



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**DIRECCION DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE**

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
EN MEDIO AMBIENTE**

**MODALIDAD:  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:  
BRIQUETAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOMASA  
ENERGÉTICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE MAÍZ (*Zea  
mays*) EN LA COMUNIDAD SAN MIGUEL DE TRES CHARCOS.**

**AUTORES:  
BRIONES LOOR DAYANA JAMILETH  
CHILÁN MANCILLA GEMA MARÍA**

**TUTOR:  
ING. CARLOS RICARDO DELGADO VILLAFUERTE, M.Sc.**

**CALCETA, DICIEMBRE DE 2019**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

**DAYANA JAMILETH BRIONES LOOR** y **GEMA MARÍA CHILÁN MANCILLA**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

---

**DAYANA JAMILETH BRIONES LOOR**

---

**GEMA MARÍA CHILÁN MANCILLA**

## CERTIFICACIÓN DE TUTOR

**ING. RICARDO DELGADO VILLAFUERTE M.Sc**, certifica haber tutelado el proyecto **BRIQUETAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOMASA ENERGÉTICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE MAÍZ (*Zea mays*) EN LA COMUNIDAD SAN MIGUEL DE TRES CHARCOS**, que ha sido desarrollada por **DAYANA JAMILETH BRIONES LOOR** y **GEMA MARÍA CHILÁN MANCILLA**, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. RICARDO DELGADO VILLAFUERTE M.Sg**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **BRIQUETAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOMASA ENERGÉTICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE MAÍZ (*Zea mays*) EN LA COMUNIDAD SAN MIGUEL DE TRES CHARCOS**, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

ING. VERÓNICA VERA  
VILLAMIL. M.Sc  
**MIEMBRO**

---

ING. JONATHAN CHICAIZA  
INTRIGAGO M.Sc **MIEMBRO**

---

BLGA. MARIA FERNANDA PINCAY CANTOS. M.Sc  
**PRESIDENTE**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme vivir este momento tan anhelado, a mi Angel en el cielo por ser mi impulso en este proceso.

A mis padres por apoyarme y guiarme hasta donde hoy me encuentro, por fomentar en mí valores que me ayudan a seguir creciendo en todos los ámbitos de mi vida. Los amo papitos.

A mi hermana Pierina por ser mi ejemplo a seguir y mi mejor amiga. A mi hermano Elvis y mi sobrino Pierre por ser mi motivo de risas y distracción cada día.

A Marlon Barberán por mostrar confianza en mi y expresarme su apoyo constante en las situaciones difíciles.

A los amigos que la ESPAM me regaló, por hacer de estos cinco años una experiencia maravillosa que llevaré por siempre dentro de mi.

Y a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí por brindarme la oportunidad de recibir una educación superior de excelencia.

**DAYANA J. BRIONES LOOR.**

## **AGRADECIMIENTO**

A la energía divina que toma varios nombres, por ampararme, guiarme y permitirme las coincidencias más bonitas en el camino. Gracias, gracias, gracias.

A mis amados padres Olmedo Chilán y Matilde Mancilla, por ser mi ejemplo de superación y valentía, porque con gran esfuerzo y convicción me apoyaron en todos los procesos de mi formación académica; gracias por educarme con la libertad para ser yo misma y confiar en mis decisiones. Por ser mi fortaleza, mi norte, mis dos pilares fundamentales. No hay nadie en el mundo a quien admire más que a ustedes.

A mi mejor amigo y enamorado Víctor Cedeño quién con su paciencia, amor y comprensión se mantuvo a mi lado en este sendero lleno de altibajos, convirtiéndose en uno de mis pilares y siendo mi apoyo para crecer juntos personal y profesionalmente.

A nuestro tutor el Ingeniero Ricardo Delgado por brindarnos su tiempo, compartir su conocimiento y creer en nuestra investigación.

A mis amistades que en momentos de estrés estudiantil me animaron constantemente para enfocarme con fuerza en mis metas.

A todas las personas que nos apoyaron sin esperar nada a cambio, indudablemente fueron luz de bondad.

**GEMA M. CHILÁN MANCILLA**

## DEDICATORIA

Este proyecto de titulación se lo dedico a las personas más importantes en mi vida, sin ellas no habría sido posible lograr esta meta.

Madre Matilde mujer valiente, desbordante de un optimismo ejemplar que a veces me es imposible entender, siempre me has motivado con tu amor incondicional, has sido mi inspiración de superación, fortaleza y bondad.

Padre Olmedo siempre inculcándome la lealtad, a aceptar la responsabilidad de nuestros actos y a la versatilidad de sacar lo mejor de situaciones adversas. He admirado tu capacidad, inteligencia y fortaleza desde que era una niña.

Amados padres este logro es de ustedes, por creer y seguir creyendo en mi como nadie lo haría. Hoy puedo decir que culminé esta meta, con ustedes siempre en mi mente y mi corazón.

Hermano Olmedo José espero que este logro se convierta en un referente para ti, estoy orgullosa de ser tu hermana. Recuerda que nada llega sin esfuerzo y que la recompensa es muy gratificante.

Víctor en tu rol de mejor amigo, siempre apoyándome y escuchándome pacientemente en los momentos más difíciles que se presentaron en estos 5 años.

Finalmente a mí, para recordarme mi fuerza interna, determinación y compromiso con la persona espiritual y profesional que visualizo ser, deseosa de continuar cumpliendo mis próximas metas.

**GEMA M. CHILÁN MANCILLA**

## CONTENIDO

DERECHOS DE AUTORÍA .....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.2. Justificación .....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Hipótesis .....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Biomasa .....	5
2.1.1. Propiedades de la biomasa .....	5
2.1.2. Características de la biomasa.....	6
2.1.3. Proceso de transformación .....	6
2.1.4. Biomasa residual agrícola.....	7
2.1.5. Poder calorífico de los residuos .....	7
2.1.6. Agricultura de maíz.....	8
2.1.7. Maíz duro .....	8
2.1.8. Ventajas de la biomasa: .....	9
2.2. Briquetas.....	10
2.2.1. Forma de las briquetas .....	10
2.2.2. Indicaciones generales de las briquetas .....	10
2.2.3. Procesos de fabricación de briquetas .....	11



2.2.4. Aglomerantes .....	12
2.2.5. Tipos de aglomerantes .....	13
2.2.6. Almidón de yuca .....	13
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	14
3.1. Ubicación .....	14
3.2. Duración del trabajo .....	14
3.3. Tipo de investigación .....	14
3.4. Métodos y técnicas .....	15
3.4.1. Métodos.....	15
3.5.1. Técnicas.....	15
3.6. Factor en estudio .....	16
3.7. Unidad experimental .....	16
3.8. Variables en estudio.....	17
3.8.1. Variable independiente .....	17
3.8.2. Variable dependiente.....	17
3.9. Diseño experimental .....	17
3.10. Procedimiento de la investigación.....	18
3.10.1. Caracterizar el uso de los residuos del cultivo de maíz en la comunidad san miguel de tres charcos. ....	18
3.10.2. Determinación del tratamiento que presente un mejor comportamiento en obtención de poder calorífico a partir de los residuos del cultivo de maíz. ....	19
3.10.3. Realización de un análisis económico de la elaboración de briquetas .....	24
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1. Caracterización del uso de los residuos del cultivo de maíz en la comunidad san miguel de tres charcos. ....	25

4.2. Determinación del tratamiento que presente un mejor comportamiento en obtención de poder calorífico a partir de los residuos del cultivo de maíz. ....	35
4.2.1. Determinación de la humedad de los residuos. ....	35
4.2.2. Análisis de las variables a medir.....	35
4.2.4. Realización de un análisis económico de la elaboración de briquetas. ....	45
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1. Conclusiones .....	48
5.2. Recomendaciones .....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXOS.....	55

## **CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS**

### **CUADROS**

<b>Cuadro 2.1.</b> Procesos de transformación de la biomasa .....	7
<b>Cuadro 2.2.</b> Poder calorífico interior de los cultivos representativos en el país. ....	8
<b>Cuadro 2.3.</b> Cultivos representativos de la Provincia de Manabí .....	8
<b>Cuadro 2.4.</b> Generalidades del maíz duro en Manabí .....	9
<b>Cuadro 2.5.</b> Propiedades de las briquetas, de acuerdo al tipo.....	11
<b>Cuadro 2.6.</b> Requisitos de resistencia al compresión (NTC 2060,2003). ....	11
<b>Cuadro 3.7.</b> Tratamientos.....	16
<b>Cuadro 3.8.</b> Generalidades de la unidad experimental. ....	17
<b>Cuadro 3.9.</b> Esquema de ANOVA. ....	17
<b>Cuadro 3.10.</b> Matriz de costo de producción de briquetas. ....	24
<b>Cuadro 4.11.</b> Porcentaje de Humedad de los residuos de maíz. ....	35
<b>Cuadro 4.12.</b> Resistencia de compresión promedio de las briquetas de residuos de maíz. ....	36
<b>Cuadro 4.13.</b> Análisis de la Varianza simple para resistencia kg/f por tratamientos. ....	36
<b>Cuadro 4.14.</b> Prueba Tukey .....	36
<b>Cuadro 4.15.</b> Porcentaje de humedad de las briquetas. ....	38

<b>Cuadro 4.16.</b> Análisis de la Varianza para el porcentaje de humedad. ....	38
<b>Cuadro 4.17.</b> Prueba Tukey .....	38
<b>Cuadro 4.18.</b> Porcentaje del contenido de ceniza de las briquetas en cada tratamiento.....	39
<b>Cuadro 4.19.</b> ANOVA para el contenido de ceniza por tratamientos. ....	40
<b>Cuadro 4.20.</b> Test Tukey de Contenido de Ceniza. ....	40
<b>Cuadro 4.21.</b> Valores de la prueba de poder calorífico.....	42
<b>Cuadro 4.22.</b> Análisis de la varianza de poder calorífico. ....	42
<b>Cuadro 4.23.</b> Prueba Tukey .....	43
<b>Cuadro 4.24.</b> Generalidades de las variables a medir. ....	44
<b>Cuadro 4.25.</b> Matriz de análisis de costo por unidad de briqueta. ....	46
<b>Cuadro 4.26.</b> Precio de venta de briquetas por kg.....	46

## GRÁFICOS

<b>Gráfico 4.1.</b> Porcentaje de recolección de taralla. ....	27
<b>Gráfico 4. 2.</b> Porcentaje de recolección de tusa. ....	27
<b>Gráfico 4. 3.</b> Porcentaje de tratamiento para conservar taralla.....	28
<b>Gráfico 4.4.</b> Porcentaje de tratamiento para conservar tusa.....	28
<b>Gráfico 4.5.</b> Tipos de tratamientos de conservación empleados por los agricultores para la taralla como subproducto. ....	29
<b>Gráfico 4.6.</b> Tipos de tratamientos de conservación empleados por los agricultores para tusa como subproducto.....	29
<b>Gráfico 4.7.</b> Aprovechamiento de la taralla para pastoreo in situ.....	30
<b>Gráfico 4.8.</b> Aprovechamiento de tusa para pastoreo in situ .....	30
<b>Gráfico 4. 9.</b> Criterio de agricultores sobre la posibilidad de aprovechamiento de la taralla. ....	31
<b>Gráfico 4.10.</b> Criterio de agricultores sobre la posibilidad de aprovechamiento de tusas. ....	31
<b>Gráfico 4.11.</b> Criterio de agricultores sobre la posibilidad de venta de la taralla. ....	32
<b>Gráfico 4. 12.</b> Criterio de agricultores sobre la posibilidad de venta de tusa...	32
<b>Gráfico 4.13.</b> Disposición final de taralla en la comunidad San Miguel de Tres Charcos. ....	33

<b>Gráfico 4.14.</b> Disposición final de tusa en la comunidad San Miguel de Tres Charcos .....	33
<b>Gráfico 4.15.</b> Resistencia de Compresión por cada tratamiento. ....	37
<b>Gráfico 4. 16.</b> Porcentaje de humedad de las briquetas por cada tratamiento. ....	39
<b>Gráfico 4.17.</b> Porcentaje de ceniza por cada tratamiento según el ANOVA realizado. ....	41
<b>Gráfico 4.18.</b> Prueba de tiempo de encendido de las briquetas según los tratamientos. ....	42
<b>Gráfico 4.19.</b> Poder Calorífico por cada tratamiento. ....	43
<b>FIGURAS</b>	
<b>Figura 1.</b> Formas de briquetas. ....	10
<b>Figura 2.</b> Ubicación de la Comunidad San Miguel de Tres Charcos. ....	14
<b>Figura 3.</b> Esquema del proceso de briquetado seleccionado. ....	20
<b>Figura 4.</b> Sistema Agroproductivo de San Miguel de Tres Charcos. ....	26

## 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 tusa, proveniente de la comunidad San Miguel de Tres Charcos-Rocafuerte. La investigación fue de tipo experimental, la misma que se realizó bajo los lineamientos del 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 cada tratamiento fue 30% aglomerante como variable fija y 30% residuos agrícolas de maíz de los cuales la composición fue:  $T_1 = 60\%$  tusa - 40% tallo,  $T_2 = 40\%$  tusa - 60% tallo,  $T_3 = 50\%$  tusa - 50% tallo.

Las variables a medir fueron: poder calorífico, resistencia a la compresión, ceniza, tiempo de encendido y humedad, valores que se compararon con la norma Colombianas NTC 2060. El tratamiento que en promedio presentó menor potencial en la generación de poder calorífico fue  $T_1$  con 15.14 Mj/kg, en relación a  $T_3$  con un promedio de 15.55 Mj/kg, siendo este el tratamiento que resulta en la afirmación de la hipótesis.

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

## ABSTRACT

The purpose of the research was to prepare briquettes for obtaining energy biomass from corn crop residues, specifically stem and tusa, from the San Miguel de Tres Charcos-Rocafuerte community. The investigation was of an experimental type, the same one that was carried out under the guidelines of the Completely Random Design (DCA) with three treatments that were constituted by three replicas each, against domestic coal as a witness. In total twelve experimental units were studied, the composition of each treatment was 30% binder as a fixed variable and 30% agricultural corn residues of which the composition was: T1 = 60% tusa - 40% stem, T2 = 40% tusa - 60% stem, T3 = 50% tusa - 50% stem. The variables to be measured were: calorific value, resistance to crushing, ash, ignition time and humidity, values that were compared with the Colombian standard NTC 2060. The treatment that on average presented less 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, this being the treatment that complied with the parameters of the NTC 2060 standard regarding the variables of calorific power and ash, resulting in the affirmation of the hypothesis.

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

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según Cerdá (2012), la situación de la biomasa en el mundo, en varios casos, supone una problemática que radica en la escasez de desarrollo tecnológico y de eficiencia energética, donde no existe una planificación sostenible para su aprovechamiento, lo que conlleva a la deforestación de grandes áreas al no tener el conocimiento de las diferentes fuentes de biomasa y utilizar la leña como único biocombustible.

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 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2012).

