



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

### **CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la  
obtención del título de  
Ingeniera Forestal**

**DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO Y TIEMPO DE  
COMBUSTIÓN DE CUATRO PROTOTIPOS DE BRIQUETAS**

#### **AUTOR**

Cinthya Jacqueline Pavón Bastidas

#### **DIRECTOR**

Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja Esp.

**IBARRA – ECUADOR**

2019

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

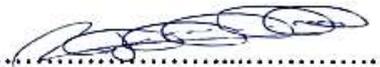
## DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO Y TIEMPO DE COMBUSTIÓN DE CUATRO PROTOTIPOS DE BRIQUETAS

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación  
como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERA FORESTAL**

**APROBADO**

Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.  
Directora de trabajo de titulación



.....

Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.  
Tribunal de trabajo de titulación



.....

Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez, MSc.  
Tribunal de trabajo de titulación



.....

Juan Carlos García Montoya, PhD.  
Tribunal de trabajo de titulación



.....

Ibarra – Ecuador

2019



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE	172453838-2	
NOMBRES Y	Cinthya Jacqueline Pavón Bastidas	
DIRECCIÓN:	Av. 17 de Julio	
EMAIL:	cindybastidas1107@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO	0993054907

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	<b>DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO Y TIEMPO DE COMBUSTIÓN DE CUATRO PROTOTIPOS DE BRIQUETA</b>
AUTOR:	Cinthya Jacqueline Pavón Bastidas
FECHA:	23 de julio de 2019
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN</b>	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Forestal
DIRECTOR:	Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

## 2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 23 de julio de 2019

**EL AUTOR:**



.....

Cinthya Jacqueline Pavón Bastidas

C.C.: 172453838 - 2



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CESIÓN DE DERECHOS DE LA AUTORA DEL TRABAJO DE**  
**TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**  
**TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, **Cintha Jacqueline Pavón Bastidas**, con cédula de identidad Nro. **172453838-2**; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominado **DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO Y TIEMPO DE COMBUSTIÓN DE CUATRO PROTOTIPOS DE BRIQUETAS**, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniera Forestal en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Cintha", is written over a circular stamp or seal. The signature is somewhat stylized and overlaps the circular shape.

.....  
**Cintha Jacqueline Pavón Bastidas**

**C.C.: 172453838-2**

Ibarra, a los 23 días del mes de julio del 2019

## REGISTRO BIBIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA - UTN

**Fecha:** 23 de julio de 2019

Cintha Jacqueline Pavón Bastidas **DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO Y TIEMPO DE COMBUSTIÓN DE CUATRO PROTOTIPOS DE BRIQUETAS;** Trabajo de titulación. Ingeniera Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 23 de julio de 2019.

**DIRECTOR:** Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar el poder calorífico y tiempo de combustión de cuatro prototipos de briquetas para brindar valor agregado a los residuos de la transformación primaria y secundaria de la madera.

**Fecha:** 23 de julio de 2019

.....  
Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

**Director de trabajo de titulación**

  
.....  
Cintha Jacqueline Pavón Bastidas

**Autor**

## DEDICATORIA

*Esta investigación va dedicada a:*

*Mi familia por haberme brindado su amor y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.*

*A mis padres, ya que la culminación de esta meta es el reflejo del amor, esfuerzo y dedicación que han invertido ellos en mí. Gracias por inculcarme valores, sobre todo voluntad y perseverancia por medio de su ejemplo y así formar esta persona que los ama con todo el corazón.*

*A mis hermanas, en especial a Emília y María José quienes han sido y serán esa energía extra que me impulsa en los momentos difíciles, ya que con su amor me hacen entender que todo es posible y que no debo darme por vencida.*

*Con todo lo antes mencionado solo puedo decir.*

*¡Lo hemos logrado ...!*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios por ser mi guía en este caminar y permitirme ver la luz del día en cada despertar.*

*A mi familia, infinitas gracias por su apoyo, amor y paciencia brindado a lo largo de mi vida, ya que sin ustedes no estuviera en donde estoy ahora.*

*A mi directora Ing. María Isabel Vizcaino que ha sido una amiga que entre risas y carcajadas me ha acompañado en este proceso. Es ella, aquella persona que me apoyó con una idea y que ahora es una investigación, ella que con energía supo corregir mis falencias para un mejor porvenir y así lograr este cometido.*

*A mi comité asesor que me supieron guiar con sabiduría en cada una las observaciones y correcciones realizadas, enseñándome que detrás de una buena investigación existen personas que te ayudan incansablemente a lograrlo.*

*A mi carrera, la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Técnica del Norte, ya que gracias a ella he podido conocer personas maravillosas como docentes, amigos y amores, gracias por dejarme ser parte de lo que he denominado mi segunda familia; la familia Forestal.*

# ÍNDICE

	<b>Págs.</b>
Aprobación del trabajo de titulación.....	ii
Autorización de uso y publicación a favor de la Universidad Técnica Del Norte.....	iii
Cesión de derechos de la autora del trabajo de titulación .....	v
Registro bibliográfico .....	vi
Dedicatoria .....	vii
Agradecimiento .....	viii
Resumen.....	xvi
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos: .....	3
1.1.1 General.....	3
1.1.2 Específicos. ....	3
1.2 Hipótesis.....	3
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>4</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1 Fundamentación legal .....	4
2.1.1 Objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021.....	4
2.1.2 Línea de investigación. ....	4
2.2 Fundamentación teórica .....	5
2.2.1 Energía renovable. ....	5
2.2.2 Biomasa.....	5
2.2.3 Gestión de residuos en Ecuador. ....	7
2.2.4 Bioenergía. ....	9
2.2.5 Dendroenergía. ....	9
2.2.6 Biocombustibles. ....	9

2.2.7	Carbón vegetal.....	11
2.2.8	Briquetas. ....	13
2.2.9	Aglutinante.....	18
2.2.10	Caracterización del material.....	19
2.2.11	Costos de producción.....	23
	<b>CAPITULO III .....</b>	<b>24</b>
	<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1	Ubicación del sitio .....	24
3.1.1	Política. ....	24
3.1.2	Geográfica.....	24
3.1.3	Límites.....	24
3.2	Datos climáticos.....	25
3.3	Materiales, equipos e insumos.....	25
3.4	METODOLOGÍA.....	25
3.4.1	Determinar la mezcla óptima para la elaboración de cuatro prototipos de briquetas..	26
3.4.2	Evaluar los parámetros de combustión de los prototipos de briquetas. ....	31
3.4.3	Determinar el costo de producción de los cuatro prototipos de briquetas. ....	35
3.4.4	Cuantificar el uso de carbón en la ciudad de Ibarra. ....	36
	<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>38</b>
	<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>38</b>
4.1	Determinar la mezcla óptima para la elaboración de cuatro prototipos de briquetas	38
4.1.1	Recolección de material vegetal.....	38
4.1.2	Caracterización del material.....	38
4.1.3	Secado de la briqueta.....	39
4.1.4	Cálculo de densidad de la briqueta.....	40
4.1.5	Etapas de pre – evaluación. ....	43

4.1.6	Descripción del ensayo del aglutinante.....	44
4.1.7	Análisis estadístico. ....	44
4.2	Evaluar los parámetros de combustión de los prototipos de briquetas .....	54
4.2.1	Análisis estadístico. ....	54
4.2.2	Determinación del poder calorífico de diferentes prototipos de briquetas .....	58
4.2.3	Tiempo de ebullición. ....	59
4.2.4	Velocidad de combustión.....	60
4.2.5	Eficiencia térmica .....	60
4.2.6	Equivalente de combustible consumido.....	61
4.2.7	Generación de cenizas .....	62
4.2.8	Variación de temperatura en función del tiempo de combustión de la briqueta .....	63
4.3	Determinar el costo de producción de los cuatro prototipos de briquetas .....	64
4.3.1	Determinación de costos de elaboración de briquetas .....	64
4.4	Cuantificar el uso de carbón en la ciudad de Ibarra.....	66
4.4.1	Aplicación de la encuesta.....	66
4.4.2	Procedencia del material vegetal. ....	66
4.4.3	Especies que se utiliza en la elaboración del material vegetal. ....	67
4.4.4	Forma de expendio del material vegetal. ....	67
4.4.5	Valor del material vegetal. ....	68
4.4.6	Cantidad diaria de expendio. ....	69
4.4.7	Conocimiento sobre briquetas. ....	69
4.4.8	Frecuencia de adquisición del material vegetal.....	69
	<b>CAPITULO V .....</b>	<b>70</b>
	<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
5.1	Conclusiones.....	70
5.2	Recomendaciones .....	70
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>71</b>

## INDICE DE TABLAS

	<b>Págs.</b>
<b>Tabla 1.</b> Tipos de biomasa.....	6
<b>Tabla 2.</b> Gestión de residuos en las principales ciudades del país.....	7
<b>Tabla 3.</b> Uso de desperdicios.....	8
<b>Tabla 4.</b> Caracterización de residuos de la madera.....	11
<b>Tabla 5.</b> Especies Forestales transformadas a carbón a nivel nacional.....	13
<b>Tabla 6.</b> Resumen de las propiedades de los principales biocombustibles.....	16
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de aglutinantes.....	18
<b>Tabla 8.</b> Descripción de materiales, equipos e instrumentos.....	25
<b>Tabla 9.</b> Proporciones en porcentaje de mezcla para elaboración de briquetas.....	27
<b>Tabla 10.</b> Descripción de calificación cuantitativa.....	29
<b>Tabla 11.</b> Descripción del ensayo de aglutinante.....	30
<b>Tabla 12.</b> Esquema del ADEVA para ensayo de aglutinante.....	31
<b>Tabla 13.</b> Descripción del ensayo de combustión.....	33
<b>Tabla 14.</b> Esquema del ADEVA para ensayo de combustión.....	34
<b>Tabla 15.</b> Mercados del cantón Ibarra.....	37
<b>Tabla 16.</b> Descripción de análisis granulométrico.....	38
<b>Tabla 17.</b> Descripción de días de secado.....	39
<b>Tabla 18.</b> Descripción de valores meteorológicos obtenidos para el mes de octubre del 2018 .....	39
<b>Tabla 19.</b> Análisis de varianza con respecto a D0 (Densidad inicial).....	41
<b>Tabla 20.</b> Descripción de evaluación cuantitativa.....	43
<b>Tabla 21.</b> Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante para el P0 (Peso inicial).....	45
<b>Tabla 22.</b> Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante para el H0 (Altura inicial). ....	46
<b>Tabla 23.</b> Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante, para el Pp (Peso al momento de la prueba). ....	48
<b>Tabla 24.</b> Prueba de Tukey para la relación entre el factor B (Proporción de aglutinante) y el factor C (Tipo de secado), para el Pp (Peso al momento de la prueba).....	50
<b>Tabla 25.</b> Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante, para el Hp (Altura al momento de la prueba). ....	51

<b>Tabla 26.</b> Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante, para el Chp (Contenido de humedad al momento de la prueba). .....	52
<b>Tabla 27.</b> Prueba de Tukey para la relación entre el factor A (Tipo de aglutinante), factor B (Proporción del aglutinante) y factor C (Tipo de secado), para el Chp (Contenido de humedad al momento de la prueba) .....	54
<b>Tabla 28.</b> Análisis de varianza para el ensayo de "La prueba de ebullición de agua" .....	55
<b>Tabla 29.</b> Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante con el calorímetro isoperibólico AC500. ....	56
<b>Tabla 30.</b> Análisis de correlación.....	57
<b>Tabla 31.</b> Descripción del costo total por tratamiento .....	65
<b>Tabla 32.</b> Encuestas realizadas por mercado .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Págs.</b>
<b>Figura 1.</b> Respuesta de encuestas sobre el uso de biomasa .....	9
<b>Figura 2.</b> Prueba de Tukey para D0 (Densidad inicial).....	42
<b>Figura 3.</b> Prueba de Tukey para P0 (Peso inicial).....	45
<b>Figura 4.</b> Prueba de Tukey para el H0 (Altura inicial).....	47
<b>Figura 5.</b> Prueba de Tukey para el H0 (Altura inicial).....	49
<b>Figura 6.</b> Prueba de Tukey para el Hp (Altura al momento de la prueba) .....	51
<b>Figura 7.</b> Prueba de Tukey el Chp (Contenido de humedad al momento de la prueba) .....	53
<b>Figura 8.</b> Prueba de Tukey para el ensayo de combustión "La prueba de ebullición de agua" .....	55
<b>Figura 9.</b> Prueba de Tukey para el ensayo de combustión con el calorímetro isoperibólico AC500 .....	56
<b>Figura 10.</b> Poder calorífico con diferentes análisis de combustión .....	58
<b>Figura 11.</b> Tiempo de ebullición en análisis de combustión. ....	59
<b>Figura 12.</b> Cantidad de combustible empleado por minuto.....	60
<b>Figura 13.</b> Eficiencia térmica.....	61
<b>Figura 14.</b> Cantidad de combustible empleado.....	61
<b>Figura 15.</b> Porcentaje de ceniza generada hasta el punto de ebullición. ....	62
<b>Figura 16.</b> Porcentaje total de ceniza generada después del proceso.....	63
<b>Figura 17.</b> Variación de temperatura a través de diferentes periodos de tiempo.....	64
<b>Figura 18.</b> Procedencia de material.....	67
<b>Figura 19.</b> Peso de formas más usuales de expendio en los mercados de la ciudad.....	68
<b>Figura 20.</b> Valor monetario de formas más usuales de expendio en los mercados de la ciudad. .....	68

## ABREVIATURAS

<b>A:</b>	Al aire
<b>AChEE:</b>	Agencia Chilena de Eficiencia Energética
<b>°C:</b>	Centígrados
<b>C1:</b>	Carbón
<b>CFN:</b>	Corporación Financiera Nacional
<b>CH:</b>	Con hueco
<b>Chp:</b>	Contenido de humedad al momento de la prueba
<b>COMAFORS:</b>	Corporación de Manejo Forestal
<b>D0:</b>	Densidad inicial
<b>FAO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>G:</b>	Cola blanca
<b>G1:</b>	(cola blanca; 80% aserrín, 20% aglutinante)
<b>G2:</b>	(cola blanca; 70% aserrín, 30% aglutinante)
<b>GAD:</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado
<b>H:</b>	Horno
<b>H0:</b>	Altura inicial
<b>Hp:</b>	Altura al momento de la prueba
<b>ITTO:</b>	Organización Internacional de Maderas Tropicales
<b>(kg):</b>	Kilogramo
<b>(kJ):</b>	Kilojulio
<b>(kWh):</b>	Kilovatio hora
<b>(l):</b>	Litro
<b>M:</b>	Melaza
<b>M1:</b>	(melaza; 80% aserrín, 20% aglutinante)
<b>M2:</b>	(melaza; 70% aserrín, 30% aglutinante)
<b>(m):</b>	Metro
<b>(m<sup>3</sup>):</b>	Metro cúbico
<b>(m/s):</b>	Velocidad
<b>MAE:</b>	Ministerio del ambiente
<b>MIPRO:</b>	Ministerio de industria y productividad
<b>(min):</b>	Minutos
<b>P0:</b>	Peso inicial
<b>P1:</b>	(50% aserrín, 50% aglutinante)
<b>P2:</b>	(60% aserrín, 40% aglutinante)
<b>P3:</b>	(70% aserrín, 30% aglutinante)
<b>P4:</b>	(80% aserrín, 20% aglutinante)
<b>PCI:</b>	Poder calorífico inferior
<b>Pp:</b>	Peso al momento de la prueba
<b>Psi:</b>	Libra por pulgada cuadrada
<b>PVC:</b>	Poli cloruro de vinilo
<b>SENPLADES:</b>	Secretaría Nacional de Panificación y Desarrollo
<b>SH:</b>	Sin hueco

**TITULO:** DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO Y TIEMPO DE COMBUSTIÓN DE CUATRO POTOTIPOS DE BRIQUETAS

**Autor:** Cinthya Jacqueline Pavón Bastidas

**Director de trabajo de titulación:** Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

**Año:** 2019

## **RESUMEN**

La industria maderera en el Ecuador, cuyo proceso de transformación genera diferentes tipos de material residual. Se debe mencionar que este estudio se basa principalmente en la pequeña industria maderera ya que, la sierra que se utiliza esencialmente es la sierra circular que produce un grado alarmante de desperdicio para generar una alternativa para transformar la biomasa residual forestal como aserrín, específicamente con un fin energético y así rentabilizar este recurso; en este caso se realizó varios prototipos de briquetas. El objetivo del presente estudio fue determinar el poder calorífico y tiempo de combustión de cuatro prototipos de briquetas como una alternativa valor agregado a los residuos de la transformación primaria y secundaria de la madera mediante la evaluación de los parámetros de combustión de los prototipos de briquetas. Con esto se debe establecer la mezcla óptima del material y así cuantificar el costo de producción en la elaboración de estos para así presentar un combustible energético alternativo al uso de carbón. Para la elaboración de los prototipos de briquetas se analizó previamente el tamaño de partícula del material residual consecuentemente, se mezcló con dos tipos aglutinantes (melaza y cola blanca) prensado con una presión menor a 725.19 psi. Se obtuvo prototipos con densidad de 620 kg/m<sup>3</sup> y 490 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, además para la determinación del poder calorífico se realizó por método empírico e instrumental en donde, se obtuvo que el poder calorífico fue de 15 108.56 kJ/kg y 17 556.93 kJ/kg respectivamente con el método instrumental. Los prototipos más eficientes a los diferentes parámetros de combustión fueron aquellos que tenían como aglutinante la cola blanca por presencia de llama, no obstante, los prototipos que tiene como aglutinante melaza posee características favorables como la velocidad de combustión y el equivalente de combustible consumido.

**Palabras clave:** briquetas, material residual, biomasa residual, aglutinante.

**TITLE: DETERMINATION OF CALORIFIC VALUE AND COMBUSTION TIME OF FOUR BRIQUETTE PROTOTYPES**

**Author:** Cinthya Jacqueline Pavón Bastidas

**Thesis Director:** María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

**Year:** 2019

**ABSTRACT**

In Ecuador, the wood industry generates different types of residual material. It should be mentioned that this research is mainly aimed at the small-scale wood industry, because its sawing process produces an alarming amount of residual material and as an alternative to transform the residual biomass (sawdust), specifically for an energy purpose different briquette prototypes were considered in order to make this resource profitable. The objective of this research is to determine the calorific value and combustion time of four briquettes prototypes to provide added value to waste material from the primary and secondary wood processing stages, through the evaluation of the combustion parameters of the briquette prototypes. For this the optimum material mixture and quantification of the cost of production to present an alternative energy fuel to the use of coal. For the preparation of the briquette prototypes were analyzed the size of the residual material, consequently this was mixed with two binder types (molasses and white glue) pressed with a pressure less than 725.19 psi. Prototypes with density of 620 kg / m<sup>3</sup> and 490 kg / m<sup>3</sup> were obtained and to determine the calorific value through empirical and instrumental methods, it was obtained at calorific power value of 15 108.56 kJ/kg and 17 556.93 kJ/kg with the instrumental method. The most efficient prototypes to the different combustion parameters were those that had as a binder white glue by the presence of flame. However, the prototypes that had as binder molasses had favorable characteristics such as combustion speed and fuel consumed equivalent.

**Key words:** briquette, waste material; residual biomass, binder, sawdust.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el grado de desperdicio en la industria del aserrío es alarmante, debido a que del volumen total que ingresa como materia prima, aproximadamente el 49.47% se transforma en desperdicio. Es preciso indicar que esta información está basada en la pequeña industria maderera, donde usualmente los establecimientos con esta denominación emplean como maquinaria principal la sierra circular Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO - CDC 007, 2011). Espinosa (2016) manifiesta que, la industria maderera en el Ecuador es una generadora potencial de fuentes de empleo, pero a su vez, en los procesos de transformación primaria y secundaria, producen desperdicios tales como viruta, aserrín, astillas y leña.

El aporte que ha tenido la industria maderera con respecto al desarrollo del Ecuador es importante, ya que gracias a este sector varias familias ecuatorianas gozan de una fuente de trabajo estable, para producción de bienes en servicio de la sociedad. Estas variables han sido la base de una mentalidad estratégica para la convivencia del país. Por tanto, se debe prestar atención a la diversidad de problemas que afectan al sector para así potencializar opciones que sacien las necesidades de la sociedad Corporación de Manejo Forestal Sustentable (COMAFORS, 2007).

La Corporación Financiera Nacional (CFN, 2017) refiere que en el año 2016 se obtuvo la suma de 643.71 millones de dólares en acciones como la extracción de madera y otras actividades vinculadas con el sector con una Colaboración total de 0.93 % del PIB, así se evidencia la disminución de 6.85 % referente al año 2015.

Según MIPRO – PY CDC 006 (2011), la biomasa residual de la transformación secundaria no es un rubro valorado por lo que no significa una fuente de ingreso ni de diversificación de las inversiones. Cabe recalcar que este producto se lo considera como madera residual, siendo una carga que se traduce como un pasivo económico para sus generadores.

Zambrano, Moreno, Muñoz y Durán (2013) consideran que todos los residuos producto de la industrialización primaria y secundaria de la madera representa al menos el 10 % de todo el material residual considerado como residuos sólidos en el Ecuador. Se debe mencionar que se ha desarrollado una serie de alternativas para su aprovechamiento, en especial con el aserrín, este producto puede ser utilizado con éxito a través de investigaciones para la elaboración de pulpa, papel, tableros, fertilizantes, entre otros.

Según el MIPRO - PY CDC 006 (2011), una de las opciones para transformar la biomasa con fines energéticos, específicamente de calefacción es la elaboración de briquetas, de tal manera que permita presentar una alternativa para los consumidores y, a la vez rentabilizar el recurso biomasa.

En el estudio realizado por Chamorro y Parreño (2006) indican que el 44.60 % de los desperdicios de los aserraderos y depósitos de la ciudad de Ibarra corresponden a aserrín, de los cuales el 83.32 % tiene como destino la quema, cabe mencionar que únicamente el 11.12 % de aserrín es vendido. La contaminación ambiental es visible con material residual de madera, la mayoría almacenada en condiciones poco salubres o a su vez es quemada, además no se tiene conocimiento de la existencia de planes correctivos por parte de las industrias de la provincia de Imbabura. Así también, la especie conocida como Laurel (*Cordia alliodora*), es aquella que presenta un consumo significativo en la provincia de Imbabura con aproximadamente 627.91 m<sup>3</sup>; la procedencia de ésta, casi en su totalidad es de las provincias de Napo, Orellana y Sucumbíos.

Con esta investigación se pretende otorgar un valor agregado al material residual de la especie Laurel (*Cordia alliodora*) utilizada significativamente en la pequeña industria maderera, esto brinda un valor agregado, como la elaboración de briquetas, considerada una opción de post aprovechamiento a los residuos de la industria; este producto será una opción de combustible con diferentes fines energéticos, en especial con fines de calefacción y cocción de alimentos.

## **1.1 Objetivos:**

### **1.1.1 General.**

Determinar el poder calorífico y tiempo de combustión de cuatro prototipos de briquetas para brindar valor agregado a los residuos de la transformación primaria y secundaria de la madera.

### **1.1.2 Específicos.**

- Determinar la mezcla óptima para la elaboración de cuatro prototipos de briquetas
- Evaluar los parámetros de combustión de los prototipos de briquetas
- Determinar el costo de producción de los cuatro prototipos de briquetas.
- Cuantificar el uso de carbón en la ciudad de Ibarra.

