

BRIQUETAS A PARTIR DE SUBPRODUCTO DE MAÍZ

Briones Loor Dayana Jamileth, Chilán Mancilla Gema María, Delgado Villafuerte Carlos Ricardo⁽¹⁾

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”
Email: gchilan_54@hotmail.com; dayi.briones@gmail.com; car_delgado@hotmail.com

RESUMEN

La investigación tuvo como propósito elaborar briquetas para la obtención de biomasa energética a partir de residuos del cultivo de maíz, específicamente tallo y zuro, proveniente de la comunidad San Miguel de Tres Charcos-Rocafuerte. La investigación fue de modalidad cuantitativa, deductiva y experimental, se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos que se constituyeron por tres replicas cada uno, frente a carbón de uso doméstico como testigo. En total se estudiaron doce unidades experimentales, la composición de las briquetas fue 70% residuos agrícolas de maíz que varió de acuerdo a los tratamientos y el 30% restante lo conformó el aglomerante como variable fija. Las variables a medir fueron: poder calorífico, resistencia de aplastamiento, ceniza, tiempo de encendido y humedad, valores que se compararon con la norma Colombiana NTC 2060. Todos los tratamientos se sometieron a procesos de secado mixto para garantizar humedad menor a 10%, debido a su marcada influencia sobre las variables anteriormente mencionadas y la compactación al momento de elaborar las briquetas. En general, todos los tratamientos presentaron rápido encendido a una temperatura promedio de 125-160°C, notable ventaja en relación al testigo. Sin embargo, el parámetro más importante fue la determinación del poder calorífico, el tratamiento que en promedio presentó menor potencial en la generación de poder calorífico fue T₁ con 15.14 MJ/kg, en relación a T₃ con un promedio de 15.55 MJ/kg, siendo este el cual resulta en la afirmación de la hipótesis.

Palabras clave: Briquetas, residuos agrícolas, maíz, poder calorífico, Manabí.

ABSTRACT

The purpose of the research was to prepare briquettes for obtaining energy biomass from corn crop residues, specifically stem and wall, from the San Miguel de Tres Charcos-Rocafuerte community. The research was quantitative, deductive and experimental, a Completely Random Design (DCA) was applied with three treatments that were constituted by three replicas each, against domestic coal as a control. In total, twelve experimental units were studied, the composition of the briquettes

was 70% agricultural corn residues that varied according to the treatments and the remaining 30% was formed by the binder as a fixed variable. The variables to be measured were: calorific value, crush resistance, ash, ignition time and humidity, values that were compared with the Colombian NTC 2060 standard. All treatments were subjected to mixed drying processes to guarantee humidity less than 10%, due to its marked influence on the aforementioned variables and compaction at the time of making the briquettes. In general, all treatments presented rapid ignition at an average temperature of 125-160 ° C, a notable advantage in relation to the control. However, the most important parameter was the determination of calorific value, the treatment that on average presented the lowest potential in the generation of calorific value was T₁ with 15.14 Mj/kg, in relation to T₃ with an average of 15.55 Mj/kg, being this which results in the affirmation of the hypothesis.

Keywords: Briquettes, agricultural residues, corn, calorific value, Manabi.

INTRODUCCIÓN

La demanda de productos forestales para satisfacer las necesidades humanas constituye una de las causas principales de la pérdida de bosques en el planeta. El combustible proveniente de la leña es la fuente de energía dominante dentro de los países en vía de desarrollo como Ghana o Nepal, representando el 90% del consumo total de madera a nivel mundial (FAO, 2012).

El Ecuador es el cuarto país con mayor demanda de energía primaria (energía disponible de la naturaleza antes de ser transformada) en América Latina, en el sector rural el principal combustible es la biomasa proveniente de la leña, hace algunos años este recurso alcanzó un 30% en el consumo total de energía (Ábalos, 2012). En el 2013 esta energía (leña, carbón, residuos agrícolas) tuvo una participación del 5% de la producción total en la matriz energética, por lo que el cambio de esta matriz a nivel nacional se ve enfocado en la utilización de recursos renovables como fuente principal de energía (CELEC EP, 2015).

En Manabí, la producción absoluta de maíz es de 115.878,78 toneladas/año generando 52.145,18 toneladas/año de residuos que al no tener el tratamiento adecuado, resulta un inconveniente su disposición final, la misma que constituye una fuente grave de contaminación debido a que estos

residuos son tratados como un desecho que se vierte a las quebradas o se incinera (Instituto Nacional de Preinversión, 2014).

La utilización de biomasa para la elaboración de briquetas se presenta como una alternativa que contribuirá a la transformación económica del país, mediante la utilización de residuos agrícolas de maíz generando combustibles sólidos que satisfagan las necesidades energéticas de la población; al incorporar a un sistema de producción como materia prima residuos de cultivos que no son utilizados en la comunidad para compost o alimento animal, dándole un valor agregado, lo cual permitirá desarrollar un modelo económico más sostenible y respetuoso con el medioambiente, evitando que a futuro estos residuos se conviertan en pasivos ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la comunidad “San Miguel de Tres Charcos” del cantón Rocafuerte, Provincia de Manabí. Al establecer una reunión con los agricultores de la comunidad, se les aplicó una encuesta de acuerdo a un cuestionario previamente establecido, con el objetivo de indagar sobre el manejo que se les dan a los residuos del cultivo de maíz. El formato de la encuesta constó de una sección de datos personales y se subdividió en dos secciones correspondientes a los residuos de interés (zuro y taralla) con 7 preguntas cada una.

Se determinó la situación actual del cultivo de maíz en la comunidad mediante visitas de campo, recopilación bibliográfica y datos cartográficos facilitados por el departamento de Gestión de Riesgos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Rocafuerte, información que fue transferida al software de información geográfica Arcgis versión 10.4.1.

Al ser una investigación experimental se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA), teniendo en cuenta de que una constante en la composición de cada tratamiento fue el porcentaje de aglomerante fue de 30%, mientras que el 70% varió de acuerdo a los tratamientos de residuos de cultivo de maíz ($T_1 = 60\%$ zurro - 40% tallo, $T_2 = 40\%$ zurro - 60% tallo y $T_3 = 50\%$ zurro - 50% tallo) frente a carbón de uso doméstico como testigo; se consideró como variable de repuesta a la cantidad de poder calorífico generado por cada tratamiento, siendo el mayor considerado óptimo y aprovechable.

Sin embargo, se analizó otras variables como humedad, ceniza y tiempo de encendido, para la tabulación de los resultados se realizó un ANOVA y una prueba de Tukey al 5% en el software estadístico Stargraphic 2016.

Para la elaboración artesanal de las briquetas se siguió el proceso detallado por Fonseca y Tierra (2011) en el siguiente esquema.

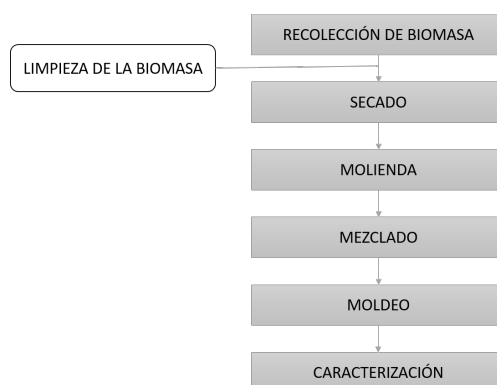


Gráfico 1. Esquema del proceso de briqueado seleccionado.