Las consecuencias de la extracción de leña dependen de factores como el tiempo de recuperación de los ecosistemas y la cantidad de biomasa extraída, así como también si el origen del material recolectado procede de organismos vivos o muertos (Salgado, Borda y Ceccon, 2017). El humo que resulta en la combustión de la leña es el causante de diversas afecciones respiratorias en niños y adultos, con frecuencia se observan en familias que usan fogones abiertos y estufas de mal funcionamiento (Tobar, Urizar y Chacón, 2018). Tan solo el 2% de las estrategias energéticas implementadas en los países menos desarrollados, enfocan el uso de este recurso para la cocción (Centro de Estudios de Actividad Regulatoria [CEARE], 2014).

Uno de los países con mayor consumo de energía primaria es Ecuador, ocupa el cuarto lugar en América Latina, en el sector rural el combustible mayormente utilizado es la biomasa proveniente de la leña, hace algunos años este recurso alcanzó un 30% en el consumo total de energía (Abalos, 2012). En el 2013 esta energía (leña, carbón, residuos agrícolas) tuvo una aportación 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 (Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador, 2015).

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] (2010), en su último censo de Población y Vivienda registró que en Manabí después del gas licuado de petróleo (GLP), la leña ocupa el 14% de combustible utilizado en los hogares para la cocción de alimentos. De acuerdo a los cambios de la matriz energética, la obtención de biomasa a partir de subproductos agrícolas 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 en ciertas zonas de la provincia.

Es una realidad que al aumentar la producción agrícola también aumente la generación de residuos, y 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 causando serios problemas a la atmósfera, lo que contribuye a la generación de gases de efecto invernadero (GEI) que son la causa principal del cambio climático.

En función a lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente interrogante:

¿De qué manera se podrá aprovechar los residuos de cultivo de maíz (*Zea mays*) en la generación potencial de poder calorífico para la obtención de biomasa energética en la comunidad San Miguel de Tres Charcos?



## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El Ecuador presenta un gran potencial energético a partir de biomasa por ser un país eminentemente agropecuario. No obstante, de las actividades productivas provenientes de la agricultura y ganadería se obtienen residuos que no están siendo aprovechados energéticamente. Como estrategia del Plan Nacional de Energía 2013-2022 se promueve la implementación de proyectos direccionados a la generación de energía renovable, en especial las energías renovables no hidráulicas que se han catalogado como mejor elección para diversificar la matriz energética.

La utilización de biomasa para la elaboración de briquetas se presenta como una alternativa capaz de contribuir 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.

El proyecto es factible económicamente, debido a que aportará a la proyección de una economía circular o de cascada, al incorporar a un sistema de producción como materia prima residuos de cultivo que no puedan tener alguno otro uso como alimento animal o compost, lo que contribuirá al desarrollo de una economía más sostenible evitando que a futuro estos residuos se conviertan en pasivos ambientales.

De acuerdo a lo afirmado por la FAO (2012), las briquetas producidas a partir de biomasa vegetal son una fuente de energía que se puede obtener con baja tecnología y bajo nivel de inversión, gracias a estas cualidades, las briquetas resultan una opción metodológicamente viable.

Se fundamenta en los objetivos 3 y 5 del Plan Nacional de Desarrollo (2017-2021), según lo afirma la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017), ya que estos buscan encaminar al país hacia el desarrollo sostenible mediante la disminución de presión sobre los recursos naturales, reemplazando de esta manera las actividades extractivas y dependencia de combustibles de origen fósil, por un manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos, sin dejar a un lado los

límites biofísicos y ciclos naturales. Del mismo modo, impulsa una economía circular equilibrada con el ambiente, innovación y calidad en el mercado.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Elaborar briquetas para la obtención de biomasa energética a partir de los residuos del cultivo de maíz en la comunidad Tres Charcos de Rocafuerte.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el uso que se les dan a los residuos del cultivo de maíz en la comunidad San Miguel de Tres Charcos.
- Determinar el tratamiento a base de residuos de maíz que genere mayor poder calorífico.
- Realizar un análisis económico de la elaboración de briquetas.

### **1.4. HIPÓTESIS**

El tratamiento compuesto de 50% tallo y 50% tusa presenta mayor potencial en la generación del poder calorífico para la obtención de biomasa energética.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. BIOMASA

Martín (2012), considera biomasa a la masa vivo de origen animal y vegetal que es utilizada como fuente energética, la biomasa es una energía limpia y de bajo costo que fácilmente puede sustituir la energía a base de combustibles fósiles, gaseosos o líquidos que usualmente son usados en hogares o en diferentes industrias para la producción de energía.

La biomasa produce mayormente energía renovable, esto es posible ya que en el proceso de fotosíntesis se almacena gran parte de la energía proveniente del sol. Existen dos formas comunes como fuente de biomasa: residuos de las actividades agrícolas y los cultivos orientados principalmente a la producción de energía (Vera, 2016).

Mack (2017) manifiesta que por su origen, la biomasa se puede clasificar en:

- **Biomasa Residual:** Se genera principalmente de las actividades antropogénicas ganaderas, agrícolas y de la industria como la agroalimentaria.
- **Excedentes Agrícolas:** Son aquellos residuos que no se utilizan para la alimentación, al no tener otro uso se convierten en fuente de energía a través de los biocombustibles.
- **Biomasa natural:** Es el tipo de biomasa que no se encuentra alterada por la mano del hombre, dentro de ella se encuentra la leña o las ramas. En la obtención de biomasa existen consecuencias como la explotación intensiva forestal lo que lo convierte en un biocombustible no renovable.

#### 2.1.1. PROPIEDADES DE LA BIOMASA

Para que una biomasa sea considerada como combustible Mack (2017) menciona que es necesario contemplar algunas propiedades:

- a. **Composición química:** La parte orgánica, inorgánica y el agua son esenciales dentro de la composición de una briqueta, sin embargo en el

proceso de combustión, prevalecen las sustancias orgánicas y las inorgánicas son las que se transforman en ceniza.

- b. Contenido de Humedad:** Resulta un parámetro de gran importancia porque cuando mayor es el poder calorífico, la humedad es menor.
- c. Cantidad de Cenizas:** Depende del material contaminante o impurezas como tierra arena u otros. Es la materia inorgánica sólida no combustible que no es mayor que la biomasa.
- d. Densidad:** Es el parámetro que depende de la biomasa y el volumen.
- e. Poder calorífico:** Se refiere a la porción de calor por unidad de masa que queda libre en el proceso de combustión (Rengifo, 2016).

### **2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA BIOMASA**

La composición del residuo establecerá las características químicas y físicas de la biomasa, las cuales influyen dentro del proceso de transformación energética (Instituto Nacional de Preinversión de Ecuador, 2014):

- a. Características físicas:** humedad, densidad real y densidad aparente.
- b. Características químicas:** análisis próximo que evalúa el contenido de material volátil, cenizas, contenido de carbono fijo y análisis estructural para cuantificar el contenido de hemicelulosa, lignina y celulosa.

### **2.1.3. PROCESO DE TRANSFORMACIÓN**

Los procesos de transformación de biomasa se pueden clasificar dependiendo del porcentaje de humedad en su contenido, en termoquímicos y químicos-biológicos.

Los procesos termoquímicos se refieren a los que se originan de biomasa seca agrupándolo en: combustión, gasificación, pirolisis. Estos se producen en determinadas condiciones de presión y temperatura, de forma tal que la biomasa sólida se transforma en otros subproductos sólidos, líquidos y gaseosos. (Instituto Nacional de Preinversión Ecuador, 2014).

**Cuadro 2.1.** Procesos de transformación de la biomasa

Origen en biomasa seca		Origen en biomasa húmeda	
Procesos termoquímicos		Procesos químicos y biológicos	
<b>Combustión</b>	Calor, electricidad.	<b>Fermentación alcohólica</b>	Bioetanol
<b>Gasificación</b>	Gas pobre, metanol.	<b>Transesterificación y esterificación</b>	Biodiesel (metilester)
<b>Pirólisis</b>	Carbón vegetal, aceite pirolisis, gases no condensables, brea vegetal.	<b>Digestión anaerobia</b>	Biogás (metano)

Fuente: Atlas bioenergético del Ecuador-Instituto Nacional de Preinversión, 2014.

#### 2.1.4. BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA

Se conforma por los subproductos originados durante la recolección y transformación de las cosechas, la biomasa residual se divide en residuos agrícolas de campo (RAC) que se generan en el área agropecuaria, mientras que los residuos agrícolas industriales (RAI) son consecuencias de la producción agrícola (Instituto Nacional de Preinversión, 2014). Para evaluar los RAC se utiliza un coeficiente denominado factor de cosecha a residuo (FCRL), se efectúa caracterizando el volumen de residuos por tipo de producto, tanto para campo como para industria que aplicado al volumen en toneladas anuales de la producción agrícola, proporciona como resultado el volumen en toneladas de los residuos producidos (Instituto Nacional de Preinversión, 2014).

Se realiza mediante la utilización de la siguiente ecuación.

$$RAC = FCR1 * Producción \quad [2.1]$$

Donde:

RAC: Residuos agrícolas de campo

FCR1: Factor de cosecha a residuo 1

Producción: producción agrícola anual en toneladas (unidad de volumen)

#### 2.1.5. PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS

El poder calorífico de los residuos agrícolas formula el contenido de energía calórica que pueden ser liberados mediante su combustión y está medido generalmente en kcal/kg (kilocalorías por kilogramo) o en kJ/kg (kilo Joules por kilogramo). Para poder evaluar su potencial teórico de producción de energía eléctrica en sus

unidades habituales, es necesario multiplicar el poder calorífico por factor de equivalencia entre las unidades del contenido de energía calórica en las unidades energía eléctrica teórica, este valor en el Sistema Internacional de Unidades (SI), es de 859,95 kcal/kWh (Instituto Nacional de Preinversión, 2014).

**Cuadro 2.2.** Poder calorífico interior de los cultivos representativos en el país

Actividad	Tipo de Biomasa	Poder Calorífico inferior (MJ/kg)
Agricultura	Maíz duro residuo campo	12.5553
	Arroz residuo campo	13.349
	Cacao residuo campo	6.464
	Plátano residuo de campo	4.180
	Café residuo de campo	6.464

Fuente: Atlas bioenergético del Ecuador-Instituto Nacional de Preinversión, 2014.

### 2.1.6. AGRICULTURA DE MAÍZ

Ecuador es un predilecto generador de biomasa por su creciente economía agrícola, gran cantidad de recursos forestales y pecuarios de cuyos desechos se puede producir energía limpia y renovable. El aprovechamiento eficiente dependerá, de la información disponible respecto a la localización de dichos recursos, la cantidad de residuos orgánicos, las condiciones de los cultivos y el potencial calórico.

**Cuadro 2.3.** Cultivos representativos de la Provincia de Manabí

Provincia	Superficie (ha)	Producto	Producción absoluta (t/año) o (cabezas/año)	Residuos (t/año)	Energía bruta (Tj/año)
Manabí	17.880,21	Plátano	223 610.67	147 583.04	1 86329
		Cacao	17 958.71	223 350.38	1503.93
		Arroz	47 998.24	64 497.63	868.16
		Maíz duro	115 878.18	52 145.18	650.23
		Café	7 976.47	43 224.48	417.34
		<b>Total</b>	<b>413 422.27</b>	<b>529 800.72</b>	<b>5 302.96</b>

Fuente: Atlas bioenergético del Ecuador-Instituto Nacional de Preinversión, 2014.

### 2.1.7. MAÍZ DURO

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.

Según un estudio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], (2016), la agricultura es uno de los mayores componentes del Producto Interno Bruto (PIB) del Ecuador (17.5%); la cadena del maíz representa el 3% del PIB

agrícola, dentro del país es el cultivo más representativo, abarca una superficie de siembra aproximada de 500 mil ha, donde 250 mil ha son de maíz amarillo duro cristalino sembrado principalmente en la costa ecuatoriana; y el resto de las ha son maíz de altura, en la zona andina.

De acuerdo a estudio realizado por el Instituto Nacional de Preinversión Ecuatoriano (2014), el maíz duro en el país presenta un poder calorífico inferior (PCI) de 12.553 (Tj/kg) y producción de energía eléctrica de 689.59 kWh/t en base seca, predilecto para aplicarlo a tecnologías de combustión.

**Cuadro 2.4.** Generalidades del maíz duro en Manabí

<b>Producción</b>	1 513.635 t/año
<b>Superficie sembrada total</b>	255.376 ha
<b>Tipo de cultivo</b>	Transitorios con ciclos vegetativos promedio de 4.5 meses.
<b>Rendimiento</b>	5.93 (t/ha)
<b>Producto</b>	Grano húmedo 13%
<b>Residuo de campo</b>	Hojas, tallos, mazorcas o tusas
<b>Residuo de procesamiento</b>	Mazorca dependiendo de la finalidad
<b>Utilización</b>	Industria alimenticia, resiembra
<b>Destino</b>	Consumo interno, exportación

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018.

### **2.1.8. VENTAJAS DE LA BIOMASA:**

Según Alarcón (2017), la biomasa empleada como fuente energética cuenta con algunas ventajas sobre todo en la parte medioambiental, entre las que se destacan las siguientes:

- ✓ Fortalecimiento del uso de biocombustibles provenientes de fuentes renovables para dejar de lado el uso de combustibles fósiles.
- ✓ Disminución de residuos orgánicos, ya que son aprovechados para la generación de energía.
- ✓ La emisión de CO<sub>2</sub> al ambiente es neutra.
- ✓ Oportunidad de desarrollo sustentable.
- ✓ La biomasa tiene contenidos de azufre inferior al 0.1%. Por tal motivo se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero como Dióxido de azufre y óxidos de nitrógenos causantes de la lluvia ácida.

## 2.2. BRIQUETAS

Una briqueta es una forma de biocombustible sólido densificado, el proceso de su fabricación consiste en aplicar altas presiones en la densificación de la materia prima lignocelulósica, elevadas temperaturas en el periodo del secado y mezclar con un aglomerante preferiblemente natural, empleando un molde con el fin de incrementar la baja densidad aparente de la biomasa (Alarcón, 2017).

Para la fabricación de briquetas, se tendrá en cuenta la granulometría (tamaño de partícula) y porcentaje de humedad aceptable en la materia prima. Las briquetas son formas de biocombustibles bastante eficientes donde se concentra la mayor parte de la energía proveniente de la biomasa.

### 2.2.1. FORMA DE LAS BRIQUETAS

Alarcón (2017), asevera que las briquetas pueden ser de diferentes formas como hexagonales, rectangulares, cuadradas, cilíndricas, entre otros, tal como se muestra en la figura 1. Un punto importante al momento de escoger la forma de la briqueta es que mientras más se asemeje a la forma de carbón comercial o al tronco de un árbol presentará mayor resistencia en el almacenamiento.



Figura 1. Formas de briquetas. Fuente: Alarcón, 2017.