## **1.2 Hipótesis**

**Ho:** Los prototipos de briquetas presentas similar poder calorífico y tiempo de combustión

**Ha:** Existen diferencias entre los prototipos de briquetas analizadas con respecto al poder calorífico y tiempo de combustión.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Fundamentación legal**

##### **2.1.1 Objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021.**

**Objetivo 3:** Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones

**Política 3.3:** Explica que se debe mantener el patrimonio natural existente en el país para las generaciones actuales y venideras, todo esto por encima del aprovechamiento de los recursos que tiene el patrimonio para ofrecer Secretaria Nacional de Panificación y Desarrollo (SENPLADES, 2017 p. 64 - 69).

**Política 3.5:** Comenta que es necesario fomentar un concepto de bioeconomía sostenible, en donde se ofrezca productos basados en recursos naturales con valor agregado para sensibilizar la corresponsabilidad social (SENPLADES, 2017 p. 64 - 69).

**Política 3.7:** Argumenta que la base de la bioeconomía es la motivación de una producción y consumo responsable con el ambiente, esto fomenta actividades como el reciclaje, lo que evita el consumismo en la sociedad (SENPLADES, 2017 p. 64 - 69).

##### **2.1.2 Línea de investigación.**

El presente estudio se enmarca en la línea de investigación de la carrera: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

## **2.2 Fundamentación teórica**

### **2.2.1 Energía renovable.**

Es toda energía producida o derivada de fuentes que tienen un proceso de renovación indefinido con respecto al consumo humano, como es el caso de la energía hídrica, solar y eólica, o en algunos casos de fuentes producidas de una manera sostenible como el caso de la biomasa. Los factores que determinarán la competitividad de estas fuentes de energía renovables serán los elevados precios de adquisición de los diferentes combustibles fósiles, las políticas y programas gubernamentales desarrolladas en apoyo el uso de energías alternativas Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2008).

### **2.2.2 Biomasa.**

Es aquella materia orgánica producida como resultado de cualquier proceso biológico viva o muerta, disponible como fuente de energía sobre o debajo del horizonte del suelo; por ejemplo, especies arbóreas, arbustivas y herbáceas, cultivos, entre otros (FAO, 2008).

Se puede llamar biomasa a la materia orgánica ocasionada por un proceso biológico, el cual puede utilizarse como fuente de energía. Las plantas producen energía por medio del proceso fotosintético que realizan, parte de esa energía es almacenada en forma de materia orgánica; esta energía se puede recuperar por medio de proceso de pirolisis o por transformación de combustibles (González y Rosales, 2016).

Para Torres (2008), el termino biomasa abarca un conjunto variado de materia orgánica que se aprovecha por medio de la transformación de la misma para crear una fuente de energía utilizado usualmente para procesos de combustión.

#### **2.2.2.1 Tipos de biomasa**

Para González y Rosales (2016). los recursos biomásicos se pueden presentar en diferentes estados físicos, esto determinará el proceso de conversión energético y por ende la factibilidad técnica y económica que se aplica a cada una de ellos. Según el tipo de recurso se puede clasificar a los diferentes estados de biomasa, como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1

*Tipos de biomasa*

Recurso biomasa	Tipo de residuo
Residuos forestales	Restos de aserrío: cortezas, aserrín, astillas
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas
	Restos de plantaciones: ramas, cortezas, raíces
	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales
Residuos agropecuarios	Cáscara y polvo de granos secos
	Estiércol
	Residuos de cosechas: tallos, hojas, cascaras, maleza y pasturas
Residuos industriales	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales
	Residuos de procesamiento de carnes
	Aguas de lavado y pre-cocido de carnes y vegetales
	Grasas y aceites vegetales
Residuos urbanos	Aguas negras
	Desechos domésticos orgánicos (cáscaras de vegetales) Basura orgánica (madera)

**Fuente:** (González y Rosales, 2016)

Otra clasificación de tipos de biomasa es la que exponen la Secretaria de Energía República de Argentina (2009) y Torres (2008), en donde manifiestan lo siguiente:

**a. Biomasa natural:**

Es aquella que se produce de forma natural, sin la intervención del ser humano. Fundamentalmente es aquella leña procedente de árboles no cultivados tradicionalmente usada por el ser humano como combustible para calefacción y cocción de alimentos. Este tipo de biomasa constituye la base de consumo energético de los países en vías de desarrollo, pero el sobre aprovechamiento de este recurso puede afectar drásticamente a los ecosistemas de donde se extrae.

**b. Biomasa residual:**

Es aquella que se genera a través de la intervención humana, generalmente en procesos agrícolas y ganaderos, además de considerar aquellos emanados por el propio ser humano como es el caso de basuras o también denominados como residuos sólidos urbanos y aguas residuales.

### c. Cultivos energéticos o biomasa producida:

Es aquella que se cultiva con el propósito de obtener biomasa que se pueda transformar el combustible, comúnmente los agricultores se dedican a producir estos tipos de cultivos.

### 2.2.3 Gestión de residuos en Ecuador.

MIPRO - PY CDC 006 (2011) explica que se ha realizado una encuesta de ubicación del destino que tiene los residuos de la industria maderera, en especial la industria primaria (aserraderos). En donde se determina que un 25.7 % de la población encuestada comenta que recurren a un gestor especializado para el depósito de los residuos, el 8.8 % manifiesta que utilizan transporte para dejar los residuos en rellenos sanitarios o vertederos públicos y un 19 % afirma que los vende. Estos porcentajes coinciden con el área de influencia a la empresa maderera NOVOPAN, ubicada dentro del Distrito Metropolitano de Quito, ya que dentro de esta área se encuentra el 29 % de la población encuestada, quienes expresan que les dan un valor monetario a sus residuos. Se ha dado a conocer que se realiza una actividad económicamente productiva con un porcentaje aproximado del 30% correspondiente a los residuos de la industria maderera, que manifiesta así que en esa área se posee una gran disponibilidad del producto.

Tabla 2

*Gestión de residuos en las principales ciudades del país*

	Gestor %	Transporte propio %	Venta %
Cuenca	26.7	8.8	16
Guayaquil	35	5	5
Quito	20.8	10.4	29

Fuente: (MIPRO - PY CDC 006, 2011)

En la investigación efectuada por Chamorro y Parreño (2006) argumentan que se ha observado que el 43.28 % del total de los desperdicios producidos por las industrias son botados, el 26.08 % es quemado, el 10.15 % es regalado para diferentes fines como para el uso en las cocinas, y el 20.49 % es vendido a precios bajos, usualmente es utilizado en galpones de pollos y para actividades de abono de terrenos.

Tabla 3

*Uso de desperdicios*

Desperdicio	Destino	Total (m <sup>3</sup> )	Tipo (%)	Total (%)	Costo (USD)
Aserrín	Madera residual	45.30	50.39	22.47	0.00
	Quema	29.60	32.93	14.68	0.00
	Regala	5.00	5.56	2.48	5.00
	Vende	10.00	11.12	4.96	0.00
Total Aserrín		89.90	100.01	44.60	2.82
Leña	Madera residual	10.09	20.38	5.01	0.00
	Quema	6.62	13.37	3.28	0.00
	Regala	12.39	25.03	6.15	0.00
	Vende	20.41	41.23	10.12	7.10
Total Leña		49.51	100.01	24.56	1.53
Viruta	Madera residual	31.85	51.21	15.80	0.00
	Quema	16.37	26.32	8.12	0.00
	Regala	3.06	4.92	1.52	0.00
	Vende	10.91	17.52	5.41	14.22
Total Viruta		62.19	100.00	30.85	4.23
Total general		201.59	100.00	100.00	2.76

**Fuente:** (Chamorro y Parreño, 2006)

**2.2.3.1 Usos actuales de la biomasa en la industria maderera ecuatoriana.**

MIPRO (2011) manifiesta que aparte de las industrias madereras grande, quienes emplean a la biomasa como materia prima y como fuente energética, no existe registro de un uso definido para este subproducto, lo que provoca una connotación de malestar antes que considerarlo como fuente de ingreso, en especial para las empresas del sector maderero. En las encuestas que se ha realizado se concluye que la eliminación de los residuos implica un gasto en algunos casos, caso contrario otra alternativa es darle un destino contaminante como la incineración del material al aire libre, en la disposición de quebradas y cursos de agua, esto produce un riesgo potencial a la población aledaña.

Por otro lado, se ha tenido una respuesta acerca de la utilización de los residuos en actividades como:

- *Crianza de animales:* Se usa para los pisos de caballerizas y pesebreras, granjas avícolas y porcícolas.
- *Combustible:* En hornos de pan, cocina rural, ladrilleras y para consumo de leña.

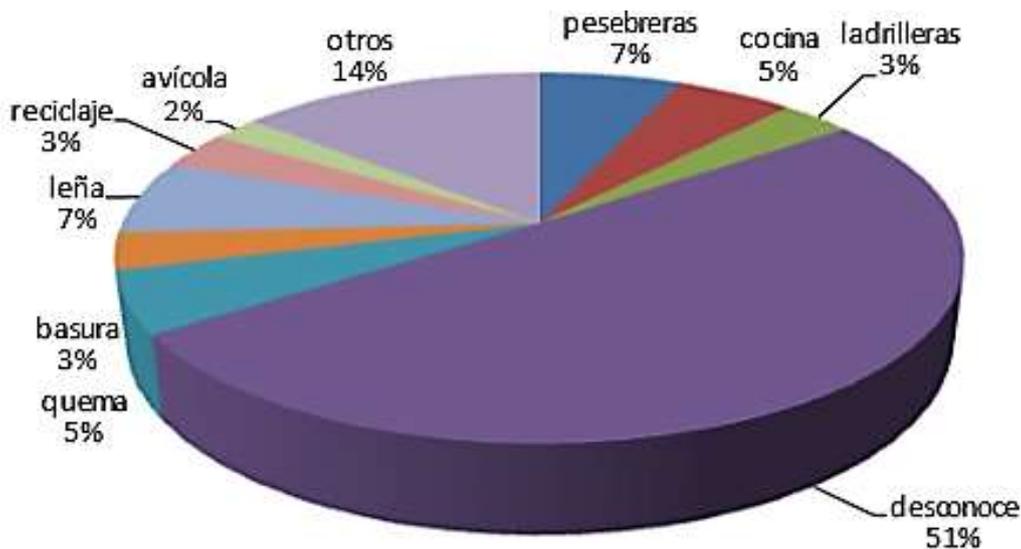


Figura 1. Respuesta de encuestas sobre el uso de biomasa  
Fuente: (MIPRO - PY CDC 006, 2011)

#### 2.2.4 Bioenergía.

Se entiende como bioenergía a aquella energía que se genera a partir de biomasa. Usualmente esta se utiliza para proveer de electricidad y calor. La apertura de diferentes tipos de energías renovables ha sido principalmente por aspectos económicos y ambientales, ya que de alguna forma es una alternativa viable para contrarrestar la dependencia a los combustibles fósiles (Castells, 2000).

#### 2.2.5 Dendroenergía.

Es aquella derivada de cualquier tipo de energía proveniente de los árboles, como es el caso de los dendrocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos; por ejemplo, leña, carbón vegetal, residuos forestales, licor negro, etanol, metanol, aceite pirolítico y la gasificación de éstos generada por la combustión de los dos antes mencionados (FAO, 2008).

#### 2.2.6 Biocombustibles.

Gasca y Salinas (2009) mencionan que el biocombustible es aquel combustible obtenido a partir de biomasa. Si se habla de "biomasa" se puede tener amplias referencias como el tipo de materia orgánica que haya tenido un proceso biológico de organismos recientemente vivos como las plantas, o a su vez puede provenir de desechos metabólicos (estiércol), esto quiere decir que la biomasa comprende productos de origen animal y vegetal.

### **2.2.6.1 Combustibles de madera**

Riegelhaupt y Arias (citado en Carrillo; Forougbakhch; Maginot; y Salas, 2015) manifiestan que, una de las alternativas que se puede emplear para el desarrollo de biocombustibles es la utilización adecuada de los residuos provenientes de la industria maderera. En la actualidad existe una oleada de tecnología disponible para la elaboración de biocombustibles sólidos (briquetas, pallets, etc.) de una manera eficiente y con un costo relativamente bajo, esto permite que se pueda ofrecer combustibles no contaminantes y accesibles al bolsillo de la sociedad. Se debe tener en cuenta que para la obtención de esta materia prima es necesario un manejo apropiado de los bosques y plantaciones forestales.

FAO (citado en Carrillo et al., 2015), ha propuesto varias definiciones para los combustibles que provienen de los recursos forestales.

Se denomina así, a los biocombustibles que provienen de una fuente vegetal leñosa (árboles y arbustos) de manera directa o indirecta, aunque en algunos casos se puede tomar en cuenta al biocombustible derivado de prácticas silviculturales (aclareos, podas, raleos y otros.) y así también de actividades como la extracción y aprovechamiento (raíces, ramas, entre otros.), como también se debe considerar a los subproductos que se obtienen por medio de la industria forestal maderera, ya sea esta una industria primaria o secundaria. Se debe incluir también a la madera que sirve de combustible con fines energéticos. Dentro de los combustibles de madera se ha podido identificar tres grandes grupos. Se debe tener en cuenta que esta agrupación fue basada principalmente por el origen del material.

#### **a. Combustibles de madera directos:**

Material leñoso extraído de áreas boscosas, este puede ser de plantaciones, bosques nativos o áreas donde se tenga la presencia de especies arbóreas y arbustivas. Este material es utilizado principalmente para el consumo directo en donde se queman o se transforman en otro tipo de combustible como el carbón vegetal y pallets.

#### **b. Combustibles de madera indirectos:**

Es el material residual, subproducto de la industria maderera sea esta primaria (aserraderos) y secundaria, estos productos residuales como el aserrín, virutas, astillas, etc. Son combustibles de madera indirectos se queman directamente o se realiza una transformación de otro combustible como el carbón vegetal., pallets, briquetas, etc.

### c. Combustible de madera recuperado:

Se puede decir que es la biomasa leñosa que se deriva de cualquier actividad ajena al sector forestal. Generalmente es el material residual proveniente de construcciones, cajas de, madera, etc. Estos al igual que los anteriores se queman directamente o se transforman en astillas, briquetas, pallets o por último polvo.

#### 2.2.6.2 Caracterización de los residuos de la madera

En el proceso industrial de la madera ha generado considerables cantidades de residuos en una diversidad de denominaciones debido a su tamaño como por ejemplo virutas, lijaduras y aserrín por nombrar las más usuales, lo cual causa varias complicaciones ambientales a causa de su mal manejo. El aserrín es un conjunto de partículas que se genera en el momento de industrialización de la madera, este es un nombre muy general para la denominación de la variedad de partículas que se encuentran durante el proceso. La composición física de este material es de importancia, ya que de este material se determinará el tipo de combustible o subproducto bioenergético que se pueda generar, es por eso que es necesario caracterizar esta biomasa con respecto al tamaño de sus partículas, la humedad, material volátil, etc. Es por eso que es imperante realizar estos tipos de análisis para conocer el tipo de material y que aplicaciones bioenergéticas se puede aplicar (Serret, Giralt, y Quintero, 2016).

Tabla 4

#### *Caracterización de residuos de la madera*

Residuos	Tamaño (m)	Contenido de humedad (%)	Contenido de cenizas (%)
Lijadura	< 0.001	2 – 10	0.1 – 0.5
Viruta	0.001 – 0.012	10 – 20	0.1 – 1.0
Aserrín	0.001 – 0.010	25 – 40	0.5 – 2.0
Corteza desmenuzada	0.001 – 0.100	25 – 75	1.0 – 2.0
Residuos forestales		30 – 60	3.0 – 20

Fuente: (Serret et al., 2016)

#### 2.2.7 Carbón vegetal.

Producto obtenido a partir de la carbonización de la madera en condiciones controladas. En este proceso se controla la entrada de aire para que la madera no llegue a

quemarse, por el contrario, se realiza este proceso para que el material se descomponga químicamente y forme lo que usualmente se llama carbón vegetal (Carrillo et al., 2015).

Aviles (2011) menciona que el carbón vegetal es un residuo sólido que proviene de la carbonización de biomasa, el cual no genera chispas de madera anormal al momento de la combustión.

#### **2.2.7.1 Consumo y producción de carbón vegetal en Ecuador**

La Organización Internacional de Maderas Tropicales y el Ministerio del Ambiente (ITTO y MAE, 2011) han registrado en el país un volumen de 35 045.02 m<sup>3</sup> de carbón movilizado a nivel nacional en el año 2010. Se debe hacer un hincapié en este volumen, ya que no se ha considerado la movilización que ha tenido este producto de manera local o si éste fue utilizado para autoconsumo. La información antes presentada se la ha podido obtener gracias a la Colaboración de 1.405 productores de carbón a nivel nacional.

La producción de carbón se compone principalmente de la transformación del material vegetal lignificado (leña), por medio del proceso de carbonización. En el país este proceso tiene como material vegetal a varias especies, esto dependerá de la zona en donde se encuentre, en este caso las especies que presentan una distribución altitudinal amplia son: Guabo (*Inga spp.*), Tagua (*Phytelephas aequatorialis*), Samán (*Samanea saman*), Mango (*Mangifera spp.*), Guadua (*Guagua spp.*), Algarrobo (*Prosopis juliflora*). Las regiones en donde se ha identificado la incidencia productiva de carbón, es en la costa y amazónica, siendo la provincia de Los Ríos la productora de carbón más importante del país, ya que posee el 60 % de producción a nivel nacional, con un volumen de 21 845.03 m<sup>3</sup> (ITTO y MAE, 2011).

Tabla 5

*Especies Forestales transformadas a carbón a nivel nacional.*

Especies	Volumen extraído (m <sup>3</sup> )
Algarrobo ( <i>Prosopis spp.</i> )	205.21
Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> )	167.40
Eucalipto ( <i>Eucalyptus spp.</i> )	103.00
Guabo ( <i>Inga spp.</i> )	4 110.00
Guasmo ( <i>Guazuma spp.</i> )	174.40
Guayaba ( <i>Psidium guajava</i> )	20.00
Mango ( <i>Mangifera indica</i> )	474.40
Muyuyo ( <i>Cordia spp.</i> )	155.40
Pambil ( <i>Iriarteia deltoidea</i> )	15.00
Samán ( <i>Samanea saman</i> )	2 010.00
Teca ( <i>Tectona grandis</i> )	88.00
Total, nacional	31 412.49

Fuente: (ITTO y MAE, 2011; MAE, 2012)

### 2.2.8 Briquetas.

Martín (1995) considera el termino "briqueta", ya que al hablar de ella se identifica la forma inconfundible con respecto al resto de biocombustibles sólidos, en cambio se ha considerado que confusa porque no se sabe la composición de la misma; ya que este biocombustible puede ser fabricado con diversos materiales.

La briqueta es un combustible que en la mayoría de los casos tiene un origen de material vegetal lignificado, esencialmente este material proviene de los residuos de la industria maderera (aserrín, viruta, etc.), compactadas, aunque en ocasiones éste se mezcla con materia de origen animal (excretas) y otros productos de origen vegetal (paja, hojarasca, etc.). Producto ecológico considerado como un combustible sólido desde tiempos memorables, siendo parte de la sociedad en guerras, negocios y hogares como una alternativa en actividades como la cocción de alimentos hasta la calefacción de casas (Escoto, Gadea y Martinez, 2015).

#### 2.2.8.1 Antecedentes

Escoto et al. (2015). las briquetas en sus inicios eran llamadas carbón vegetal, ésta fue inventada por Ellsworth B. en Pensilvania, como alternativa de combustible calórico para los hogares afectados por la guerra, después de la Primera Guerra Mundial en el año 1921.

Este biocombustible data desde la segunda mitad del siglo XIX. Las briquetas han estado ligadas a periodos de crisis y escasez de combustible. Así, durante la Segunda Guerra Mundial la fabricación de briquetas fue muy desarrollada en el continente europeo y americano, se realizaba éste combustible a partir de madera residual y otros desperdicios, pero su comercialización fue disminuyendo mercado y sustituido por hidrocarburos debido al precio (Ortiz, Piñeiro, Tejada y Vázquez, 2003).

#### **2.2.8.2 Usos**

Chen, Xing y Han (2009). el uso de la briketa es amplio; la limitación que se tenga con ésta dependerá del material base y la tecnología aplicada. La utilización del biocombustible está en función de ciertas características, es por eso que clasifican en briquetas de uso industrial y briquetas de uso no industrial. El uso de aquellas denominadas industriales es como combustible para las industrias debido al fácil almacenamiento y transporte. En cambio, aquellas denominadas de uso no industrial se emplean en hogares como medio de calefacción y cocción de alimentos.

#### **2.2.8.3 Características físicas y químicas**

Las briquetas son un biocombustible que en la actualidad se desconoce su utilidad y en algunos casos no saben de su existencia, a pesar de que desde hace siglos se las ha utilizado a nivel mundial. Las características pueden ser muy variadas, dependerá del objetivo y de la maquinaria que se utilizara para obtener este producto, las briquetas pueden presentar una forma cilíndrica, cuadrada, rectangular, etc. Otra forma de presentación de las briquetas es con un hueco en la parte central de la misma, esta forma en algunos casos puede tener un resultado ventajoso o perjudicial. al igual que el tamaño. Esto dependerá del objetivo (Martín, 1995).

##### **2.2.8.3.1 Color**

En el caso del color se puede deducir que tendrá una estrecha relación con el tipo de material vegetal lignificado (aserrín) y con el tipo de aglutinante (cola blanca, látex, melaza, almidón, etc.) que se utilice para la elaboración de la briketa, en otras palabras, el color del producto lo proporcionará los residuos de la especie con la que se desee elaborar este combustible. Se determina que la especie vegetal tiene mayor incidencia en el color, ya que

en algunos casos los aglutinantes. Cabe recalcar que la o las especies a utilizar dependerán del objetivo de elaboración de la briqueta (Martín, 1995).

#### 2.2.8.3.2 *Densidad*

Martín (1995). Para determinar la densidad de la briqueta, primero se debe tener en cuenta que esta está constituida por biomasa de baja densidad. Es por esto que es necesario compactarla para reducir el espacio entre la partícula que la conforman. En esta característica se puede argumentar que la densidad que poseerá la briqueta dependerá de los materiales que se utilice, en este caso el tipo de aglutinante tendrá mucho protagonismo para definir esta característica, ya que se deberá tener en cuenta la composición del aglutinante a utilizar antes de proceder con el proceso de briquetación. Se debe tener en cuenta las proporciones de aserrín – aglutinante, a utilizar; ya que las proporciones empleadas no pueden ser las más idóneas y resulte un producto sin reacción a la combustión.

#### 2.2.8.3.3 *Humedad*

Otra característica que es importante analizar es la humedad, ya que de esta dependerá si después se puede aplicar la reacción química de combustión, este factor variará según el método de elaboración del producto (Martín, 1995).

Según Carrillo et al. (2015). la determinación del contenido de humedad será mediante un proceso de secado en estufa a una temperatura de 105 °C hasta alcanzar un peso constante, esto se basa en las normas ISO/FDIS 18134 – 1 a 3. La ecuación para determinar la humedad de un biocombustible sólido es la siguiente:

$$H (\%) = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso humedo}} \times 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

**Fuente:** Carrillo et al. (2015)

#### 2.2.8.3.4 *Poder calorífico*

Por último, se debe analizar el poder calorífico de la briqueta, esta característica representa la cantidad de calor recuperado del producto al momento de la combustión,

enfriados hasta su temperatura inicial; el producto y el agente que ayuda a la ignición (aire). Expresado habitualmente en unidades kJ/kg. Para la determinación de esta característica en la briqueta es necesario conocer la composición de este, es decir que el resultado alcanzado estará en función de los materiales utilizados para su elaboración (Martín, 1995).