La limpieza de los residuos se realizó de manera manual y se separó las hojas del tallo. De esta manera, solo se utilizó el tallo y zuro para la elaboración de briquetas. Fue indispensable determinar la humedad de los residuos antes y después del proceso de secado, tomando en cuenta que deben tener menos del 10% de humedad. Se tomó como referencia la pérdida de peso de las muestras por calentamiento en la estufa a una temperatura de 150 °C por 30 minutos, los resultados se expresaron en porcentaje mediante la ecuación (1).

$$\%H = \frac{[(PiCp+Pm)-(Pf)]}{Pm} * 100 \quad [1]$$

Donde:

PiCp= peso del crisol más muestra húmeda

PF= peso del crisol más muestra seca

Pm= Peso de la muestra

Para secar la biomasa se involucró procesos de secado natural durante tres días por diez horas y de secado artificial a una temperatura entre los 35 y 60 °C por 180 minutos. Se utilizó un molino MS 300 y un tamiz de 3 mm para reducir las dimensiones de los residuos de manera que el tamaño resultara óptimo para la producción de briquetas, con el fin de garantizar la compactación y el acabado superficial.

Una vez realizado el proceso anterior y obtenido la granulometría adecuada del material, se tomó adición el aglutinante, para proceder al briquetado a temperatura ambiente promedio de 30°C, elaborando 3 réplicas por cada tratamiento.

Cada briqueta se moldeó considerando la metodología de Fonseca y Tierra (2011), donde constan de una forma cilíndrica, se utilizó una masa de 60 g cuyo diámetro fijo en la máquina fue de 70.68 mm y una longitud aproximada de 50 mm. La presión sugerida por el autor es de 5 A 100 MPa, con un tiempo de sostenimiento de carga de 15 minutos.

Se realizó análisis de humedad, resistencia, poder calorífico, ceniza y se tomó el tiempo de encendido a cada uno de los tratamientos detallados anteriormente.

- **Humedad:** Se estableció el valor promedio en porcentaje de humedad por cada tratamiento de las briquetas mediante la fórmula 1 utilizada para determinar la humedad de los residuos previo la briquetación.
- **Resistencia de aplastamiento:** Una característica importante de las briquetas, por esta razón se realizó pruebas de resistencia de aplastamiento, para conocer su capacidad de permanencia ante procesos de manipulación y transporte. Este ensayo se realizó según lo establecido por Barasteguí, Ortega, Mendoza, González y Gómez (2017),
- **Ceniza:** Se utilizó la técnica de ceniza en seco, la cual consiste en quemar la muestra al aire y posteriormente en una mufla para eliminar todo el material orgánico. Se utilizó la fórmula establecida por la [Association of Official Analytical Chemists (AOAC)] (1980) detallada a continuación:

$$\% \text{ de Ceniza en base seca} = \frac{\text{Peso de ceniza}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \quad [2]$$

Donde:

Peso de cenizas= (Peso de crisol con cenizas- peso de crisol vacío)

Peso de la muestra= (Peso de crisol con muestra- peso de la muestra)

- **Tiempo de encendido:** Se adaptó la metodología de Alarcón (2017) en el ensayo de tiempo de encendido para aplicarla a cada tratamiento. Se utilizó como iniciador de fuego una hornilla, en briquetas con un peso de 60 gramos manteniendo una temperatura entre 125-160 °C. Se tomó el tiempo hasta el instante que las briquetas empiezan a realizar la combustión, se separó las briquetas del iniciador y se observó si las briquetas permanecen encendidas después de 10 min de haber retirado los iniciadores. Se procedió a contabilizar el tiempo de combustión total de las briquetas.
- **Poder Calorífico:** Se calculó el poder calorífico teniendo en cuenta el aporte energético de cada componente, mediante el método de análisis ASTM D240 en el laboratorio de Análisis Químico Instrumental de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Además, se realizó un análisis de precio unitario de las briquetas, Tomando en cuenta la metodología de Álava y Díaz (2018), para el análisis de 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. En el cuadro 1 se muestran los parámetros establecidos en la matriz, junto con los recursos necesarios empleados en el proceso de producción.

Cuadro 1. Matriz de costo de producción de briquetas.

| Descripción | Costo directo | Resultados |
|---|--|---|
| Registro del nombre del proyecto a ejecutarse. | Equipos.- Son los equipos empleados en el proceso de elaboración de briquetas. | Total de costos directos._ (Suma de los costos directos de equipos, mano , materiales y transporte) |
| Descripción del rubro a tratar. | Mano de obra._ Son los recursos humanos necesarios en la producción. | Total de costos indirectos._ (Costos adicionales que afectan indirectamente a la producción de briquetas) |
| Unidad de Medida | Materiales._ Materia prima y otros materiales que se utilizaron en la obtención de briquetas. Transporte._ Este parámetro se encuentra dentro del costo de materia prima. | Costo total._ (Costos directos [CD] + Costos indirectos [CI]) |

Fuente: Álava y Díaz (2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el reconocimiento del área de estudio se utilizó información que proporcionó el departamento de Gestión de Riesgos del GAD Municipal de Rocafuerte, mediante el análisis de los datos se determinó que 848,074 hectáreas correspondiente al 92% de tierras utilizadas para cultivos son empleadas para la siembra y cosecha de maíz.

Se convocó a una reunión por parte de la directiva de la asociación de agricultores de la comunidad, asistieron 24 de los 60 integrantes, a los cuales se les aplicó la encuesta persona a persona debido a que varios de los agricultores presentaban problemas de visión o no sabían leer. Se realizó una base de datos en Excel con los datos personales de los asistentes, el cual se facilitó a la directiva de la comunidad. Las preguntas respectivas al uso y destino final de los residuos se detallan en dos grupos: taralla y zuro.

1.- ¿Los subproductos de cultivo de maíz son recolectados?

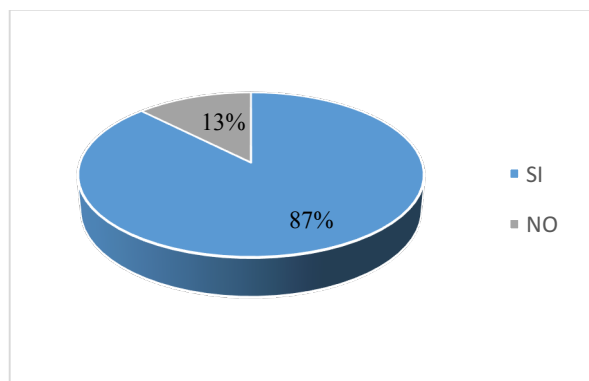


Gráfico 2. Porcentaje de recolección de taralla. **Fuente:** Autoras.