### 2.2.2. INDICACIONES GENERALES DE LAS BRIQUETAS

Para la fabricación de briquetas se toman en cuenta normas técnicas como la norma Colombiana NTC 2060 que en su numeral 3 presenta las condiciones óptimas para la elaboración de briquetas:

- a. **Tamaño:** mayor o igual a 3 cm en su dimensión mínima.
- b. **Combustión:** debe ser limpia y de fácil encendido.
- c. **Resistencia en almacenamiento y transporte:** Durante su transporte y manejo y almacenamiento no deben deteriorarse.



- d. Uniformidad:** Deben presentar uniformidad en el tamaño, el poder calorífico, las características físicas y mecánicas.
- e. Aglomerante:** Utilizar uno no tóxico, que no produzca gases irritantes durante su combustión en cantidad superior a la permisible.
- f. Iniciador:** Debe ser de encendido instantáneo, que no emita gases tóxicos o irritantes durante su combustión en cantidad superior a la permisible.

**Cuadro 2.5.** Propiedades de las briquetas, de acuerdo al tipo.

Propiedades	Tipo 1	Tipo 2
Poder Calorífico mínimo (Kj/kg)	21 000	12 500
Cenizas, máximo (%m/m)	30	30
Carbono fijo, mínimo (% m/m)	50	-
Material volátil, máximo (% m/m)	15	15
Humedad en % máximo (véase nota 2)	2.5	2.5
Contenido de azufre, máximo (%m/m)	1.0	1.0

Fuente: Norma Colombiana NTC 2060.

**Notas:**

Tipo 1. Briquetas provenientes de carbón mineral.

Tipo 2. Briquetas provenientes de otro tipo de combustible.

En el numeral 4 de la misma norma NTC 2060, se refiere a la resistencia a la compresión donde indica que el promedio ponderado de la carga de compresión (Rm) dependerá directamente de la masa de la briqueta como lo indica la siguiente tabla:

**Cuadro 2.6.** Requisitos de resistencia a la compresión (NTC 2060,2003).

Masa de cada briqueta en g/briqueta.	Rm, mínimo en N(kgf)
60 o más	784,.1 (80)
40	588.23 (60)
30	490.19(50)
20	392.15 (40)

Fuente: Norma Colombiana NTC 2060.

### 2.2.3. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE BRIQUETAS

Para la elaboración de las briquetas existen diferentes tipos de procesos que van desde la forma manual o artesanal, semi-industrial e industrial. Estos procesos

requieren de diferentes maquinarias y equipos indispensables para la fabricación de briquetas (Martínez, 2015).

- **Artesanales:** Es un proceso manual que no necesita la intervención de tecnologías sofisticadas, ya que la cantidad a producir suele ser relativamente pequeña y los equipos que se necesitan se los puede conseguir con medios caseros como por ejemplo presar el molde de la biomasa con algún aglomerante y secarla para su posterior utilización. Para Martínez (2015), este proceso se centra en la obtención de las briquetas de manera sencilla y práctica. La presión de compactación es baja, hasta 5MPa.
- **Semi-industriales:** El proceso de briquetado semi-industrial presenta presiones que van desde 5 a 100 MPa; estas presiones son mayores en el proceso industrial ya que en algunos caso la materia prima alcanza un grado de auto aglomeración, permitiendo la disminución de adición de aglomerante reduciendo el costo de producción. La humedad de la materia prima debe estar en un rango del 15 al 20%. Si la humedad es mayor, entonces la briqueta se resquebraja superficialmente al enfriarse o puede producirse una explosión donde la briqueta sale como proyectil (Martínez, 2015).
- **Industriales:** Emplear tecnologías de compactación con mayor eficacia es necesario, ya que la producción es grande y la presión supera los 100 MPa. Las máquinas están formadas básicamente por tolvas de alimentación, cámara de compresión, émbolos y motor, cuando se utiliza este tipo de máquinas no es necesario la implementación de aglomerante por la presión y temperatura a la que se somete la materia prima (Llarifoc, 2013).

#### **2.2.4. AGLOMERANTES**

Rengifo (2017), afirma que un aglomerante es definido como algo que produce cohesión en sustancias, también conocidos como aglomerantes. En otro concepto se pueden definir como sustancias capaces de generar fuerzas para unir fragmentos, partículas de una o varias sustancias o materiales y dar cohesión al conjunto por métodos físicos, químicos o térmicos.

Para la elaboración de briquetas, el aglomerante debe cumplir con algunos requisitos propuestos por Fonseca y Tierra (2011):

- ✓ De fácil preparación
- ✓ De fácil aplicación
- ✓ De fácil obtención
- ✓ Costo relativamente bajo
- ✓ No ser contaminante durante la combustión.
- ✓ No debe ser nocivo al tener contacto con la piel.
- ✓ Presentar resistencia
- ✓ Facilidad de mezclado con la materia prima
- ✓ Buenas propiedades de adhesión.

### **2.2.5. TIPOS DE AGLOMERANTES**

El aglomerante más adecuado para la elaboración de las briquetas es de polímeros naturales, específicamente el almidón de yuca, ya que es de fácil obtención, preparación o aplicación; y además su costo es relativamente bajo. Rengifo (2016), manifiesta que los aglomerantes se pueden clasificar en:

- **Polímeros naturales:** Como el almidón (yuca, maíz, papa), aceite vegetal y resinas naturales.
- **Polímeros sintéticos:** Como el alquitrán, sílice, goma arábica, cal o cal hidratada.
- **Azúcares:** como la sacarosa, sorbitol, glucosa, melaza.

### **2.2.6. ALMIDÓN DE YUCA**

Los almidones provienen de la familia de los carbohidratos, constituidos de cadenas lineales (amilasa) y cadenas ramificadas (amilo pectina). El almidón de yuca como aglomerante, presenta propiedades de cohesión alta para ciertos tipos de materiales, y económicamente es más accesible en relación con otros además de otros aglomerantes; la cantidad de adición recomendada bordea desde el 4 al 20% dependiendo del tipo de materia orgánica, siendo ideal para la biomasa entre 4 a 8% (Fonseca y Tierra, 2011).

# CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

## 3.1. UBICACIÓN

La investigación se realizó en la comunidad “San Miguel de Tres Charcos” del cantón Rocafuerte, Provincia de Manabí. Esta comunidad se encuentra a una altitud Sur de 0°, 55 minutos, 6 segundos y 80° 29 minutos, 10 segundos de longitud Oeste.

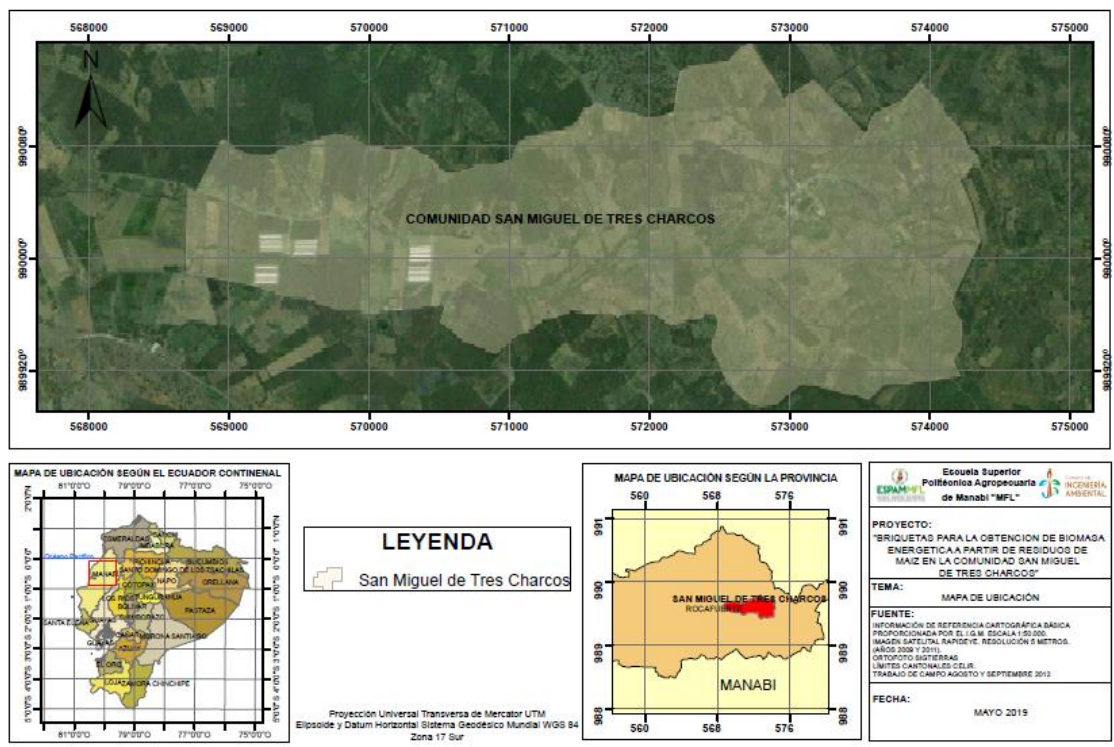


Figura 2. Ubicación de la Comunidad San Miguel de Tres Charcos.

Fuente: Autoras.

## 3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

Esta investigación tuvo una duración de 7 meses a partir de la aprobación del proyecto.

## 3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue experimental en la cual se evaluó el efecto de la manipulación en condiciones controladas de una variable que no ha sido comprobada en investigaciones previas. Se analizaron diferentes elementos que fueron medidos y cuantificados utilizando procedimientos sistemáticos.

## **3.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

### **3.4.1. MÉTODOS**

#### **3.4.1.1. MÉTODO ESTADÍSTICO**

Se empleó la estadística descriptiva para resumir los datos cuantitativos que se recopilaban dentro del proyecto, con el fin de tabularlos y obtener la media de este conjunto de datos; y de ésta manera analizarlos mediante un análisis de varianza donde empleamos la prueba de Tukey. Se empleó un software estadístico Stargraphic versión 2016, para el procesamiento de los resultados obtenidos en los análisis de ceniza, poder calorífico y resistencia aplicados a cada uno de los tratamientos de las briquetas.

#### **3.4.1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Con el fin de obtener el conocimiento teórico adecuado para ejecutar la presente investigación, se recurrió a recopilación y revisión de datos bibliográficos actuales sobre el tema de interés en plataformas de artículos científicos como Scielo, Redalyc, además en el Instituto de Preinversión Ecuatoriana encargado del atlas bioenergético del país.

#### **3.4.1.3. MÉTODO DEDUCTIVO**

Se manejó este método con el propósito de establecer conclusiones a partir de la hipótesis planteada; tomando en cuenta la recolección de información desde lo más general hasta lo más específico.

### **3.5.1. TÉCNICAS**

#### **3.5.1.1. ENCUESTA**

Se realizó una encuesta como instrumento de investigación en el presente trabajo que se basó en un cuestionario previamente establecido, se aplicó a 24 agricultores de maíz de la comunidad San Miguel de Tres Charcos, con la finalidad de conocer la situación actual del manejo de los residuos de cultivo de maíz en la comunidad.

### 3.5.1.2. OBSERVACIÓN

En la primera fase de la investigación, la observación directa fue indispensable para lograr cumplir con los objetivos de la investigación. Esta técnica proporcionó un criterio sobre la realidad de la zona de estudio.

## 3.6. FACTOR EN ESTUDIO

El factor en estudio fue la proporción de residuos de cultivo de maíz en la fabricación de las briquetas.

**Cuadro 3.7.** Tratamientos

Tratamientos	Carbón (%)	Aglomerante (%)	Residuos de cultivo de maíz (%)	Composición de residuos de cultivo de maíz (%)	
				Tusa	Tallo
T <sub>1</sub>	0	30	70	60	40
T <sub>2</sub>	0	30	70	40	60
T <sub>3</sub>	0	30	70	50	50
Testigo (T <sub>0</sub> )	100	0	0	0	0

Fuente: Autores.

## 3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL

Previamente se detalló tratamientos, repeticiones y variable de respuesta correspondientes a un Diseño Completamente al Azar (DCA), teniendo en cuenta de que una constante en cada tratamiento de briquetas fue el porcentaje de aglomerante, es decir, la composición de cada tratamiento fue 30% aglomerante y 70% de residuos de cultivo de maíz, siendo de esta la composición variable según lo establecido en el diseño experimental. Cabe recalcar que los tratamientos realizados son una combinación de 60% tusa - 40% tallo, 40% tusa - 60% tallo y 50% tusa - 50% tallo.

**Cuadro 3.8.** Generalidades de la unidad experimental.

Tratamientos	Réplicas	Forma	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cantidad	Dimensiones (cm)	
					Diámetro	Altura
T <sub>1</sub>		Cilíndrica		3	7	2.5
T <sub>2</sub>		Cilíndrica	263.15	3	7	2.5
T <sub>3</sub>	3	Cilíndrica		3	7	2.5
Testigo (T <sub>0</sub> )		Cilíndrica	-	3	7	2.5
<b>Total</b>		-		12	-	-

Fuente: Autores.

### 3.8. VARIABLES EN ESTUDIO

#### 3.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Proporción de residuos de cultivo de maíz en la composición de briquetas.

#### 3.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Poder calorífico de briquetas para generación de energía.

### 3.9. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó el Diseño Completamente al Azar (DCA) debido a que este diseño se basa en el establecimiento de los tratamientos al azar entre unidades experimentales homogéneas, considerando un peso de 60 g para cada una, se contempló el potencial de poder calorífico que generó cada tratamiento, considerando óptimo y aprovechable al tratamiento que resulte con mayor poder calorífico.

Para la tabulación de los resultados se realizó un análisis de la varianza de un factor (ANOVA) y una prueba de Tukey al 5% en el software estadístico Stargraphic 2016.

**Cuadro 3.9.** Esquema de ANOVA.

Fuente	Grados de Libertad (Gl)
Tratamientos	3
Error	8
Total	11

Fuente: Autores.

### **3.10. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

En lo que respecta a la realización de este proyecto se han establecido tres objetivos los cuales indicaron el procedimiento a realizar para obtener los resultados de manera exitosa. Los objetivos establecidos fueron los siguientes:

#### **3.10.1. CARACTERIZAR EL USO DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ EN LA COMUNIDAD SAN MIGUEL DE TRES CHARCOS.**

En esta fase se procedió a la identificación del área de estudio para conocer el uso que se le da a los residuos del cultivo de maíz en la comunidad San Miguel de Tres Charcos.

##### **Actividad 1.- Reconocimiento del área de estudio**

Mediante la observación de campo se reconoció el área de estudio, se determinó la cantidad de agricultores que forman parte de la comunidad y se estableció una reunión con el presidente de la comunidad San Miguel de Tres Charcos, para proceder a realizar las entrevistas a los agricultores del sector.

##### **Actividad 2.- Georreferenciación del área de estudio**

Se realizó la toma de coordenadas de la comunidad en formato UTM por medio del GPS marca Garmin modelo Etrex 10 (Anexo 2) y se transfirió los datos al software de información geográfica Arcgis versión 10.4.1 con la finalidad de realizar un mapa de los terrenos utilizados para la siembra de maíz en la comunidad. Esta actividad se realizó en conjunto con la información cartográfica proporcionada por el departamento de Gestión de Riesgo del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GAD) del Cantón Rocafuerte.