Según Carrillo et al. (2015). la norma para determinar el poder calorífico usualmente es ISO/CD 18125/ EN 14918, ésta emplea una bomba de Malher en donde, se utiliza un recipiente de hacer inoxidable, que permita colocar dos electrodos para el paso de corriente eléctrica en su interior, así ésta energía pueda pasar por un hilo fusible en contacto con una pastilla de 0.001 kg aproximadamente por efecto de ensayo, después de esto se procede a poner una cantidad similar con la biomasa a analizar. Dicha muestra es ubicada en una capsula de combustión suspendida por medio de un soporte a la tapa de la bomba. Por consiguiente, se aplica una presión entre 292.92 – 440. 87 psi. La bomba es colocada en una cubeta de agua, ésta es depositada en el calorímetro aislado del exterior por medio de una camisa de agua para evitar pérdidas de calor. Al momento de llegar la corriente al hilo, este se funde, quema el material de ensayo y otorga al mismo el calor de combustión adquirido de forma que se pueda medir el incremento de temperatura experimentado por el material.

Tabla 6

*Resumen de las propiedades de los principales biocombustibles*

Combustible	PCI (Poder calorífico inferior)		Humedad (%)
	(kJ/ kg)	(kWh/kg)	
Pallets	17 000 – 19 000	4.7 – 5.3	< 15
Astillas	10 000 – 16 000	2.8 – 4.4	< 40
Leña	14 400 – 16 200	4.0 – 4.5	< 20
Briquetas	17 000 – 19 000	4.7 – 5.3	< 20
Hueso de aceituna	18 000 – 19 000	5.0 – 5.3	7 – 12
Cascara de frutos secos	16 000 – 19 000	4.4 – 5.3	8 – 15

**Fuente:** (Comisión mixta de la biomasa forestal de Navarra, 2015)

#### 2.2.8.4 Tipos de procesos de fabricación de briquetas

Los procesos de fabricación que se aplicarán a las briquetas son diversos. Esto dependerá del volumen de producción de éste, es por eso que a continuación se presentará una clasificación definida por el tipo de tecnología a utilizar.

Fonseca y Tierra (2011) manifiestan la siguiente clasificación.

**a. Artesanal:**

Este es el tipo de tecnología en donde no tiene la necesidad de la intervención de equipos sofisticados, que es que esta clasificación no es adecuada para una producción en masa. El proceso es muy sencillo, lo importante es elaborar y obtener de la briqueta. Se conoce que con este método de elaboración no se espera el producto de una forma continua y con respecto a los parámetros que se pueden determinar son pocos como es el caso del tiempo y la forma de secado.

En la elaboración de este producto se debe ejercer una fuerza de presión, y para este método se conoce que la compactación es baja, esta puede tener un promedio de hasta 725.19 psi. Esto se debe a que para elaborar una briqueta con este método se necesita una cantidad alta de aglutinante que ayuda a la cohesión entre partículas del material.

**b. Semi – industrial:**

La diferencia esencial entre tecnologías para la elaboración de briquetas es la presión que se ejerce en la compactación de la mezcla (aserrín – aglutinante), esto hace que se pueda controlar más variables que determinen la calidad del producto.

La presión que se ejerce en este método es más alta con un rango promedio de 725.19 – 14.503.80 psi. Se debe tener en cuenta que este proceso tiende a ser continuo con una producción mediana. En este proceso se manifiesta que no es necesario grandes cantidades de aglutinante, ya que por la presión que se ejerce el material tiende a un auto – aglomeración, pero esto conlleva a que se tenga que secar la materia prima antes del proceso de briquetación. El aspecto más importante por considerar es la humedad del material, ya que debe estar en un rango promedio de 15 – 20 %.

**c. Industrial:**

Las máquinas en esta categoría son completamente sofisticadas y de alta precisión de compactación, esto quiere decir que utilizan una presión mayor a 14 503.80 psi. Se debe tener en cuenta que las exigencias con respecto al material son altas. Para este caso la humedad, debe estar en un rango promedio de 5 – 15 %, para considerarla óptima para el

proceso de briquetación, además que el tamaño de la partícula debe ser menos a 0.015 m; en este proceso debido a la presión ejercida a la mezcla, esta se auto – aglomera, esto implica que no requiera de aglomerante debido al aumento de temperatura que se aplica durante el proceso. Este fenómeno se produce ya que el material a comprimir es un material lignocelulósico y por el aumento de temperatura aplicada durante el proceso de briquetación hace que la lignina sirva de aglutinante y así no sea necesario invertir en otras sustancias aglutinantes.

### 2.2.9 Aglutinante.

Se puede decir que un aglutinante es una sustancia que ayuda a un material sólido a cohesionarse. Esta sustancia se puede usar en forma de solución o de una forma seca, esto dependerá del objetivo de uso.

#### 2.2.9.1 Clasificación de aglutinante.

Tabla 7

*Clasificación de aglutinantes*

Combustibles	No combustibles	Orgánicos	No orgánicos
Algas	Arcilla	Albuminatos	Alumbre
Almidones	Barro	Alcoholes	Arcillas
Alquitrán	Cal	Almidones	Bentonita
Estiércol animal	Cemento	Alquitranes	Borato de sodio
Gelatina	Limo	Azucares	Cal – cal hidratada
Manteca		Breas	Cemento
Papel		Caseína	Cloruro de magnesio
Restos de pescado		Cola	Escayola
Resinas naturales y sintéticas		Dextrina	Silicato de sodio
		Gelatinas	Sílice
		Humatos	Yodo
		Ligninas - lignosulfonatos	
		Melazas	

**Fuente:** (Espinosa, 2016)

En el presente estudio se utilizó dos tipos de aglutinantes combustibles y orgánicos. Estas son resina sintética (cola blanca) y melaza, considerados también como las más utilizados en la elaboración de briquetas.

## **2.2.10 Caracterización del material.**

### **2.2.10.1 Laurel (*Cordia alliodora*).**

#### *2.2.10.1.1 Habitación natural.*

Según ITTO (2019), la especie posee una versatilidad en condiciones ecológicas que van desde ecosistemas muy húmedos hasta estacionales secos. El rango de distribución se extiende desde tierras bajas con escasas de materia orgánica hasta tierras altas montañosas con gran cantidad de material orgánico, sobrevive bajo sombra ligera y en condiciones nutritivas adversas como es el caso de áreas degradadas, abandonadas o usadas en algún momento para pastizales o actividades agrícolas. No obstante, para obtener un crecimiento vigoroso es necesario tener plena exposición y estar ubicado en un suelo fértil.

En el Ecuador, es una especie nativa encontrada principalmente en los bosques primarios y secundarios de la región Litoral y Amazónica. Se encuentran entre 50 – 1 000 m.s.n.m. en altitud, 2 000 – 4 000 mm de precipitación y con un rango de temperatura entre 20 – 27 °C. Se puede decir que esta especie posee un óptimo desarrollo en suelos profundos, franco arenosos y franco arcillosos con un buen drenaje y ricos en materia orgánica, pero es importante mencionar que soporta además suelos alcalinos, neutros y ligeramente ácidos; se comporta de mejor manera en suelos que posee un pH que oscila entre 4.5 – 6.5 (Ecuador Forestal, 2012).

#### *2.2.10.1.2 Distribución natural.*

Laurel (*Cordia alliodora*), es la especie más dispersa de su género. La distribución natural se presenta desde el norte de México, a través de América Central hasta llegar al sur del continente por países como Paraguay, el norte de Argentina y el sur de Brasil, además es importante mencionar que esta especie aparece en la mayoría de las islas del Caribe (ITTO, 2019).

#### *2.2.10.1.3 Usos maderables.*

Según ITTO (2019) manifiesta que, esta especie usualmente es utilizada en esculturas, construcción en interiores y exteriores, mueblería fina, pisos, puertas, artículos de oficina, artículos deportivos, contrachapados, chapas decorativas e instrumentos musicales o a su vez siendo como parte de estos.

La madera de esta especie posee alta demanda en industrias de construcción y enchapes decorativos, artesanías y artesanías del mueble, esto se debe a su color, brillo y veteado. Principalmente se usa en construcción pesada, liviana, naval, vigas, columnas, cubiertas y entablados, además es empleada para mueblería, carpintería de interiores y ebanistería, así mismo es utilizada para la fabricación de instrumentos de precisión, científicos y musicales (Ecuador Forestal, 2012).

MIPRO - CDC 007 (2011). considera que Laurel (*Cordia alliodora*), es aquella especie que presenta una alta demanda como madera aserrada a nivel nacional con un 51 % de consumo, posicionándose así en el primer lugar dentro de todas las especies analizadas dentro de este estudio, además como lo expone Chamorro y Parreño (2006), que la especie Laurel (*Cordia alliodora*) presenta un consumo significativo en la provincia de Imbabura con aproximadamente 627.91 m<sup>3</sup>; la procedencia de esta casi en su totalidad es de las provincias de Napo, Orellana y Sucumbíos.

#### 2.2.10.1.4 Usos no maderables.

La versatilidad de esta especie con respecto a los usos no maderables, ya que se puede tratar diferentes anomalías, como es el caso de la corteza; esta es utilizada comúnmente para tratar la hidropesía, quemaduras, además que sirve como sustancia emética y diurética del mismo modo, el alcanfor es una sustancia que se puede encontrar en sus hojas al igual que las flores en cocción sirve como emoliente, y la fibra de sus semillas es utilizada industrialmente como aislante térmico y acústico en frigoríficos y aviones. Es importante mencionar que está considerada como especie melífera y es utilizada en sistemas agroforestales debido a la sombra que esta brinda (ITTO, 2019).

#### 2.2.10.1.5 Existencia de plantaciones.

En el continente americano se ha establecido plantaciones forestales desde el siglo pasado como en Surinam en el año de 1967. En la actualidad la especie ha empezado a tener un importante papel en los programas de reforestación en diferentes países a nivel mundial, como es el caso de: Brasil, Congo, Costa Rica, Costa de Marfil, Ecuador, Puerto Rico, Sierra Leona, Trinidad, Uganda y Venezuela, en donde se ha empleado plantaciones

permanentes, lo que implica un asocio con especies perennes y en temporada con algunas gramíneas (ITTO, 2019).

### **2.2.10.2 Análisis granulométrico.**

Este análisis esencialmente se lo realiza para caracterizar las partículas del suelo, pero también es utilizado para analizar otros materiales sólidos como en este caso el aserrín. Proceso mecánico que consiste en la separación de las partículas que conforman al material en diferentes tamaños por medio del tamizado, el número de malla utilizado en cada tamiz irá en un orden descendente. La cantidad que se pueda recolectar dentro de cada tamiz será la proporción de tamaño de partícula dentro de la muestra.

Para el análisis granulométrico en este estudio se realizó en base al estudio realizado por:

Cea (2003), explica que la muestra de aserrín se tendrá que secar por al menos dos horas en una estufa con una temperatura de 120 °C, esto previo al tamizado.

De ahí se procedió a tamizar la muestra. Se ha empleado un juego de mallas con un grosor de: 0.005 m; 0.0034 m; 0.0028 m; 0.002 m; 0.0014 m; 0.0004 m; 0.00025 m y por último el fondo 0 (cero). El tiempo para tamizar será de un periodo aproximado de entre 10 a 15 minutos.

El pesó el material encontrado en cada malla, además se debe incluir el material recolectado en el fondo. Se procedió a calcular las proporciones según el peso de la muestra tamizada.

### **2.2.10.3 Ensayo de combustión.**

Samamé (2017) explica. Para el cálculo del poder calorífico se puede aplicar una prueba llamada "La prueba de ebullición de agua". Esta consiste en la comparación de 1 l de agua y 1 kg de briquetas, para la obtención del poder calorífico se medirá el tiempo que el líquido necesita para llegar a su punto de ebullición. Cabe mencionar que el autor implementa la fórmula de James Prescott Joule, la cual determina la cantidad de calor que emana un objeto determinado, y se presenta a continuación:

$$Q = m \times C_e \times \Delta t \quad (\text{kJ}) \quad \text{Ec. (2)}$$

**Fuente:** (Samamé, 2017)

Donde:

Q = La cantidad de calor. (ganado o perdido).

m = Masa de cuerpo en estudio. En este caso briquetas.

C<sub>e</sub>= Calor específico de material que coacciona. En este caso el agua (4.18 kJ/kg °C).

ΔT= Variación de temperatura hasta llegar al punto de ebullición.

Cajina, López, Molina, Oliva, Ramírez y Reyes (2016). comentan que se debe determinar diferentes variables complementarias para el cálculo del poder calorífico. Es por eso que se ha tomado en cuenta a este autor que menciona las siguientes variables:

- *Tiempo de ebullición*: Consiste en calcular el tiempo que tarda el agua en llegar al punto de ebullición.
- *Velocidad de combustión*: Se determina por la cantidad necesaria de briqueta consumida. Esto para lograr que el agua llegue a su punto de ebullición.
- *Eficiencia térmica*: Transferencia de energía (calor) entre combustible (briqueta) – olla.
- *Equivalente de combustible consumido*: Cantidad de combustible utilizado en la prueba.

Así también, Curo, Gallo, Llantoy, Quispe y Valderrama (2007) manifiestan que aparte del cálculo del poder calorífico, existen otros aspectos que complementan al ensayo de combustión, estos son:

- *Generación de cenizas*: Se denomina así a la cantidad de ceniza que cada prototipo de briqueta produce durante el periodo de combustión. Se analiza mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Peso del residuo de la muestra}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

**Fuente:** (Curo et al., 2007)

- *Variación de temperatura en función del tiempo de combustión de la briqueta*: Se considera así los cambios de temperatura que presente el combustible hasta su desintegración.

### **2.2.11 Costos de producción.**

FAO (1998). los costos de producción, también llamados costos de operación. Son todos los gastos necesarios para desarrollar un proyecto, línea de pensamiento o equipo en funcionamiento. Los costos de producción pueden dividirse en dos grandes grupos: costos directos variables; son aquellos costos proporcionales a la producción y costos fijos; son aquellos independientes a la producción.

#### **a. Costos variables**

- Materia prima
- Mano de obra directa
- Envases

#### **b. Costos fijos**

- Depreciación

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Ubicación del sitio**

##### **3.1.1 Política.**

La presente investigación se desarrolló en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquia La Dolorosa del Priorato, en el aserradero de propiedad de la señora Alicia Pavón además, se debe mencionar que las diferentes actividades dentro de cada ensayo fueron analizadas en el laboratorio de Anatomía de la Madera y Xiloteca ubicada en la granja experimental Yuyucocha, parroquia Caranqui, el laboratorio de suelos del Gobierno Provincial de Imbabura y el laboratorio de investigación ambiental "LAVINAM" en el campus "Hospital Antiguo" ubicados en la parroquia El Sagrario.

##### **3.1.2 Geográfica.**

El aserradero de propiedad de la señora Alicia Pavón, se encuentra a N 0° 23' 17.72" de latitud y O 78° 06' 28.38" de longitud, ubicada en la Vía Troncal de la Sierra, parroquia La Dolorosa del Priorato; la granja experimental Yuyucocha, se localiza a N 0° 19' 40.02" de latitud y O 78° 07' 51.75" de longitud, situada en Av. José Espinoza de los Monteros, parroquia Caranquí; el laboratorio de suelos del Gobierno Provincial de Imbabura, se halla a N 0° 21' 18.99" de latitud y O 78° 07' 16.66" de longitud, ubicada en la calle José Mejía Lequerica, parroquia El Sagrario; el laboratorio de investigación ambiental "LABINAM", se encuentra a N 0° 20' 48.43" de latitud y O 78° 06' 50.70" de longitud, ubicada en la calle Juan Montalvo, parroquia El Sagrario; situados a los 2 208 m.s.n.m. de altitud.

##### **3.1.3 Límites.**

El aserradero se encuentra en la parroquia La Dolorosa del Priorato y sus límites son: al norte, Primax La Dolorosa Atimasa; al sur, limita con el Sub Centro de Salud de Priorato; al este, se encuentra la Asociación La Dolorosita y al oeste, limita con la Vía Troncal de la Sierra.

### 3.2 Datos climáticos

La temperatura promedio en el cantón es de 20 – 25 ° C, como temperatura máxima y 7 – 11 °C como mínima. Los vientos en el cantón tienen una velocidad aproximada de 3.5 m/s como mínimos y como vientos máximos aquellos con una velocidad de 7 m/s. La precipitación en el cantón es muy variada, ya que entre los meses de junio y septiembre es considerado como época de sequía, pero usualmente se tiene precipitaciones entre 1 000 – 1 400 mm Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal San Miguel de Ibarra (GAD Ibarra, 2015).

### 3.3 Materiales, equipos e insumos

Tabla 8

*Descripción de materiales, equipos e instrumentos*

Materiales	Equipos e instrumentos	Insumos
Estanterías	Balanza analítica	Aserrín
Fundas para recolección de material vegetal	Bomba calorimétrica	Melaza
Libreta de campo	Calorímetro	Resina sintética (cola blanca)
Marcadores y bolígrafos	Isoperibólico AC500	
Recipientes de plástico	Cámara fotográfica	
	Estufa MEMMERT TV4QU1	
	Gata Hidráulica	
	Máquina briqueteadora (artesanal)	
	Pirómetro	
	Pulverizador "Fritsch Pulversiette 19"	
	Tamiz	
	Termómetro	

### 3.4 METODOLOGÍA

Para elaboración de las briquetas se realizó por medio de las diferentes proporciones propuestas, se compactó mediante la aplicación de presión sobre esta, hasta que quede con una forma definida.

### **3.4.1 Determinar la mezcla óptima para la elaboración de cuatro prototipos de briquetas.**

#### **3.4.1.1 *Recolección de material vegetal.***

Aproximadamente se recolectó 135 kg. de material vegetal "aserrín"; la especie que se utilizó para esta investigación es Laurel (*Cordia alliodora*) ya que esta es la especie con la que trabajan en el aserradero seleccionado.

#### **3.4.1.2 *Caracterización del material.***

Para la caracterización del material fue necesario realizar un análisis granulométrico, para lo que se determinó la proporción de partículas del material principal para la elaboración de briquetas, el aserrín. Se basó en la metodología de Cea (2003), que describe el procedimiento para la obtención del tamaño de las partículas por medio de un tamizaje en diferentes tamaños de mallas con un grosor de: 0.00236 m; 0.00200 m; 0.00118 m; 0.00085 m; 0.00060 m; 0.000425 m; 0.00025 mm y por último el fondo 0 (cero).

- La muestra del material que se utilizó fue de 0.7 kg.
- Se procedió a secar en una estufa MEMMERT TV4QU1 por un tiempo determinado de 2 horas con una temperatura de 120 °C. El resultado del peso en seco fue de 0.647 kg, mismo peso que se determinó al iniciar el análisis.
- Se tamizó el material por un periodo de tiempo de 15 – 20 minutos; el número de malla con el que se empezó el análisis fue 0.00236 m, ya que el material vegetal empleado en el estudio tuvo presencia de partículas más finas
- Se pudo determinar el peso obtenido en cada tamiz y se procedió a proporcionar los mismos.

#### **3.4.1.3 *Proporciones de la mezcla.***

En esta actividad se ha determinado diferentes proporciones expuestas a continuación:

Tabla 9

*Proporciones en porcentaje de mezcla para elaboración de briquetas*

Material	Proporción 1	Proporción 2	Proporción 3	Proporción 4
Aserrín	50	60	70	80
Aglomerante	50	40	30	20

Es preciso indicar que en la literatura analizada no existe una proporción óptima para la elaboración de briquetas. Cabe recalcar que, en los aglutinantes, se utilizó el agua como solvente.

**3.4.1.4 Prensado de la mezcla.**

Se empleó una tecnología de tipo artesanal para la elaboración de briquetas, la cual consiste en aplicar una fuerza de presión sobre la mezcla hasta que presente una forma compacta. La metodología a utilizar es basada en Vera (2014). se debe mencionar que se modificó el material de los tubos empleados en este estudio debido a que el equipo utilizado posee una presión de 446.18 psi.

- Se utilizó moldes metálicos redondos.
- Se aplicó una presión por medio de una gata hidráulica de 446.18 psi.
- Se desmoldó y se procedió a ubicar a las briquetas en un área determinada para el proceso de secado.

**3.4.1.5 Secado de la briqueta.**

Se procedió a secar las briquetas bajo dos tipos de secado; al aire y por medio de una estufa de marca MEMMERT TV4QU. En este caso se debe mencionar que en el estudio el tipo de secado al ambiente se realizó bajo cubierta con aireación, debido a la ubicación de esta, la cual poseía un arbolado en su cercanía y por las condiciones ambientales no permitía el establecimiento de las briquetas en la parte exterior del lugar en donde se procedió a la fabricación. En cambio, para el tipo de secado inducido se empleó una temperatura de 120 °C, esto se debe a que Krizan (2007) explica que la temperatura idónea para elaborar briquetas es 120 °C, ya que permite la plastificación de la lignina.

Con la información meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2018) correspondiente al periodo 2012 – 2017. Se estimó el número de días de

precipitación, humedad relativa y temperatura promedio para el mes de octubre del 2018, mediante la aplicación de una regresión lineal por medio de una transformación de datos de las variables antes mencionadas.

Después se realizó un análisis comparativo con respecto al contenido de humedad y el tiempo de secado, esta comparación se realizó por medio de una prueba de t Student al 5 % de probabilidad.

#### **3.4.1.6 Cálculo de densidad de briqueta.**

Se calculó por medio de la relación existente entre la masa de la briqueta y su volumen.

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \text{ Ec. (4)}$$

#### **3.4.1.7 Etapa de pre – evaluación.**

Se realizó esta evaluación previa a la combustión, para la determinación el prototipo de briqueta idónea en función del comportamiento estructural al momento de manipulación en el proceso de fabricación y el transporte cuando se encuentren secos, para ello se empleó la metodología empleada por Vera (2014), quien considera la siguiente clasificación:

##### **a. Excelente:**

Los que se encuentren estables al momento de manipulación en el proceso de fabricación, con una consistencia dura y medianamente frágil cuando este se encuentre seco.

##### **b. Regular:**

Cuando la forma del prototipo es medianamente estable y no tan manipulable al momento de fabricación. Cuando este esté seco presenta una consistencia dura, pero paulatinamente se empieza a desmoronar y al momento de manipular se rompe con facilidad.

##### **c. Malo:**

Cuando su estructura es inestable, de difícil manipulación al momento de la fabricación. Al momento de estar seca este se desmorona con facilidad y de fácil ruptura.

Así también, se debe considerar que para esta etapa de evaluación se toma en cuenta el encendido del objeto de estudio, es por eso que para este parámetro de evaluación se tomó en cuenta lo expuesto Cajina et al. (2016), quien manifiesta lo siguiente:

- *Enciende:* Se considera así al prototipo que después de encenderlas por medio de una fuente externa permanecen encendidas hasta consumirse.
- *No enciende:* Se considera así a los prototipos que después de encenderlas no presentan características de encendido o a su vez enciendan, pero al instante se apaguen.

Alarcón (2017), propone un procedimiento para determinar el tiempo de encendido basado en la norma técnica colombiana NTC 2060 que manifiesta lo siguiente:

- Precalentar la estufa a 20 °C mediante la combustión de tres iniciadores (velas) durante un periodo de cinco minutos.
- Emplear estos iniciadores en diferentes parrillas, estas deben formar un triángulo con las briquetas; tener en cuenta que la llama debe estar en el centro de la formación triangular.
- Después de transcurrido un periodo de entre 20 – 25 min, se procede a retirar los iniciadores
- Observar si las briquetas permanecen encendidas después de 10 min de haber retirado el iniciador.
- Contabilizar el tiempo de combustión total de la briqueta bajo este ensayo.