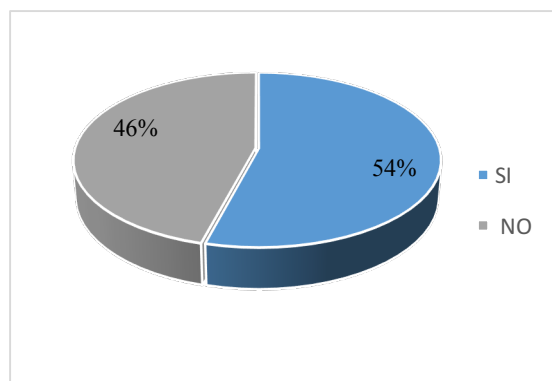


Gráfico 2. Porcentaje de recolección de zuro. **Fuente:** Autoras.

El 13% de los encuestados respondieron negativamente respecto a la recolección de taralla, mientras que el 87% de los agricultores correspondiente a 21 personas respondieron de manera positiva a la interrogante (gráfico 1). El 54% equivalente a 13 de los agricultores respondieron que si recolectaban zuro resultante del desgrane de maíz, mientras que el 46% equivalente a 11 personas respondieron que no lo hacían (gráfico 2). El porcentaje de recolección de zuro es menor en relación al porcentaje de recolección de la taralla por parte de los agricultores de la comunidad.

La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2002) expresa que el motivo principal de los registros de recolección y disposición final deficientes, es la falta de infraestructura, la carencia de servicios eficientes y educación oportuna sobre el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos. En concordancia, Grande (2016) manifiesta que el sector agroalimentario genera cuantiosas cantidades de residuos, los cuales no son recolectados para aprovecharlos como materia prima en la producción de compuestos y elementos con valor agregado.

2.- En caso de que se recolecte, ¿se somete a algún tipo de tratamiento de conservación?

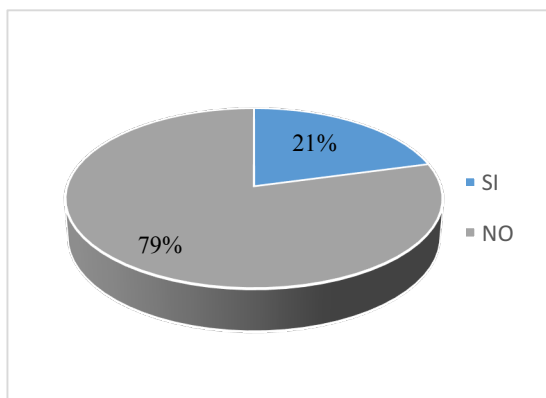


Gráfico 1. Porcentaje de tratamiento para conservar taralla.

Fuente: Autoras.

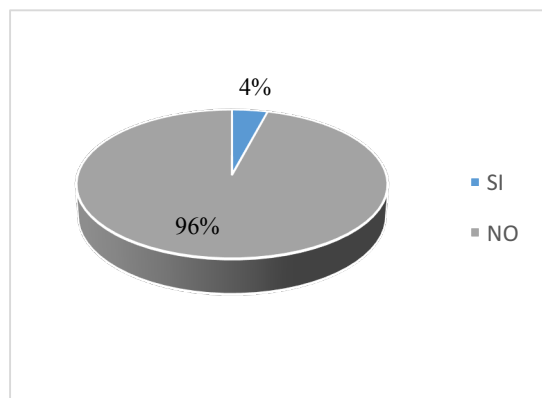


Gráfico 2. Porcentaje de tratamiento para conservar zuro.

Fuente: Autoras.

Del 13% de agricultores que respondieron negativamente en la pregunta anterior, sólo el 21% correspondiente a 5 personas confirmaron realizar algún tipo de proceso de conservación de taralla; mientras el 79%, es decir, 19 personas no lo realizan (gráfico 3). Del 54% de zuro recolectado apenas el 4% (1 agricultor) es sometido a algún tipo de tratamiento de conservación, mientras que el 96% equivalente a 23 agricultores no aplican ningún tratamiento de conservación (gráfico 4).

El gran porcentaje de respuesta negativa, se traduce en la falta de conocimiento de métodos de conservación de los residuos de cultivo de maíz por parte de los agricultores. En relación a lo estipulado, Simbaña (2015) manifiesta la ausencia de registros en los que conste la aplicación de tratamientos de conservación a los residuos de maíz en el Ecuador; la información disponible sobre tecnologías como henificación y ensilaje que puede ser

adaptada a las necesidades locales proviene de países como Estados Unidos, Alemania, Uruguay, Argentina, Brasil y Colombia.

3.- En caso de ser positiva la pregunta anterior ¿Usted realiza?:

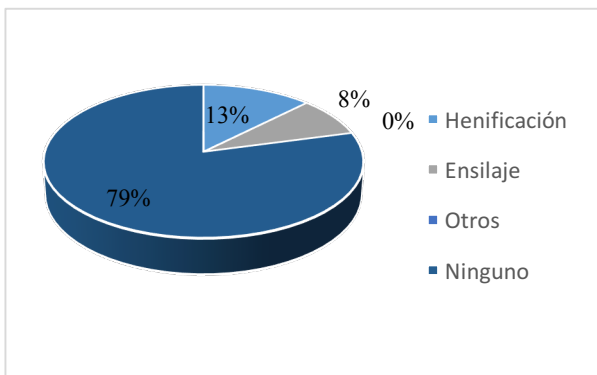


Gráfico 4.3. Tipos de tratamientos de conservación empleados por los agricultores para la taralla como subproducto.

Fuente Autores.

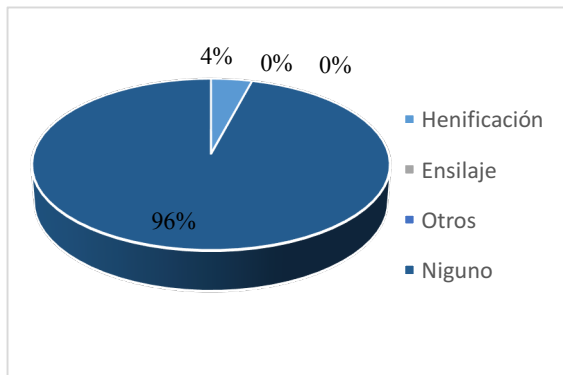


Gráfico 4.4. Tipos de tratamientos de conservación empleados por los agricultores para zuro como subproducto.

Fuente: Autores.

El 13% que representa a tres agricultores utilizan la henificación y los 8% equivalentes a dos agricultores emplean el ensilaje de taralla; mientras que el 79% no aplica ningún método de conservación del residuo recolectado (gráfico 5). Respecto a los métodos de conservación de zuro el 4% de los agricultores utiliza la henificación; mientras que el 92% que representa a 22 agricultores, no aplica ningún método de conservación para los residuos de cultivo de maíz (gráfico 6).

Como ya antes se ha mencionado, la falta de información y educación para con los subproductos de maíz refleja sus consecuencias en el mal manejo y conservación de éstos según lo expuesto por Velázquez *et al.* (2002). De esta forma es mínimo el porcentaje de agricultores que emplean un tipo de tratamiento, como la henificación y el ensilaje. Si se intensifican estos tratamientos se presentan como algunas soluciones que pueden ayudar a disminuir la presión sobre los residuos de cultivo de maíz (Velázquez *et.al*, 2002).

4.- En caso que no se recolecte, ¿se aprovecha los subproductos de maíz in situ mediante pastoreo?