##### **Actividad 3.- Aplicación de la Encuesta**

Al establecer una reunión con los agricultores de la comunidad, se dio a conocer el tema y la metodología de trabajo. Se dirigió la encuesta a los agricultores, de acuerdo a un cuestionario previamente establecido (anexo 1), 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 (tusa y taralla) con 7 preguntas cada una.

#### **Actividad 4.- Procesamiento de los datos**

Conforme se realizó las entrevistas, se procesó los resultados para obtener una base de datos en el software Microsoft Excel versión 14.0, sobre el uso y destino final de los residuos de cultivo de maíz en la comunidad.

#### **Actividad 5.- Recolección de la materia prima**

Se recolectó los residuos de los cultivos de maíz en la comunidad de forma manual, una vez terminado el ciclo de cultivo. Se recolectaron seis sacos de tallo y dos sacos de tusa, equivalente a 54 kg cada saco, provenientes de cultivos del presidente de la asociación de agricultores de la comunidad San Miguel de Tres Charcos.

### **3.10.2. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO QUE PRESENTE UN MEJOR COMPORTAMIENTO EN OBTENCIÓN DE PODER CALORÍFICO A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ.**

Fonseca y Tierra (2011) sostienen que las briquetas son el resultado de varias etapas dentro de un proceso de fabricación por lo que propone la siguiente metodología, donde se requiere la utilización de aglomerantes o ligantes medioambientales que ayuden en su elaboración. Debido a la naturaleza de esta investigación, se seleccionó el proceso de manera artesanal que consistió en las siguientes etapas:



**Figura 3.** Esquema del proceso de briquetado seleccionado.  
**Fuente:** Adaptado de Fonseca y Tierra (2011).

### **Actividad 6. Limpieza de la biomasa**

Una vez recolectada la biomasa se procedió a realizar la limpieza de la misma, ya que por ser residuos se combinan con materiales del suelo no necesarios para la elaboración de las briquetas.

Para la limpieza de la materia prima se utilizó brochas, hasta separarla de materiales ajenos al residuo de cultivo de maíz, siendo un proceso manual. Asimismo, se separó las hojas y los tallos de la taralla, debido a que en la investigación se utilizaron únicamente tusas y tallos (Anexo 6).

### **Actividad 7. Determinación de humedad de los residuos**

La humedad se consideró como parámetro importante en la realización de las briquetas, de manera en que se determinó la humedad de la tusa y el tallo por medio de análisis de laboratorio. Con el fin de obtener y corroborar que este parámetro se encuentre menor al 10% considerado óptimo por Andrade, Moliner y Masanguer (2015). 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 (3.1).

$$\%H = \frac{[(PiCp+Pm)-(Pf)]}{Pm} * 100 \quad [3.1]$$

Donde:

PiCp= peso del crisol más muestra húmeda

PF= peso del crisol más muestra seca

Pm= Peso de la muestra

Estos análisis se realizaron antes y después de someter los residuos al proceso de secado.

### **Actividad 8. Secado de la biomasa**

Para secar la biomasa se involucró procesos de secado natural y artificial. Durante tres días se expuso al sol los residuos durante 10 horas. Sin embargo, debido a la humedad del sector provocada por las lluvias excedentes de la estación lluviosa; se procedió a utilizar una estufa de secado marca Memmert, a una temperatura entre los 35 y 60 °C por 180 minutos (anexo 8). Cabe recalcar que los residuos (tallos y tusas) se colocaron por separado en este proceso.

### **Actividad 9. Proceso de molido**

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 (Anexo 9), con el fin de garantizar la compactación y el acabado superficial.

### **Actividad 10. Proceso de adición del aglomerante y mezcla.**

Una vez obtenida la granulometría adecuada del material, se tomó en cuenta la selección del aglomerante, en este caso se utilizó el almidón de yuca.

La preparación de este componente consistió en los siguientes pasos considerando la metodología expuesta por García, Benítez, Will y Gutierrez (2019):

1. Pesar la cantidad determinada de almidón (15g).
2. Agregar paulatinamente el almidón a un recipiente con agua fría (60 ml).
3. Mezclar el almidón con el agua fría hasta obtener una mezcla homogénea.
4. En otro recipiente se hirvió agua (120ml) y cuando ésta llegó a su punto de ebullición se adicionó la mezcla homogénea.
5. Cuando empezó a formar burbujas y a desbordarse del recipiente, se retiró de la llama y se dejó enfriar.

El proceso de mezclado se realizó manualmente (Anexo 10 D).

#### **Actividad 11. Proceso de moldeo de las briquetas.**

El proceso de briquetado se realizó a una temperatura ambiente promedio de 30°C con 3 réplicas por cada tratamiento. Se moldeó considerando la metodología de Fonseca y Tierra (2011) de una forma cilíndrica (Anexo 12), se utilizó una masa de 60 g y un diámetro fijo en la máquina de 70,68 mm, para de esta manera obtener una longitud aproximada de 50 mm y una densidad de 263.15 kg/m<sup>3</sup>. La presión sugerida por el autor es de 1000 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente, con un tiempo de sostenimiento de carga de 15 minutos.

#### **Actividad 12. Análisis de variables a medir.**

Se realizó análisis de 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 3.1 utilizada en el capítulo anterior para determinar la humedad de los residuos previo la briquetación.
- **Resistencia de Compresión:** Una característica importante de las briquetas, por esta razón se realizó pruebas de resistencia de compresión, para conocer su capacidad de permanencia ante procesos de manipulación

y transporte. Este ensayo se realizó según lo establecido por Berasteguí, 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:

$$\% \text{ de Ceniza en base seca} = \frac{\text{Peso de ceniza}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \quad [3.2]$$

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 que si pasado 10 minutos, éstas permanecían encendidas. 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.

### Actividad 13. Procesamiento de los datos

Los resultados obtenidos en las pruebas anteriores, humedad, el poder calorífico, la resistencia del material y la ceniza residual, calculados mediante un método determinado. Se tabuló y analizó mediante el software estadístico Stargraphic, en un ANOVA y una prueba de Tukey para obtener información sobre el resultado de la comparación de los tratamientos.

### 3.10.3. REALIZACIÓN DE UN ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS

#### Actividad 14. Datos para el cálculo de costos.

Esta actividad consistió en realizar 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 3.10 se muestran los parámetros establecidos en la matriz, junto con los recursos necesarios empleados en el proceso de producción.

**Cuadro 3.10.** Matriz de costo de producción de briquetas.

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

Fuente: Álava y Díaz (2018).

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

### **4.1. CARACTERIZACIÓN DEL USO DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ EN LA COMUNIDAD SAN MIGUEL DE TRES CHARCOS.**

Mediante reunión con el presidente de la Asociación de Agricultores de la comunidad San Miguel de Tres Charcos se determinó que existen alrededor de sesenta agricultores que cultivan principalmente maíz.

Se realizó la georreferenciación de la comunidad en estudio (anexo 2), información que se procesó en el software de Información Geográfica Arcgis versión 10.4.1 que conjuntamente con los datos en formato shapefile (SHP) proporcionados por el departamento de Gestión de Riesgos del GAD del cantón Rocafuerte, permitió la elaboración de un mapa de sistemas productivos de la comunidad (figura 4). El Cantón Rocafuerte posee una superficie total de 27 387,21 ha, el cultivo de maíz cubre una superficie de 5.928,56 ha. En el mapa se observa que aproximadamente 848,074 ha correspondiente al 92% de tierras utilizadas para la actividad agrícola son empleadas para la siembra y cosecha de maíz.

Con el fin de conocer el manejo que se le da a los residuos de maíz, se convocó a una reunión por parte de la directiva de la asociación de agricultores de la comunidad, en la cual asistieron 24 de los 60 integrantes, a los que se les aplicó la encuesta persona a persona debido a que varios de los agricultores presentaban problemas de visión o no sabían leer (Anexo 3a y 3b).

## Sistema Agroproductivo de San Miguel de Tres Charcos

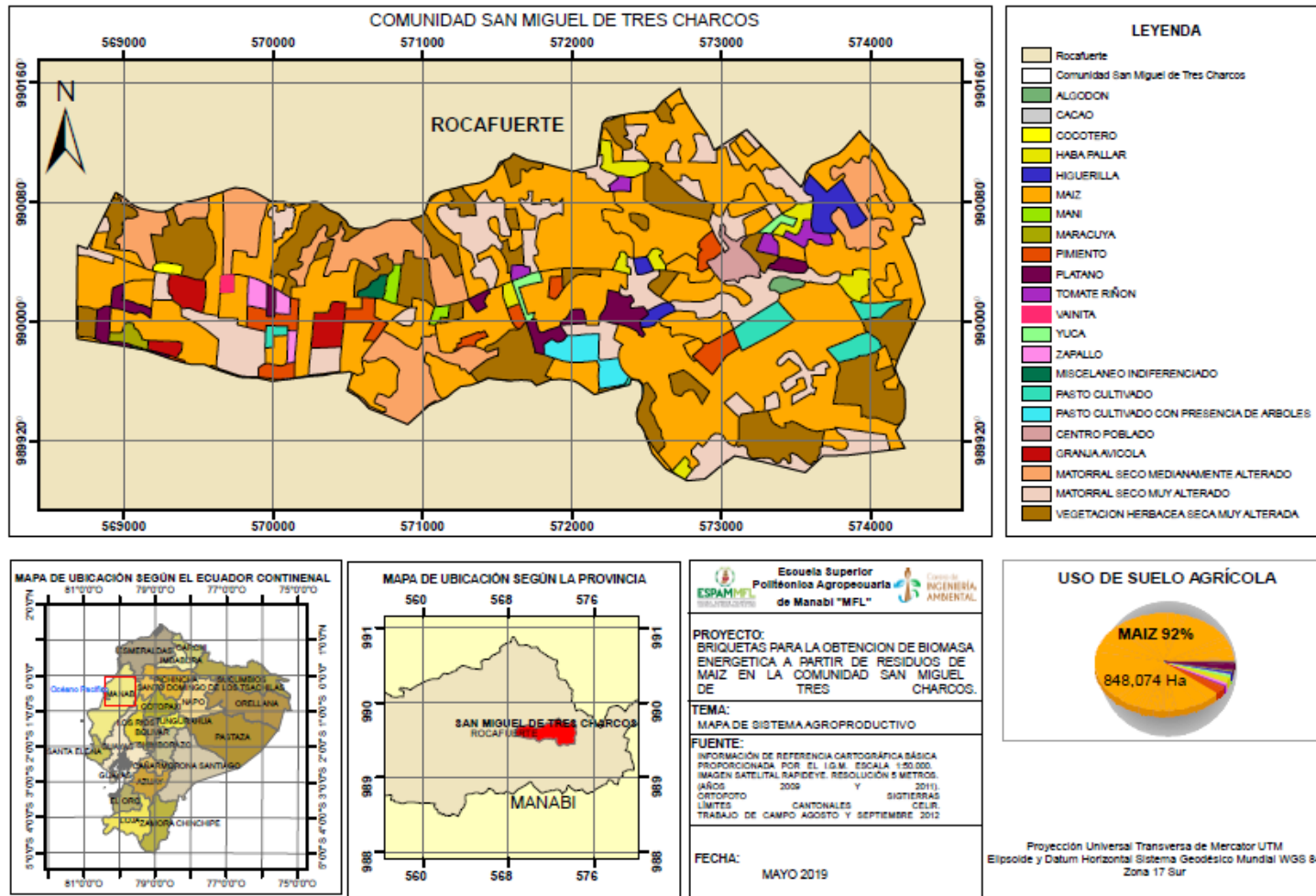


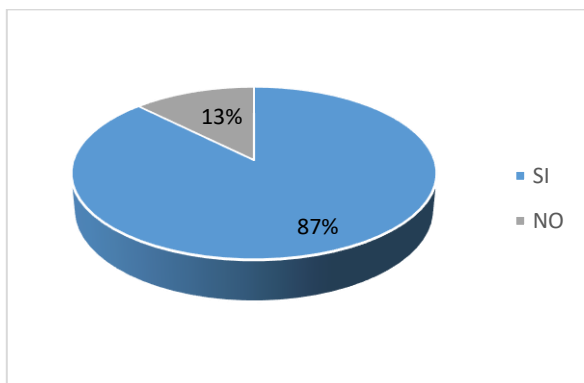
Figura 4. Sistema Agroproductivo de San Miguel de Tres Charcos.

Fente: Autores.

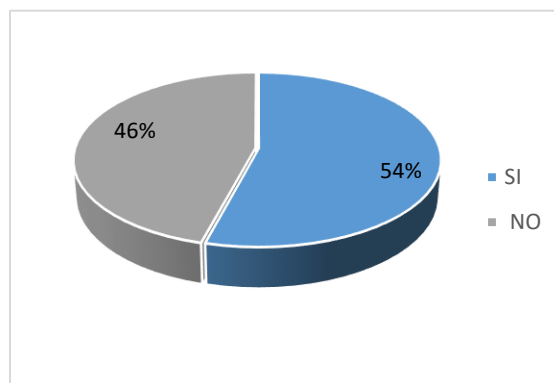


Se realizó una base de datos en Excel con los datos personales de los asistentes, el cual se facilitó a la directiva de la comunidad. Las preguntas respectivas al uso y destino final de los residuos se detallan en dos grupos: taralla y tusa.

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



**Gráfico 4.1.** Porcentaje de recolección de taralla.  
Fuente: Autoras.



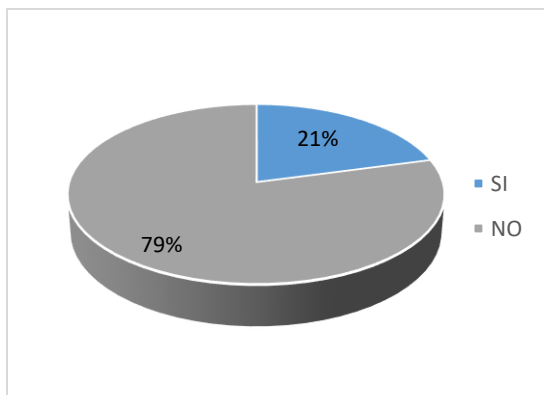
**Gráfico 4.2.** Porcentaje de recolección de tusa.  
Fuente: Autoras.

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 4.1).

El 54% equivalente a 13 de los agricultores respondieron que si recolectaban tusa resultante del desgrane de maíz, mientras que el 46% equivalente a 11 personas respondieron que no lo hacían (gráfico 4.2). El porcentaje de recolección de tusa es menor en relación al porcentaje de recolección de la taralla por parte de los agricultores de la comunidad.