Así también, para la evaluación de las características físicas de los objetos de estudio se planteó una calificación numérica. A continuación, los valores propuestos para la calificación en esta evaluación.

Tabla 10

*Descripción de calificación cuantitativa.*

	Calificación
Excelente	5
Regular	3
Malo	1

### 3.4.1.8 Factores en estudio.

Factor A: Tipo de aglutinante

Factor B: Proporción de aglutinante

Factor C: Tipo de Secado

### 3.4.1.9 Tratamiento.

En la tabla 11 se observa que los tratamientos para la determinación de la mezcla óptima son 16, debido a la interacción entre los diferentes factores como son: factor A (Tipo de aglutinante), factor B (Proporción de aglutinante) y factor C (Tipo de secado).

Tabla 11

#### *Descripción del ensayo de aglutinante*

Tratamiento	Factor A	Factor B	Factor C	Código
T1	G (cola blanca)	P1 (50% aserrín, 50% aglutinante)	A (secado al aire)	G – P1 – A
T2	G (cola blanca)	P2 (60% aserrín, 40% aglutinante)	A (secado al aire)	G – P2 – A
T3	G (cola blanca)	P3 (70% aserrín, 30% aglutinante)	A (secado al aire)	G – P3 – A
T4	G (cola blanca)	P4 (80% aserrín, 20% aglutinante)	A (secado al aire)	G – P4 – A
T5	M (melaza)	P1 (50% aserrín, 50% aglutinante)	A (secado al aire)	M – P1 – A
T6	M (melaza)	P2 (60% aserrín, 40% aglutinante)	A (secado al aire)	M – P2 – A
T7	M (melaza)	P3 (70% aserrín, 30% aglutinante)	A (secado al aire)	M – P3 – A
T8	M (melaza)	P4 (80% aserrín, 20% aglutinante)	A (secado al aire)	M – P4 – A
T9	G (cola blanca)	P1 (50% aserrín, 50% aglutinante)	H (secado al horno)	G – P1 – H
T10	G (cola blanca)	P2 (60% aserrín, 40% aglutinante)	H (secado al horno)	G – P2 – H
T11	G (cola blanca)	P3 (70% aserrín, 30% aglutinante)	H (secado al horno)	G – P3 – H
T12	G (cola blanca)	P4 (80% aserrín, 20% aglutinante)	H (secado al horno)	G – P4 – H
T13	M (melaza)	P1 (50% aserrín, 50% aglutinante)	H (secado al horno)	M – P1 – H
T14	M (melaza)	P2 (60% aserrín, 40% aglutinante)	H (secado al horno)	M – P2 – H
T15	M (melaza)	P3 (70% aserrín, 30% aglutinante)	H (secado al horno)	M – P3 – H
T16	M (melaza)	P4 (80% aserrín, 20% aglutinante)	H (secado al horno)	M – P4 – H

### 3.4.1.10 Análisis estadístico.

En la presente investigación se empleó el diseño irrestricto al azar en arreglo factorial A x B x C, para ambos casos propuestos. Los factores que intervienen en el ensayo son: Factor A (Tipo de aglutinante), Factor B (Proporción de aglutinante) y Factor C (Tipo de secado).

### 3.4.1.10.1 Análisis de varianza.

Tabla 12

Esquema del ADEVA para ensayo de aglutinante

FV	gl.	
Tratamientos	$t - 1$	$16 - 1 = 15$
Factor A: tipo de aglutinante	$a - 1$	$2 - 1 = 1$
Factor B: proporción de aglutinante	$p - 1$	$4 - 1 = 3$
Factor C: Tipo de secado	$s - 1$	$2 - 1 = 1$
Iteración A x B	$(a - 1)(p - 1)$	$(2 - 1)(4 - 1) = 3$
Iteración B x C	$(p - 1)(s - 1)$	$(4 - 1)(2 - 1) = 3$
Iteración A x C	$(a - 1)(s - 1)$	$(2 - 1)(2 - 1) = 1$
Error	$t(n - 1)$	$16(3 - 1) = 32$
Total	$tn - 1$	$(16 \times 3) - 1 = 47$

Fuente: Ing. María Vizcaíno – Biometrista

### 3.4.1.10.2 Prueba de Tukey.

Para comparar los aglutinantes se empleó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad estadística.

## 3.4.2 Evaluar los parámetros de combustión de los prototipos de briquetas.

### 3.4.2.1 Análisis de la combustión de las briquetas.

Para el cálculo del poder calorífico de las briquetas, fue necesario utilizar una prueba de combustión. Se aplicó la prueba llamada "La prueba de ebullición de agua" que aplicó Samamé (2017). Consiste en la comparación de 1 l de agua y 1 kg de briquetas y medir el tiempo que el líquido necesita para llegar a su punto de ebullición, además se empleó la fórmula de James Prescott Joule, la cual determina la cantidad de calor que emana un objeto determinado.

$$Q = m \times C_e \times \Delta t \quad (\text{kJ}) \quad \text{Ec. (2)}$$

Fuente: (Samamé, 2017)

Donde:

Q = La cantidad de calor. (ganado o perdido).

m = Masa de cuerpo en estudio. En este caso briquetas.

$C_e$  = Calor específico de material que coacciona. En este caso el agua ( $4.18 \text{ kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$ ).

$\Delta T$  = Variación de temperatura hasta llegar al punto de ebullición.

Según Cajina et al. (2016). las variables fundamentales para analizar en el estudio fueron:

- *Tiempo de ebullición:* Consiste en calcular el tiempo que tarda el agua en llegar al punto de ebullición.
- *Velocidad de combustión:* Se determina por la cantidad necesaria de briqueta consumida por minuto. Esto para lograr que el agua llegue a su punto de ebullición.
- *Eficiencia térmica:* Transferencia de energía (calor) entre combustible (briqueta) – olla. Para la determinación de este parámetro se empleó la fórmula presentada por Jiménez (2016), en donde expone lo siguiente:

$$\text{Eficiencia Térmica} = \frac{\text{Calor del líquido (agua)}}{\text{Calor de cocción (combustible)}} \quad \text{Ec. (5)}$$

- *Equivalente de combustible consumido:* Cantidad de combustible utilizado en la prueba.

Como complemento a la prueba antes mencionada se comparó el ensayo de combustión mediante el uso del calorímetro isoperibólico AC500.

Para el análisis realizado en el equipo se consideró la metodología propuesta por Valencia, (2018), quien expone lo siguiente:

- Previamente, pulverizar el material para obtener un material homogéneo en el pulverizador "Fritsch Pulverisette 19"; se utilizó la malla 0.0005 m.
- Tomar aproximadamente 0.0005 kg de muestra pulverizada.
- Colocar el material dentro de un crisol y poner encima del material un alambre de indicción.
- Introducir el crisol dentro de la bomba calorimétrica, cerrar y aplicar presión; en este caso lo ideal es 420 psi.
- Encajar la bomba dentro del calorímetro isoperibólico AC500, tener en cuenta que este debe estar lleno de agua destilada.
- Programar el software para determinar el poder calorífico del material.

- Limpiar la bomba calorimétrica y las partes que se encuentran dentro del mismo para un nuevo análisis.

Para complementar el análisis de combustión de los prototipos de briqueta se aplicó la metodología empleada por Curo et al. (2007), en donde considera los aspectos:

- *Generación de cenizas*: Se considera así a la cantidad de ceniza que cada prototipo de briqueta produce durante el periodo de combustión, se implementó la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Peso del residuo de la muestra}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

**Fuente:** (Curo et al., 2007)

- *Variación de temperatura en función del tiempo de combustión de la briqueta*: Se analizó los cambios de temperatura que presente el combustible hasta su desintegración.

### 3.4.2.2 Factor de estudio.

Factor A: Tipo de aglutinante

### 3.4.2.3 Tratamiento.

En la tabla 13 se observa que los tratamientos empleados en los análisis de combustión realizados son cuatro debido a la interacción en el factor A (Tipo de aglutinante).

Tabla 13

*Descripción del ensayo de combustión*

Tratamiento	Factor A	Código
T0	Carbón	C1
T1	G1 (cola blanca; 80% aserrín, 20% aglutinante)	G1
T2	G2 (cola blanca; 70% aserrín, 30% aglutinante)	G2
T3	M1 (melaza; 80% aserrín, 20% aglutinante)	M1
T4	M2 (melaza; 70% aserrín, 30% aglutinante)	M2

Es importante mencionar que en los resultados obtenidos se observó codificaciones diferentes a las expresadas con anterioridad; esto se debe a que inicialmente se

planteó un diseño experimental diferente, en donde se tomaba en cuenta la implementación de agujeros en cada tratamiento, pero al ver que no todos soportaron este agregado se determinó adecuar otro diseño experimental más acorde con las condiciones planteadas en campo.

#### 3.4.2.4 *Análisis estadístico.*

Se empleó el diseño irrestricto al azar para ambos análisis. El factor que interviene en los ensayos de combustión es: Factor A (Tipo de aglutinante). Cabe mencionar que el tratamiento testigo fue el carbón vegetal en los dos tipos de análisis realizados.

##### 3.4.2.4.1 *Análisis de varianza.*

Tabla 14

*Esquema del ADEVA para ensayo de combustión*

FV	gl.	
Tratamientos	$t - 1$	$4 - 1 = 3$
Error	$t (n - 1)$	$4 (4 - 1) = 12$
Total	$tn - 1$	$(4 \times 4) - 1 = 15$

**Fuente:** Ing. María Vizcaíno – Biométrista

##### 3.4.2.4.2 *Prueba de Tukey.*

Para el análisis de combustión se empleó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad estadística.

##### 3.4.2.4.3 *Análisis de correlación.*

Se realizó el análisis de correlación en las todas las variables de composición de la briqueta.

##### 3.4.2.4.4 *Análisis de regresión.*

Se realizó el análisis de regresión en las variables de composición proporcional de la briqueta y el tiempo de combustión de esta. El tipo de regresión utilizado fue polinómico de segundo y tercer orden; el modelo estadístico de la regresión polinómica empleada fue  $y = Ax^2 + Bx + C$ , para el caso de regresión de segundo orden y para la regresión de tercer orden fue  $y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$ .

### 3.4.3 Determinar el costo de producción de los cuatro prototipos de briquetas.

#### 3.4.3.1 Determinación de costos de elaboración de briquetas.

Para la determinación de costos de producción se basó en lo expuesto por FAO (1998), donde explica lo siguiente.

##### 3.4.3.1.1 Costos variables.

- *Materia prima:* En el estudio se utilizó 135 kg de aserrín de la especie Laurel (*Cordia alliodora*) para la elaboración de diferentes prototipos de briquetas, además dentro de la materia prima esencial para la elaboración de briquetas se dé aglutinantes, en este caso se adquirió estos aglutinantes por canecas (20 l).
- *Mano de obra directa:* Se debe tener en cuenta que el trabajo realizado para la elaboración de los objetos de estudio se determinó por medio de horas efectivas de trabajo con respecto a un día jornal establecido en la tabla de salarios sectoriales expuesto por Ministerio del Trabajo (2018), en donde expresa que un técnico de carpintería gana un salario de 424.55 dólares americanos mensualmente. Para la elaboración de los prototipos de briquetas se emplearon 90 horas efectivas; se tiene en cuenta que un técnico de carpintería en un día laboral gana 21.22 dólares americanos, un día laboral presenta 8 horas efectivas de trabajo, entonces se podía decir que en una hora efectiva de trabajo se gana 2.65 dólares americanos.
- *Envases:* Esencialmente se utilizó tinas, recipientes, jarras; todo esto es de plástico material predominante en los envases utilizados, además que se incorporó unos guantes de caucho como protección al momento de la manipulación con los materiales.

##### 3.4.3.1.2 Costos fijos.

- *Depreciación:* Para la obtención de la depreciación de la maquinaria se utilizó la siguiente fórmula:

$$D = \frac{(C-S)}{n} \quad \text{Ec. (6)}$$

**Fuente:** (Gómez, 2017)

Donde:

D = Depreciación

C = Costo del activo

S = Valor residual

n = Número de años de funcionamiento

Se utilizó una máquina artesanal para la elaboración de los diferentes prototipos de briquetas; esta posee un valor de 200 dólares americanos y su valor residual es tomado por Departamento de Normativa Jurídica (2015), quien ha desarrollado la LEY ORGÁNICA DE RÉGIMEN TRIBUTARIO INTERNO, en donde expresa dentro del Art. 28, # 6-a, que para los activos fijos como instalaciones, maquinaria, equipos y muebles el porcentaje de depreciación es del 10 % anual y, por último se ha determinado un periodo de cinco años como vida útil de la maquinaria, ya que en Art. 12 de la ley antes mencionada, no determina con exactitud una cantidad de años como vida útil.

#### **3.4.4 Cuantificar el uso de carbón en la ciudad de Ibarra.**

##### ***3.4.4.1 Encuesta a los establecimientos de expendio de carbón en la ciudad de Ibarra.***

En la realización de la encuesta se utilizó básicamente la metodología expuesta por Cairmán, Díaz y Moncada (2013), quienes expresan lo siguiente:

##### ***3.4.4.1.1 Aspectos metodológicos referente al diseño muestral.***

Se utilizó un muestreo aleatorio simple, debido a que las unidades a muestrear son relativamente homogéneas. Es importante mencionar que, para todo estudio que se base en un muestreo debe precisar la característica más relevante. Así es el caso de este estudio que desea cuantificar el uso de carbón en la ciudad de Ibarra.

##### ***3.4.4.1.2 Información territorial y selección de sitios a intervenir.***

El cantón Ibarra, ubicado en la provincia de Imbabura alrededor de seis mercados dentro del casco urbano (GAD Ibarra, 2015). De este número se evaluaron cuatro mercados debido a su ubicación. Así es el caso de (Ver tabla 15)

Tabla 15

*Mercados del cantón Ibarra*

Parroquia	Mercado
San Francisco	La Playa
	Amazonas
El Sagrario	Santo Domingo
	Mayorista

**Fuente:** (GAD Ibarra, 2015)

*3.4.4.1.3 Definición de la muestra.*

Para la definición de la muestra. Es importante mencionar que se obtuvo una población de ocho individuos que expenden el material vegetal (carbón) dentro de los cuatro centros de expendio de alimentos establecidos en esta investigación; es por eso que se pudo encuestar a casi toda la población, debido a que uno de los individuos no presentó disposición para responder a las inquietudes establecidas en la encuesta.

*3.4.4.1.4 Aplicación de encuesta.*

Se realizó una encuesta estructurada con preguntas cerradas y semi - cerradas dirigida a una muestra de los establecimientos de expendio de carbón en los principales mercados de la ciudad de Ibarra con la finalidad de conocer aspectos como:

- Procedencia de material vegetal
- Especie del material vegetal
- Costo de adquisición por unidad
- Cantidad diaria vendida
- Conocimiento sobre briquetas

Esta labor se realizó durante el día 15 de enero del 2019. La encuesta se aplicó a personas que venden este producto en los diferentes mercados definidos con anterioridad.

*3.4.4.1.5 Digitalización de encuestas.*

Se realizó la digitalización de los datos en el paquete de Microsoft Excel, esta etapa se extendió del 16 al 21 de enero del 2019, se elaboró una base de datos, en donde se ordenó, tabuló y depuró la información de las encuestas realizadas con anterioridad.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Determinar la mezcla óptima para la elaboración de cuatro prototipos de briquetas

##### 4.1.1 Recolección de material vegetal.

Se recolectó 135 kg de material vegetal "aserrín", la especie utilizada fue Laurel (*Cordia alliodora*); esto se debe a que es una especie con alta demanda en procesos de transformación, especialmente para la elaboración de puertas, además esta es la única especie con la que trabaja el aserradero seleccionado.

##### 4.1.2 Caracterización del material.

Al rededor del 50 % del material sometido al análisis granulométrico esta entre 0.00060 m y 0.00025 m, que equivale al 50.53 %; por lo que se puede afirmar el material posee partículas finas y muy finas denominadas como lijaduras, es preciso mencionar que el 6.91 % del material corresponde a partículas de hasta 0.04 m de longitud consideradas como corteza desmenuzada. Se detalla a continuación.

Tabla 16

*Descripción de análisis granulométrico*

N.º de malla (m)	kg.	Porcentaje (%)
0.00236	0.030	4.76
0.00200	0.013	2.15
0.00118	0.096	15.06
0.00085	0.093	14.54
0.00060	0.107	16.66
0.00042	0.106	16.61
0.00025	0.111	17.26
0 (fondo)	0.079	12.36
Material volátil	0.003	0.59

La mayoría del material resultó siendo un conjunto de partículas finas y muy finas denominadas lijaduras. Esto quiere decir que así se puede obtener una mayor cohesión entre estas al momento de interactuar con el aglutinante debido al tamaño que presentan.

Carrillo (2015) comenta que el tamaño de partícula influye notoriamente en el proceso de compactación de la briqueta y en la generación de cenizas en el transcurso de la combustión.

#### 4.1.3 Secado de la briqueta.

En el secado realizado al aire libre, los tratamientos empezaron alcanzaron un equilibrio con respecto a la humedad en el día 20; es por eso que se toma ese número de días como el idóneo para que las briquetas alcancen un contenido de humedad en estado seco al aire; este se ejecutó bajo cubierta debido a la presencia de precipitación en el mes de octubre. En cambio, para el secado inducido se tomó en cuenta por un periodo de 24 horas.

Tabla 17

*Descripción de días de secado*

Tipo de secado	Aglutinante	Promedio días de secado	Max. días de secado	Min. días de secado
Aire libre	Cola blanca Melaza	20	25	15
Horno	Cola blanca Melaza	1	1.5	0.5

En el análisis de datos presentados por el INAMHI (2018). se pudo estimar que, en el mes de octubre del año 2018, se obtuvo un valor promedio de 73.64 % con respecto a la humedad relativa y 16.87 °C como valor promedio de temperatura, además que en la precipitación se pudo deducir que se presentó un valor de 22.2 días promedio con presencia de lluvia. Es necesario mencionar que estos valores fueron estimados a partir de la aplicación de regresión lineal como se presenta a continuación.

Tabla 18

*Descripción de valores meteorológicos obtenidos para el mes de octubre del 2018*

	Media por periodo	Ecuación	Estimación
Humedad Relativa (%)	79.93	$y = \ln\left(\frac{1}{2E-35x-3E-32}\right)$	73.64
Precipitación (días)	18.3	$y = x - 1995.8$	22.2
Temperatura (°C)	16.94	$y = -0.0119x + 40.89$	16.87

Es importante mencionar que a pesar de tener un comportamiento similar con respecto al contenido de humedad en el secado al aire libre, el tipo de aglutinante tiene gran influencia en la conducta durante el proceso de secado, así se puede deducir que con respecto a los dos aglutinantes utilizados en el estudio, estos presentan un comportamiento inverso entre sí; es decir los prototipos en donde se empleó melaza tuvieron un comportamiento de secado de adentro hacia afuera con un color más claro en la parte interna a comparación de la parte externa del objeto, a diferencia del comportamiento con los prototipos en donde se empleó cola blanca, no se evidenció ninguna coloración, pero se pudo observar que al pasar de los días de monitoreo estos prototipos tendían a poseer un leve agrietamiento debido a las diferencias de contenido de humedad entre la parte externa e interna de los objetos de estudio.

Así también, se puede acotar que, para el secado al horno, el contenido de humedad de los prototipos varió después de retirarlos de la estufa. Se ha obtenido un efecto de incremento de humedad hasta alcanzar un equilibrio similar a la humedad relativa.

Se presenta que Curo et al. (2007), manifiestan que, para el secado a la intemperie o como también la llama "secado por convección libre" necesitó ocho días de intenso sol, característico del mes de febrero en Perú, además es importante mencionar que los prototipos utilizados por el autor presentan un material semejante, el "aserrín", sin embargo poseen otros materiales como estiércol de cuy y residuos sólidos orgánicos, realizado en el estudio de elaboración de briquetas a base de residuos sólidos como fuente de energía en cocinas no convencionales, además que Fonseca y Tierra (2011) en el desarrollo de procesos tecnológicos para la producción de gas pobre argumentan que el secado al aire libre de las briquetas propuestas en esta investigación son de 9 días. Por el contrario Castrillo (2015) en la elaboración de una máquina para fabricación de briquetas, manifiesta que el tiempo de secado al aire libre dentro de este estudio fue de entre 4 y 5 días.

#### **4.1.4 Cálculo de densidad de la briqueta.**

Los tratamientos con la densidad más alta fueron T5 y T13 (melaza; 50 % aserrín, 50% aglutinante) con tipo de secado al aire libre y al horno respectivamente con un valor promedio de 810 kg/m<sup>3</sup>, pero por otra parte se consiguió como resultado que los tratamientos T4 y T12 (cola blanca; 80% aserrín; 20% aglutinante) con tipo de secado al

aire libre y al horno respectivamente con un valor de 320 kg/m<sup>3</sup>. Se presentan a continuación.

Tabla 19

*Análisis de varianza con respecto a D0 (Densidad inicial)*

FV.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	1.09	14	0.08	87.93	0.0001	**
FACTOR A	0.20	1	0.20	221.96	0.0001	**
FACTOR B	0.85	3	0.28	321.32	0.0001	**
FACTOR C	3.8E-03	1	3.8E-03	4.33	0.0462	ns
FACTOR A * FACTOR B	0.02	3	0.01	9.29	0.0002	**
FACTOR A * FACTOR C	3.5E-03	1	3.5E-03	3.96	0.0558	ns
FACTOR B * FACTOR C	0.01	3	2.1E-03	2.38	0.0896	ns
FACTOR A*FACTOR B*FACTOR C	1.7E-03	2	8.3E-04	0.94	0.4019	ns
Error	0.03	30	8.9E-04			
Total	1.12	44				

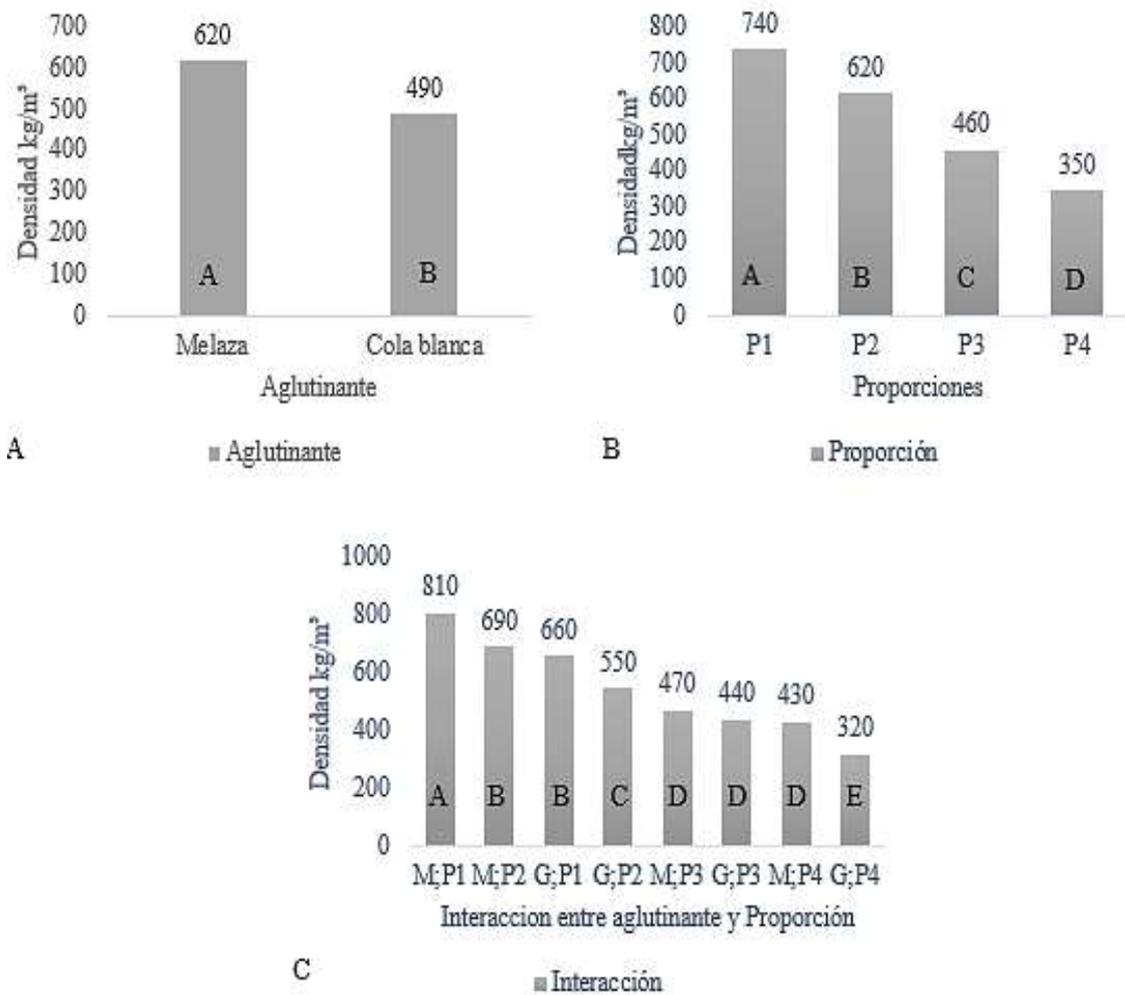
Altamente significativo (\*\*)

Significativo (\*)

No significativo (ns)

Se puede observar que en el factor A (Tipo de aglutinante), factor B (Proporciones de aglutinante) es altamente significativo, al igual que la interacción factor A y B (Tipo de aglutinante y Proporciones de aglutinante). En cambio, factor C (Tipo de secado) y sus respectivas interacciones poseen una no significancia, esto quiere decir que el factor y sus interacciones no presentan una relevancia en la determinación de D0 (Densidad inicial) al 5 % probabilidad estadística.