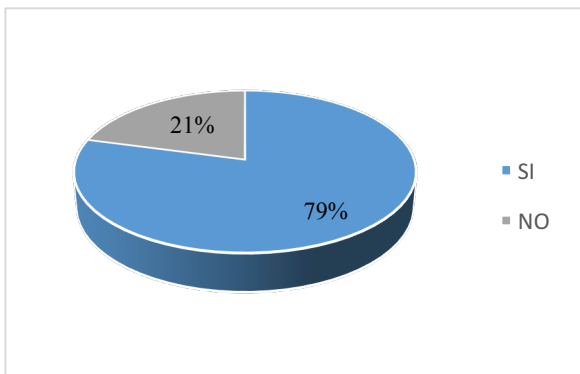


Gráfico 5. Aprovechamiento de la taralla para pastoreo in situ

Fuente: Autores.

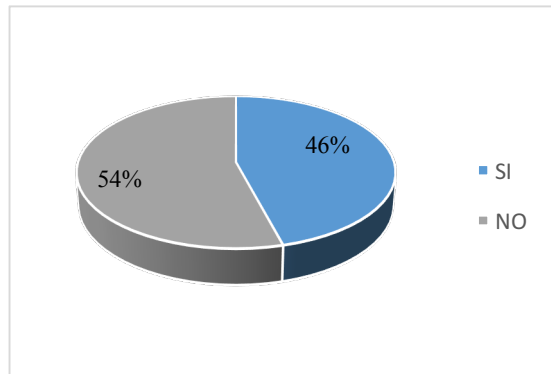


Gráfico 6. Aprovechamiento de zuro para pastoreo in situ

Fuente: Autores.

El 79% de los encuestados aprovecha la taralla mediante pastoreo, permitiendo que su ganado o el ganado vecino ingresen al terreno a pastar principalmente las hojas. El 21% respondió negativamente a la interrogante (gráfico 7). El 46% de los encuestados manifestaron que si permiten el pastoreo en sus terrenos para aprovechar zuro; mientras que el 54% respondieron con una negativa (gráfico 8).

5.- Cree usted ¿qué es posible aprovechar los subproductos de maíz?

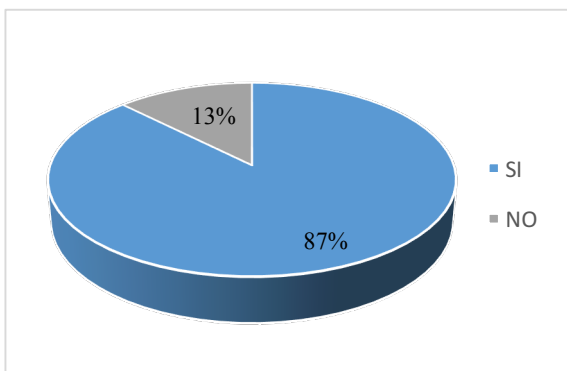


Gráfico 7. Criterio de agricultores sobre la posibilidad de aprovechamiento de la taralla.

Fuente: Autores

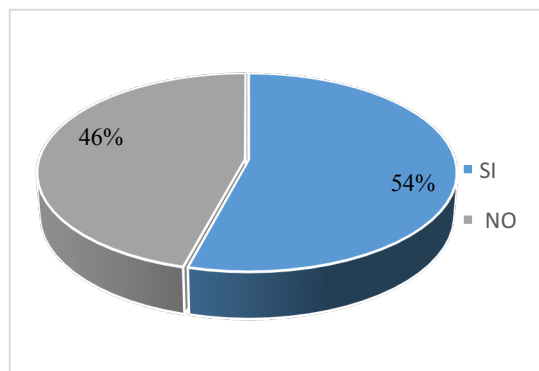


Gráfico 8. Criterio de agricultores sobre la posibilidad de aprovechamiento de zuro.

Fuente: Autores.

Veintiún agricultores que representan el 87% de los encuestados afirman que es posible aprovechar la taralla, mientras que el 13% equivalente a tres personas lo negaron (gráfico 9). Trece agricultores que representan el 54% de los encuestados afirman que es posible

aprovechar zuro, mientras que el 46% que equivale a once personas negaron la interrogante (10).

Cabe recalcar, que a pesar de que más de la mitad de las respuestas en ambos casos fueron afirmativas, los agricultores manifestaron su desconocimiento de métodos para aprovechar los subproductos de maíz y de los beneficios ambientales y socioeconómicos que traen consigo. Para poder implementar proyectos investigativos que permitan el aprovechamiento de residuos agrícolas en la región es necesario proponer y ejecutar políticas de mitigación y manejo sustentable.

Este escenario se puede observar en varias áreas rurales del Ecuador donde la agricultura de subsistencia es la base de su economía. Calderón, Andrade, Lizarzabu y Masache (2017) manifiestan que si bien existen diversas experiencias de aprovechamiento de residuos en Ecuador, no se han realizado estudios de valoración económica de sus beneficios a la atmósfera o para ser aprovechados para la generación de energía eléctrica.

6.- Cree usted ¿qué es posible vender los subproductos de maíz para generar una ganancia económica?

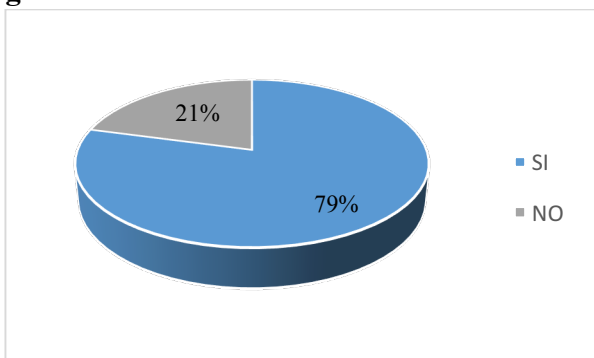


Gráfico 9. Criterio de agricultores sobre la posibilidad de venta de la taralla.

Fuente: Autores.

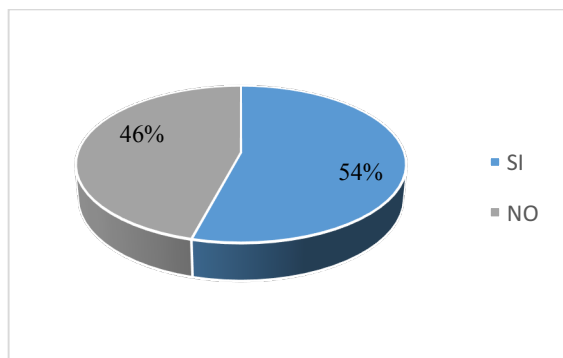


Gráfico 10. Criterio de agricultores sobre la posibilidad de venta de zuro.

Fuente: Autores.

El 79% equivalente a 19 agricultores expresaron que creen en la posibilidad de vender o generar algún tipo de ganancia económica a partir de la venta de taralla, mientras que el 21% manifestó que no lo cree posible (gráfico 11). El 54% equivalente a 13 agricultores expresaron que si creen en la posibilidad de vender o generar algún tipo de ganancia económica a partir de la venta de zuro de maíz, mientras que el 46% asume que no es rentable (gráfico 12).