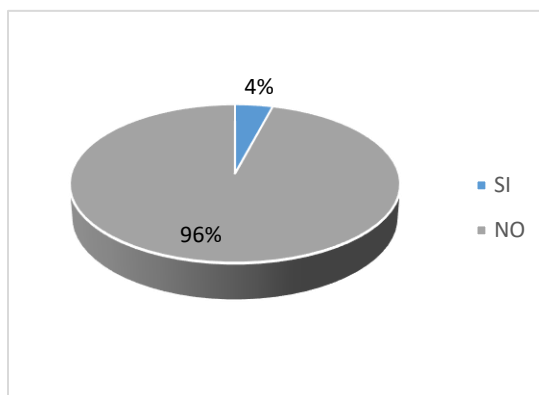
La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2002) expresa que la ineficiencia en los procesos de recolección y disposición final se debe a la falta de recursos destinados a proyectos que contemplen una adecuada infraestructura para servicios sanitarios y de educación sobre manejo y aprovechamiento de los residuos. En concordancia, Grande (2016) manifiesta que el sector agroalimentario genera cuantiosas cantidades de residuos, los cuales no están siendo recolectados y aprovechados como materia prima.

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



**Gráfico 4.3.** Porcentaje de tratamiento para conservar taralla.

Fuente: Autoras.



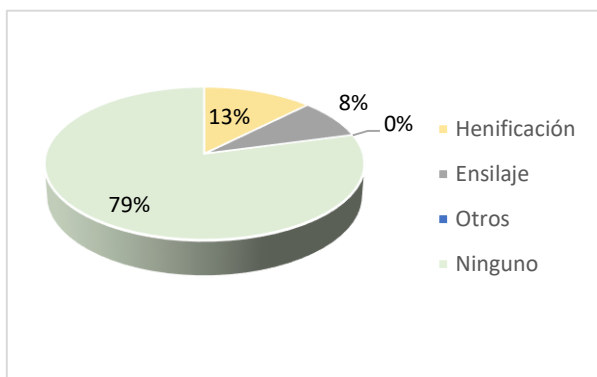
**Gráfico 4.4.** Porcentaje de tratamiento para conservar tusa.

Fuente: Autoras.

Del 87.5% de agricultores que respondieron afirmativamente 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. Del 54% de tusa recolectada 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.

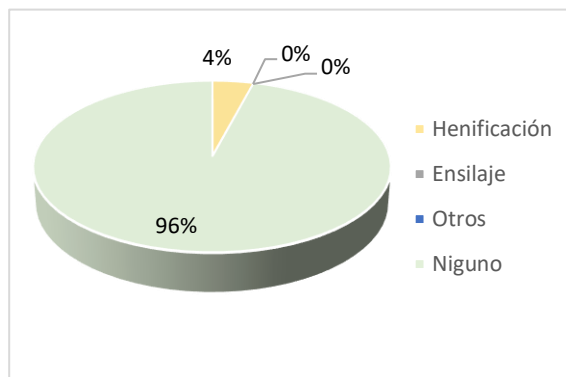
El gran porcentaje de respuesta negativa, se traduce en la falta de conocimiento de métodos de conservación de los residuos de cultivo de maíz por parte de los agricultores. En relación a lo estipulado, Simbaña (2015) manifiesta la ausencia de registros en los que conste la aplicación de tratamientos de conservación a los residuos de maíz en el Ecuador.

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



**Gráfico 4.5.** Tipos de tratamientos de conservación empleados por los agricultores para la taralla como subproducto.

Fuente Autores.



**Gráfico 4.6.** Tipos de tratamientos de conservación empleados por los agricultores para tusa como subproducto.

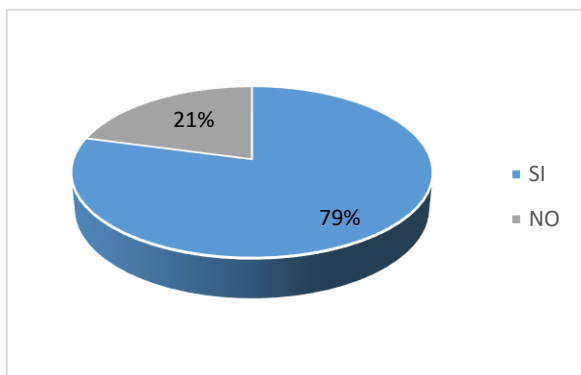
Fuente: Autores.

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 4.5).

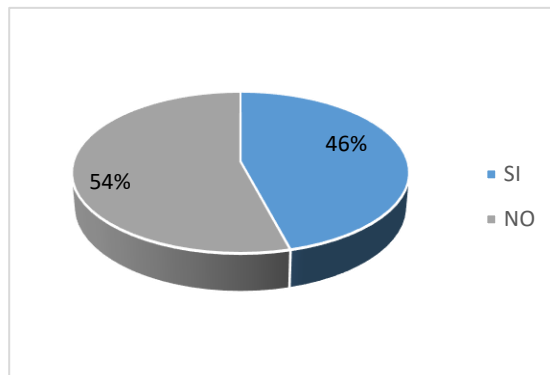
Respecto a los métodos de conservación de tusa el 4% de los agricultores utiliza la henificación; mientras que el 92% que representa a 22 agricultores, no aplica ningún método de conservación para los residuos de cultivo de maíz (gráfico 4.6).

Como se mencionó anteriormente, la falta de información y educación para con los residuos 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.

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



**Gráfico 4.7.** Aprovechamiento de la taralla para pastoreo in situ  
Fuente: Autores.



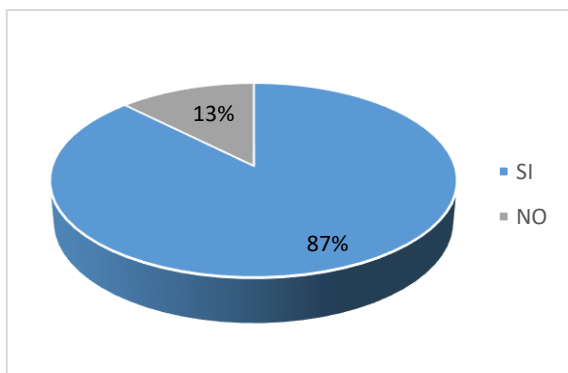
**Gráfico 4.8.** Aprovechamiento de tusa para pastoreo in situ  
Fuente: Autores.

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 4.7).

El 46% de los encuestados manifestaron que si permiten el pastoreo en sus terrenos para aprovechar la tusa; mientras que el 54% respondieron con una negativa (gráfico 4.8).

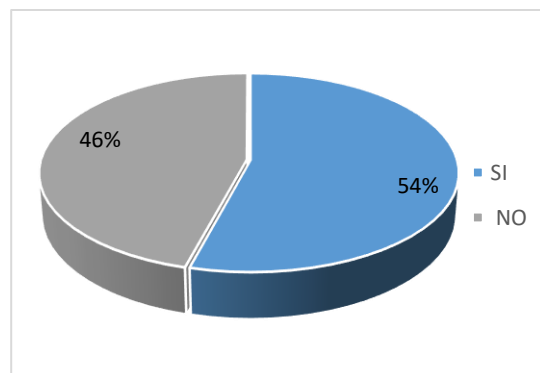
La Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA), (2015) defiende que los residuos de cosechas agrícolas como los de cultivo de maíz, son cruciales en tiempos de sequía o durante el invierno donde existe una gran escases de alimentos tradicionales para los animales y es ahí donde son utilizados esencialmente para alimentar el ganado por medio de pastoreo in situ. Sin embargo, Lozano, Romero y Bravo (2010), aseveran que este método de pastoreo causa graves problemas sobre las propiedades físicas de los suelos.

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



**Gráfico 4.9.** Criterio de agricultores sobre la posibilidad de aprovechamiento de la taralla.

Fuente: Autores



**Gráfico 4.10.** Criterio de agricultores sobre la posibilidad de aprovechamiento de tusas.

Fuente: Autores.

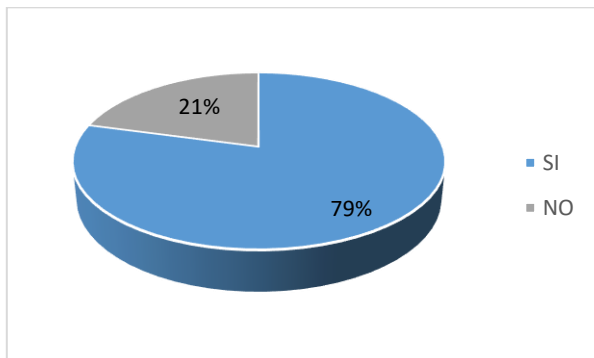
El 87% de los encuestados equivalente a 21 agricultores afirman que es posible aprovechar la taralla, mientras que el 13% equivalente a tres personas lo negaron (gráfico 4.9).

Trece agricultores que representan el 54% de los encuestados afirman que es posible aprovechar tusas, mientras que el 46% que equivale a once personas negaron la interrogante (gráfico 4.10).

Cabe recalcar, que a pesar de que más de la mitad de las respuestas en ambos casos fueron afirmativas, los agricultores manifestaron su desconocimiento sobre métodos para aprovechar los residuos de maíz y de los beneficios ambientales y socioeconómicos que traen consigo. Para un correcto aprovechamiento de estos residuos, es necesario la implementación de políticas de mitigación y manejo sustentables dentro de las zonas donde más se generan residuos agrícolas.

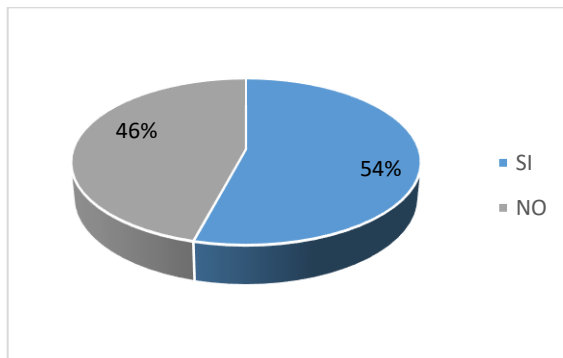
Este escenario se puede observar en varias áreas rurales del Ecuador donde la agricultura de subsistencia es la base de su economía. Calderón, Andrade, Lizarzaburu y Masache (2017) manifiestan que si bien existen diversas experiencias de aprovechamiento de residuos en Ecuador, no se han realizado estudios 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 4.11.** Criterio de agricultores sobre la posibilidad de venta de la taralla.

**Fuente:** Autores.



**Gráfico 4. 12.** Criterio de agricultores sobre la posibilidad de venta de tusa.

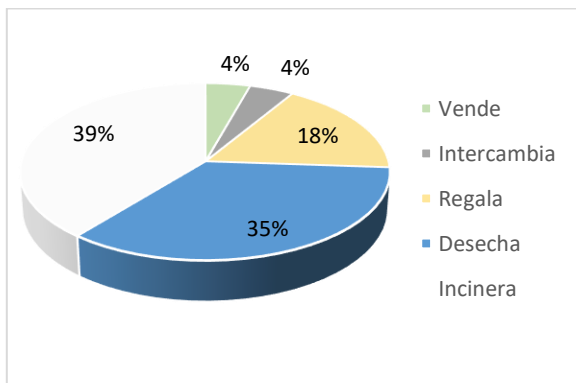
**Fuente:** Autores.

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 4.11).

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 tusas de maíz, mientras que el 46% asume que no es rentable (gráfico 4.12).

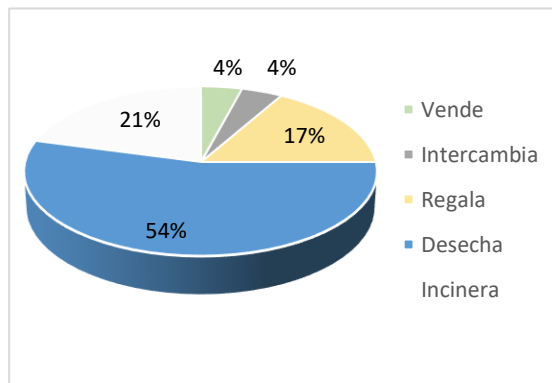
El correcto manejo, valoración y aprovechamiento de los residuos agrícolas en las comunidades permitiría alcanzar una mejor calidad de vida, principalmente por los cobeneficios económicos de aperturar un nuevo mercado sustentable. Santucci Puhl, Maqsood, Enayetullah y Agyemang (2015) reconoce que la 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 residuos de maíz usted los:



**Gráfico 4.13.** Disposición final de taralla en la comunidad San Miguel de Tres Charcos.

**Fuente:** Autores.



**Gráfico 4.14.** Disposición final de tusa en la comunidad San Miguel de Tres Charcos

**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 4.13).

En relación a la tusa 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 4.14).

Para ambos residuos el proceso de intercambio consiste, en 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 para animales a cambio de otros productos y residuos agrícolas.

Tangri (2005) concuerda en que quienes 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. 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 CO<sub>2</sub> 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.



## 4.2. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO QUE PRESENTE UN MEJOR COMPORTAMIENTO EN OBTENCIÓN DE PODER CALORÍFICO A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ.

### 4.2.1. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LOS RESIDUOS.

Este proceso fue realizado en el Laboratorio de Química Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

**Cuadro 4.11.** Porcentaje de Humedad de los residuos de maíz.

Residuos de maíz	Porcentaje Inicial de Humedad (%)	Porcentaje Final de Humedad (%)
Tusa	22.06	6.27
Tallo	21.45	6.06

Fuente: Autores.

En el cuadro 4.11 se presentan los valores de porcentaje de humedad de los residuos de maíz, teniendo como resultado 6.27% para tusa y 6.06% para el tallo. De acuerdo con García, Pizzaro, Lavín y Bueno, (2012) el contenido alto de humedad (mayor a 25%) afecta notablemente en la generación de poder calorífico neto, así como también en la eficiencia de combustión y la temperatura generada; lo que indica que los residuos cuentan con la humedad pertinente, es decir, menor al 10% para llevar a cabo el estudio.

### 4.2.2. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES A MEDIR

#### 4.2.2.1. RESISTENCIA DE COMPRESIÓN

Este ensayo fue realizado en LUP CONSTRUC, laboratorio de Mecánica de suelos, hormigones y asfaltos ubicado en la ciudad de Portoviejo (Anexo 15). Tomando en cuenta que la masa de cada briqueta es de 60 g, es necesario comparar los resultados con los valores que propone la tabla 2.6 de la norma Colombiana NTC 2060 referente a los requisitos de resistencia de compresión.

**Cuadro 4.12.** Resistencia de compresión promedio de las briquetas de residuos de maíz.

Tratamientos	Resistencia (kgf)	Resistencia (N)
T <sub>1</sub>	37.52	426.59
T <sub>2</sub>	42.53	417.11
T <sub>3</sub>	48.06	471.37
T <sub>0</sub>	69	676.74

Fuente: Autores.

A continuación se detalla el análisis de varianza realizado para la variable resistencia de acuerdo a los tratamientos del experimento.

**Cuadro 4.13.** Análisis de la Varianza simple para resistencia kg/f por tratamientos.

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

Fuente: Autores.

Dado que el valor-P 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 residuos de maíz establecida en los tratamientos, difieren en la resistencia de compresión; por lo que se aplicó la prueba de múltiples rango Tukey.