#### 4.1.4.1 Prueba de Tukey



A: Densidad para factor A; B: Densidad para factor B; C: Interacción entre factor A y B

Figura 2. Prueba de Tukey para D0 (Densidad inicial)

En la prueba Tukey, al 5 %, probabilidad estadística, realizada con respecto al factor A (Tipo de aglutinante) arroja como resultado que melaza influye en los individuos con una densidad mayor a comparación del otro tipo de aglutinante. Por otra parte para el factor B (Proporción de aglutinante), se obtuvo que para la proporción P1 (50% de aserrín, 50% cola blanca) y, P4 (80% de aserrín, 20% cola blanca) son la mejor y peor proporción con respecto a la densidad inicial del objeto de estudio y, en el último de las pruebas se presenta la interacción entre los factores antes mencionados, en donde la mejor y peor interacción es entre M; P1 (melaza; 50% aserrín, 50% aglutinante) y G; P4 (cola blanca; 80% aserrín, 20% aglutinante).

#### 4.1.5 Etapa de pre – evaluación.

Esta evaluación es realizada previa al ensayo de combustión, consistía en dar una valoración cualitativa con respecto a la trabajabilidad, estabilidad y sobre todo la combustión de los diferentes tratamientos propuestos en este estudio, en donde se obtuvo tratamientos que no cumplían con esta cualidad. Se debe mencionar que esta última es la más importante, es por eso que se realizó esta evaluación como antecedente al ensayo de combustión. Con lo antes expuesto se procedió a la determinación de los prototipos idóneos como resultado de esta evaluación. (Ver anexo B).

Para complementar la evaluación antes mencionada se procedió a efectuar una valoración cuantitativa a los diferentes tratamientos propuestos, en donde se determinó que los mejores prototipos son aquellos que completaron una sumatoria de 180 puntos aproximadamente; los tratamientos sobresalientes son presentados a continuación:

Tabla 20

##### *Descripción de evaluación cuantitativa*

Aglutinante	Tratamientos	Total	Aprobados
Cola blanca	T9 (G; P1; H)	144	
	T12 (G; P4; H)	144	
	T10 (G; P2; H)	158	
	T11 (G; P3; H)	168	**
	T1 (G; P1; A)	120	
	T4 (G; P4; A)	168	**
	T2 (G; P2; A)	116	
	T13 (M; P1; H)	164	
	T14 (M; P2; H)	172	
	T15 (M; P3; H)	180	**
Melaza	T5 (M; P1; A)	132	
	T8 (M; P4; A)	180	**
	T6 (M; P2; A)	144	
	T7 (M; P3; A)	144	

Estos tratamientos fueron escogidos, ya que presentaron características sobresalientes con respecto al resto. Aunque no presenten las características físicas idóneas, estos poseen las demás características presentadas con anterioridad.

Los tratamientos sobresalientes son: T15 (melaza; 70% aserrín, 30% aglutinante; Horno); T8 (melaza; 80% aserrín, 20% aglutinante; Aire libre); T11 (cola blanca; 70% aserrín, 30% aglutinante; Horno); T4 (cola blanca; 80% aserrín, 20% aglutinante; Aire libre).

Fonseca y Tierra (2011), comenta que en la prueba de fácil encendido con prototipos de briquetas de aserrín presentan un comportamiento totalmente diferente a pesar de poseer las mismas condiciones al momento de la prueba, esto se debe a que existen diferencias con respecto a las proporciones de cada una de estas.

Es importante mencionar que después de esta evaluación se ha observado que los prototipos sometidos a un tipo de secado inducido poseen una evolución negativa con respecto al comportamiento de secado, esto se pudo evidenciar con aquel prototipo en donde se utilizó melaza; este fue el mejor prototipo en cumplir la evaluación cuantitativa, pero después de su valoración tuvo un comportamiento negativo por aumento de contenido de humedad con respecto al establecido inicialmente; esto se evidenció en las características físicas, ya que el prototipo se tornó más frágil al momento de su manipulación.

#### **4.1.6 Descripción del ensayo del aglutinante.**

En la evaluación del ensayo de aglutinante se escogió al azar dos individuos por cada repetición realizado para cada uno de los 16 tratamientos determinados con anterioridad. Se obtuvo un valor promedio con cada uno de los valores analizados con respecto a los factores determinados para este ensayo.

#### **4.1.7 Análisis estadístico.**

##### ***4.1.7.1 Análisis de varianza para el P0 (Peso inicial).***

El tipo de aglutinante más influyente fue melaza con un valor promedio de 0.26 kg, con respecto al otro aglutinante, este obtuvo un valor promedio de 0.25 kg. por otra parte, se puede acotar que la proporción con un peso más elevado es P2 (60% aserrín; 40% aglutinante) con un valor de 0.28 kg, y la proporción más liviana se obtuvo a P4 (80 % aserrín; 20 % aglutinante) con un valor de 0.19 kg.

Tabla 21

*Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante para el P0 (Peso inicial).*

FV.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	61544.14	14	4396.01	11.21	0.0001	**
FACTOR A	2371.26	1	2371.26	6.05	0.0199	**
FACTOR B	50 629.10	3	16 876.37	43.03	0.0001	**
FACTOR C	989.73	1	989.73	2.52	0.1227	ns
FACTOR A * FACTOR B	3910.18	3	1 303.39	3.32	0.0329	*
FACTOR A * FACTOR C	739.50	1	739.50	1.89	0.1799	ns
FACTOR B * FACTOR C	2 697.18	3	899.06	2.29	0.0983	ns
FACTOR A * FACTOR B * FACTOR C	207.18	2	103.59	0.26	0.7697	ns
Error	11 766.50	30	392.22			
Total	73 310.64	44				

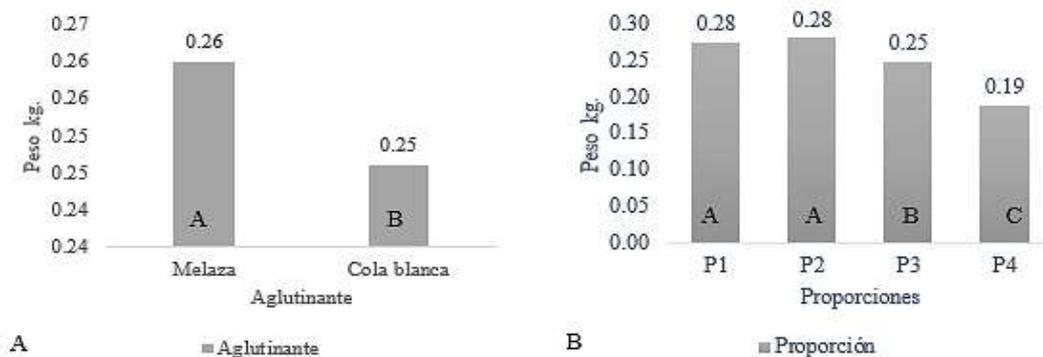
Altamente significativo (\*\*)

Significativo (\*)

No significativo (ns)

Se puede observar que para el factor A (Tipo de aglutinante) y factor B (Proporción del aglutinante) el análisis de varianza realizado para P0 (Peso inicial) con el 5 % de probabilidad estadística obtuvo un resultado altamente significativo; esto quiere decir que son relativamente muy heterogéneas y tienen una alta influencia con respecto al comportamiento de las briquetas. Por el contrario, el factor restante y sus debidas interacciones arrojaron un resultado no significativo, a excepción de la interacción ente el factor A (Tipo de aglutinante) y factor B (Proporción del aglutinante) que posee un resultado significativo; esto quiere decir el resto de factor e interacciones no influye de manera sobresaliente en el comportamiento del objeto de estudio.

#### 4.1.7.2 Prueba de Tukey para el P0 (Peso inicial).



A: Peso para factor A; B: Peso para factor B

Figura 3. Prueba de Tukey para P0 (Peso inicial)

En la prueba Tukey con probabilidad estadística al 5 % realizada al factor A (Tipo de aglutinante), se puede decir que melaza es superior al otro aglutinante. En cambio, en el análisis realizado para el factor B (Proporción de aglutinante) se puede determinar que la proporción P2 (60 % aserrín, 40 % aglutinante) es relativamente la mejor proporción con respecto al P0 (Peso inicial), en cambio se tiene a la proporción P4 (80 % aserrín, 20 % aglutinante) como la peor proporción de entre todas las analizadas en el estudio.

#### 4.1.7.3 *Análisis de varianza para el H0 (Altura inicial).*

Cola blanca es el aglutinante más influyente con respecto a la altura, con un valor promedio de 0.08 m. por otra parte, se puede acotar que la proporción con la altura más elevada es P3 (70% aserrín; 30% aglutinante) con un valor de 0.09 m, y como la proporción más pequeña se obtuvo a P1 (50 % aserrín; 50 % aglutinante) con un valor de 0.06 m.

Tabla 22

*Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante para el H0 (Altura inicial).*

FV.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	76.72	14	5.48	10.34	0.0001	**
FACTOR A	17.5	1	17.50	33.03	0.0001	**
FACTOR B	51.15	3	17.05	32.18	0.0001	**
FACTOR C	2.36	1	2.36	4.45	0.0433	*
FACTOR A * FACTOR B	2.33	3	0.78	1.46	0.2444	ns
FACTOR A * FACTOR C	1.28	1	1.28	2.42	0.1306	ns
FACTOR B * FACTOR C	1.86	3	0.62	1.17	0.3385	ns
FACTOR A * FACTOR B * FACTOR C	0.25	2	0.13	0.24	0.790	ns
Error	15.9	30				
Total	92.62	44				

Altamente significativo (\*\*)

Significativo (\*)

No significativo (ns)

Se puede observar que para el factor A (Tipo de aglutinante) y factor B (Proporción del aglutinante) el análisis de varianza realizado para P0 (Peso inicial) con el 5 % de probabilidad estadística, obtuvo un resultado altamente significativo; esto quiere decir que tienen una alta influencia con respecto al comportamiento de las briquetas, además el factor C (Tipo de secado) obtuvo un resultado significativo; este presente una leve influencia con respecto a la variable analizada. Así también, todas las interacciones entre estos factores

arrojaron un resultado no significativo; esto quiere decir que no influyen de manera sobresaliente en el comportamiento del objeto de estudio.

#### 4.1.7.4 Prueba de Tukey para el H0 (Altura inicial).

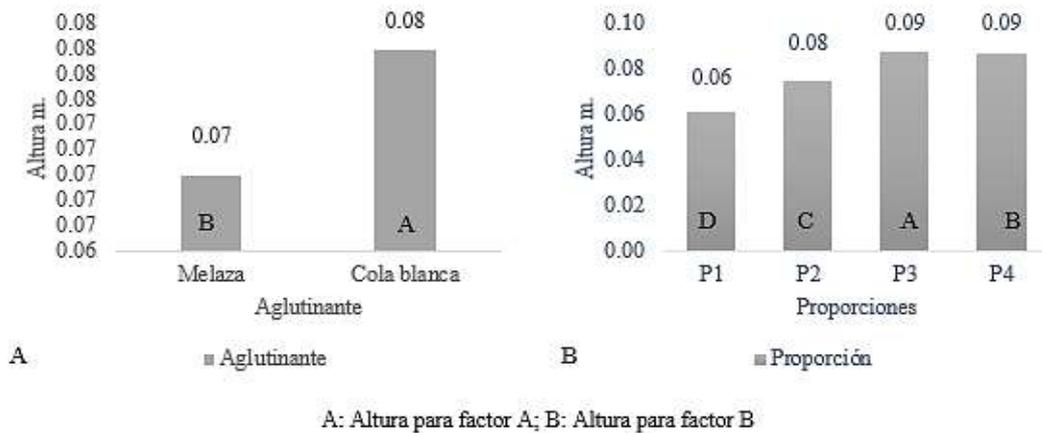


Figura 4. Prueba de Tukey para el H0 (Altura inicial).

En la prueba Tukey con probabilidad estadística al 5 %, realizada al factor A (Tipo de aglutinante), se obtuvo como resultado que entre los tipos de aglutinante utilizados para la investigación; la cola blanca (G) presenta una superioridad con respecto a la altura inicial en el comportamiento del objeto de estudio. Por otra parte, se consiguió que las proporciones señaladas como mejor y peor son: P3 (70 % aserrín, 30 % aglutinante) y P1 (50 % aserrín, 50 % aglutinante) con respecto a la altura inicial del objeto de estudio.

#### 4.1.7.5 Análisis de varianza para Pp (Peso al momento de la prueba).

La melaza influye notoriamente en el peso al momento de la prueba con un valor de 0.14 kg, pero como contraparte se tiene que cola blanca posee un valor de 0.13 kg, además con respecto a las proporciones propuestas se obtuvo que P2 (60% aserrín; 40% aglutinante) fue la proporción con mayor peso tuvo al momento de la prueba con un valor de 0.14 kg, por el contrario, P4 (80% aserrín; 20% aglutinante) posee un valor menor de entre todos con 0.11 kg. Es considerable acotar que aquellos prototipos secados al aire libre tuvieron promedio un valor de 0.14 kg, en cambio por el método de secado inducido se alcanzó un valor de 0.13 kg.

Tabla 23

*Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante, para el Pp (Peso al momento de la prueba).*

FV.	SC	gl.	CM	F	p-valor	
Modelo.	15 887.91	14	11 34.85	7.59	0.0001	**
FACTOR A	3 397.41	1	3 397.41	22.71	0.0001	**
FACTOR B	5 139.61	3	1 713.2	11.45	0.0001	**
FACTOR C	3 398.43	1	3 398.43	22.72	0.0001	**
FACTOR A * FACTOR B	1 422.47	3	474.16	3.17	0.0385	*
FACTOR A * FACTOR C	76.22	1	76.22	0.51	0.4808	ns
FACTOR B * FACTOR C	1 911.39	3	637.13	4.26	0.0128	**
FACTOR A * FACTOR B * FACTOR C	542.39	2	271.19	1.81	0.1806	ns
Error	4 487.33	30	149.58			
Total	20 375.24	44				

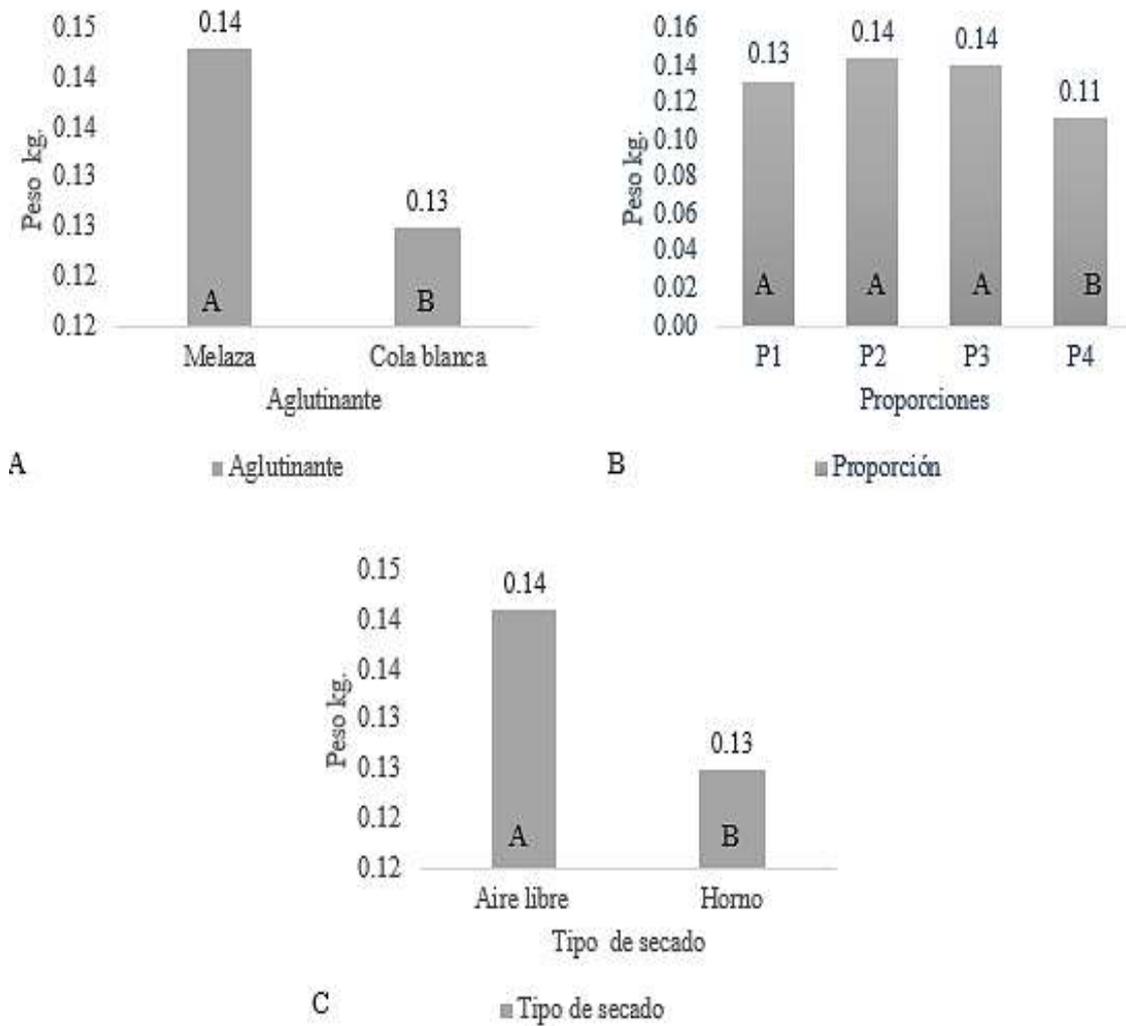
Altamente significativo (\*\*)

Significativo (\*)

No significativo (ns)

En el análisis de varianza para el ensayo de aglutinante con respecto al Pp (Peso al momento de la prueba) al 5 % de probabilidad estadística se obtuvo como resultado que en el factor A (Tipo de aglutinante), B (Proporción de aglutinante), factor C (Tipo de secado) y, la relación entre factor B (Proporción de aglutinante) y Factor C (Tipo de secado) poseen un resultado estadístico altamente significativo, por otra parte el resto de interacciones poseen una probabilidad estadística no significativa a excepción de la interacción entre el factor A (Tipo de aglutinante) y factor C (Tipo de secado), donde arrojó como resultado una probabilidad estadística significativa.

**4.1.7.6 Prueba de Tukey para Pp (Peso al momento de la prueba).**



A: Peso de prueba para factor A; B: Peso de prueba para factor B; C: Peso de prueba para factor C

Figura 5. Prueba de Tukey para el H0 (Altura inicial).

En la prueba Tukey con probabilidad estadística al 5 %, se puede observar que el aglutinante orgánico (melaza; M) resultó siendo aquel que brinda un peso relevante a los objetos de estudio, además se obtuvo como resultado como la mejor y peor proporción con respecto al Pp (Peso al momento de la prueba) fueron: P2 (60 % aserrín, 40 % aglutinante) y P4 (80 % aserrín, 20 % aglutinante) y, como último análisis se determinó como resultado que las condiciones de secado al ambiente son superiores a un secado al horno debido a la influencia de condiciones ambientales en la zona donde se realizó el estudio.

Tabla 24

*Prueba de Tukey para la relación entre el factor B (Proporción de aglutinante) y el factor C (Tipo de secado), para el Pp (Peso al momento de la prueba)*

Factor B	Factor C	Medias (kg)	n	E.E.				
P3	A	0.159	6	4.99	A			
P2	A	0.150	6	4.99	A	B		
P2	H	0.138	6	4.99	A	B	C	
P1	A	0.134	6	4.99	A	B	C	
P1	H	0.130	6	4.99		B	C	
P3	H	0.121	6	4.99			C	
P4	A	0.119	6	4.99			C	D
P4	H	0.096	3	7.06				D

En la prueba de Tukey realizada para la interacción relación entre el factor B (Proporción de aglutinante) y el factor C (Tipo de secado) con probabilidad estadística al 5 %, con respecto al Pp (peso al momento de la prueba). Se puede manifestar que la mejor y peor interacción entre estos dos factores son: P3; A (70 % aserrín, 30 % aglutinante; al ambiente) y P4; H (80 % aserrín 20 % aglutinante; al horno). Se debe mencionar que la P4 (80 % aserrín 20 % aglutinante) con aglutinante melaza no soportó las condiciones de horno y por ende no se obtuvo ningún resultado con respecto al Pp (Peso al momento de la prueba).

#### **4.1.7.7 Análisis de varianza para Hp (Altura al momento de la prueba).**

Los prototipos que poseen cola blanca consiguieron alturas superiores a su homónimo con un valor de 0.08 m. por el contrario, melaza obtuvo un valor de 0.07 m, además en el análisis entre proporciones se pudo evidenciar que P4 (80% aserrín; 20% aglutinante) posee el valor más alto con respecto a la altura con un valor de 0.09 m, en cambio P1 (50% aserrín; 50% aglutinante) consiguió una altura de 0.06 m.