El correcto manejo, valoración y aprovechamiento de los residuos agrícolas en las comunidades permitiría alcanzar una mejor calidad de vida, principalmente por los cobeneficios económicos de aperturar un nuevo mercado sustentable. Santucci et al (2017) reconoce que la mayoría de investigaciones de valoración de residuos agropecuarios poseerán beneficios que van más allá de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) directos, y que son al menos igual de importantes como desarrollo, sostenibilidad y equidad en las comunidades.

7.- Los subproductos de maíz usted los:

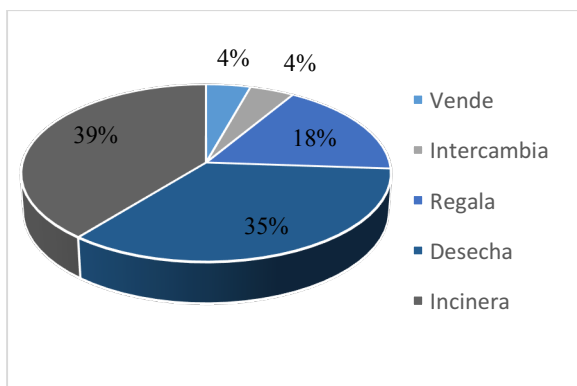


Gráfico 12. Disposición final de taralla en la comunidad.

Fuente: Autores.

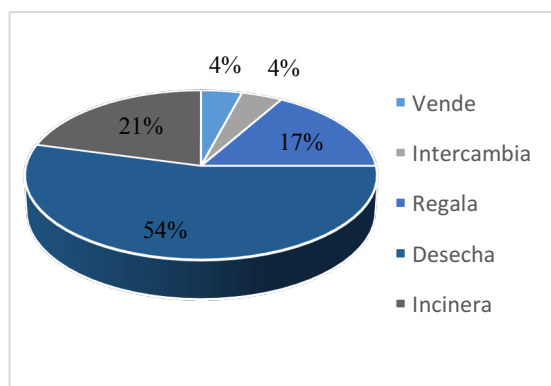


Gráfico 11. Disposición final de zuro en la comunidad.

Fuente: Autores.

Los agricultores manifestaron en un 39% que incinera el residuo taralla después de la cosecha, el 35% lo desecha, el 18% lo regala a sus lindantes, el 4% lo vende y el 4% lo intercambia (gráfico 13). En relación al zuro un 54% de los agricultores las desecha después del desgrane, el 21% lo incinera, el 17% lo regala a sus lindantes, el 4% lo vende y el 4% lo intercambia (gráfico 14).

Con ambos residuos el proceso de intercambio consiste en de modo que el dueño del cultivo permite que otros agricultores ingresen el ganado a pastar en sus terrenos o les permite recolectar los residuos en sacos para utilizarlo asimismo como alimento animal a cambio de otros productos y residuos agrícolas.

La FAO (2003) asevera que varios de los pequeños agricultores se han convertido en agentes de destrucción, al sobreexplotar los recursos naturales, motivados por la escasez de tierras y la falta de oportunidades socio-económicas. En un contexto de desigualdad de oportunidades

Tangri (2005) concuerda en que quienes más padecen son las comunidades más débiles políticamente, en donde se utiliza la incineración a pesar de ser un método insustentable que impide la minimización de residuos e incluso, crea estímulos para generar más basura, cuando la disposición de residuos se puede efectuar cómodamente se hace fácil derrochar recursos y contaminar.

El manejo de los residuos agrícolas de maíz en la comunidad San Miguel de Tres Charcos potencia impactos negativos ambientales, afectando de la misma manera la salud de quienes residen cerca de los terrenos destinados para cultivos. No obstante, también aportaría al deterioro de calidad de aire global. El Ministerio del Ambiente [MAE] (2011) afirma que las actividades agrícolas son responsables de aproximadamente el 11% de las emisiones totales de GEI de origen antropogénico a nivel mundial. Así mismo, el MAE (2014) calculó que el aporte de la agricultura a la misión de GEI en Ecuador es cercano a las 160 millones de CO₂ al año, correspondiente a casi el 28% de las emisiones de GEI, una parte importante son generadas por la quema y/o descomposición de los residuos agrícolas.

Dimensiones de las briqueta

A continuación se detallan las características geométricas de las briquetas de residuos de maíz, tomando en cuenta que su forma es cilíndrica y de la misma manera se muestra la densidad de éstas.

Cuadro 2. Dimensiones y densidad de las briquetas.

| Parámetro | Valor |
|-------------------------------|--------|
| Diámetro (mm) | 76 |
| Altura (mm) | 50 |
| Densidad (kg/m ³) | 263.15 |

Fuente: Autoras, 2019.

Para determinar la densidad se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$v = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{4} = \frac{\pi(0,076)^2(0,05)}{4} = 2,26 \times 10^{-4} m^3 \quad [3]$$

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{0,06}{2,26 \times 10^{-4}} = 265,487 kg/m^3 \quad [4]$$

Donde:

v= volumen de la briqueta

d= diámetro de la briqueta

h= altura de la briqueta

m= masa de la briqueta

ρ = densidad de la briqueta

Resistencia de aplastamiento.

Cuadro 3. Resistencia de aplastamiento de las briquetas de residuos de maíz.

| Tratamientos | Resistencia (kgf) | Resistencia (N)* |
|----------------|-------------------|------------------|
| T ₁ | 43.50 | 426.59 |
| T ₂ | 42.53 | 417.11 |
| T ₃ | 48.06 | 471.37 |
| T ₀ | 69 | 676.74 |

*Norma Colombiana NTC 2060

Fuente: Autoras, 2019.

El cuadro 3 refleja los resultados obtenidos en la prueba de resistencia de aplastamiento a la que fueron sometidas las briquetas, dentro de ello el valor mínimo encontrado fue del T₂ con 42.53 kgf, el mismo contiene en su composición 40% de zuro y 60% de tallo. Como consecuencia de esta prueba, el T₃ conformado por 50% de cada subproducto de maíz en su composición, fue el que obtuvo mayor resistencia de aplastamiento con 48.06 kgf esto sin considerar el valor resultante de la prueba realizada al T₀ que corresponde a 69 kgf, cabe recalcar que este parámetro es una característica física importante, ya que si carbón posee resistencias bajas, al transportarlo y manipularlo puede que se convierta en carbonilla fina o polvo (Benedicto *et.al*, 1997).

Sin embargo, el valor de resistencia de aplastamiento propuesto por la Norma Colombiana NTC 2060 es de 80 kgf para briquetas con 60 g de masa, por lo que se denota un incumplimiento de la norma en este parámetro, Macea y Pastrana (2016) manifiestan que esto se debe a la falta de presión de compactación manejada dentro del proceso.

Cuadro 4. Análisis de la Varianza simple para resistencia Kg/f por tratamientos.

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 1722.5 | 3 | 574.166 | 66.83 | 0.0000 |
| Intra grupos | 68.7357 | 8 | 8.59197 | | |
| Total (Corr.) | 1791.23 | 11 | | | |

Fuente: Autores.