**Cuadro 4.14.** Prueba Tukey

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T <sub>1</sub>	3	37.52	X
T <sub>2</sub>	3	42.53	XX
T <sub>3</sub>	3	48.07	X
T <sub>0</sub>	3	69.0	X

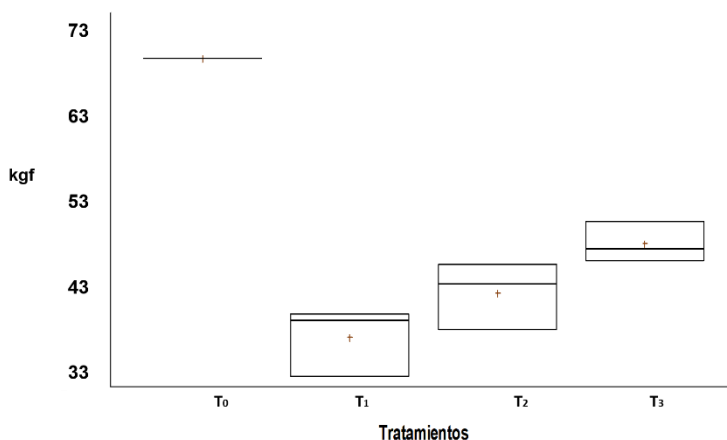
Contraste	Significancia	Diferencia	+/- límites
T <sub>0</sub> – T <sub>1</sub>	*	31.48	8.32
T <sub>0</sub> – T <sub>2</sub>	*	26.47	8.33
T <sub>0</sub> – 3	*	20.93	8.33
T <sub>1</sub> – T <sub>2</sub>		-5.01	8.33
T <sub>1</sub> – T <sub>3</sub>	*	-10.54	8.33
T <sub>2</sub> – T <sub>3</sub>		-5.53	8.33

\* Indica una diferencia significativa

Fuente: Autores.

El asterisco que se encuentra al lado de los 4 pares, lo que indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior del cuadro, se han identificado 3 grupos

homogéneos, en el primer grupo están los tratamientos 1 y 2, en el segundo grupo los tratamientos 2 y 3 y el tercer grupo el testigo.



**Gráfico 4.15.** Resistencia de Compresión por cada tratamiento.

Fuente: Autores.

El gráfico 4.15 refleja los resultados obtenidos en la prueba de resistencia de compresión a la que fueron sometidas las briquetas, dentro de ello el valor mínimo encontrado fue del T<sub>2</sub> con 37.52 kgf, con una composición 40% de tusa y 60% de tallo. Como consecuencia de esta prueba, el T<sub>3</sub> conformado por 50% de cada subproducto de maíz en su composición, fue el que obtuvo mayor resistencia de compresión con 48.06 kgf esto sin considerar el valor resultante de la prueba realizada al T<sub>0</sub> 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 compresión 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.

#### 4.2.2.2. HUMEDAD

El valor promedio del porcentaje de humedad de las briquetas fue establecida mediante la fórmula 3.1 expuesta en el capítulo III, a continuación se presentan los resultados obtenidos para cada tratamiento.

**Cuadro 4.15.** Porcentaje de humedad de las briquetas.

Tratamientos	Humedad %
T <sub>1</sub>	9.22
T <sub>2</sub>	9.40
T <sub>3</sub>	8.68
T <sub>0</sub>	7.5

Fuente: Autores.

En el cuadro 4.16 se muestra el análisis de varianza realizado para la variable de humedad.

**Cuadro 4.16.** Análisis de la Varianza para el porcentaje de humedad.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamientos	6.60283	3	2.20094	67.70	0.0000
Error	0.260067	8	0.0325083		
Total (Corr.)	6.86289	11			

Fuente: Autores.

En lo concerniente a porcentaje de humedad de las briquetas, el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, es decir que los diferentes tratamientos de residuos de maíz asignados difieren estadísticamente entre sí.

**Cuadro 4.17.** Prueba Tukey

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T <sub>0</sub>	1	7.5	X
T <sub>3</sub>	3	8.67667	X
T <sub>1</sub>	3	9.22	XX
T <sub>2</sub>	3	9.4	X

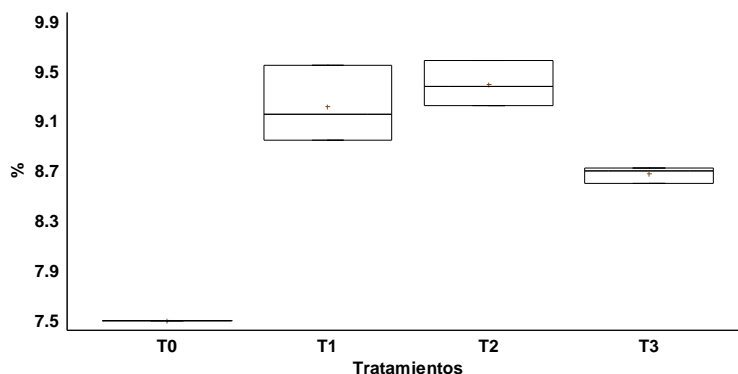
Contraste	Significancia	Diferencia	+/- límites
T <sub>0</sub> – T <sub>1</sub>	*	-1.72	0.829452
T <sub>0</sub> – T <sub>2</sub>	*	-1.9	0.829452
T <sub>0</sub> – T <sub>3</sub>	*	-1.17667	0.829452
T <sub>1</sub> – T <sub>2</sub>		-0.18	0.586511
T <sub>1</sub> – T <sub>3</sub>		0.543333	0.586511
T <sub>2</sub> – T <sub>3</sub>	*	0.723333	0.586511

\* indica una diferencia significativa.

Fuente: Autores.

En el cuadro 4.17 se observan las diferencias estimadas entre cada tratamiento, así también se demuestra que por medio de la prueba de Tukey se identificó 3 grupos homogéneos, el primer grupo lo conforma el testigo (T<sub>0</sub>), el segundo grupo lo conforman los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> y en el tercer grupo se encuentra el T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>. Los

asteriscos observados en la parte inferior del cuadro se muestran los tratamientos que difieren entre sí.



**Gráfico 4. 16.** Porcentaje de humedad de las briquetas por cada tratamiento.

**Fuente:** Autores.

En el gráfico 4.16 se muestra el resultado del porcentaje de humedad promedio de las briquetas, teniendo un valor menor en el T<sub>3</sub> (50% de tusa y 50% de tallo) con un porcentaje de 8.68 y el T<sub>2</sub> (40 % de tusa y 60% de tallo) un porcentaje de humedad superior de 9.40 (60% de tusa y 40% de tallo) . Por lo que se denota que el residuo tusa es capaz de recoger mayor humedad en comparación al tallo, teniendo en cuenta que fueron sometidas a igual temperatura y tiempo al momento del secado. Es notable que la humedad del T<sub>0</sub> 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).

#### 4.2.2.3. CENIZA

El resultado del contenido de cenizas de cada tratamiento se muestra en el cuadro 4.18, los mismos que fueron obtenidos en el laboratorio de Química Ambiental del Área Agroindustrial de la ESPAM MFL (anexo 16), mediante la utilización de la fórmula 3.3.

**Cuadro 4.18.** Porcentaje del contenido de ceniza de las briquetas en cada tratamiento.

Tratamientos	Ceniza %
T <sub>1</sub>	7.26
T <sub>2</sub>	7.05
T <sub>3</sub>	6.68
T <sub>0</sub>	9.05

**Fuente:** Autores.

En el siguiente cuadro se observa el análisis de varianza de los resultados de los tratamientos para el contenido de ceniza de las briquetas.

**Cuadro 4.19.** ANOVA para el contenido de ceniza por tratamientos.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamientos	9.99883	3	3.33294	129.27	0.0000
Error	0.206267	8	0.0257833		
Total (Corr.)	10.2051	11			

Fuente: Autores.

El valor-P de la razón-F asevera que existe diferencia significativa entre los porcentajes de ceniza, es decir que las distintas cantidades de tallo y tusa de maíz que contienen los tratamientos, sostienen diferentes porcentajes de ceniza. Se determinó la significancia de las medias mediante las pruebas de múltiples rango Tukey.

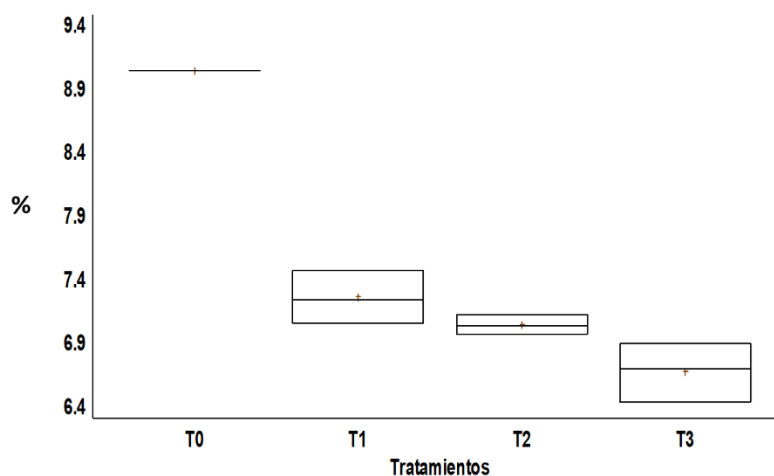
**Cuadro 4.20.** Test Tukey de Contenido de Ceniza.

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
T <sub>3</sub>	3	6.68	X	
T <sub>2</sub>	3	7.05	XX	
T <sub>1</sub>	3	7.26333	X	
T <sub>0</sub>	3	9.05	X	
Contraste	Significancia	Diferencia	+/- límites	
T <sub>0</sub> - T <sub>1</sub>	*	1.78667	0.738692	
T <sub>0</sub> - T <sub>2</sub>	*	2.0	0.738692	
T <sub>0</sub> - T <sub>3</sub>	*	2.37	0.738692	
T <sub>1</sub> - T <sub>2</sub>		0.213333	0.522334	
T <sub>1</sub> - T <sub>3</sub>	*	0.583333	0.522334	
T <sub>2</sub> - T <sub>3</sub>		0.37	0.522334	

\* indica una diferencia significativa.

Fuente: Autores.

En el cuadro 4.20 se constata que existe diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de confianza de 95.0%. Se identificaron 3 grupos homogéneos en el primer grupo está los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> mientras que en el segundo grupo se encuentran los T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y el grupo 3 solo lo integra el testigo. En la parte inferior del cuadro se han colocado asteriscos para indicar los pares de tratamientos que difieren entre sí.



**Gráfico 4.17.** Porcentaje de ceniza por cada tratamiento según el ANOVA realizado.

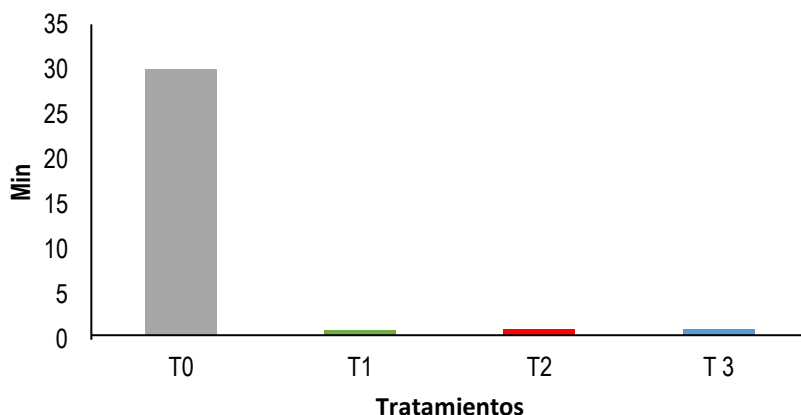
**Fuente:** Autores.

En el gráfico anterior se muestra el porcentaje de contenido de cenizas de las briquetas por cada tratamiento, donde el tratamiento que presenta menor contenido de ceniza es el T<sub>3</sub> con 6,68%, este resultado está ligado a la variable humedad ya que a mayor humedad menor es el contenido de cenizas de las briquetas. Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los valores aceptados dentro de la tabla 2.5 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.

#### 4.2.2.4. 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%). En las briquetas del T<sub>1</sub> el tiempo de encendido fue de 1 minuto, en T<sub>2</sub> el tiempo de encendido fue de 1,15 minutos y

al emplear el T<sub>3</sub> 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 (anexo 18).



**Gráfico 4.18.** Prueba de tiempo de encendido de las briquetas según los tratamientos.

Fuente: Autores.

#### 4.2.2.5. PODER CALORÍFICO

En el cuadro 4.21 expuesto a continuación, se detallan los valores resultantes de la variable de respuesta referente al poder calorífico de las briquetas en estudio, los mismos que se obtuvieron mediante un ensayo en bomba calorimétrica en el laboratorio de Análisis Químico Instrumental de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la ESPOL.

**Cuadro 4.21.** Valores de la prueba de poder calorífico.

Tratamientos	Poder Calorífico (MJ/kg).
T <sub>1</sub>	15.14
T <sub>2</sub>	15.24
T <sub>3</sub>	15.55
T <sub>0</sub>	27.316

Fuente: Autores.

A continuación en el cuadro 4.18 se muestra el análisis de varianza de los resultados del experimento para la variable de poder calorífico.

**Cuadro 4.22.** Análisis de la varianza de poder calorífico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamientos	325.918	3	108.639	5486.83	0.0000



Error	0.1584	8	0.0198
Total (Corr.)	326.076	11	

Fuente: Autores.

Este 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 las medias del poder calorífico MJ/kg.

**Cuadro 4.23.** Prueba Tukey

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T <sub>1</sub>	3	15.14	X
T <sub>2</sub>	3	15.24	X
T <sub>3</sub>	3	15.47	X
T <sub>0</sub>	3	27.32	X

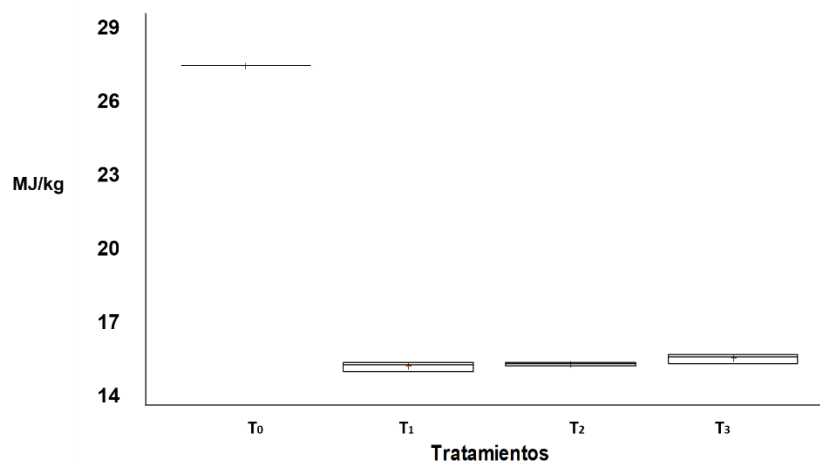
  

Contraste	Significancia	Diferencia	+/- límites
T <sub>0</sub> - T <sub>1</sub>	*	12.17	0.40
T <sub>0</sub> - T <sub>2</sub>	*	12.07	0.40
T <sub>0</sub> - T <sub>3</sub>	*	11.84	0.40
T <sub>1</sub> - T <sub>2</sub>		-0.1	0.40
T <sub>1</sub> - T <sub>2</sub>		-0.33	0.40
T <sub>2</sub> - T <sub>3</sub>		-0.23	0.40

\* Indica una diferencia significativa

Fuente: Autores.

