



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO
(*Theobroma cacao* L.) Y COLOFONIA COMO AGLUTINANTE PARA SER UTILIZADAS
COMO BIOCOMBUSTIBLE**

Marco Alejandro Pérez Toribio

Asesorado por la Inga. Adela María Marroquín González

Guatemala, julio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO
(*Theobroma cacao* L.) Y COLOFONIA COMO AGLUTINANTE PARA SER UTILIZADAS
COMO BIOCOMBUSTIBLE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARCO ALEJANDRO PÉREZ TORIBIO
ASESORADO POR LA INGA. ADELA MARÍA MARROQUÍN GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Cesar Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO
(Theobroma cacao L.) Y COLOFONIA COMO AGLUTINANTE PARA SER UTILIZADAS
COMO BIOCOMBUSTIBLE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 23 de octubre de 2015.

Marco Alejandro Pérez Toribio



Guatemala, 05 de abril del 2017

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Respetable Ingeniero Wong Davi

Esperando que tenga éxitos en sus actividades laborales, por este medio hago de su conocimiento que, en mi calidad de asesora del trabajo de graduación del estudiante de Ingeniería Química **MARCO ALEJANDRO PÉREZ TORIBIO**, quien se identifica con carne número **2009-15144** y CUI **1595848330301**, he revisado el Informe Final de trabajo de graduación, titulado **“FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) Y COLOFONIA COMO AGLUTINANTE PARA SER UTILIZADAS COMO BIOCOMBUSTIBLE”**. Por lo que considero que el presente informe cumple con los requisitos necesarios para ser presentado ante las autoridades de la Escuela de Ingeniería Química y lo doy por aprobado.

Por lo tanto dejo a su consideración que el estudiante continúe con los trámites pertinentes para la defensa y aprobación del mismo ante la terna evaluadora y su persona.

Sin otro particular me despido de usted,

Atentamente,

Inga. Qca. Adela María Marroquín González
Número de colegiado 1446
ASESORA

Adela María Marroquín González
Ingeniera Química Col. No. 1446





Guatemala, 17 de mayo de 2017.
Ref. EIQ.TG-IF.021.2017.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **111-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Marco Alejandro Pérez Toribio**.
Identificado con número de carné: **2009-15144**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

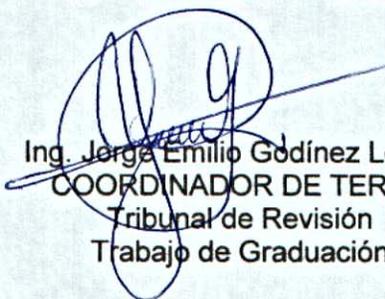
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO
(Theobroma cacao L.) Y COLOFONIA COMO AGLUTINANTE PARA SER
UTILIZADAS COMO BIOCOMBUSTIBLE**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Adela María Marroquín González**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.033.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **MARCO ALEJANDRO PÉREZ TORIBIO** titulado: **"FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) Y COLOFONIA COMO AGLUTINANTE PARA SER UTILIZADAS COMO BIOCOMBUSTIBLE"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, julio 2017