Dado que el valor de la prueba de la razón-F es menor a 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Resistencia (kgf) con un nivel del 95.0% de confianza, es decir que las diferentes concentraciones de subproducto de maíz establecida en los tratamientos, difieren en la resistencia de aplastamiento. Se determinó que No existen diferencias estadísticamente significativas de las medias mediante las pruebas de múltiples rango Tukey.

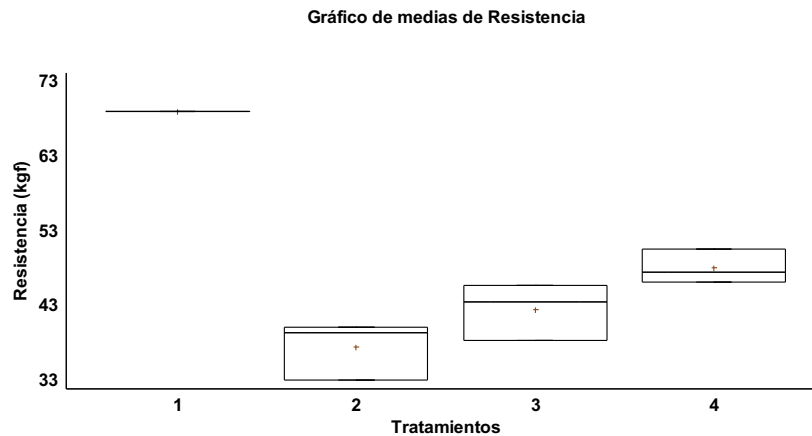


Gráfico 15. Valores de Resistencia de Aplastamiento por cada tratamiento.

Fuente: Autores.

Humedad

El valor promedio del porcentaje de humedad de las briquetas fue establecida mediante la fórmula 1, a continuación se presentan los resultados obtenidos para cada tratamiento.

Cuadro 5. Porcentaje de humedad de las briquetas.

| Tratamientos | Humedad(%) |
|---------------------|-------------------|
| T ₁ | 9.35 |
| T ₂ | 9.44 |
| T ₃ | 8.59 |
| T ₀ | 7.5 |

Fuente: Autoras, 2019.

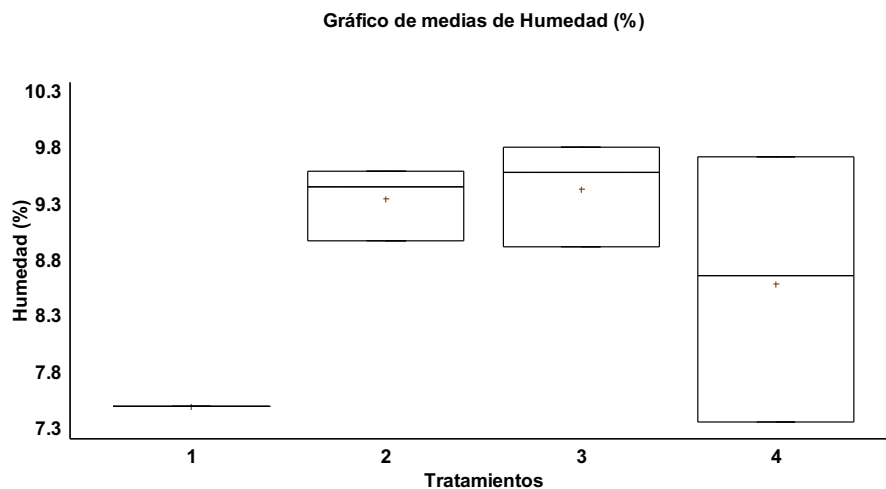
En el cuadro 5 se observa el resultado de porcentaje de humedad promedio para cada tratamiento, teniendo el menor valor en el T₃ (50% de zuro y 50% de tallo) con un porcentaje de 8.59 y el T₂ (40 % de zuro y 60% de tallo) con un porcentaje de humedad superior de 9.44. Es notable que la humedad del T₀ no se encuentra distante al resto de los tratamientos. Los valores obtenidos están por debajo del 14%, lo que indica que se encuentran dentro del rango establecido para la producción de briquetas según Fonseca y Tierra (2011).

Cuadro 6. Análisis de la Varianza para el porcentaje de humedad.

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 7.25183 | 3 | 2.41728 | 5.59 | 0.0231 |
| Intra grupos | 3.46013 | 8 | 0.432517 | | |
| Total (Corr.) | 10.712 | 11 | | | |

Fuente: Autores.

En lo concerniente al porcentaje de humedad de las briquetas, el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza, es decir que las diferentes composiciones de subproducto de maíz que contienen los tratamientos difieren estadísticamente entre sí; sin embargo se aplicó la prueba de Tukey donde se identificaron 2 grupos homogéneos.

**Gráfico 16.** Porcentaje de humedad de las briquetas por cada tratamiento.

Fuente: Autores

Ceniza

El resultado del contenido de cenizas de cada tratamiento se muestra en el cuadro 5, los mismos que fueron obtenidos en el laboratorio de Química Ambiental del Área Agroindustrial de la ESPAM MFL, mediante la utilización de la fórmula 2.

Cuadro 7. Porcentaje del contenido de ceniza de las briquetas en cada tratamiento.

| Tratamientos | Ceniza % |
|----------------|----------|
| T ₁ | 7.26 |
| T ₂ | 7.01 |
| T ₃ | 6.67 |

| | |
|----------------------|------|
| T₀ | 9.05 |
|----------------------|------|

Fuente: Autores.

En el cuadro anterior se muestra el porcentaje de contenido de cenizas de las briquetas por cada tratamiento, donde el T₃ es el que presenta menor contenido de ceniza con 6,67%, los mismos que se encuentran dentro de los valores aceptados de la tabla referente a las propiedades que deben presentar las briquetas de acuerdo a la norma Colombiana NTC 20160, debido a que el contenido de ceniza debe ser inferior a 30%.

Alarcón (2017), manifiesta que un alto contenido de ceniza contribuye a una serie de problemas en las briquetas; tiende a reducir el poder calorífico del biocombustible sólido. Sin embargo, esta ceniza no se convierte en material volátil que sea transportado por el aire y se pueden emplear como fertilizante para plantas, siendo ésta una manera de contribuir de manera útil a la conservación del medio ambiente.

Cuadro 8. ANOVA para el contenido de ceniza por tratamientos.

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Entre grupos | 10.115 | 3 | 3.37166 | 4.71 | 0.0354 |
| Intra grupos | 5.729 | 8 | 0.716125 | | |
| Total (Corr.) | 15.844 | 11 | | | |

Fuente: Autores.

La tabla ANOVA refleja la significancia estadística encontrada en los datos de las briquetas elaboradas a base de residuo de maíz. De acuerdo con el valor-P de la razón-F se demuestra que existe diferencia significativa en las medias de los porcentajes de ceniza, es decir que las diferentes composiciones de tallo y zuro de maíz que contienen los tratamientos, sostienen diferentes porcentajes de ceniza. Se identificó un grupo homogéneo mediante las pruebas de múltiples rango Tukey.