Tabla 25

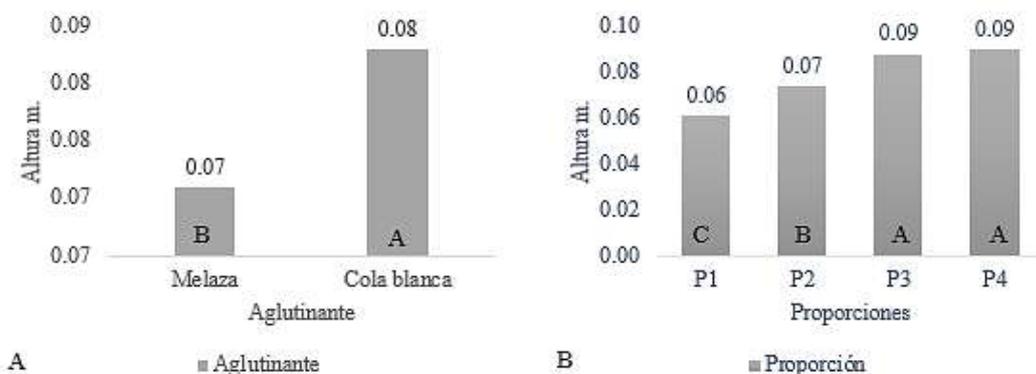
*Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante, para el Hp (Altura al momento de la prueba).*

FV.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	82.6	14	5.9	10.52	0.0001	**
FACTOR A	16.98	1	16.98	30.29	0.0001	**
FACTOR B	57.9	3	19.3	34.43	0.0001	**
FACTOR C	2.19	1	2.19	3.9	0.0574	ns
FACTOR A*FACTOR B	2.88	3	0.96	1.71	0.1854	ns
FACTOR A*FACTOR C	1.15	1	1.15	2.05	0.1628	ns
FACTOR B*FACTOR C	1.22	3	0.41	0.73	0.545	ns
FACTOR A*FACTOR B*FACTOR C	0.29	2	0.14	0.26	0.7763	ns
Error	16.82	30	0.56			
Total	99.42	44				

Altamente significativo (\*\*)  
 Significativo (\*)  
 No significativo (ns)

En el análisis de varianza realizado para el ensayo de aglutinante con respecto a Hp (Altura al momento de la prueba) con 5 % de probabilidad estadística, en donde se tuvo como resultado que el factor A (Tipo de aglutinante) y factor B (Proporción de aglutinante) poseen una probabilidad estadística altamente significativa, esto expresa que estos factores tienen un alto grado de influencia con respecto al comportamiento del objeto de estudio. Al contrario, el factor restante e interacciones poseen un resultado estadístico no significativo, esto manifiesta que posee poca influencia con respecto al comportamiento de las briquetas.

**4.1.7.8 Prueba de Tukey para Hp (Altura al momento de la prueba).**



A: Altura para factor A; B: Altura para factor B

Figura 6. Prueba de Tukey para el Hp (Altura al momento de la prueba)

En la prueba de Tukey con probabilidad estadística al 5 % realizada para el factor A (Tipo de aglutinante), se obtuvo como resultado que el aglutinante predominante fue cola blanca con respecto a la altura en el momento de la prueba. En cambio, para el factor B (Tipo de aglutinante), se obtuvo como resultado que la mejor y peor proporción con respecto a la altura al momento de la prueba son: P4 (80 % aserrín; 20 % aglutinante) y P1 (50 % aserrín, 50 % aglutinante).

#### 4.1.7.9 *Análisis de varianza para Chp (Contenido de humedad al momento de la prueba).*

Se pudo obtener como resultado el prototipo con mayor presencia de contenido de humedad fue P4 (80 % aserrín; 20% aglutinante) con un valor de 44.62 %, por el contrario de P2 (60 % aserrín; 40 % aglutinante), con un valor de 14.51 %. Así también, se consiguió que la interacción G; P4 (cola blanca; 80 % aserrín; 20% aglutinante) posee el valor más alto en contenido de humedad con 47.33 %, pero como complemento se tiene que M; P2 (melaza; 60 % aserrín; 40 % aglutinante) es aquel con el valor más bajo de entre todas las interacciones con 13.64 %, además se analizó la interacción entre los tres factores, en donde se pudo obtener como resultado que la mejor y peor interacción son: G; P1; H (cola blanca; 50 % aserrín, 50 % aglutinante; al horno) con un valor de 53.11 % y M; P4; H (melaza; 80 % aserrín, 20 % aglutinante; al horno), de este último no se obtuvo un resultado numérico debido a que este no resistió el secado inducido.

Tabla 26

*Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante, para el Chp (Contenido de humedad al momento de la prueba).*

fv.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	8 818.23	14	629.87	7.93	0.0001	**
FACTOR A	388.22	1	388.22	4.89	0.0348	*
FACTOR B	4 511.93	3	1 503.98	18.93	0.0001	**
FACTOR C	1.61	1	1.61	0.02	0.8877	ns
FACTOR A * FACTOR B	2 141.17	3	713.72	8.98	0.0002	**
FACTOR A * FACTOR C	126.52	1	126.52	1.59	0.2167	ns
FACTOR B * FACTOR C	644.88	3	214.96	2.71	0.0629	ns
FACTOR A * FACTOR B * FACTOR C	1 003.89	2	501.95	6.32	0.0051	**
Error	2 383.27	30	79.44			
Total	11 201.51	44				

Altamente significativo (\*\*)

Significativo (\*)

No significativo (ns)

Se puede observar en el análisis de varianza con probabilidad estadística al 5 %, tiene como resultado que en el factor B (Proporción de aglutinante), la interacciones entre factor A (Tipo de aglutinante) y factor B (Proporción de aglutinante) y, la interacción entre el factor A (Tipo de aglutinante), factor B (Proporciones de aglutinante) y factor C (Tipo de secado), poseen una alta probabilidad estadística. En cambio, para el factor A (Tipo de aglutinante), obtuvo un resultado significativo y el resto de las interacciones y factor poseen una no significancia estadística.

#### 4.1.7.10 Prueba de Tukey para Chp (Contenido de humedad al momento de la prueba).

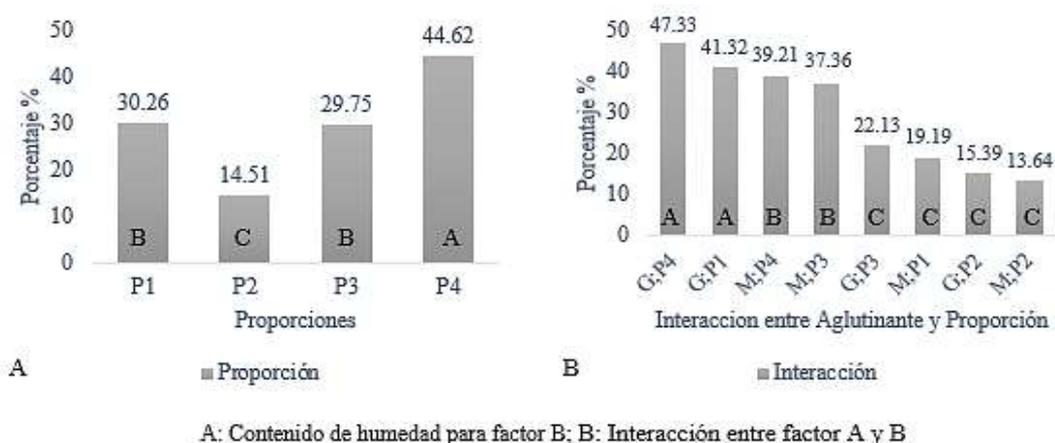


Figura 7. Prueba de Tukey el Chp (Contenido de humedad al momento de la prueba)

En la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad estadística, se determinó que las proporciones sobresalientes como mejor y peor son: P4 (80 % aserrín; 20 % aglutinante) y P2 (60 % aserrín, 40 % aglutinante). Con respecto al contenido de humedad al momento de la prueba en la interacción entre factor A (Tipo de aglutinante) y factor B (Proporción de aglutinante), donde se obtuvo como resultado la mejor y peor interacción entre el factor A (Tipo de aglutinante) y factor B (Proporción de aglutinante) son: G; P4 (cola blanca; 80 % aserrín, 20 % aglutinante) y M; P2 (melaza; 60% aserrín, 40 % aglutinante)

Tabla 27

*Prueba de Tukey para la relación entre el factor A (Tipo de aglutinante), factor B (Proporción del aglutinante) y factor C (Tipo de secado), para el Chp (Contenido de humedad al momento de la prueba)*

Factor A	Factor B	Factor C	Medias(%)	N	E.E.					
G	P1	H	53.11	3	5.15	A				
G	P4	A	51.75	3	5.15	A				
G	P4	H	42.9	3	5.15	A	B			
M	P4	A	39.21	3	5.15	A	B	C		
M	P3	H	38.34	3	5.15	A	B	C		
M	P3	A	36.37	3	5.15	A	B	C	D	
G	P3	A	30.26	3	5.15	A	B	C	D	E
G	P1	A	29.53	3	5.15	A	B	C	D	E
M	P1	A	22.95	3	5.15		B	C	D	E
G	P2	H	22.14	3	5.15		B	C	D	E
M	P2	A	16.89	3	5.15		B	C	D	E
M	P1	H	15.44	3	5.15			C	D	E
G	P3	H	14.01	3	5.15			C	D	E
M	P2	H	10.38	3	5.15				D	E
G	P2	A	8.64	3	5.15					E
M	P4	H		0						F

En la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad estadística para la interacción entre el factor A (Tipo de aglutinante); factor B (Proporción de aglutinante) y factor C (Tipo de secado) con respecto al contenido de humedad al momento de la prueba, Chp. Se pudo obtener como resultado que la mejor y peor interacción son: G P1 H (cola blanca; 50 % aserrín, 50 % aglutinante; al horno) y M P4 H (melaza; 80 % aserrín, 20 % aglutinante; al horno). Se debe recalcar que el tratamiento no resistió el proceso de secado al horno, al final volvió a su material original; aserrín granulado con tonalidad parda por presencia leve de melaza.

## 4.2 Evaluar los parámetros de combustión de los prototipos de briquetas

### 4.2.1 Análisis estadístico.

#### 4.2.1.1 Análisis de varianza del ensayo de combustión "La prueba de ebullición de agua".

Tabla 28

*Análisis de varianza para el ensayo de "La prueba de ebullición de agua"*

FV.	SC	gl.	CM	F	p-valor
Modelo.	41 954 268.72	6	6 992 378.12	5.14	0.0055 **
FACTOR A	41 954 268.72	6	6 992 378.12	5.14	0.0055 **
Error	19 034 793.82	14	1 359 628.13		
Total	60 989 062.54	20			

Altamente significativo (\*\*)

Significativo (\*)

No significativo (ns)

Se puede observar en el análisis de varianza con probabilidad estadística al 5 %, tiene como resultado que en el factor A (Tipo de aglutinante) posee alta significancia estadística.

#### 4.2.1.2 Prueba de Tukey para el ensayo de combustión "La prueba de ebullición de agua".

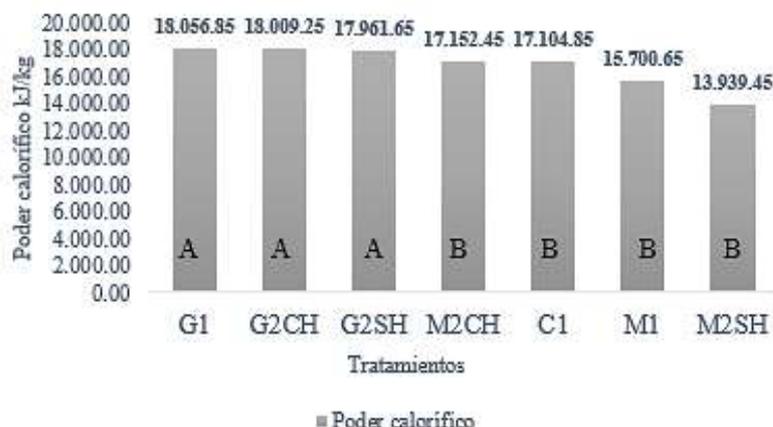


Figura 8. Prueba de Tukey para el ensayo de combustión "La prueba de ebullición de agua"

En la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad estadística para el factor A (Tipo de aglutinante), se determinó que G1 (cola blanca; 80 % aserrín; 20 % aglutinante) es el tratamiento que posee mayor poder calorífico con un valor de 18 056.85 kJ/kg. por el contrario, el tratamiento M2SH (melaza; 70 % aserrín; 30 % aglutinante) con un valor de 13 939.45 kJ/kg no posee un poder calorífico elevado.

#### 4.2.1.3 Análisis estadístico para el ensayo de combustión con el calorímetro isoperibólico AC500.

Tabla 29

*Análisis de varianza para el ensayo de aglutinante con el calorímetro isoperibólico AC500.*

FV.	SC	gl.	CM	F	p-valor
Modelo	426 491 530.89	4	106 622 882.72	142.82	0.0001 **
FACTOR A	426 491 530.89	4	106 622 882.72	42.82	0.0001 **
Error	7 465 368.41	10	746 536.84		
Total	433 956 899.30	14			

Altamente significativo (\*\*)

Significativo (\*)

No significativo (ns)

Se puede observar en el análisis de varianza con probabilidad estadística al 5 %, tiene como resultado que en el factor A (Tipo de aglutinante) posee alta significancia estadística.

#### 4.2.1.4 Prueba de Tukey para el ensayo de combustión con el calorímetro isoperibólico AC500.



Figura 9. Prueba de Tukey para el ensayo de combustión con el calorímetro isoperibólico AC500

En la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad estadística para el factor A (Tipo de aglutinante), se determinó que el tratamiento C1 (carbón), es aquel que posee mayor poder calorífico con un valor de 29 377.10 kJ/kg, por el contrario, el tratamiento M1 (melaza; 80 % aserrín; 20 % aglutinante) posee un poder calorífico no elevado con un valor de 15 055.90 kJ/kg.

#### 4.2.1.5 Análisis de correlación.

Se determinó las variables que presentan una correlación directamente proporcional; estas son la relación entre el combustible consumido y la generación de cenizas hasta el punto de ebullición con un valor de 0.94, además de la relación entre la variable de generación de cenizas hasta el punto de ebullición y la variable de generación total de

cenizas con un valor de 0.86; con esto se puede manifestar que entre más se haya consumido el combustible más generación de cenizas poseerá. Así también, la correlación entre la generación de ceniza total y las cenizas generadas hasta el punto de ebullición se puede decir que entre más transcurra el tiempo de consumo del material generará más ceniza hasta que se acabe por completo el material disponible.

Se determinó además una correlación inversamente proporcional entre el tiempo de ebullición y la velocidad de combustión con un valor de -0.94, esto quiere decir que entre más tiempo transcurra la combustión del material disminuirá la velocidad de combustión debido a la cantidad de material combustible disponible.

Tabla 30

*Análisis de correlación*

	Combustible consumido	Eficiencia térmica	Generación cenizas punto ebullición.	Generación total de cenizas	Tiempo de ebullición	Velocidad de combustión
Combustible consumido		-0.49	0.94	0.75	0.52	-0.37
Eficiencia térmica			-0.42	-0.15	0.36	-0.35
Generación cenizas punto ebullición.				<b>0.85</b>	0.62	-0.53
Generación total de cenizas					<b>0.94</b>	0.75
Tiempo de ebullición						<b>-0.94</b>
Velocidad de combustión						

**4.2.1.6 Análisis de regresión.**

Se obtuvo que los coeficientes de determinación de regresión ( $R^2$ ) varían entre 0.55 y 0.99. De las regresiones aplicadas se consiguió dos proporciones que poseen un coeficiente superior a 0.90; estos son los tratamientos G2CH y G2SH (cola blanca; 70 % aserrín; 30 % aglutinante) con valores de 0.94 y 0.99 respectivamente, además, se debe mencionar que el tratamiento en el cual se utilizó una regresión polinómica de tercer orden fue M2SH (melaza; 70 % aserrín; 30 % aglutinante); este tratamiento fue aquel que obtuvo un menor valor con respecto a todos los analizados. (Ver anexo C).

#### 4.2.2 Determinación del poder calorífico de diferentes prototipos de briquetas

Con diferentes tipos de análisis realizados en esta investigación para la determinación del poder calorífico de varios prototipos de briquetas. Se obtuvo que en "La prueba de ebullición de agua" propuesta por Samamé (2017). el prototipo con mayor poder calorífico fue G1 (cola blanca; 80 % aserrín; 20 % aglutinante) con un valor de 18 056.85 kJ/kg. Así también. en el análisis de combustión realizado con el calorímetro isoperibólico AC500, se consiguió que el tratamiento con mayor poder calorífico fue C1 (carbón) con un valor de 29 377.10 kJ/kg.

Es importante mencionar que se efectuó estos análisis para comprobar sí, el combustible presentado en prototipos de briquetas se comporta de diferente manera con respecto a la combustión, ya que una de las pruebas fue realizada bajo condiciones ambientales no reguladas y el otro análisis fue desarrollado bajo condiciones ambientales estables como las existentes dentro de un laboratorio; esto de alguna manera influye en la eficacia de combustión del material.



Figura 10. Poder calorífico con diferentes análisis de combustión

El resultado obtenido con respecto a los prototipos de briquetas es menor con respecto al poder calorífico de la madera sólida, ya que según Zelada (2012) manifiesta que, el poder calorífico Laurel (*Cordia alliodora*), es de 22 672 kJ/kg; este estudio se realizó para varias especies forestales utilizadas en sistemas agroforestales, en especial aquellas que se emplean para sombra en Costa Rica. Se debe tener en cuenta el material residual empleado para la elaboración de briquetas es Laurel (*Cordia alliodora*).

El poder calorífico determinado para los prototipos de briquetas puede ampliar la perspectiva de las fuentes energía renovable y, en algunos casos puede ser utilizado como

combustible alternativo al uso de combustibles fósiles como es el caso de la gasolina y diésel usualmente empleados para el desarrollo de diferentes maquinarias. Según la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE, 2016) manifiesta que el poder calorífico para estos combustibles son: 2 665.60 kJ/kg y 2 594.20 kJ/kg respectivamente; valores inferiores con respecto a los prototipos de combustible analizados en este estudio.

Carrillo (2015), comenta. a nivel global a través de varios estudios se ha corroborado que las especies coníferas presentan mayor poder calorífico con respecto a especies frondosas, esto se atribuye a la presencia de carbono, lignina y sustancias extractivas en un mayor contenido.

#### 4.2.3 Tiempo de ebullición.

El resultado de este análisis fue basado en "La prueba de ebullición de agua" propuesta por Samamé (2017), en donde el tratamiento G2SH (cola blanca; 70 % aserrín; 30 % aglutinante) presento un tiempo de 5'52" min, siendo este el tratamiento más eficiente con respecto al tiempo empleado para que el agua llegue a su punto de ebullición, se puede decir que el tipo de aglutinante empleado en este tratamiento influye en la capacidad de combustión. Por el contrario, el tratamiento C1 (carbón) tuvo un tiempo de 42'46" min, esto se debe a que el material posee un solo componente, en este caso la especie arbórea utilizada para extraer este tipo de combustible.

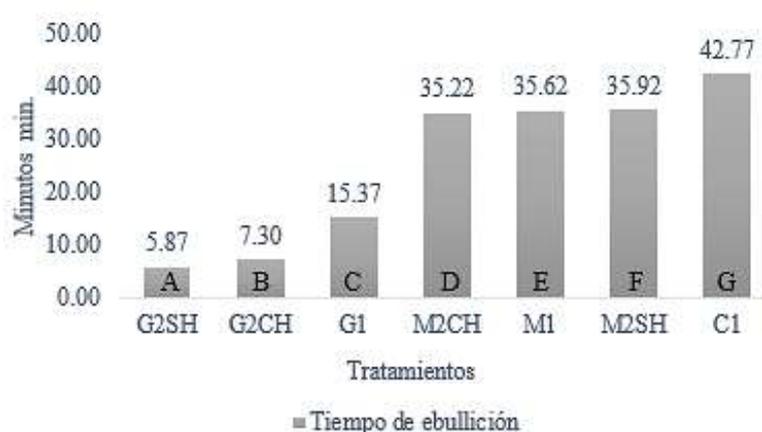


Figura 11. Tiempo de ebullición en análisis de combustión.

Es importante acotar que en este parámetro la presencia de llama fue una variable fundamental para obtener los tiempos establecidos anteriormente, ya que aquellos, en

donde existió presencia de llama en cantidad, fueron los prototipos sobresalientes en efectuar el ensayo en un corto periodo de tiempo y así sucesivamente con respecto a los otros prototipos.

#### 4.2.4 Velocidad de combustión

El tratamiento que obtuvo la velocidad de combustión más elevada fue G2SH (cola blanca; 70 % aserrín; 30 % aglutinante) con un valor de 0.06 kg. por cada minuto; esto quiere decir que posee mayor capacidad de combustión. Al contrario, el tratamiento C1 (carbón) posee una velocidad de combustión de 0.01 kg. por cada minuto transcurrido para hacer que el agua llegue a su punto de ebullición.

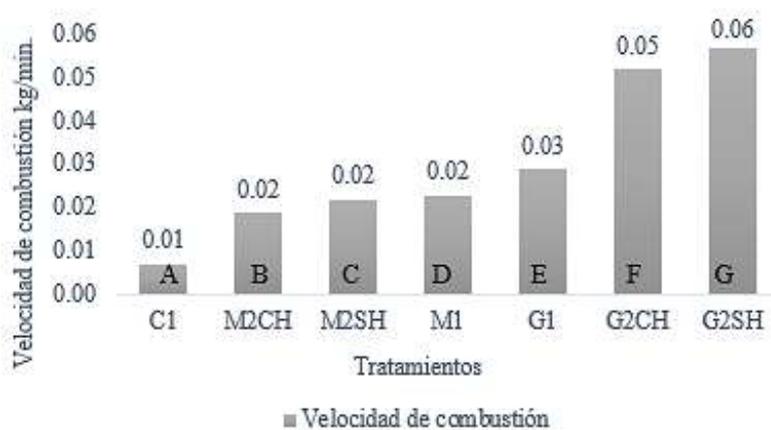


Figura 12. Cantidad de combustible empleado por minuto.

#### 4.2.5 Eficiencia térmica

Se refiere a la cantidad de calor transferida al recipiente para lograr que el agua llegue al punto de ebullición.

Como resultado se obtuvo que el prototipo G1 (cola blanca; 80 % aserrín; 20 % aglutinante) con un valor de 20.92 % y C1 (carbón) que con un valor de 37.18 % fueron aquellos tratamientos con la conductividad térmica más baja y elevada respectivamente. Se puede manifestar que la diferencia de eficiencia térmica entre tratamientos se debe a la densidad y composición de los mismos, ya que el tratamiento C1 (carbón) es un material sólido y con una densidad otorgada por la especie que se utilizó para extraer este combustible.

Es importante mencionar lo expuesto por Cajina et al. (2016), ellos comentan que la eficiencia térmica es una variable fundamental al momento de determinar la factibilidad de cualquier combustible.

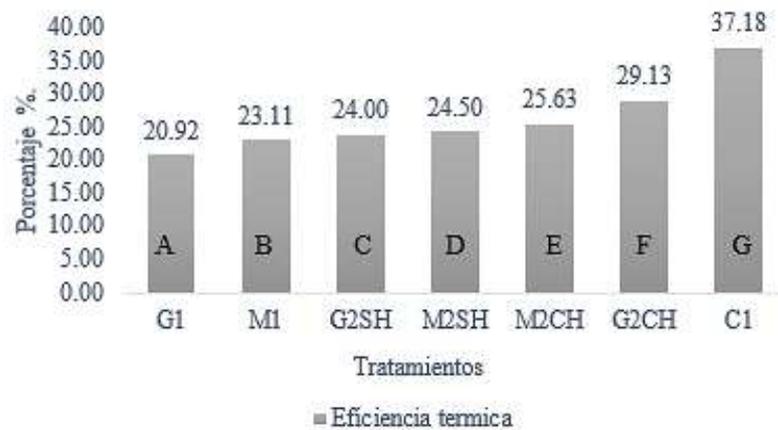


Figura 13. Eficiencia térmica.