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala

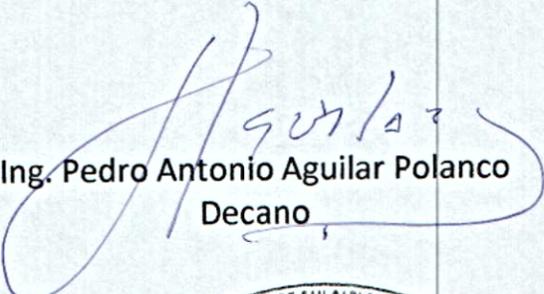


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 310.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO (Theobroma cacao L.) Y COLOFONIA COMO AGLUTINANTE PARA SER UTILIZADAS COMO BIOCOMBUSTIBLE**, presentado el estudiante universitario: **Marco Alejandro Pérez Toribio**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, julio de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por las bendiciones recibidas en mi vida, por ser la luz en mi caminar y otorgarme la vida.
- Mis padres** Lesvia Yolanda Toribio Pac y Juan Luis Pérez Sicán, por darme su apoyo incondicional y su abundante amor.
- Mis hermanos** Luis Manuel Pérez Toribio y Juan Luis Pérez Toribio, por ser un apoyo y motivación en mi vida y en mi carrera.
- Mis abuelos** Dolores Amalia Pac Lepe (q. e. p. d), María Josefa Sican (q. e. p. d), Miguel Ángel Toribio (q. e. p. d), Juventino Pérez Paredes (q. e. p. d), por ser ejemplos y ángeles en mi vida.
- Mis tíos** Por darme su apoyo y consejos a lo largo de mi carrera.
- Mis amigos** Por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudio y formarme como un profesional

Facultad de Ingeniería

Por brindarme todo el conocimiento para ser un profesional de éxito.

**Mis amigos de la
facultad**

Por su amistad y brindarme su apoyo incondicional en la trayectoria de la carrera.

Inga. Adela Marroquín

Por brindarme su apoyo y confianza, por compartir sus conocimientos y experiencias, pero más que todo le agradezco su gran amistad.

**Sección de Tecnología
de la Madera**

Por darme las herramientas necesarias para poder realizar el proyecto de investigación con éxito.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Biocombustibles	3
2.1.1. Biomasa.....	3
2.2. Según su estado, clasificación de la biomasa	4
2.2.1. Biomasa sólida	4
2.2.2. Biomasa líquida	4
2.2.3. Biomasa gaseosa	4
2.3. Biocombustibles en forma sólida.....	4
2.3.1. Astillas	5
2.3.1.1. Ventajas.....	6
2.3.1.2. Desventajas.....	6
2.3.2. Pellets.....	6
2.3.2.1. Ventajas.....	6
2.3.2.2. Desventajas.....	7
2.3.3. Briquetas.....	7

	2.3.3.1.	Ventajas	8
	2.3.3.2.	Desventajas.....	8
2.3.4.		Tipos de morfologías de las briquetas.....	9
	2.3.4.1.	Briqueta Pini Kay.....	9
	2.3.4.2.	Briquetas Nestro.....	9
	2.3.4.3.	Briqueta Pini Kay con tres agujeros en el centro.....	10
2.4.		Tamizado	11
2.5.		Composición química.....	12
2.6.		Humedad.....	12
2.7.		Poder calorífico	13
2.8.		Combustión	13
2.9.		Energía térmica.....	14
2.10.		Aglutinantes	15
	2.10.1.	Tipo de aglutinante.....	15
		2.10.1.1. Colofonia	16
2.11.		Cacao.....	16
	2.11.1.	Tipos de cacao	17
		2.11.1.1. Cacao criollo.....	17
		2.11.1.2. Cacao forastero o campesino.....	18
	2.11.2.	Características del árbol.....	18
	2.11.3.	Cultivo de cacao en Guatemala	20
		2.11.3.1. Aspectos técnicos	21
		2.11.3.2. Temperatura.....	22
		2.11.3.3. Agua.....	22
		2.11.3.4. Viento.....	22
		2.11.3.5. Sombra.....	23