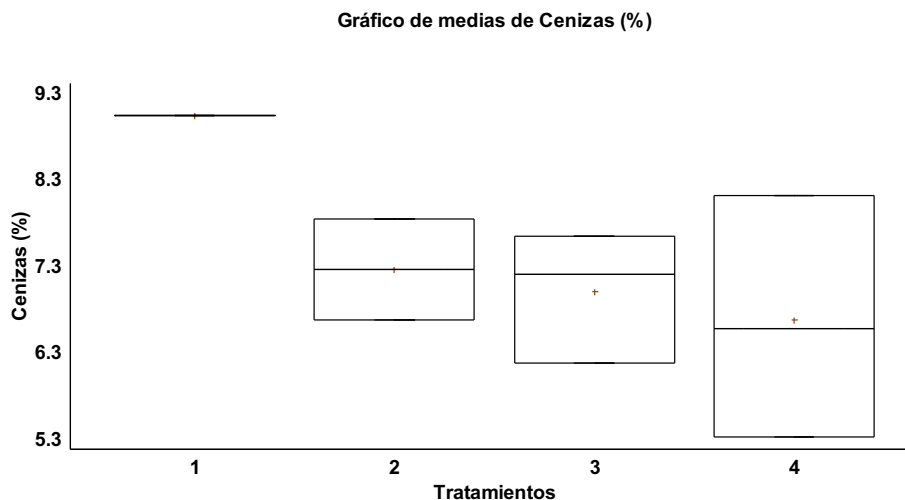


Gráfico 17. Porcentaje de ceniza por cada tratamiento según el ANOVA realizado.

Fuente: Autores.

Tiempo de encendido

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%). Al momento de combustionar las briquetas emitieron humo blanco; en las briquetas del T₁ el tiempo de encendido fue de 1 minuto, en T₂ el tiempo de encendido fue de 1,15 minutos y al emplear el T₃ el tiempo de encendido es de 1,13 minutos. Mientras que el testigo en las mismas condiciones tardó 30 minutos en encenderse. Todos los tratamientos incluido el testigo tuvieron un promedio de tiempo de combustión total de 70 minutos.

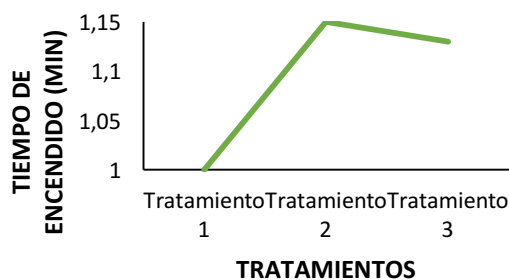


Gráfico 18. Prueba de tiempo de encendido de las briquetas según los tratamientos

Fuente: Autores.

Poder calorífico

Cuadro 9. Valores de la prueba de poder calorífico.

| Tratamientos | Poder Calorífico (MJ/kg). |
|----------------|------------------------------|
| T ₁ | 15.14 |
| T ₂ | 15.24 |
| T ₃ | 15.55 |
| T ₀ | 27.316 |

Fuente: Autoras, 2019.

De acuerdo al cuadro anterior, el T₃ es el que presenta la mayor concentración de poder calorífico con 15.55 Mj/kg como resultado máximo promedio de dicha variable; este resultado supera el valor mínimo establecido por la norma Colombiana NTC 2060 reflejada en la tabla referente a las propiedades de las briquetas de acuerdo al tipo, donde sugiere que el valor mínimo de Poder calorífico de las briquetas provenientes de tipo de combustible sea de 12500 Kj/kg o 12.50 Mj/kg. Esto es posible debido al bajo porcentaje de contenido de humedad de los residuos de maíz que están estrechamente relacionados con transformación física de éstos (Trituración, secado y compactación) (Alarcón, 2017).

Cuadro 10. Análisis de la varianza de poder calorífico.

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 325.918 | 3 | 108.639 | 5486.83 | 0.0000 |
| Intra grupos | 0.1584 | 8 | 0.0198 | | |
| Total (Corr.) | 326.076 | 11 | | | |

Fuente: Autores.

El cuadro 10 descompone la varianza de Poder Calorífico MJ/kg en dos componentes, dado que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Poder Calorífico MJ/kg, es decir que las diferentes composiciones de subproducto de maíz que contienen los tratamientos, son estadísticamente diferentes con un nivel del 95% de confianza. Sin embargo se identificaron 2 grupos homogéneos la prueba de Tukey.

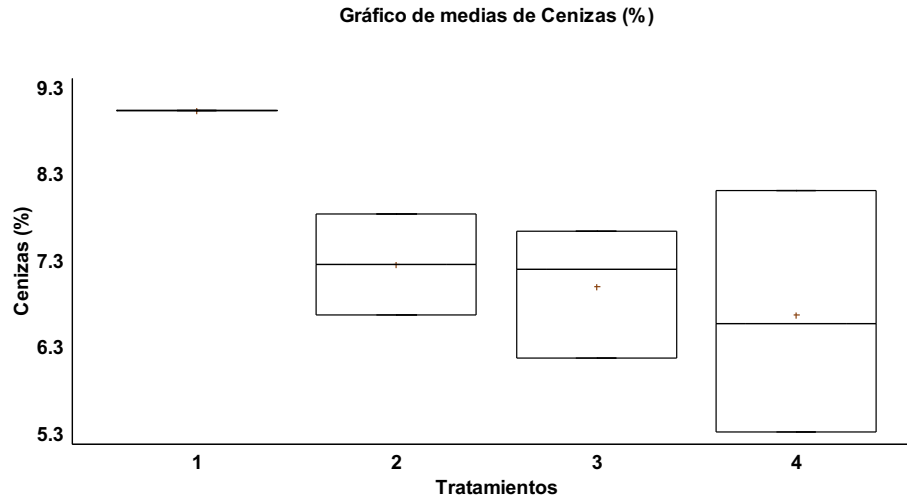


Gráfico 19. Porcentaje de ceniza por cada tratamiento según el ANOVA realizado.
Fuente: Autores.

Análisis económico de la elaboración de briquetas.

A continuación en el cuadro 4.24 se muestra la matriz de precios unitarios aplicada para obtener el costo de la unidad de producción por briqueta. Cabe recalcar que para la aplicación de esta matriz se escogió el T₃ que obtuvo la mayor cantidad de poder calorífico.

Para los costos indirectos se tomaron en cuenta equipos como la estufa con una tarifa de 0.42 \$ por hora, la unidad de molienda eléctrica con 0.02\$ de tarifa por hora y la balanza analítica que tiene un costo por hora de 0.001\$. 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 horas o 20 minutos.

La mano de obra también se encuentra dentro de los costos indirectos, para este parámetro fue necesario contar con un laboratorista con el fin de obtener ayuda en el manejo de equipos de laboratorio antes mencionados, el valor propuesto se estableció en base a los salarios mínimos correspondientes a una jornada diaria de 8 horas, la cual se deduce como costos hombre-hora según la Contraloría General del Estado (2018).

Dentro de los materiales utilizados tenemos los residuos de maíz (zuro y tallo) que si bien es cierto no tienen costo alguno, sin embargo se toma en cuenta el transporte que utiliza para movilizar a estos residuos, por lo que se estableció un valor mínimo de \$ 0.001 por g zero o tallo a utilizar. El almidón de yuca es comercializado en \$1 la libra de este producto, el valor

utilizado para el análisis de costo fue de \$ 0.002 por g; mientras que para el valor del agua, se tomó en cuenta que el costo de este recurso por m³ en el país oscila entre \$0.35 y \$0.48 según lo establece diario El Telégrafo (2015), por lo que se manifestó un valor de \$0.0001 por ml de agua.

