tukey para poder calorífico

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T_1	3	15,14	X
T_2	3	15,24	X
T_3	3	15,47	X
T_0	3	27,32	X
Contraste	Significancia	Diferencia	+/- límites
$T_0 - T_1$	*	12,17	0,40
$T_0 - T_2$	*	12,07	0,40
$T_0 - T_3$	*	11,84	0,40
$T_1 - T_2$		-0,1	0,40
$T_1 - T_3$		-0,33	0,40
$T_2 - T_3$		-0,23	0,40

* indica una diferencia significativa.

Fuente: Datos de la investigación (2019).

Análisis económico de la elaboración de briquetas

Para la realización del análisis económico se utilizó el T_3 por obtener los mejores resultados. El precio estimado de la producción de briqueta es de 2,07 \$.kg, mientras que el precio de venta en el mercado de este mismo producto es \$3,46 \$.kg, valores que se aproxima a los alcanzados en la investigación de Alarcón (2017), donde se obtuvo que un kg de briquetas tienen un valor comercial de \$ 2,58, tomando en cuenta que en cada kg de materia prima se obtiene de 22 a 23 briquetas aproximadamente.

Aunque el costo de las briquetas es mayor al testigo, los costos de producción y venta son económicamente factibles en el mercado actual, considerando principalmente el aumento pronosticado del precio del carbón a nivel mundial a raíz de las nuevas políticas ambientales para reducir la emisión de GEI. Para el año 2021 la tonelada de carbón podría llegar a costar 55 euros y para el 2030 cuatuplicar el precio, dejando de ser económicamente rentable la producción a gran escala de este mineral (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de precio de venta de 1 kg de briquetas

RUBRO	COSTO
Materia prima	1,76
Mano de Obra	0,12
Costos indirectos	0,19
Unidades producidas	1
Costo por kg de producción	2,07
Gastos de Producción	0,94
Total de Unidades producidas	1
Gastos Unitarios de Producción	0,94
Margen de Utilidad	15%
Precio de Venta	\$ 3,46

Fuente: Datos de la investigación (2019).

CONCLUSIONES

En la comunidad San Miguel de Tres Charcos, los agricultores tienen un manejo deficiente de la biomasa residual de cultivo de maíz por desconocimiento de nuevas técnicas de aprovechamiento de la misma. De los tratamientos pilotos realizados a la biomasa residual del cultivo, el T₃ constituido por una proporción 50:50 (tusa:tallo), cumplió con la mayoría de los ítems de la Norma Técnica Colombiana 2060. Los costos de producción de un kg de este tipo de briquetas son económicamente factibles considerando las nuevas políticas sobre los combustibles fósiles globales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alarcón S. (2017). Elaboración de briquetas a partir de desechos de tallos de rosas y papel reciclado. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 120 p.
- Álava J., Díaz A. (2018). Influencia de las características físico-químicas de aceites residuales de restaurantes en la calidad de biodiesel. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Calceta, Ecuador. 67 p.
- Andrades M., Moliner A., Masaguer A. (2015). Métodos didácticos para análisis de suelos. Universidad de la Rioja, Servicio de publicaciones, 78 p.
- ASTM D240-19. (2019). Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter. ASTM International, West Conshohocken, PA. 10 p.
- Horwitz W. 1980. AOAC: Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, INC. Thirteenth edition. Washington, D.C. 1038 p.
- Benedicto L., Martín L., López C. (1997). Biocombustibles sólidos y líquidos forestales. Madrid. Disponible en: <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/viewFile/4469/4398>
- Calderón M., Andrade F., Lizarzaburu L., Masache M. (2017). Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento de los residuos agrícolas del Ecuador. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas. Santiago, Chile. 44 p.
- Contraloría General del Estado (2019). Reajustes de precios. Salarios mínimos por ley Ecuador. Disponible en: <https://www.contraloria.gob.ec/WFDescarga.aspx?id=2486&tipo=doc>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2011). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, y Mundi-Prensa Edición. Madrid, España. 338 p.
- Fonseca E., Tierra L. (2011). Desarrollo de un proceso tecnológico para la obtención de briquetas de aserrín de madera y cascarilla de arroz y pruebas de producción de gas pobre. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Chimborazo, Ecuador. 189 p.
- García L., Benítez P., Valero S., Gutiérrez I. (2019). Elaboración de briquetas a partir de residuos de aserrín a aglutinados con almidón de maíz y su posible aplicación como aislante térmico. Ingeniería: Revista de la Universidad de Costa Rica, 29 (1): 22-40.
- García R., Pizarro C., Lavín G., Bueno J. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. Bioresour. Technol, 103(1): 249-258.
- Global Bioeconomy Summit (GBS). (2015). Making bioeconomy work for sustainable development. Berlin, Alemania. 10 p.
- Hodson de Jaramillo E. (2018). Bioeconomía: el futuro sostenible. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat, 42(164):188-201.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2003). Norma Técnica Colombiana NTC-2060: Briquetas combustibles para uso doméstico. Bogotá, Colombia. 6 p.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). 2010. Fascículo Provincial Manabí: Resultados del Censo 2010 de población y vivienda del Ecuador. 8 p. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/manabi.pdf>.
- Quiroz D., Merchán M. (2016). Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de maíz duro (*Zea mays* L.) Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo, Ecuador. 126 p.
- Instituto Nacional de Preinversión (INP). (2014). Atlas Bioenergético de la República Del Ecuador. Quito, Ecuador. 154 p. Disponible en: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00194.pdf>.

- Rodríguez A., Mondaini A., Hitschfeld M. (2017). Bioeconomía en América Latina y el Caribe Contexto global y regional y perspectivas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) - Serie Desarrollo Productivo No. 215. Naciones Unidas. Santiago, Chile. 96 p.
- Lozano Z., Romero H., Bravo C. (2010). Influencia de los cultivos de cobertura y el pastoreo sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana. *Agrociencia*, 44 (2): 135-146.
- Macea H., Pastrana J. (2016). Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de la mezcla de dos biomásas residuales, un aglomerante a base de yuca y carbón mineral, propios del departamento de Córdoba. Facultad de Ingeniería (Tesis de pregrado). Universidad de Córdoba, Córdoba, Colombia. 97 p.
- Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). (2015). Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. IV - Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental. Quito, Ecuador. 380 p.
- Santucci L., Puhl I., Maqsood A., Enayetullah I., Aggymang W. (2015). Valuing the sustainable development co-benefits of climate change mitigation actions: The case of the waste sector and recommendations for the design of nationally appropriate mitigation actions (NAMAs). United Nations. Bangkok, Thailand. 39 p.
- Secretaría de Agricultura, ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2015). Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas primera etapa: diagnóstico nacional. Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas". Zacatecas, México. 145 p.
- Simbaña F. (2015). Evaluación de ensilaje de maíz (*Zea mays*) con tres técnicas forrajeras parvas, trinchera y silo bolsa para la crianza de terneros en la zona de Selva Alegre-Imbabura. Universidad de las Américas, Imbabura, Ecuador.
- STATGRAPHICS Centurion XVI. (2009). Statpoint Technologies. INC. version, 16, 17.
- Velázquez J., Salinas J., Potter K., Gallardo M., Caballero F., Díaz y P. (2002). Cantidad, cobertura y descomposición de residuos de maíz sobre el suelo. *Terra Latinoamericana*, 20 (2):171-182.