3.	DISEÑO METODOLÓGICO	25
3.1.	Variables.....	25
3.1.1.	Variables independientes	25
3.1.2.	Variables dependientes	26
3.2.	Delimitación del campo de estudio	26
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	27
3.4.	Recursos materiales disponibles	27
3.5.	Técnicas cuantitativas	28
3.6.	Recolección y ordenamiento de información	28
3.7.	Método de elaboración de las briquetas	30
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	32
3.8.1.	Tabulación de información.....	32
3.9.	Gráfico de control estadístico	38
3.10.	Normalización de datos	39
3.10.1.	Prueba de Anderson Darling.....	39
3.11.	Análisis estadístico	40
3.11.1.	Media aritmética	40
3.11.2.	Varianza	41
3.11.3.	Desviación estándar	41
4.	RESULTADOS	43
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	51
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	57
	BIBLIOGRAFÍA.....	59
	APÉNDICES	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Briqueta Pini Kay.....	9
2.	Briquetas Nestro	10
3.	Briquetas RUF.....	11
4.	Colofonia	16
5.	Grano de cacao.....	17
6.	Árbol de cacao	20
7.	Mapa de cultivo de cacao.....	21
8.	Diagrama de flujo de la elaboración de briquetas	31
9.	Gráfico de control estadístico.....	39
10.	Gráfico de Anderson Darling.....	40
11.	Gráfico de control estadístico correspondiente a la determinación de la densidad (kg/m^3) en función de las formulaciones	43
12.	Prueba de normalidad para la determinación de la densidad (Kg/m^3) en función de las formulaciones	44
13.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente para la determinación de la densidad (Kg/m^3) en función de las formulaciones.....	44
14.	Gráfico de control estadístico correspondiente a la determinación del porcentaje de ceniza en función de las formulaciones	45
15.	Prueba de normalidad para la determinación el porcentaje de ceniza en función de las formulaciones.....	45
16.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente para la determinación del porcentaje de ceniza en función de las formulaciones.....	46

17.	Gráfico de control estadístico correspondiente a la determinación del porcentaje de ceniza en función de la fuerza de compactación	46
18.	Prueba de normalidad para la determinación el porcentaje de ceniza en función de las formulación	47
19.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente para la determinación del porcentaje de ceniza en función de las formulaciones	47
20.	Gráfico de control estadístico correspondiente a la determinación del porcentaje de humedad en función de las formulaciones	48
21.	Prueba de normalidad para la determinación del porcentaje de humedad en función de las formulación	48
22.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente para la determinación del porcentaje de humedad en función de las formulaciones	49
23.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente para la determinación del porcentaje de humedad en función de la fuerza de compactación.....	49

TABLAS

I.	Especificación de las variables independientes	25
II.	Especificación de las variables dependientes.....	26
III.	Recursos humanos disponibles	27
IV.	Tipo de morfología Pini Kay (cilindro sólido con un agujero en el centro).....	29
V.	Tipo de morfología Nastro (cilindro sólido)	29
VI.	Tipo de morfología Pini Kay (cilindro sólido con tres agujeros en el centro).....	30
VII.	Caracterización de materia prima	32

VIII.	Determinación del porcentaje de humedad para la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas.....	32
IX.	Determinación del porcentaje de ceniza para la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas	33
X.	Datos para determinar el volumen de la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas.....	33
XI.	Datos para determinar la densidad de la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas.....	34
XII.	Determinación del porcentaje de humedad para la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 5 toneladas.....	34
XIII.	Determinación del porcentaje de ceniza para la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 5 toneladas	35
XIV.	Datos para determinar el volumen de la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 5 toneladas.....	35
XV.	Datos para determinar la densidad de la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 5 toneladas.....	36
XVI.	Determinación del porcentaje de humedad para la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas.....	36
XVII.	Determinación del porcentaje de ceniza para la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas	37
XVIII.	Datos para determinar el volumen de la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas.....	37
XIX.	Datos para determinar la densidad de la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas.....	38

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura
H_{prom}	Altura promedio
Q_{briqueta}	Calor de briqueta
C_p	Calor específico
cm³	Centímetro cúbico
ρ	Densidad
D	Diámetro
D_{prom}	Diámetro promedio
°C	Grados centígrados
g	Gramos
H	Humedad
kg	Kilogramos
kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
kJ	Kilojoule
kJ/kg	Kilojoule por kilogramo
m_o	Masa inicial
m_f	Masa final
M_{total}	Masa total
m³	Metro cúbico
mm	Milímetro
P_o	Peso inicial de la muestra
P_f	Peso final de la muestra
%	Porcentaje