Cuadro 4.1. Matriz de análisis de costo por unidad de briqueta.

| Análisis de precios unitarios | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|---------------|-------------|-------------|
| Actividad: | Producción de briquetas. | | Unidad | Briqueta. | |
| Equipos | | | | | |
| | Cantidad | Tarifa | Costo hora | Rendimiento | Costo |
| Descripción | A | B | C=a*b | R | D=c*r |
| Estufa | 0.20 | 0.42 | 0.08 | 0.30 | 0.0252 |
| Unidad de molienda eléctrica | 0.20 | 0.02 | 0.00 | 0.30 | 0.0003 |
| Balanza analítica | 0.20 | 0.001 | 0.00 | 0.30 | 0.00006 |
| Subtotal m | | | | | 0.03 |
| Mano de obra | | | | | |
| | Cantidad | Jornal/hr | Costo hora | Rendimiento | Costo |
| Descripción | A | B | C=a*b | R | D=c*r |
| Laboratorista | 0.10 | 4.01 | 0.40 | 0.30 | 0.12 |
| Subtotal n | | | | | 0.12 |
| Materiales | | | | | |
| | | Unidad | Cantidad | P. Unitario | Costo |
| descripción | | | A | B | C=a*b |
| Residuo de maíz (zuro) | | G | 22.50 | 0.001 | 0.02 |
| Residuo de maíz (tallo) | | G | 22.50 | 0.001 | 0.02 |
| Almidon de yuca | | G | 15.00 | 0.002 | 0.02 |
| Agua | | MI | 180.00 | 0.0001 | 0.02 |
| Subtotal o | | | | | 0.08 |
| Transporte | | | | | |
| | | Unidad | Cantidad | Tarifa | Costo |
| descripción | | | A | B | C=a*b |
| Subtotal p | | | | | 0.00 |
| | <i>Total costo directo (m+n+o+p)</i> | | | | 0.20 |
| | <i>Indirectos 10 %</i> | | | | 0.02 |
| | Valor ofertado | | | | 0.24 |

Fuente: Autoras, 2019.

El precio obtenido como resultado de la producción de una briqueta (\$0.24) se aproxima a los valores 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. Si bien es cierto, el valor de las briquetas de residuo de maíz se excede en un valor mínimo en comparación a otros estudios,

sin embargo los costos de producción son económicamente factibles en el mercado actual si se consideran los beneficios ambientales que éste biocombustible supone.

CONCLUSIONES

- En la comunidad San Miguel de Tres Charcos, los agricultores tienen un manejo deficiente de los subproductos de cultivo de maíz. Principalmente se debe al desconocimiento de nuevas técnicas de valoración y aprovechamiento de residuos orgánicos, lo que se evidencia en el 39% de incineración de la taralla y el 54% que desechan zuro.
- El tratamiento 3 correspondiente a un 50% de tallo y 50% de zuro es el que presenta mayor generación de poder calorífico con un valor promedio de 15.55 Mj/kg, valor que supera lo requerido en la Norma NTC 2060.
- La unidad de briqueta bajo este estudio está valorada en \$0.24 de acuerdo al análisis económico realizado.

LITERATURA CITADA

- Alarcón Solórzano, S. M. (2017). Elaboración de briquetas a partir de desechos de tallos de rosas y papel reciclado (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Álava Alchundia, J. A., & Díaz García, A. M. (2018). Influencia de las características físico-químicas de aceites residuales de restaurantes en la calidad de biodiesel (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Andrade Rodríguez, M., Moliner Aramendía, A., Masanguer Rodríguez, A. (2015). Prácticas de Edafología. Métodos didácticos para análisis de suelos. Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones. V.Serie. p 17. Logroño, España.
- AOAC. 1980. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C
- Benedicto, L. G., Martín, F. M., López, C. F., Ingeniería, D. D. E., Montes, F. E. T. S. I. D. E., & Universitaria, C. (1997). Biocombustibles sólidos y líquidos forestales. Madrid. Retrieved from <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/viewFile/4469/4398>
- Berastegui Barranco, C., Ortega Rodríguez, J. P., Mendoza Fandiño, J. M., González Doria, Y. E., & Gómez Vasquez, R. D. (2017). Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de tusa de maíz, bioaglomerante de yuca y carbón mineral del departamento de Córdoba. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 25(4), 643-653.
- Calderón, M; Andrade, F; Lizarzabu, L; Masache, M. (2017). Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento de los residuos agrícolas del Ecuador. (En línea). Consultado, 02 de nov. 2019. Formato PDF. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/41830-valoracion-economica-cobeneficios-aprovechamiento-energetico-residuos-agricolas>
- CELEC EP (Corporación eléctrica del Ecuador). (2015). Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador. (En línea). Consultado, 13 de nov. 2018. FORMATO PDF. Disponible en: <https://www.celec.gob.ec/hidronacion/images/stories/pdf/PLANEE%20version%20espa%C3%B1ol.pdf>
- El TELÉGRAFO (2015). Las proveedoras del líquido en 8 urbes cobran valores diferentes. Guayaquil, Ecuador. (En Línea). Consultado, 20 de agos. 2019. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/informacion/1/hasta-048-cuesta-el-m3-de-agua-en-el-pais>.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2012). Datos y cifras globales de productos forestales. Roma: División de Economía, Políticas y Productos Forestales FAO, 2012. p 64-84
- 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.
- GAD MUNICIPAL ROCAFUERTE (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Rocafuerte). (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Rocafuerte. (En línea). EC. Consultado, 05 de ene. 2019. Formato PDF. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni/link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1360001360001360001360001%20PDyOT-GAD%20ROCAFUERTE%20Version%20II_20-02-2015_22-06-48.pdf
- Grande, C. (2016). Valoración Biotecnológica de Residuos Agrícolas y Agroindustriales. (En línea). Consultado, 05 de nov. 2019. Formato PDF. Disponible en: <http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4588/1/9789588785813.pdf>
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-2060, briquetas combustibles para uso doméstico. Bogotá: ICONTEC, 2010. pág. 1-6.
- Instituto Nacional de Preinversión. 2014. Atlas Bioenergético de la República Del Ecuador. (En línea). Consultado, 10 de ene. 2019. Formato PDF. Disponible en: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00194.pdf>
- Macea Guzmán, H. J; Pastrana Narváez, J. M. (2016). Elaboración de biocombustible sólido densificados a partir de la mezcla de dos biomásas residuales, un aglomerante a base de yuca y carbón mineral, propios del departamento de Córdoba. Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería. Montería. Córdoba.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2002). Análisis Sectorial de Residuos Sólidos Ecuador. (En línea). EC. Consultado, 05 de nov. 2019. Formato PDF. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/analisis/ecuador.pdf>
- 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. Formato PDF. Consultado el 08 de nov. 2019. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/5239/5/UDLA-EC-TMVZ-2016-04.pdf>