En el cuadro 4.23 se observa que existe diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de confianza de 95.0%. Se identificaron 2 grupos homogéneos, en el primer grupo se encuentran los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> y en el segundo grupo está el testigo.



**Gráfico 4.19.** Poder Calorífico por cada tratamiento.

Fuente: Autores.

De acuerdo al gráfico 4.19, el T<sub>3</sub> correspondiente al 50% de tusa y 50% de tallo, es el que presenta mayor concentración de poder calorífico con 15.55 Mj/kg, es importante mencionar que esto se puede lograr gracias a reducido porcentaje de humedad de los residuos de maíz que están ligados con el proceso de cambio físicos de éstos (Molienda, secado y compactación) (Alarcón, 2017). Este resultado supera el valor mínimo establecido por la norma Colombiana NTC 2060 reflejada en la tabla 2.5 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.

**Cuadro 4.24.** Generalidades de las variables a medir.

Variables	Unidad	Tratamientos				Norma Colombiana NTC 2060	Cumplimiento
		T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>		
Resistencia	kgf	69	-	-	48.06	80	No cumple
Humedad	%	7.5	-	-	8.59	2.5	No Cumple
Tiempo de Encendido	min	0.50	1	1,15	1,13	-	Aceptable
Ceniza	%	9.05	-	-	6.67	30	Cumple
Poder Calorífico	MJ/kg	27.31	-	-	15.55	12.50	Cumple

Fuente: Autores.

En el cuadro 4.24 se detalla que el mejor tratamiento es el T<sub>3</sub> que cumple con la mayoría de los requisitos de la norma colombiana NTC 2060, sin embargo se muestra también que el testigo o carbón, cumple con todos los requisitos con excepción de la variable de resistencia. El cumplimiento de la mayor parte de los parámetros se debe a que todas las variables están estrechamente ligadas, mientras menos contenido de humedad tengan los residuos que se utilicen, 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. Mientras que la resistencia de compresión solo necesita una presión adecuada para obtener un valor mayor o igual a 80 kgf como lo establece la norma.

De esta manera se comprueba la hipótesis planteada, es decir el tratamiento de contiene 50% de maíz y 50% de tallo es el que presenta mayor potencial en la generación del poder calorífico en las briquetas.

#### **4.2.3. REALIZACIÓN DE UN ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS.**

A continuación en el cuadro 4.25 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 T<sub>3</sub> que obtuvo la mayor cantidad de poder calorífico en función al testigo.

Para los costos directos 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 directos, 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 (2019).

Dentro de los materiales utilizados tenemos los residuos de maíz (tusa 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 tusa 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 m<sup>3</sup> 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 4.25.** Matriz de análisis de costo por unidad de briqueta.

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>ACTIVIDAD:</b>	Producción de briquetas.		<b>UNIDAD</b>	Kg de Briqueta.	
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Estufa	0.20	0.42	0.08	11	0.924
Unidad de molienda eléctrica	0.20	0.02	0.00	11	0.011
Balanza analítica	0.20	0.001	0.00	11	0.0022
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0.94</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Laboratorista	0.10	4.01	0.40	0.30	0.12
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0.12</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Residuo de maíz (Zuro)	g	495	0.001	0.05	
Residuo de maíz (Tallo)	g	495	0.001	0.05	
Almidón de Yuca	g	330	0.002	0.33	
Agua	ml	3960	0.0001	0.40	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>0.83</b>	
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0.00</b>	
<i>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</i>					1.88
<i>INDIRECTOS 10 %</i>					0.19
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>2.07</b>

Fuente: Autoras.

**Cuadro 4.26.** Precio de venta de briquetas por kg.

<b>Análisis de precio de venta de 1 kg de briquetas.</b>	
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%
<b>Precio de Venta</b>	<b>\$ 3.46</b>

Fuente: Autoras.

El precio obtenido como resultado de la producción de kg de briqueta tendría un valor estimado de \$2.07, mientras que el precio de venta de este mismo kg es \$3.46, 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. Si bien es cierto, el costo de las briquetas de residuo de maíz mayor en comparación al testigo en el que para la producción de un kg es igual a \$2.50. Sin embargo, 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 accionadas con el fin de reducir la emisión de GEI. De acuerdo, a diario El Universo (2018) la tonelada de carbón para el 2021 podría llegar a costar 55 euros y para el 2030 cuatruplicar el precio, conforme a este dato la producción a gran escala de carbón y su consumo dejaría de ser económicamente rentable.

# **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1. 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 tusa.
- El tratamiento 3 correspondiente a un 50% de tallo y 50% de tusa es el que presenta mayor generación de poder calorífico con un valor promedio de 15.55 Mj/kg, este tratamiento es el único que en las variables de ceniza y poder calorífico cumple con los requisitos de la norma colombiana NTC 2060.
- El kg de briqueta bajo este estudio está valorada en \$3.46 de acuerdo al análisis económico realizado, frente al testigo en el que para la producción de un kg es igual a \$2.50. Sin embargo, los costos de producción 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 accionadas con el fin de reducir la emisión de GEI.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar la encuesta a todos los integrantes de la asociación de agricultores de la comunidad, debido a que de 60 integrantes asistieron 24. De esta manera, se describirá mejor la realidad sobre el manejo de los residuos de cultivo de maíz en la comunidad San Miguel de Tres Charcos.
- Realizar una socialización del impacto que causa el inadecuado manejo de residuos sólidos y de los beneficios económicos, ambientales y sociales que conlleva una correcta gestión de los mismos.
- Evitar lugares húmedos y oscuros en el proceso de fabricación de briquetas, debido a que este ambiente contribuiría a una contaminación microorganismo que aumentaría el tiempo de elaboración del producto.

- Es más factible realizar este tipo de investigación en época seca debido a que los residuos absorben menos humedad del ambiente.
- Para las briquetas que presenten la composición más óptima, se recomienda realizar análisis de emisión de gases tales como CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, COVs y material particulado (PM<sub>5</sub> y PM<sub>10</sub>), con el fin de saber cuáles contaminantes y en qué cantidad se emiten al momento de la combustión.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ábalos, M. (2012). Estado actual de la información sobre madera para energía FAO Estado de la información forestal en Chile. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/006/AD394S/AD394s07.htm>
- Alarcón, S. (2017). *Elaboración de briquetas a partir de desechos de tallos de rosas y papel reciclado*. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Álava, J y Díaz, A. (2018). *Influencia de las características físico-químicas de aceites residuales de restaurantes en la calidad de biodiesel*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta, Ecuador.
- Andrade, M; Moliner, A.; Masanguer, A. (2015). Métodos didácticos para análisis de suelos. Contextos Educativos. 15 (2).17
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1980). Official Methods of Analysis. Washington, D.C
- Aumento del precio del carbón. (29 de abril de 2018). El Universo, p. 8.
- Benedicto, L; Martín, L; López, C. (1997). Biocombustibles sólidos y líquidos forestales. Madrid. Recuperado de <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/viewFile/4469/4398>
- Berasteguí, C.; Ortega, J.; Mendoza, J.; González, Y.; & Gómez, R. (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; Lizarzaburu, L; Masache, M. (2017). Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento de los residuos agrícolas del Ecuador- Informe emitido por CEPAL. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/41830-valoracion-economica-cobeneficios-aprovechamiento-energetico-residuos-agricolas>
- CEARE (Centro De Estudios de la Actividad Regulatoria Energética). (2014). Pobreza energética-Energía Utilizada para la cocción de alimentos. Recuperado de: <http://www.ceare.org/tesis/2014/tes06.pdf>
- CELEC EP (Corporación eléctrica del Ecuador). (2015). Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador. Recuperado de:



<https://www.celec.gob.ec/hidronacion/images/stories/pdf/PLANEE%20version%20espa%C3%B1ol.pdf>

Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. Cuadernos Económicos, Información Comercial Española, (83), p. 117-140

Contraloría General del Estado (2019). Reajustes de precios. Salarios mínimos por ley Ecuador. Recuperado de: <https://www.contraloria.gob.ec/WFDescarga.aspx?id=2486&tipo=doc>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2012). Datos y cifras globales de productos forestales. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/I7034ES/i7034es.pdf>

Félix, J. (2015). Poder calorífico. Recuperado de: [http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas\\_termicas/01-poder\\_calorifico.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/01-poder_calorifico.pdf)

Fonseca, E., y 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*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.

GAD MUNICIPAL ROCAFUERTE (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Rocafuerte). (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Rocafuerte. Recuperado de: [http://app.sni.gob.ec/sni/link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1360001360001\\_1360001360001%20PDyOT-GAD%20ROCAFUERTE%20Version%20II\\_20-02-2015\\_22-06-48.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni/link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1360001360001_1360001360001%20PDyOT-GAD%20ROCAFUERTE%20Version%20II_20-02-2015_22-06-48.pdf)

García, L; Benítez, P; Valero, S y Gutiérrez, I. (Abril, 2019). Elaboración de briquetas a partir de residuos de aserrín a aglutinados con almidón de maíz y su posible aplicación como aislante térmico. Revista Ingeniería, 29 (1), p. 22-40.

García, R.; Pizarro, C.; Lavín, G.; & Bueno, J. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, 103(1), 249–258. doi: 10.1016/j.biortech.2011.10.004

Grande, C. (2016). *Valoración Biotecnológica de Residuos Agrícolas y Agroindustriales*. Cali, Colombia: Editorial Bonaventuriana

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-2060, briquetas combustibles para uso doméstico. Bogotá: ICONTEC, 2010. pág. 1-6.

INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), 2010. Fascículo Provincial Manabí. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/manabi.pdf>.

- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP). 2016. Guía para Facilitar el Aprendizaje en el Manejo Integrado del Cultivo de maíz. Recuperado de: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00194.pdf>
- Instituto Nacional de Preinversión. 2014. Atlas Bioenergético de la República Del Ecuador. Recuperado de: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00194.pdf>
- Las proveedoras del líquido en 8 urbes cobran valores diferentes. (07 de mayo de 2015). El Telégrafo, p. 7
- Llarifoc. (2013) ¿Qué es la Biomasa y cuáles son sus aprovechamientos energéticos en Catalunya. Recuperado de: <http://llarifoc.com/?p=296>
- 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 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*. (Tesis de pregrado). Universidad de Córdoba, Córdoba, Ecuador.
- Mack, C. (2017). *Elaboración De Briquetas Para Aprovechamiento Del Residuo De Arroz En Beneficios Del Municipio De El Progreso, Jutiapa*. (Tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar, Guatemala, Guatemala.
- Martín, L. (2013) Biomasa, la energía natural. Recuperado de: <http://www.compromisoempresarial.com/rsc/medioambiente/2013/03/biomasa-la-energia-natural/>
- Martínez, A. (2015). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, desechos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglomerantes*. (Tesis doctoral). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2018. Sistema de Información Pública Agropecuaria. Recuperado de: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Ministerio de Ambiente de Ecuador. (2017). Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/TERCERA-COMUNICACION-BAJA-septiembre-20171-ilovepdf-compressed1.pdf>

- Ministerio de Energía y Recursos No Renovables. (2015). Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador- Vol. 4 Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. Recuperado de: <http://www.centrosur.gob.ec>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2002). Análisis Sectorial de Residuos Sólidos Ecuador. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/analisis/ecuador.pdf>
- Rengifo, P. (2016). Aprovechamiento de residuos de biomasa secundaria como combustible. *Ingenium*, 1(1), p. 15.
- SAGARPA, U. (2015). Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas primera etapa: diagnóstico nacional. *Redalyc*, 26 (2), p. 20-26
- Salgado, O; Borda, M y Ceccon, E. (Mayo, 2017). Uso y disponibilidad de leña en la región de La Montaña en el estado de Guerrero y sus implicaciones en la unidad ambiental. *Revista Madera y bosques*, 23 (3), 121-135. ISSN: 1405-0471.
- Santucci, L; Puhl, I; Maqsood, A; Enayetullah, I, y Agyemang, W. (2015). Valoración de la sustentabilidad económica de los cobeneficios de las acciones de mitigación climática (NAMAs). Recuperado de: [www.cepal.org](http://www.cepal.org)
- SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo). (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 "Toda una Vida". Recuperado de: [http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL\\_OK.compressed1.pdf](http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_OK.compressed1.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*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Imbabura, Ecuador.
- Tangri, N. (2005). Incineración de residuos: una tecnología muriendo. Recuperado de: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/BEED4EBCBF98D22E05257D690071A2E9/\\$FILE/IncineracionResiduosTecnolog%C3%ADaMuriendo.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/BEED4EBCBF98D22E05257D690071A2E9/$FILE/IncineracionResiduosTecnolog%C3%ADaMuriendo.pdf)
- Tobar, A.; Urizar, I y Chacón, E. (Agosto, 2018). Efectos Socioambientales Del Uso De La Leña En La Comunidad Cocarsa, Municipio De San Miguel Tucurú, Departamento De Alta Verapaz, Guatemala. *Revista científica de la Facultad de Agronomía Universidad de San Carlos de Guatemala*, 10 (3), p. 45

Vera, A. (2016). *Diseño de briquetas ecológicas para la generación de energía calórica y mejoramiento de ecosistemas en el corregimiento de Nabusimake, municipio de Pueblo Bello-Cesar*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Valledupar, Colombia.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. Cuestionario para la realización de encuestas en la comunidad San Miguel de Tres Charcos.



Cuestionario dirigido a los agricultores de la comunidad “San Miguel de Tres Charcos” para la realización del proyecto previa obtención de tesis **“Briquetas para la obtención de biomasa energética a partir de los residuos de maíz (*zea mays*) en la comunidad San Miguel de Tres Charcos”** de la carrera de Ingeniería Ambiental de la ESPAM “MFL”.

### Datos del agricultor:

Nombre del propietario:
Procedencia del productor:
Dirección:
Teléfono, e-mail:

### Datos de los cultivos:

#### Cultivo de maíz (*Zea mays*)

- ¿Cuál es la superficie del cultivo?
- ¿Cuál es su producción por hectárea?
- ¿En qué mes/es hay mayor productividad de maíz?
- ¿Genera algún residuo de cosecha?
  - SI
  - NO
- Enumere y nombre todos subproductos (residuos agrícolas) generados por este cultivo.