W-%

Porcentaje en peso

V

Volumen

GLOSARIO

Briqueta	Es un biocombustible ecológico limpio catalogado como energía sólida para la sostenibilidad de la sociedad de energía calórica.
Aglutinante	Material capaz de unir fragmentos de una o varios materiales y dar unidad al conjunto, por efectos exclusivamente físicos
Biocombustible	Es un tipo de combustible de origen biológico que consiste de una mezcla de sustancias orgánicas.
Biomasa	Es la utilización de materia orgánica como fuente energética.
Resina	Es una secreción orgánica que producen muchas plantas particularmente los árboles de tipo conífera.
Tamiz	Instrumento formado por un aro de red tensada que sirve para separar sólidos formados por partículas de tamaños diferentes.
Colofonia	Resina sólida, traslúcida, pardusca o amarillenta, e inflamable que se obtiene de la destilación de la trementina del pino.

Densidad	Es la relación de la masa de un cuerpo y su volumen.
Poder calorífico	Es la cantidad de calor total desprendido en la combustión completa de una unidad de masa.
Bioenergía	Energía renovable que se obtiene por transformación química de la biomasa.
Energía renovable	Energía que utiliza los recursos inagotables de la naturaleza, como la biomasa, las radiaciones solares o el viento.
Compactación	Proceso realizado generalmente por medios mecánicos por el cual se obliga a la partícula a ponerse más en contacto con otras, lo que implica una reducción de volumen.
Humedad	Es la cantidad de agua que se impregna en un cuerpo presente en la atmósfera.
Formulación	Es la mezcla de dos o más compuestos para determinar una composición.
Presión	Magnitud escalar que relaciona la fuerza con la superficie sobre la cual actúa, es decir, equivale a la fuerza que actúa sobre la superficie.

RESUMEN

Durante el desarrollo del presente trabajo se tuvo como objetivo principal la fabricación de briquetas a partir de la cáscara de cacao y colofonia como aglutinante para ser utilizada como biocombustible; la fabricación de las briquetas a partir de la cáscara de cacao y colofonia se llevó a cabo en el Laboratorio Multipropósito Sección de Tecnología de la Madera, ubicado en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12 de la ciudad de Guatemala. Para el proceso de elaboración de cada briqueta se calentó la colofonia a una temperatura de 60 °C para tener una mejor manipulación y poder mezclar fácilmente con la cáscara de cacao ya tamizada para obtener una mejor mezcla aglutinante-aglutinado.

Para la fabricación de cada tipo de briqueta se obtuvieron diferentes tipos de formulaciones (90 %, 80 %, 70 %) con diferentes tipos de morfologías (Pini Kay, Nastro y Pini Kay con tres agujeros en el centro), variando la fuerza de compactación (2,5 toneladas, 5 toneladas, 7,5 toneladas). En cuanto al tipo de morfología Pini Kay y Pini Kay con tres agujeros en el centro, no se obtuvo ningún resultado fisicoquímico ya que la cáscara de cacao y la colofonia no son una buena mezcla de aglutinante-aglutinado para este tipo de morfologías, porque presenta desmoronamiento y una mala forma de compactación al molde.

La briqueta que se fabricó fue la de tipo Nastro, en la cual se procedió a evaluar las propiedades fisicoquímicas: densidad, poder calorífico, humedad y contenido de cenizas, esto con el fin de obtener el tipo de briqueta que tenga el mejor rendimiento como biocombustible.

La fabricación de briquetas tipo Nastro a diferentes formulaciones y fuerza de compactación hay poca diferencia significativa en cada prueba fisicoquímica realizada; el tipo de formulación y fuerza de compactación que se le ejerza a la briqueta siempre tendrá una capacidad calorífica en un rango de 17,961 kJ/kg y 23,632 kJ/kg.

OBJETIVOS

General

Fabricar briquetas a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) y colofonia como aglutinante a diferentes composiciones porcentuales para ser utilizadas como biocombustible.