#### 4.2.6 Equivalente de combustible consumido

Se determinó que el tratamiento M1 (melaza; 80 % aserrín; 20 % aglutinante) consume 0.85 kg de combustible, es decir que se aprovecha el material casi en su totalidad para hacer hervir 1 litro de agua. En cambio, C1 (carbón), es el tratamiento que deja mayor cantidad de residuos debido a que ocupa 0.30 kg para efectuar el mismo cometido.

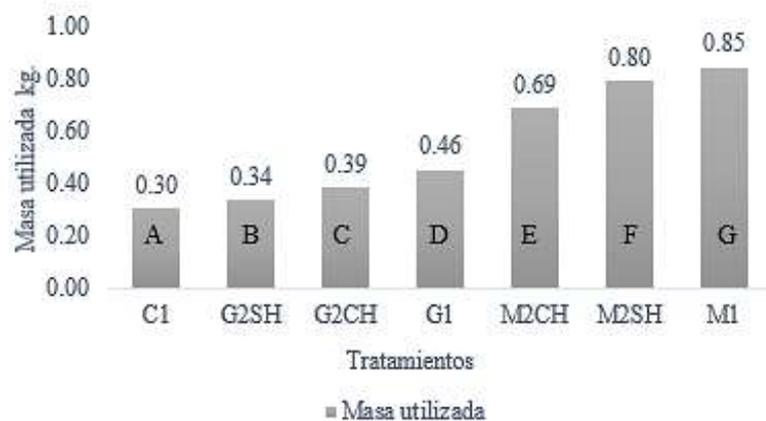


Figura 14. Cantidad de combustible empleado.

Se debe tener en cuenta que el tratamiento C1 (carbón), es un material compacto debido a la anatomía de la madera que se empleó para extraer este combustible. Por el contrario, M1 (melaza; 80 % aserrín; 20 % aglutinante) es el prototipo más pobre con

respecto al aglutinante; este ayuda a cohesionar las partículas del material residual y, al ser el tratamiento más pobre sus partículas son más propensas a ser consumidas en el proceso de ignición. Es por eso se evidencia la diferencia de material consumido entre estos prototipos de combustible.

#### 4.2.7 Generación de cenizas

El prototipo más eficiente con respecto a la generación de cenizas hasta el momento en donde el agua llega a su punto de ebullición es G2SH (cola blanca; 70 % aserrín; 30 % aglutinante), ya que presenta un valor de 0.009 %. En cambio, el prototipo M2SH (melaza; 70 % aserrín; 30 % aglutinante); este posee un valor de 2.71 % y, es aquel que presenta un porcentaje de generación de cenizas más elevado en comparación a los otros prototipos analizados. Es importante manifestar que este parámetro analizado tiene relación directa con el tiempo de ebullición y su efecto para la generación de cenizas.

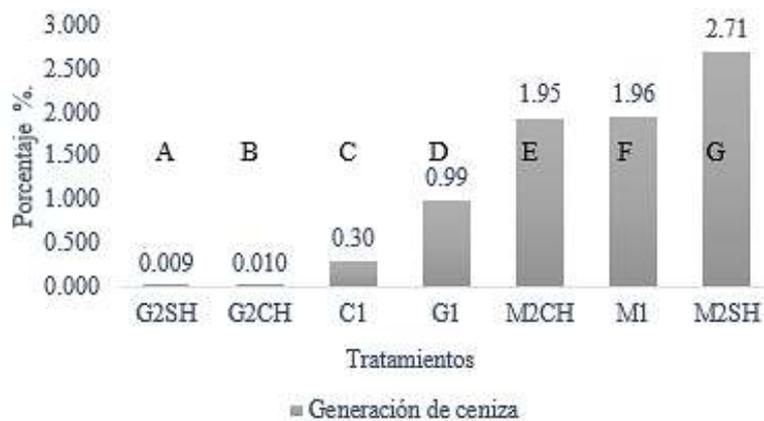


Figura 15. Porcentaje de ceniza generada hasta el punto de ebullición.

Por otra parte, al finalizar el ensayo de combustión y después de desintegrado en su totalidad se obtuvo como resultado que el prototipo G1 (cola blanca; 80 % aserrín; 20 % aglutinante) con un valor de 3.75 % fue aquel generador un porcentaje menor de ceniza.

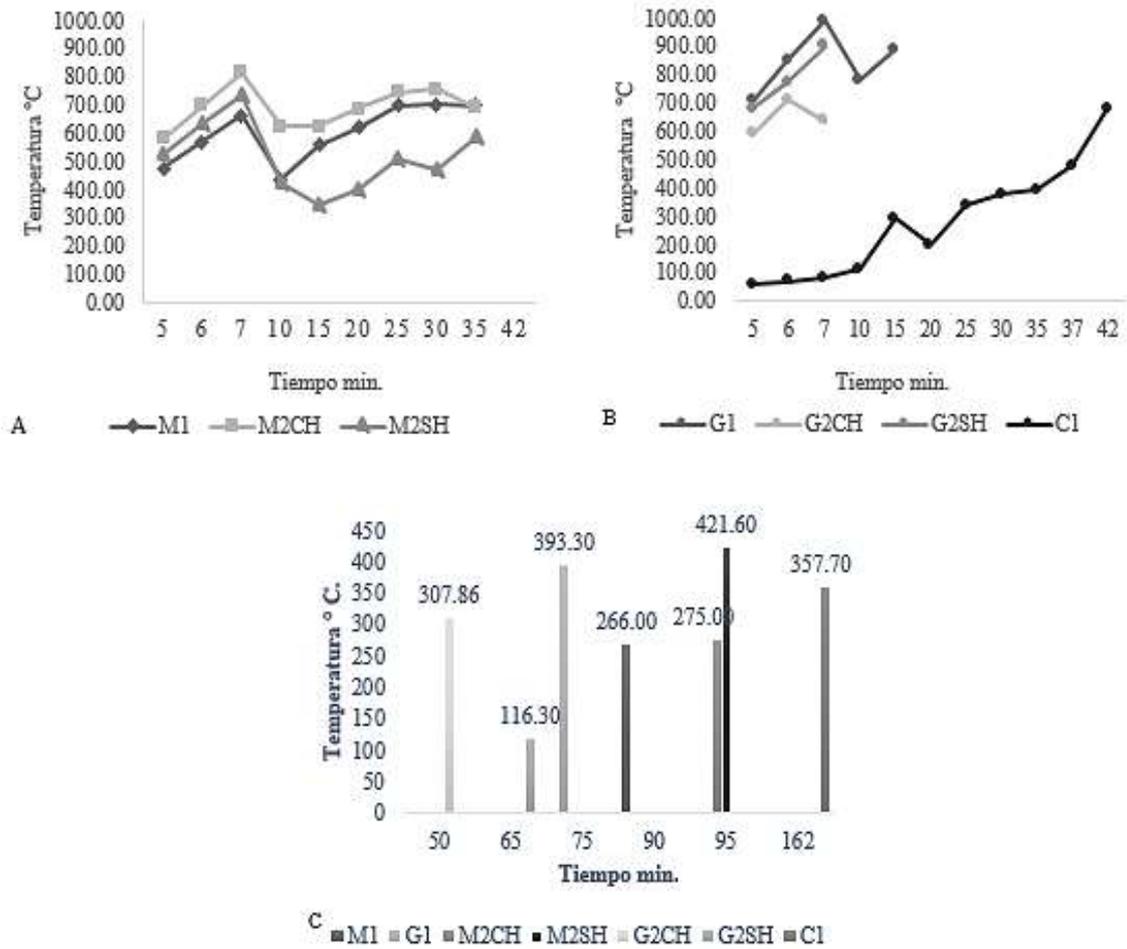


Figura 16. Porcentaje total de ceniza generada después del proceso de combustión.

#### 4.2.8 Variación de temperatura en función del tiempo de combustión de la briqueta

Se puede observar que entre aglutinantes se tiene un comportamiento inverso, ya que los prototipos M2CH (melaza; 70 % aserrín; 30 % aglutinante) y G1 (cola blanca; 80 % aserrín; 20 % aglutinante), poseen la temperatura más alta con respecto a su aglutinante, esto a los 7 min.

Al finalizar el proceso de combustión, los prototipos analizados presentaban temperaturas que oscilan entre 116.30 – 421.60 °C, y por ende se determinó el tiempo que le toma a cada uno de estos ejemplares desintegrarse en su totalidad.



A: Variación de temperatura de Melaza hasta punto de ebullición; B: Variación de temperatura de Cola blanca y carbón hasta punto de ebullición; C: Variación de temperatura hasta consumo total de combustible.

Figura 17. Variación de temperatura a través de diferentes periodos de tiempo.

### 4.3 Determinar el costo de producción de los cuatro prototipos de briquetas

#### 4.3.1 Determinación de costos de elaboración de briquetas

##### 4.3.1.1 Depreciación.

Se determinó que la depreciación anual de la maquinaria es de 36 dólares americanos.

#### 4.3.1.2 Costo total.

Tabla 31

*Descripción del costo total por tratamiento*

Tratamiento	Material U. briqueta (USD)	Mano de obra U. briqueta (USD)	Máquina U. briqueta (USD)	Costo total U. briqueta (USD)
T1 (G; P1; A)	0.31	0.04	0.014	0.37
T2 (G; P2; A)	0.27	0.05	0.032	0.35
T3 (G; P3; A)	0.22	0.12	0.096	0.44
T4 (G; P4; A)	0.13	0.18	0.160	0.47
T5 (M; P1; A)	0.15	0.05	0.014	0.21
T6 (M; P2; A)	0.11	0.05	0.014	0.17
T7 (M; P3; A)	0.06	0.06	0.032	0.16
T8 (M; P4; A)	0.04	0.11	0.032	0.18
T9 (G; P1; H)	0.31	0.04	0.014	0.41
T10 (G; P2; H)	0.27	0.05	0.032	0.39
T11 (G; P3; H)	0.23	0.12	0.096	0.47
T12 (G; P4; H)	0.13	0.18	0.160	0.51
T13 (M; P1; H)	0.15	0.05	0.014	0.25
T14 (M; P2; H)	0.11	0.05	0.014	0.21
T15 (M; P3; H)	0.06	0.06	0.032	0.20
T16 (M; P4; H)	0.04	0.11	0.032	0.22

El costo total por unidad de briqueta que se ha determinado son los tratamientos T12 (cola blanca; 80% aserrín, 20% aglutinante; horno) son los más costosos con respecto al coste de producción con un valor de 0.51 centavos de dólar. Por otra parte, se presenta el tratamiento T7 con composición (cola blanca; 70% aserrín, 30% aglutinante; ambiente), en donde ha dado como resultado que son los más baratos en producción con un valor 0.16 centavos de dólar.

Se debe mencionar que los materiales como envases de plástico y guantes para seguridad personal están incluidos en los costos de materiales. (Anexo D)

El valor que se tomó como referencia para la mano de obra, se obtuvo por medio del Ministerio de Trabajo (2018), en donde expresa que un técnico de carpintería gana un salario de 424.55 dólares americanos mensualmente por las actividades que se realizan dentro de una carpintería. Por el contrario Fonseca y Tierra (2011) manifiestan que

utilizaron el salario mínimo unificado para trabajadores del sector privado fijado por el Ministerio de Relaciones Laborales del Ecuador para actividades de briquetación, en donde determinan que un trabajador gana 264 dólares americanos mensualmente, este valor se utilizó en el desarrollo de procesos tecnológicos para la producción de gas pobre.

#### 4.4 Cuantificar el uso de carbón en la ciudad de Ibarra.

##### 4.4.1 Aplicación de la encuesta.

Se aplicó en la ciudad de Ibarra, específicamente en los principales mercados de la ciudad. En la tabla 32 se puede apreciar que, la población inicial fue de ocho individuos, finalmente se pudo aplicar siete encuestas. Las encuestas analizadas fueron todas validadas. (Anexo E)

Tabla 32

*Encuestas realizadas por mercado*

Parroquia	Mercado	N° Encuestas aplicadas	N° Encuestas validadas
El Sagrario	Santo Domingo	2	2
	Mayorista	1	1
San Francisco	La Playa	4	4
	Amazonas	0	0

##### 4.4.2 Procedencia del material vegetal.

De acuerdo al análisis de la encuesta sobre la procedencia del material vegetal en cada uno de los principales mercados de la ciudad, se pudo determinar que el 85.71 % de las personas encuestadas manifestaron que la procedencia del material vegetal que expenden proviene del valle de Imbabura principalmente de Ambuquí, Chota, San Rafael y Pimampiro. En cambio 14.29 % manifiesta que la procedencia del material vegetal es de Manabí y la zona de la región costa.

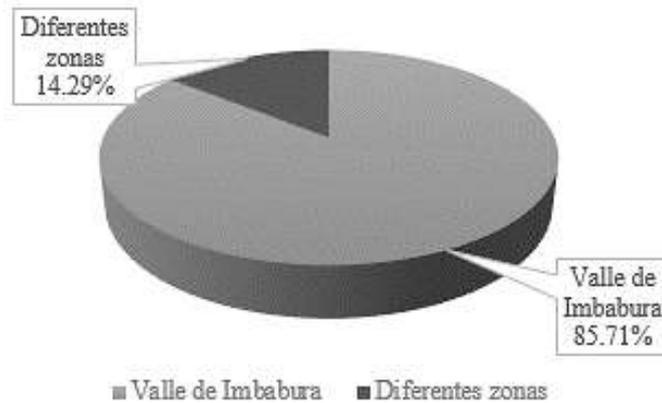


Figura 18. Procedencia de material.

#### 4.4.3 Especies que se utiliza en la elaboración del material vegetal.

Las especies que se utiliza con frecuencia para la elaboración del material vegetal son Algarrobo (*Prosopis spp.*) y Espino (*Vachellia macracantha*), pero además se pudo tener conocimiento de otras especies como Guayabo (*Psidium spp.*), Guarango (*Caesalpinia spinosa*), Chanul (*Humiriastrum procerum*), Eucalipto (*Eucalyntus spp.*), Arrayan (*Myrcianthes hallii*), Guayacán (*Tabebuia spp.*), Teca (*Tectona grandis*), Café (*Coffea arabica*), Mangle (*Rhizophora mangle*).

#### 4.4.4 Forma de expendio del material vegetal.

En el análisis de la encuesta se pudo determinar que las formas de expendio más usual en los principales mercados son: fundas medianas y bultos, pero se debe mencionar que otros tipos de expendio como las fundas pequeñas y grandes. El peso de las fundas varía entre mercados y entre vendedores del mismo lugar, el promedio de pesaje para cada funda es: funda pequeña 1 430 kg, funda mediana 1 580 kg y por último la funda grande con un valor de 2 900 kg, para este tipo de funda no se encontró muchos establecimientos que vendieran esa cantidad. El tamaño de las fundas varía debido a la forma de venta del expendedor, pero se pudo precisar que los números de tamaño de fundas están entre 3 - 5, en donde la más pequeña usualmente más utilizada es la N° 3 y el tamaño de funda para definir como mediana o grande están entre N° 4 -5.



Figura 19. Peso de formas más usuales de expendio en los mercados de la ciudad.

Se debe mencionar que no se tiene un peso ni un tamaño específico de categorización de forma de expendio, en especial con las fundas, debido a que cada expendedor tiene su criterio con respecto al tamaño de la funda, aunque en el peso es relativamente similar.

#### 4.4.5 Valor del material vegetal.

El valor que se obtuvo por medio de la encuesta para las diferentes formas de expendio fue el siguiente: funda pequeña 1.00 dólares americanos; funda mediana 1.25 dólares americanos; funda grande 1.83 dólares americanos y por último el bulto con un valor de 21.33 dólares americanos. Es importante mencionar que los valores antes mencionados es un valor promedio de todos los datos obtenidos.



Figura 20. Valor monetario de formas más usuales de expendio en los mercados de la ciudad.

#### **4.4.6 Cantidad diaria de expendio.**

En este punto se obtuvo que la cantidad de fundas vendidas entre medianas y grandes fue de entre 10 y 40, en cambio para la forma de expendio como el bulto su cantidad diaria esta entre 1 y 3. Es necesario mencionar que no se tiene información acerca de las otras formas de expendio, debido a que algunos individuos no tenían registro de la cantidad exacta vendida diariamente, además esta información es para un día normal, ya que según información de los encuestados la cantidad tiende a subir en días de fiesta, usualmente llegan a tener ventas de hasta 150 fundas al día.

#### **4.4.7 Conocimiento sobre briquetas.**

De la población encuestada se puede decir que el 100 %, supo responder que no tiene conocimiento alguno acerca de briquetas.

#### **4.4.8 Frecuencia de adquisición del material vegetal.**

En el análisis de la información a base de la encuesta, se determinó que la frecuencia usual con la que adquieren el material vegetal en los mercados se presenta en periodos quincenales y mensuales, es decir que cada 15 días ellos reciben el material vegetal para su expendio, o a su vez cada mes. Sin embargo, se debe mencionar que existe un registro recepción diferente con respecto al material vegetal. En algunas ocasiones el producto llega cada 8 días o por el contrario en periodos que sobre pasan el mes.

# CAPITULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Según la caracterización de la mezcla óptima para la elaboración de briquetas se concluye que las proporciones sobresalientes son: (80 % aserrín; 20 % aglutinante) y (70 % aserrín; 30 % aglutinante), esto para los dos aglutinantes empleados en este estudio, ya que presentaron características favorables con respecto a la eficiencia calórica y al tiempo de combustión.
- Dentro de los parámetros de combustión se determinó que los prototipos más eficientes fueron aquellos que tenían como aglutinante resina sintética debido a su eficiencia en el tiempo de combustión.
- Los prototipos en los que se utilizó un secado inducido fueron aquellos que poseen un costo superior; sin embargo, fueron los más eficientes con respecto a los parámetros analizados en este estudio.
- A pesar de las restricciones establecidas para el expendio de carbón en la ciudad de Ibarra se puede evidenciar la comercialización del material siendo la especie más utilizada como combustible el espino (*Vachellia macracantha*).

### 5.2 Recomendaciones

- Con base a los resultados obtenidos sobre la determinación de la mezcla optima se recomienda realizar una producción en masa de este tipo de combustible alterno.
- Es pertinente realizar investigaciones sobre la tecnificación de procesos para la producción de este combustible.
- Es necesario realizar investigaciones similares a la del estudio e incentivar el uso de este producto proveniente de la madera residual como alternativa de aprovechamiento del material emanado por la pequeña industria maderera.
- Es preciso fomentar el control en los procesos de elaboración, movilización y comercialización de carbón en la ciudad de Ibarra.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACHEE. (2016). Capacidades Calorificas De Distintos Combustibles Y Factores De Conversion de Unidades, 2–5. Retrieved from <http://www.drtoero.cl/ACHEE/documentos/recursos/DireccionAnexo2.pdf>
- Alarcón, S. (2017). Elaboración de briquetas a partir de desechos de tallos de rosas y papel reciclado., (6), 67–72.
- Aviles, J. (2011). “ESTUDIO TÉCNICO PARA LA OBTENCIÓN DE BRIQUETAS DE FACIL ENCENDIDO A PARTIR DE CARBÓN DE LA CASCARILLA DE PALMA AFRICANA Y SU PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA TYSAI S.A.”
- Cairmán, E; Díaz, L; Moncada, J. (2013). Estudio de consumo y caracterización del uso de la leña en la ciudad de Osorno”, 1–133.
- Cajina, C; López, D; Molina, L; Olivas, N., & Ramírez, J; Reyes, E. (2016). Evaluación de los parámetros físicos y químicos de las briquetas obtenidas con la maquina briquetadora construida en FAREM- Estelí Evaluation of physical and chemical parameters of the briquettes obtained with the briquetting machine built in FAREM - Este.
- Carrillo, A; Foroughbakhch, R; Maginot, H; Salas, L. (2015). BIOCMBUSTIBLES SÓLIDOS, (November 2016).
- Castells, X. (2000). *Biomasa y bioenergía*. Ediciones Díaz de Santos.
- Castrillo, L. (2015). Máquina para fabricacion de briquetas de aserrín para aserradero.
- CDC - MIPRO - 007. (2011). Propuesta de un plan de mejora competitiva valorada de la cadena de madera aserrada.
- Cea, H. (2003). Caracterización de astillas y aserrín para una planta de tableros de partículas en Valdivia.
- CFN. (2017). Ficha sectorial: Explotación de viveros forestales y madera en pie.
- Chamorro, P; Parreño, J. (2006). ANÁLISIS GEOESPECIAL DE LA INDUSTRIA MADERERA EN LA PROVINCIA DE IMBABURA.
- Chen, L., Xing, L., & Han, L. (2009). Renewable energy from agro-residues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2689–2695. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2009.06.025>
- COMAFORS. (2007). Planificacion estrategica de la Transformacion y Comercializacion de madera en el Ecuador. Retrieved from [http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2013/03/PE\\_Industrias.pdf](http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2013/03/PE_Industrias.pdf)

- Comisión mixta de la biomasa forestal de Navarra. (2015). Combustibles de biomasa Tipos y características III Plan Energético de Navarra horizonte 2020. Retrieved from <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/45C7C274-B3F4-4C91-B8B9-23259B8F5B39/0/201501Combustiblesdebiomasa.pdf>
- Curo, H; Gallo, J; Llantoy, V; Quispe, C; Valderrama, A. (2007). Briquetas De Residuos Sólidos Orgánicos Como Fuente De Energía Calorífica En Cocinas No. *Revista Científica CEDIT*, 2, 26–34.
- Ecuador Forestal. (2012). Ficha Técnica N° 4: LAUREL. Retrieved April 9, 2019, from <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-4-laurel/>
- Escoto, F; Gadea, R; Martinez, J. (2015). Las briquetas como un producto que reemplaza el uso de la madera en los hogares de la clase baja de Nicaragua. Retrieved July 2, 2019, from <https://briquetas.wordpress.com/>
- Espinosa, C. (2016). CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE BRIQUETAS DE ASERRÍN- UTN.
- FAO. (1998). COSTOS DE PRODUCCION. Retrieved July 12, 2018, from [http://www.fao.org/docrep/003/v8490s/v8490s06.htm#4.3 costos fijos](http://www.fao.org/docrep/003/v8490s/v8490s06.htm#4.3%20costos%20fijos)
- FAO. (2008). *Bosques y energía Cuestiones clave*.
- Fonseca, E., & Tierra, L. (2011). “Desarrollo De Un Proceso Tecnológico Para La Obtención De Briquetas De Aserrín De Madera Y Cascarilla De Arroz, Y Pruebas De Producción De Gas Pobre, 189. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1484/1/85T00206.pdf>
- GAD Ibarra. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial.
- Gasca, V; Salinas, E. (2009). Los Biocombustibles.
- Gómez, F. (2017). Método de depreciación de reducción de saldos y saldos decrecientes sin error residual, 160–275.
- González, A; Rosales, R. (2016). Aprovechamiento de los residuos provenientes de las industrias madereras y del almidón extraído de yuca por vía seca , para la elaboración de combustible sólido.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2018). Datos Meteorológicos 2012 - 2017.
- ITTO. (2019). Laurel (Cordia alliodora) | ITTO. Retrieved April 3, 2019, from <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/laurel-cordia-alliodora/>
- ITTO, & MAE. (2011). Aprovechamiento de Recursos Forestales en el Ecuador (Periodo 2010), (Periodo), 28.