#### Para subproducto 1

- Producción de subproducto por hectárea
- Fecha o periodo de obtención
- ¿Los subproductos son recolectados?
  - SI
  - NO
- En caso de que si se recolecte, ¿se somete a algún tipo de tratamiento de conservación?
  - No
  - SI
- Si se recolectan los subproductos se realiza:
  - Henificación

- Ensilaje
- Otros \_\_\_\_\_
- En caso que no se recolecte, ¿se aprovecha in situ mediante pastoreo?:
  - SI
  - NO
- Cree usted ¿qué los subproductos es posible aprovecharlos?
  - SI
  - NO
- Cree usted ¿qué es posible vender los subproductos para generar ganancia?
  - SI
  - NO
- Los subproductos del cultivo de maíz, usted los:
  - Vende
  - Intercambia
  - Regala
  - Desecha

### **Para subproducto 2 (en su caso)**

- Producción de subproducto por hectárea
- Fecha o periodo de obtención
- ¿Los subproductos son recolectados?
  - SI
  - NO
- En caso de que si se recolecte, ¿se somete a algún tipo de tratamiento de conservación?
  - No
  - SI
- Si se recolectan los subproductos se realiza:
  - Henificación
  - Ensilaje
  - Otros \_\_\_\_\_
- En caso que no se recolecte, ¿se aprovecha in situ mediante pastoreo?:
  - SI
  - NO
- ¿Cree usted que los residuos de cultivo de maíz es posible aprovecharlos?
  - SI
  - NO

- ¿Cree usted que los residuos de cultivo de maíz es posible venderlos para generar algún tipo de ganancia económica?
  - SI
  - NO
- Los subproductos del cultivo de maíz, usted los:
  - Vende
  - Intercambia
  - Regala
  - Desecha



## ANEXO 2. Georreferenciación del área de estudio



## ANEXO 3. Aplicación de la encuesta al gremio de agricultores de la comunidad San Miguel de Tres Charcos.

### 3A. Agricultores siendo encuestados



3B. Firmas de asistencia a reunión

ACTA DE REUNIÓN DE TRABAJO			
Comité o Grupo: Asociación de Agricultores de la comunidad San Miguel de Tres Charcos		Acta No: 01	
Citado por: Presidente de la Asociación de Agricultores y estudiantes de la ESPAM "MFL"		Fecha: 7 de mayo de 2019	
Coordinador: Sr. Wilson Córdoba		Hora inicio: 3 pm	Fin: 5 pm
Secretario:		Lugar: San Miguel de Tres Charcos	

PARTICIPANTES			
No.	Nombre	Teléfono	Firmas
130722522	Wilson Córdoba Subarab	0985804021	<i>[Firma]</i>
0698808	Patricia Vela Parrajo	0969221022	<i>[Firma]</i>
	Walter Vela Parrajo	0982917637	<i>[Firma]</i>
	Walter Ramírez Loal Vela	0987779449	<i>[Firma]</i>
	Enzo Loal Vela	0983455844	<i>[Firma]</i>
	Gonzalo Loal Vela		<i>[Firma]</i>
130506520	José María Loal Vela	0992389209	<i>[Firma]</i>
	Diego Loal Vela		
	Manuel Loal Vela		
1307384-3	Jorge Luis Zumbado Castro	0990534367	<i>[Firma]</i>
02011887-2	José Hernández Silva Vergara	0979281085	<i>[Firma]</i>
130099171	Manuel Antonio Vela Vergara	0979581982	<i>[Firma]</i>
	José Darío Vela Torres	0985777394	<i>[Firma]</i>
1301284843	Andrés Antonio Vergara Vergara		<i>[Firma]</i>
1302245164	Diego Antonio Vergara		<i>[Firma]</i>
130168300-4	Enrique Vergara Vergara	0988110346	<i>[Firma]</i>
1305431726	José David Vergara Vergara	0993264383	<i>[Firma]</i>
130693500	Manuel Vergara Vergara	0979124263	<i>[Firma]</i>
130888170	Diego Vergara Vergara		
1304818180	José Alejandro Vergara Vergara	0931579648	<i>[Firma]</i>
130441034	William Vergara Vergara	0921743494	<i>[Firma]</i>
130441034	Manuel Vergara Vergara		<i>[Firma]</i>
130740222	Rodrigo Vergara Vergara	0986143154	<i>[Firma]</i>
1306574242	Rosa Vergara Vergara	0985077400	<i>[Firma]</i>
122025172	Santh Vergara Vergara	099180948	<i>[Firma]</i>

### ANEXO 4. Tabla de datos personales de los encuestados

PROPIETARIO	CANTÓN	DIRECCIÓN	TELEFONO	Superficie en Ha	Meses de mayor productividad	Periodo de obtención de la taralla.	Periodo de obtención de la Tusa.
José Adrian Vera Bravo	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	993577813	9	Junio – Julio	Septiembre	Junio-Julio
Hector Ramón Cool Vera	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	981779949	9.6	Junio - Julio y Agosto	Junio-Julio	Junio
Wilson Asdrual Cordova Sabando	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	985804022	10	Junio Agosto	Junio-Julio	Junio-Julio-Agosto
George Enrique Vélez Centeno	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	981797614	7	Junio – Julio	Junio-Julio	Junio – Julio
Manuel Vergara Párraga	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	985804022	5	Junio – Julio	Junio-Julio	Junio – Julio
José Heriberto Vera Vergara	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	939571085	6.4	mayo-junio	Junio-Julio	Junio-Julio
Adriano Ramón Párraga Murillo	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	985938937	5	Julio – Agosto	Enero a Julio	Junio-Agosto
Elio Dolores Vergara Ibarra	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	990515048	2	Junio – Julio	Junio-Julio	Junio-Julio
Manuel Vera Vergara	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	979597803	5	Junio - Julio y Agosto	Agosto	Junio – Julio
Ramón Antonio Párraga Vergara	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	985238937	5	Enero a Julio	Enero a Julio	Julio
Roque Vera Murillo	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	939571085	6.4	Junio – Julio	Julio	Julio
Rosa Agripina Chilán Vélez	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	985077400	10	Junio - Julio y Agosto	Agosto	Julio

Ladys Karina Celorio Saltos	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	994699039	4	Junio - Julio y Agosto	Agosto	Agosto
Ignacio Ampuero	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	N/T	4	Junio	Noviembre	Junio a Agosto
Gregorio Centeno	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	N/T	10	Junio	Junio	Junio – Julio
Jorge Celorio Vélez	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	993797767	5	Julio	Agosto	Julio
Swgundo Vélez	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	N/T	6	Julio	Julio	Julio
Marcelo Ampuero	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	N/T	5	Junio – Julio	Junio a Octubre	Junio – Julio
Carlos Vicente Celorio Velez	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	993797767	5	Julio – Agosto	Enero a Julio	Julio
José Darío Vélez Chávez	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	969371897	5	Julio – Agosto	Julio - Agosto	
Maria Piedad Vélez Párraga	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	969371897	5	Julio – Agosto	Enero a Julio	Julio
Jesus Cristobal Varela Santos	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	991219710	5	Julio – Agosto	Enero a Julio	Julio
Eladio Chilán Centeno	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	985616309	1.92	Junio – Julio	Julio	Julio – Agosto
Cefiro Delgado	Rocafuerte	San Miguel de Tres Charcos	979612181	5	Junio – Julio	Julio	Julio

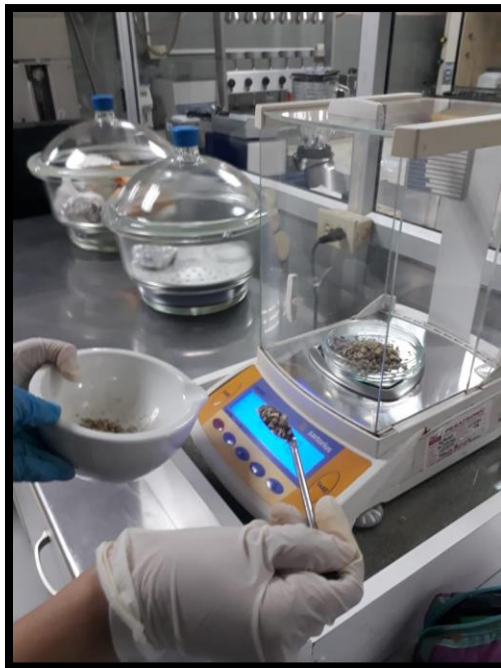
## ANEXO 5. Recolección de la biomasa (Taralla y Tusa )



## ANEXO 6. Limpieza y separación de la biomasa



## **ANEXO 7. Procedimiento para la determinación de humedad de la biomasa**



## **ANEXO 8. Secado de la biomasa por separado según los subproductos**



## ANEXO 9. Triturado y Molido de biomasa

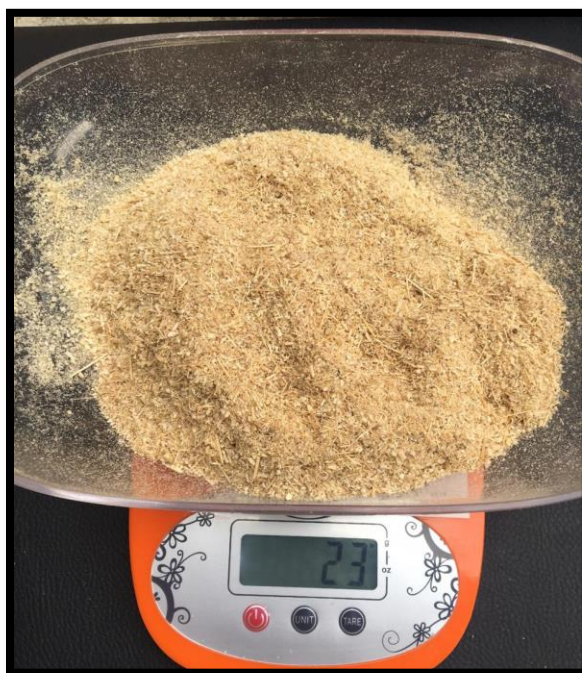


## ANEXO 10. Tamizaje de biomasa

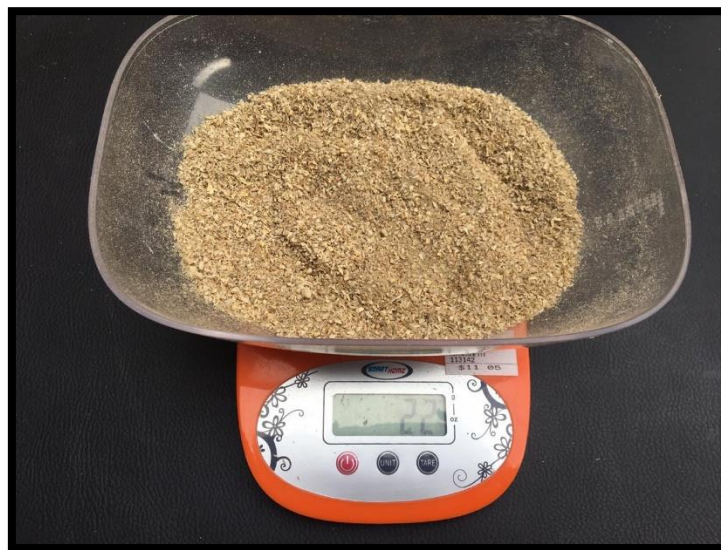


## ANEXO 11. Composición de las briquetas

### 10 A. Tusa





**10 B. Tallo****10 C. Almidón de yuca**

## 10 D. Mezcla de la biomasa con el aglomerante



## ANEXO 12. Briquetadora



## ANEXO 13. Moldeado de las briquetas



## ANEXO 14. Secado de briquetas



## ANEXO 15. Diseño experimental



## ANEXO 16. Prueba de resistencia



## ANEXO 17. Prueba de ceniza





## ANEXO 17. Resultados de prueba de potencial energético

### INFORME DE ANÁLISIS

Informe de Análisis N°: 059 – 2019  
 Cliente: **ESPAM- Manuel Félix López**  
 Solicitado por: Gema Chilán  
 Fecha de recepción de muestra(s): 2019-09-20  
 Fecha de realización y finalización de ensayo: 2019-09-27/ 2019-10-03  
 Analizado por: Ing. Tyrone Alcívar R.  
 Fecha de emisión del informe: 03 de octubre de 2019

Parámetro	Unidades	Resultados				Método de Análisis
		M1	M2	M3	M4	
Poder calorífico	J/g	27316 ± 1	15283 ± 1	14932 ± 1	15217 ± 1	ASTM D240

**Observaciones:**  
 Humedad / Temperatura promedio del Laboratorio: 69 % / 25°C  
**Muestra(s) entregada(s) e ingresada(s) por el cliente como:**  
 M1 = Briqueta muestra Testigo  
 M2 = Briqueta T1 R1  
 M3 = Briqueta T1 R2  
 M4 = Briqueta T1 R3  
**Nota aclaratoria** – Estos parámetros no forman parte del alcance de Acreditación ante el SAE.

Parámetro	Unidades	Resultados			Método de Análisis
		M5	M6	M7	
Poder calorífico	J/g	15273 ± 1	15308 ± 1	15149 ± 1	ASTM D240

**Observaciones:**  
 Humedad / Temperatura promedio del Laboratorio: 69 % / 25°C  
**Muestra(s) entregada(s) e ingresada(s) por el cliente como:**  
 M5 = Briqueta T2  
 M6 = Briqueta T2 R2  
 M7 = Briqueta T2 R3  
**Nota aclaratoria** – Estos parámetros no forman parte del alcance de Acreditación ante el SAE.

  
**Ph.D. Joan Vera Villalobos**  
**Coordinador de Laboratorios**

#### LCC:

**Notas:** El informe original es válido solo con el sello seco de seguridad de alto relieve ubicado en la parte inferior derecha de la hoja y no debe ser reproducido de forma parcial o total, excepto por su emisor como copia autorizada.  
 Las incertidumbres calculadas están a disposición del cliente (Aplica para Métodos Acreditados)  
 Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.  
 Las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como decimales.  
 Las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como enteros.

Ecuador - Guayaquil – Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Código Postal 090903  
 Teléfonos: 2269559





Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas  
Laboratorio de Análisis Químico Instrumental

Parámetro	Unidades	Resultados			Método de Análisis
		M8	M9	M10	
Poder calorífico	J/g	15633±1	15255±1	15541±1	ASTM D240
<b>Observaciones:</b> Humedad / Temperatura promedio del Laboratorio: 69.7% / 25°C <b>Muestra(s) entregada(s) e ingresada(s) por el cliente como:</b> M8 = Briqueta T3 M9 = Briqueta T3 R2 M10 = Briqueta T3 R3 <b>Nota aclaratoria</b> – Estos parámetros no forman parte del alcance de Acreditación ante el SAE					

  
**Ph.D. Joany Vera Villalobos**  
**Coordinador de Laboratorios**

LCC/:

**Notas:** El informe original es válido solo con el sello seco de seguridad de alto relieve ubicado en la parte inferior derecha de la hoja y no debe ser reproducido de forma parcial o total, excepto por su emisor como copia autorizada.  
 Las incertidumbres calculadas están a disposición del cliente (Aplica para Métodos Acreditados)  
 Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.  
 Las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como decimales.  
 Las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como enteros.

Ecuador - Guayaquil – Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Código Postal 090903  
 Teléfonos: 2269559

LESPEC-MC2303-01

Página 2 de 2

**ANEXO 18. Combustión de las briquetas en la prueba de tiempo de encendido.**