Específicos

1. Determinar la influencia de la fuerza de compactación de cada briqueta, fabricada a partir de la cáscara de cacao, variando el porcentaje de colofonia (70 %, -30 %, 80 %-20 %, 90 %, -10 %)
2. Evaluar las propiedades fisicoquímicas densidad, humedad, contenido de cenizas y poder calorífico de cada briqueta fabricada con los diferentes tipos de formulación.
3. Determinar el tipo de morfología (Pini kay, Nestro y tipo Pini kay con tres agujeros en el centro) que sea adecuado para la fabricación de las briquetas.

Hipótesis

Hipótesis de trabajo

La fabricación de briquetas con cáscara de cacao y colofonia pueden variar su calor específico según el tipo de formulación y fuerza de compactación que se le pueda aplicar a la briqueta.

Hipótesis de investigación ($H_{i,1}$)

H_1 : hay diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas al variar el contenido de colofonia en las briquetas.

Hipótesis nula ($H_{o,1}$)

H_1 : no hay diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas al variar el contenido de colofonia en las briquetas.

INTRODUCCIÓN

La biomasa es la materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. La biomasa se está convirtiendo en los últimos años en una de las energías renovables con mayor desarrollo. Su utilización podría contribuir a reducir la emisión de CO₂ en miles de toneladas al año; además, contribuir al desarrollo económico del país.

La materia prima, origen de las briquetas, es muy variado; entre los productos que se utilizan se encuentran los residuos de bosques, cultivos agrícolas, residuos rurales y urbanos, entre otros. Solo tiene un aspecto común: Que en la mayor parte de los casos es biomasa.

La biomasa que se utiliza para la fabricación de briquetas de cacao no permite una unión por si misma tal como lo hace el aserrín; por lo tanto, se hace necesario la utilización de un elemento que actúe como aglutinante o adhesivo del conjunto: la colofonia, una resina que se extrae del árbol de pino, un medio adecuado para la combustión.

Las briquetas, o bloque sólido, representan un tipo de biocombustibles con componentes derivados a partir de la biomasa que sirven para generar calor y son catalogados como bioenergía sólida que sustituyen a la leña con mucha ventaja. Las briquetas representan un tipo de energía renovable ya que se obtiene de fuentes naturales.

Se puede afirmar hoy día que es una alternativa energética real tanto para la producción de energía eléctrica y energía térmica (calor) como para la generación de biocombustible o biocarburantes, que serán la única opción de sustitución frente a los actuales combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón).

1. ANTECEDENTES

Los biocombustibles representan una opción fundamental para la producción de energía con el fin de remplazar las necesidades energéticas suministradas por las energías clásicas (carbón, petróleo, gas natural, energías nucleares e hidroeléctricas clásicas).

Se desea aprovechar todos los residuos sólidos orgánicos agroindustriales: aserrín, viruta, cascarilla de almendra y cáscara de cacao para producir energía ecológica y renovable.

En 2013, Arnaldo Ramón Uliambre Baez realizó un proyecto de creación de una fábrica de briquetas de aserrín en Santa Rosa del Aguaray, en la Universidad Tecnológica Intercontinental; su objetivo principal fue establecer la viabilidad de instalar en la ciudad de Santa Rosa del Aguaray una fábrica de briquetas de aserrín para su comercialización como energía renovable. La evaluación del proyecto propuesto obtuvo en dichos indicadores resultados favorables que garantizan que el rendimiento que obtendría el inversionista realizando la inversión es mayor que el que obtendría en la mejor inversión alternativa, por lo tanto, conviene realizar la inversión.

En el año 2014, Víctor Enrique Ríos Marticorena realizó su trabajo de graduación titulado: *Aprovechamiento de la cachaza, la colofonia y la arcilla como aglutinantes en la formulación de briquetas energéticas utilizando residuos de aserrío*, en la Universidad de San Carlos de Guatemala; su objetivo principal fue evaluar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de las briquetas energéticas elaboradas a partir de residuos de aserríos en función del aglutinante utilizado: cachaza, colofonia y arcilla.