- Jiménez, G. (2016). Análisis de la Eficiencia De La Combustión De Biogás en en Quemador Boliviano. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3, 94. Retrieved from [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182016000100011&script=sci\\_abstract](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182016000100011&script=sci_abstract)
- Krizan, P. (2007). Research of factors influencing the quality of wood briquets. *Acta Montanistica Slovaca*, 12(3), 223–230.
- MAE. (2012). Bosques secos.
- Martín, F. (1995). Pélets y briquetas. *Revista AITIM* 171, 54–62.
- Ministerio del Trabajo. (2018). Nueva Tabla de Sueldos Mínimos Sectoriales 2018. Retrieved January 7, 2018, from <http://informacionecuador.com/nueva-tabla-de-sueldos-minimos-sectoriales-2017-ministerio-del-trabajo-relaciones-laborales/>
- Ortiz, L.; Piñeiro, G.; Tejada, A.; Vázquez, A. (2003). Aprovechamiento de la Biomasa Forestal producida por la Cadena, 17–32. Retrieved from [http://www.unionsagrarias.org/archivos/docs/Aprovechameinto\\_Biomasa\\_I.pdf](http://www.unionsagrarias.org/archivos/docs/Aprovechameinto_Biomasa_I.pdf)
- PY CDC MIPRO 006 BIOMASA. (2011). *ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA ARA LA RECUPERACIÓN INDUSTRIAL DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL*.
- Samamé, W. (2017). Determinación del poder calorífico de briquetas de carbón utilizando cantidades de residuos de biomasa.
- Secretaria de Energía Republica de Argentina. (2009). Energías Renovables.
- SENPLADES. (2017). Plan nacional de desarrollo 2017-2021 “Toda una Vida.” *Senplades*, 1–148.
- Serret, N., Giralt, G., & Quintero, M. (2016). Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *Tecnología Química*, 36(3), 395–405.
- Torres, M. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*.
- Valencia, P. (2018). Protocolo de instrumentos de laboratorio de biomasa.
- Vera, A. (2014). *DISEÑO DE BRIQUETAS ECOLÓGICAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA CALÓRICA Y MEJORAMIENTO DE ECOSISTEMAS EN EL CORREGIMIENTO DE NABUSIMAKE, MUNICIPIO DE PUEBLO BELLO-CESAR i TRABAJO*.
- Zambrano, L., Moreno, P., Muñoz, F., & Durán, J. (2013). Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de *Pinus patula* Particle boards manufactured from industrial residues of *Pinus patula* wood, 19(3), 65–80. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2012.01.006>
- Zelada, C. (2012). Determinación del poder calórico de especies forestales utilizadas como sombra de café en la cuenca alta y media del río reventazón, cartago, costa rica., 20.

# ANEXOS

## Anexo A: Temperatura, humedad y precipitación del mes de octubre

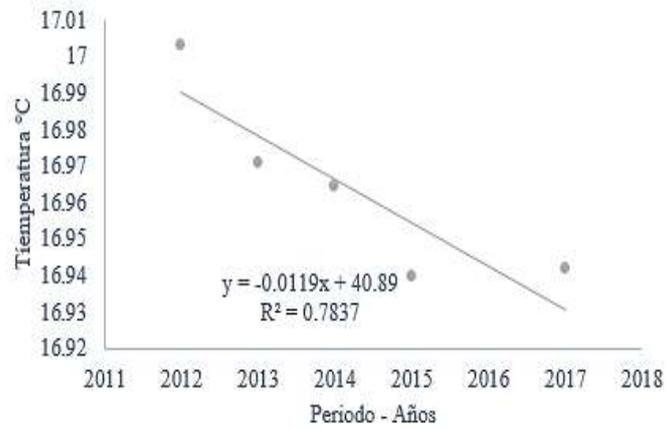


Figura 1. Regresión lineal para la variable Temperatura

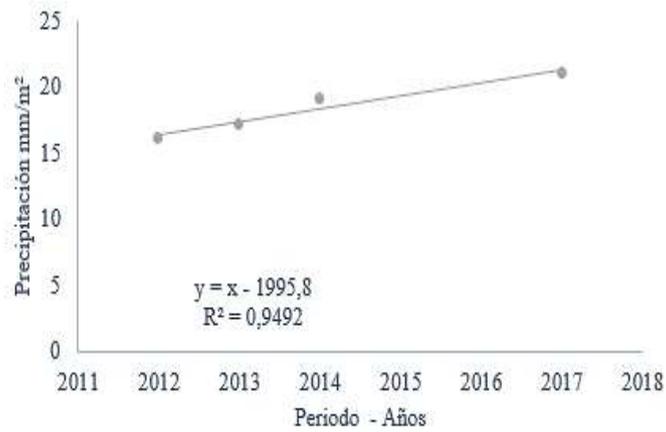


Figura2. Regresión lineal para la variable de Precipitación

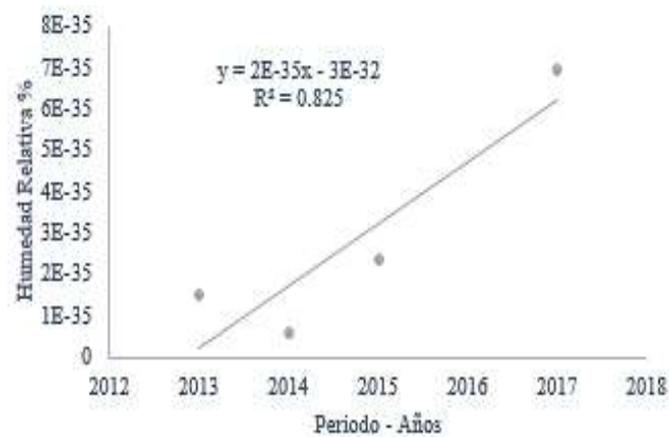


Figura 3. Regresión lineal para la variable Humedad Relativa



**Anexo C: Curvas de regresión**

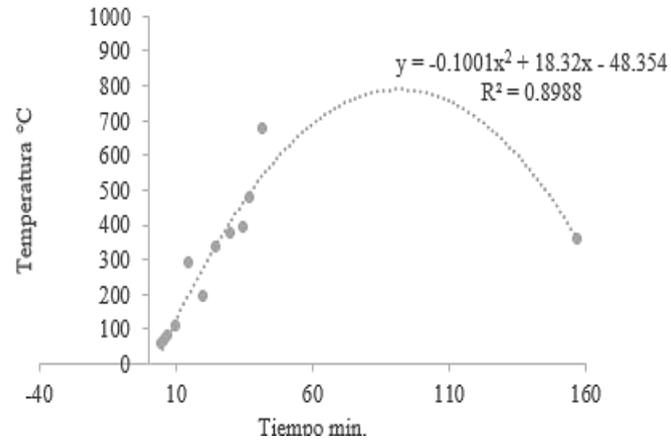


Figura 1. Curva de regresión para C1

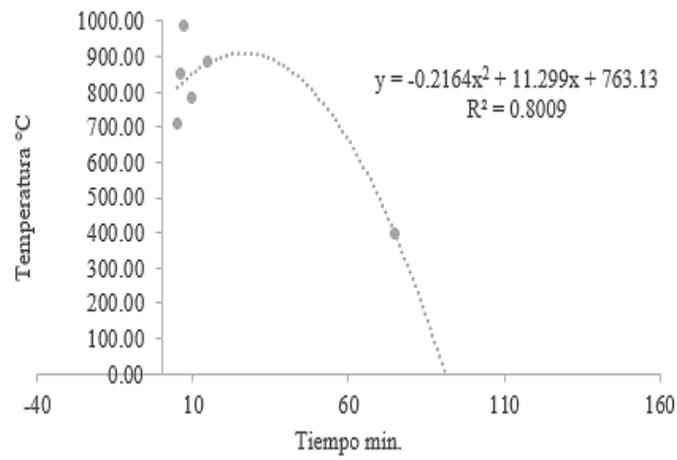


Figura 2. Curva de regresión para G1

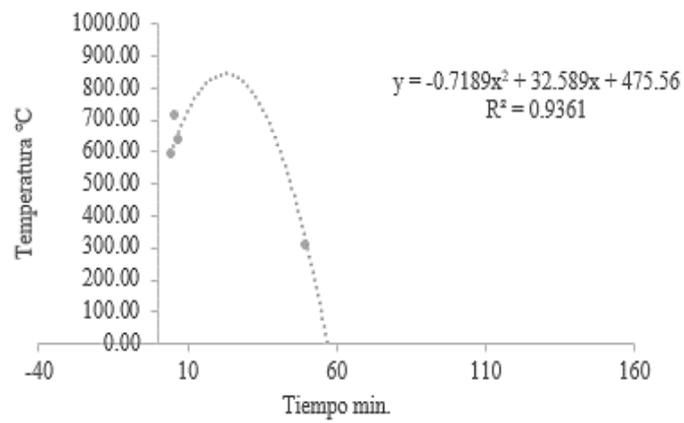


Figura 3. Curva de regresión para G2CH

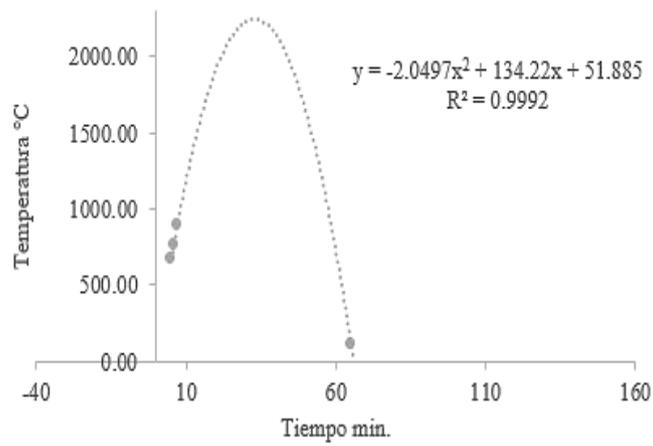


Figura 4. Curva de regresión para G2SH

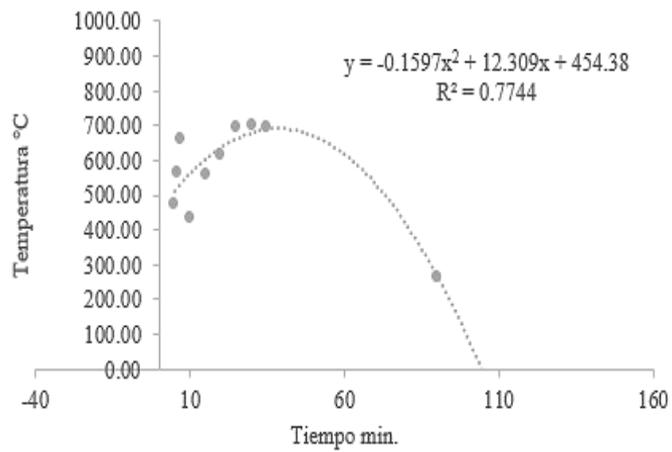


Figura 5. Curva de regresión para M1

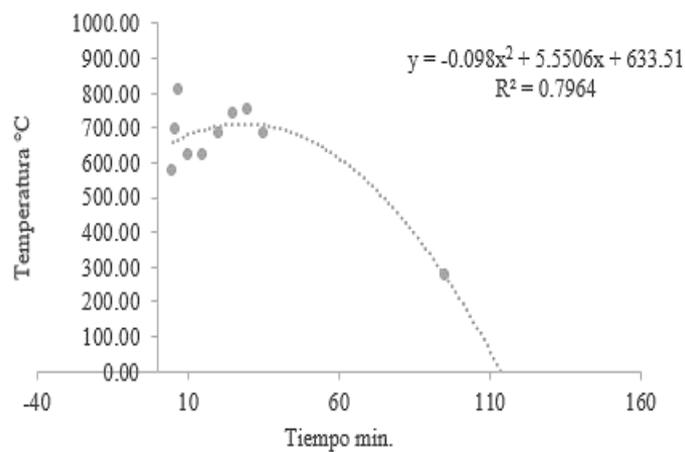


Figura 6. Curva de regresión para M2CH

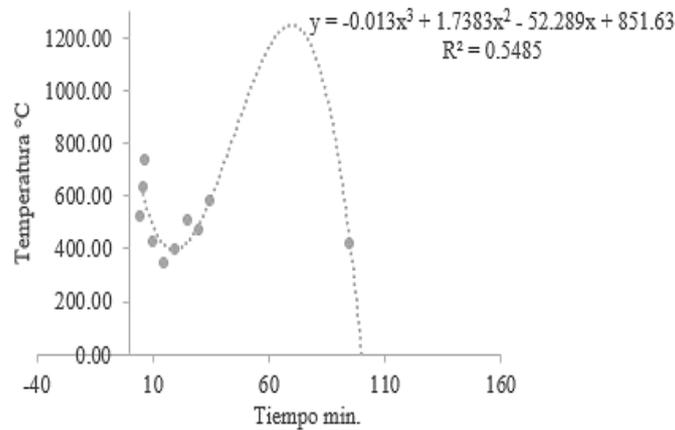


Figura 7. Curva de regresión para M2S

**Anexo D:** Costos de producción en el proceso de elaboración de briquetas

Tabla 1

Costo de producción para proporción (50 aserrín – 50 aglutinante; cola blanca; al aire)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	3	1.55	4.65
Aserrín	kg	1.5	0.227	0.3405
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire			0
Seguridad personal (guantes)	kid	2	3.8	7.6
<b>Total</b>				<b>23.8805</b>

Tabla 2

Costo de producción para proporción (60 aserrín – 40 aglutinante; cola blanca; al aire)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	2.55	1.55	3.9525
Aserrín	kg	1.9	0.227	0.4313
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire			0
Seguridad personal (guantes)	kid	2	3.8	7.6
<b>Total</b>				<b>23.2738</b>

Tabla 3

Costo de producción para proporción (70 aserrín – 30 aglutinante; cola blanca; al aire)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	2.05	1.55	3.1775
Aserrín	kg	2.4	0.227	0.5448
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire			0
Seguridad personal (guantes)	kid	2	3.8	7.6
Total				22.6123

Tabla 4

Costo de producción para proporción (80 aserrín – 20 aglutinante; cola blanca; al aire)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	1.05	1.55	1.6275
Aserrín	kg	2.1	0.227	0.4767
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire			0
Seguridad personal (guantes)	kid	2	3.8	7.6
Total				20.9942

Tabla 5

Costo de producción para proporción (50 aserrín – 50 aglutinante; cola blanca; horno)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	3	1.55	4.65
Aserrín	kg	1.5	0.227	0.3405
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire	24	0.14	3.36
Seguridad personal (guantes)	kid	2	3.8	7.6
Total				27.2405

Tabla 6

Costo de producción para proporción (60 aserrín – 40 aglutinante; cola blanca; horno)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	2.55	1.55	3.9525
Aserrín	kg	1.9	0.227	0.4313
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire	24	0.14	3.36
Seguridad personal (guantes)	kid	2	3.8	7.6
Total				26.6338

Tabla 7

Costo de producción para proporción (70 aserrín – 30 aglutinante; cola blanca; horno)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	2.05	1.55	3.1775
Aserrín	kg	2.4	0.227	0.5448
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire	24	0.14	3.36
Seguridad personal (guantes)	kid	2	3.8	7.6
Total				25.9723

Tabla 8

Costo de producción para proporción (80 aserrín – 20 aglutinante; cola blanca; horno)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	1.05	1.55	1.6275
Aserrín	kg	2.1	0.227	0.4767
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire	24	0.14	3.36
Seguridad personal (guantes)	kid	2	3.8	7.6
Total				24.3542

Tabla 9

Costo de producción para proporción (50 aserrín – 50 aglutinante; melaza; al aire)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	3	0.5	1.5
Aserrín	kg	1.5	0.227	0.3405
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire			0
Seguridad personal (guantes)	kid	1	3.8	3.8
Total				16.9305

Tabla 10

Costo de producción para proporción (60 aserrín – 40 aglutinante; melaza; al aire)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	2.55	0.5	1.275
Aserrín	kg	1.9	0.227	0.4313
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire			0
Seguridad personal (guantes)	kid	1	3.8	3.8
Total				16.7963

Tabla 11

Costo de producción para proporción (70 aserrín – 30 aglutinante; melaza; al aire)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	2.05	0.5	1.025
Aserrín	kg	2.4	0.227	0.5448
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire			0
Seguridad personal (guantes)	kid	1	3.8	3.8
Total				16.6598

Tabla 12

Costo de producción para proporción (80 aserrín – 20 aglutinante; melaza; al aire)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	1.05	0.5	0.525
Aserrín	kg	2.1	0.227	0.4767
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire			0
Seguridad personal (guantes)	kid	1	3.8	3.8
Total				16.0917

Tabla 13

Costo de producción para proporción (50 aserrín – 50 aglutinante; melaza; horno)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	3	0.5	1.5
Aserrín	kg	1.5	0.227	0.3405
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire	24	0.14	3.36
Seguridad personal (guantes)	kid	1	3.8	3.8
Total				20.2905

Tabla 14

Costo de producción para proporción (60 aserrín – 40 aglutinante; melaza; horno)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	2.55	0.5	1.275
Aserrín	kg	1.9	0.227	0.4313
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire	24	0.14	3.36
Seguridad personal (guantes)	kid	1	3.8	3.8
Total				20.1563

Tabla 15

Costo de producción para proporción (70 aserrín – 30 aglutinante; melaza; horno)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	2.05	0.5	1.025
Aserrín	kg	2.4	0.227	0.5448
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire	24	0.14	3.36
Seguridad personal (guantes)	kid	1	3.8	3.8
Total				20.0198

Tabla 16

Costo de producción para proporción (80 aserrín – 20 aglutinante; melaza; horno)

	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Aglutinante	l	1.05	0.5	0.525
Aserrín	kg	2.1	0.227	0.4767
Mano de obra	hora/hombre	1	2.65	2.65
Maquina	hora/maquina	1	0.86	0.86
Plásticos	kid	1	7.78	7.78
Secado	al aire	24	0.14	3.36
Seguridad personal (guantes)	kid	1	3.8	3.8
Total				19.4517

Anexo E: Formato de encuesta



**Encuesta previa a la obtención del título de Ingeniera Forestal**

Tema: Determinación del poder calorífico y tiempo de combustión de cuatro prototipos de briquetas.

1. ¿Usted tiene conocimiento sobre la procedencia del material vegetal (carbón)?  
Siempre    Casi siempre    A veces    Casi nunca    Nunca  
Lugar de procedencia:  
.....
2. ¿Usted tiene conocimiento de las especies que se utiliza como material vegetal?  
Siempre    Casi siempre    A veces    Casi nunca    Nunca  
Especies:  
.....
3. ¿Forma en la que expende usted el material vegetal?  
Funda pequeña    Funda mediana    Funda grande    Quintal    Bulto
4. ¿Cuánto es el valor de venta del material vegetal?  
Min – Max.  
Funda pequeña .....  
Funda mediana .....  
Funda grande .....  
Quintal .....  
Bulto .....
5. ¿Qué cantidad de material vegetal vende usted a diario?  
Min – Max.  
Funda pequeña .....  
Funda mediana .....  
Funda grande .....  
Quintal .....  
Bulto .....
6. ¿Tiene usted algún conocimiento sobre briquetas?  
SI                      NO                      Tal vez
7. ¿Con qué frecuencia adquiere el material vegetal?  
Semanalmente    Quincenalmente    Mensualmente    Otro

Figura 1. Formato encuesta

**Anexo F: Ilustraciones**



*Ilustración 1.* Instalación de maquina artesanal.



*Ilustración 2.* Secado de muestra previo a caracterización.



*Ilustración 3.* Caracterización del material.



*Ilustración 4.* Resultado de caracterización del material.



*Ilustración 5.* Resinas



*Ilustración 6.* Mezcla aglutinante – material residual



*Ilustración 7.* Mezcla de materiales.



*Ilustración 8.* Prensado de mezcla para elaboración de briquetas.



*Ilustración 9.* Pesado inicial de briqueta.



*Ilustración 10.* Mantenimiento de máquina artesanal.



*Ilustración 11.* Monitoreo briquetas al aire.



*Ilustración 12.* Monitoreo briquetas al horno.



*Ilustración 13.* Evaluación propiedades físicas.



*Ilustración 14.* Preparación de briquetas para ensayo de combustión.



*Ilustración 15.* Monitoreo ensayo de combustión.



*Ilustración 16.* Monitoreo de temperatura del combustible.



*Ilustración 17.* Proceso de combustión.



*Ilustración 18.* Monitoreo después del proceso de combustión.



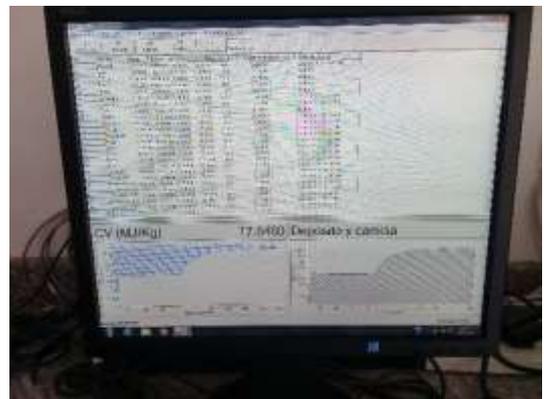
*Ilustración 19.* Muestras para calorímetro isoperibólico AC500.



*Ilustración 20.* Pulverización de material de muestra.



*Ilustración 21.* Separación de muestra para ensayo de combustión.



*Ilustración 22.* Resultado del poder calorífico con calorímetro isoperibólico AC500.



*Ilustración 23.* Encuesta en los principales mercados de la ciudad de Ibarra.



*Ilustración 24.* Pesado de material vegetal (carbón).



**Anexo B:** Pre – evaluación de briquetas

Tabla 1

*Pre – evaluación de briquetas*

Tratamiento	Factor A	Factor B	Factor C	Caracterización física	Prueba de encendido	Tiempo de encendido (min)
T1	G (cola blanca)	P1 (50% aserrín, 50% aglutinante)	A (secado al aire)	Excelente	No enciende	-
T2	G (cola blanca)	P2 (60% aserrín, 40% aglutinante)	A (secado al aire)	Excelente	No enciende	-
T3	G (cola blanca)	P3 (70% aserrín, 30% aglutinante)	A (secado al aire)	Regular	No enciende	-
T4	G (cola blanca)	P4 (80% aserrín, 20% aglutinante)	A (secado al aire)	Regular	Enciende	105
T5	M (melaza)	P1 (50% aserrín, 50% aglutinante)	A (secado al aire)	Excelente	No enciende	-
T6	M (melaza)	P2 (60% aserrín, 40% aglutinante)	A (secado al aire)	Excelente	Enciende	7
T7	M (melaza)	P3 (70% aserrín, 30% aglutinante)	A (secado al aire)	Excelente	Enciende	13
T8	M (melaza)	P4 (80% aserrín, 20% aglutinante)	A (secado al aire)	Regular	Enciende	100
T9	G (cola blanca)	P1 (50% aserrín, 50% aglutinante)	H (secado al horno)	Excelente	Enciende	5
T10	G (cola blanca)	P2 (60% aserrín, 40% aglutinante)	H (secado al horno)	Regular	Enciende	10
T11	G (cola blanca)	P3 (70% aserrín, 30% aglutinante)	H (secado al horno)	Regular	Enciende	140
T12	G (cola blanca)	P4 (80% aserrín, 20% aglutinante)	H (secado al horno)	Malo	Enciende	17
T13	M (melaza)	P1 (50% aserrín, 50% aglutinante)	H (secado al horno)	Excelente	Enciende	5
T14	M (melaza)	P2 (60% aserrín, 40% aglutinante)	H (secado al horno)	Excelente	Enciende	12
T15	M (melaza)	P3 (70% aserrín, 30% aglutinante)	H (secado al horno)	Regular	Enciende	120
T16	M (melaza)	P4 (80% aserrín, 20% aglutinante)	H (secado al horno)	-	-	-