En cuanto a la evaluación de los residuos agroindustriales se obtuvo que la cachaza y la arcilla no puedan ser utilizadas como aglutinante para la fabricación de briquetas; como resultado se tiene que la briqueta que presenta las propiedades fisicoquímicas y mecánicas adecuadas es la briqueta con composición 80 % (colofonia) y 20 % (aserrío) de las diferentes formulaciones evaluadas.

En el año 2012, Gisel Andrea Oviedo Corredor realizó la investigación. *Plan de negocios para la fabricación y comercialización de briquetas de carbón vegetal a partir de los desechos de la madera y orgánicos en el área del Magdalena medio, Santander*, en la Universidad Industrial de Santander; su objetivo primordial fue desarrollar un estudio sobre el aprovechamiento de materiales como fuente de energía renovable que redunde en el uso de recursos naturales, utilizándolos de una manera más eficaz y productiva. En cuanto a la comercialización de las briquetas, el estudio realizado muestra un gran interés en adquirir el producto en el área de Magdalena, lo que constituye una clara oportunidad para incursionar en el mercado.

Año 2015, Ana Lucía Martínez Maldonado realizó la tesis sobre determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, desechos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, teniendo presente su objetivo principal determinar el efecto de dos aglutinantes (cal y almidón) sobre las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, vacasa, desechos sólidos y tetrabrik. Para la formación de un biocombustible alternativo a los combustibles clásicos. Por lo que la investigación dio como resultado que la briqueta de aserrín tiene el porcentaje de humedad más alto, la briqueta de tetrabrik con almidón tiene el mayor poder calorífico y la briqueta de vacasa con cal tiene la mayor densidad.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Biocombustibles

Los biocombustibles provienen de la biomasa o materia orgánica que constituye todos los seres vivos del planeta. La biomasa es una fuente de energía renovable, pues su producción es mucho más rápida que la formación de los combustibles fósiles.

Se pueden utilizar diferentes métodos para obtener biocombustibles: procesos mecánicos (astillados, trituración, compactación), termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación), biotecnológicos (microbacterianos o enzimáticos) y extractivos.

2.1.1. Biomasa

La biomasa apunta como una de las fuentes energía renovable con más futuro a corto plazo. Se trata de la materia orgánica, tanto de origen vegetal como animal, que puede aprovecharse con fines energéticos. El uso del vegetal es el más extendido, ya sea en forma de orujillos de aceite o de uva, de los huesos de aceituna, cáscara de frutos secos y, sobre todo, de todos los residuos de la industria maderera (astillas y aserrín) y los restos de las limpiezas forestales de cortafuegos y rastrojos.

2.2. Según su estado, clasificación de la biomasa

Hay diferentes estados en que se puede representar una biomasa:

2.2.1. Biomasa sólida

La más conocida es la que se obtiene de tratamientos forestales, podas, y de los residuos de las industrias que trabajan con cualquier tipo de biomasa natural (carpinterías, papelerías etc.). Se pueden utilizar también subproductos: paja, aserrín, huesos de aceitunas, etc.

2.2.2. Biomasa líquida

Forman parte de la biomasa líquida todos los elementos utilizados para obtener carburantes y biocombustibles (maíz, caña de azúcar, remolacha y aceites de colza). Los más conocidos son el biodiesel y el etanol.

2.2.3. Biomasa gaseosa

De la biomasa natural se puede conseguir biomasa gaseosa que gracias a algunos procesos, como la digestión anaeróbica o la gasificación, puede producir calor para necesidades comerciales o accionar turbinas para la producción de electricidad.

2.3. Biocombustibles en forma sólida

Se consideran biocombustibles sólidos a los biocombustibles no fósiles compuestos por materia orgánica de origen vegetal o animal o producidos a

partir de la misma mediante procesos físicos, susceptibles de ser utilizados en aplicaciones energéticas.

Las características de cada biocombustible sólido varían según su composición y humedad; de manera que la energía que puede generarse por unidad de masa o de volumen depende de estos parámetros. Por tal razón es importante el PCI (poder calorífico interior) de cada producto.

Actualmente, gracias al desarrollo del mercado, existe gran cantidad de combustibles comerciales empleados mayoritariamente en sistemas de calefacción.

Los más comunes son los siguientes: astillas, pellets y briquetas; son de origen renovable; y por lo tanto son menos contaminantes que sus equivalentes fósiles.

2.3.1. Astillas

Proviene generalmente de tratamientos selvícolas y aprovechamientos forestales (podas, clareos, claras, etc.) y de las industrias de primera y segunda transformación de la madera; es el resultado de reducir el tamaño de la madera para fabricar trozos pequeños de forma irregular.

Un cuidadoso tratamiento y secado facilitan una óptima capacidad de almacenamiento y una combustión libre de problemas, con una mínima generación de ceniza, y bajas emisiones. Las astillas de madera son un combustible, no sujeto a crisis y respetuoso con el medio ambiente.

2.3.1.1. Ventajas

- Menor costo de producción que los pellets y las briquetas
- Las astillas limpias de corteza y secas, son normalmente de alta calidad

2.3.1.2. Desventajas

- Menos densa que las pellets y las briquetas, precisan un espacio mayor que el almacenamiento.
- Al ser menos densas, el transporte encarece el producto con altos costos de distribución.

2.3.2. Pellets

Son cilindros con dimensiones generalmente entre 6 y 8 mm de diámetro y de 25 a 60 mm de longitud, obtenidos mediante el prensado de aserrín donde la propia lignina hace de aglomerante. Este proceso les da una apariencia brillante como si estuviera barnizado y lo hace más denso que la madera original. La compactación se consigue de forma natural o mediante la adición de elementos contaminantes en la combustión. Es un producto muy manejable que puede servir para automatizar instalaciones de pequeños o medianos tamaños.

2.3.2.1. Ventajas

- Muy bajo contenido en cenizas
- Elevado poder calorífico
- Mayores posibilidades de manejo
- Al ser un material reaprovechado, es un combustible más barato

2.3.2.2. Desventajas

- Precio alto en comparación con otros biocombustibles.
- La producción de residuos de madera en la industria es limitada, por lo tanto, un consumo extendido puede dar como resultado que se empiecen a fabricar con árboles enteros para surtir el mercado.
- También ocupa más lugar que el gasoil, por lo que hace falta más sitio para almacenarlo o reponer las existencias más veces.

2.3.3. Briquetas

La briqueta puede estar fabricada con muy diversos materiales compactados. La materia prima de la briqueta puede ser biomasa forestal procedente del aprovechamiento selvícola, biomasa forestal procedente de residuos de fábrica de madera (aserraderos, fábrica de puertas, fábrica de muebles, fábricas de tableros de partícula, etc.) biomasa residual industrial, biomasa residual urbana, carbón vegetal o simplemente una mezcla de todas. La característica común de todas las briquetas es su alta densidad.

Las briquetas representan un combustible (de origen lignocelulósico en la mayor parte de los casos) formado por la compactación de biomasa. La materia prima fundamental serán las astillas y los residuos de madera. Sin embargo, a veces, las briquetas están formadas por la compactación de cualquier tipo de biomasa residual.

Son cilindros de 50mm a 130 mm de diámetro y de longitud variable de 5 a 30 mm. Tienen una densidad elevada (entre 1000Kg/m³ y 1300 Kg/m³) y se fabrican al igual que los pellets por medio de prensas: el material se calienta y es sometido a altas presiones.

En ocasiones se añaden adherentes artificiales para facilitar la cohesión del material y reducir la presión del prensado.

2.3.3.1. Ventajas

- Mayo poder calorífico
- Fácil y rápido encendido
- Baja humedad
- Alta densidad
- No genera impacto ambiental

2.3.3.2. Desventajas

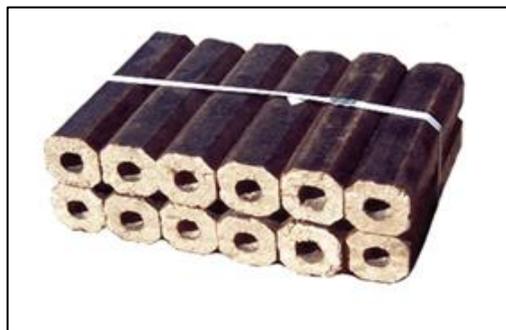
- Fabricados con residuos forestales contribuye a la limpieza del medio ambiente es una falacia porque la materia orgánica debe retornar al suelo por mineralización.
- Suelen ser más costosas que el carbón natural.
- Producen algunos gases de efecto invernadero.

2.3.4. Tipos de morfologías de las briquetas

2.3.4.1. Briqueta Pini Kay

Consiste en aglomeraciones de forma rectangular de fácil apilación y manejo. A diferencia de los otros modelos como las briquetas Nestro, este tipo de briquetas pasan por un proceso de prensado. que hace que la briketa quede más compacta que aumenta su durabilidad y energía calórica.

Figura 1. **Briqueta Pini Kay**



Fuente: *Tipos de briketa* <http://www.ecobriketplus.com/paginas/tipodebriketa.html>.

Consulta: 5 de febrero de 2017.

2.3.4.2. Briquetas Nestro

Las briquetas Nestro están compuestas también por biomasa forestal compactada. La única diferencia con el modelo Pini Kay es su forma: cilíndrica sólida y su tamaño mayor que puede dificultar su manejo y transporte. A pesar de ser piezas más grandes, al no llevarse a cabo el tratamiento calórico en el presando, las piezas pueden quedar mejor compacta que la briketa tipo Pini Kay.

Figura 2. **Briquetas Nastro**



Fuente: *Ecobriquetplus*. <http://www.ecobriquetplus.com/paginas/tipodebriqueta.html>.

Consulta: 7 de febrero de 2017.

2.3.4.3. Briqueta Pini Kay con tres agujeros en el centro

Las briquetas tipo Pini Kay están compuestas de forma cilíndricas con tres o varios agujeros en el centro ya que cumplen la función de quemarse más fácilmente. Es poco la relación y manejo, pero puede estar compuesto de diferentes materiales. Contiene más humedad que las otras y también crea más ceniza.

Figura 3. **Briquetas RUF**



Fuente: *Briquette press machine*. <http://www.biodiesel-machine.com/sp/briquette-press.html>.

Consulta: 8 de febrero de 2017.

2.4. Tamizado

Es un método físico para separar mezclas en el cual se separan dos sólidos formado por partículas de tamaño diferente; esta materia prima tiene que ser llevada a un tamaño de al menos el diámetro de la briqueta a producir. Consistente en hacer pasar una mezcla de partículas de diferentes tamaños por un tamiz o cualquier cosa con la que se pueda colocar. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz o colador atravesándolo y las grandes quedan atrapadas.

Es un método muy sencillo utiliza generalmente en mezcla de sólidos heterogéneos. Los orificios del tamiz suelen ser de diferentes tamaños y se utilizan de acuerdo al tamaño de las partículas de una solución homogénea.

2.5. Composición química

Es esencial conocer la composición química elemental de las briquetas se condiciona su poder calorífico. La composición química de las briquetas dependerá del material utilizado en su constitución. Si se emplean aditivos debe tenerse en cuenta su composición química. Lo ideal es conocer los porcentajes (en peso) del material y de aditivos empleados, así como la humedad en la que se manipulan estos productos. Conocidos estos porcentajes, puede evaluarse de forma aproximada la composición química de las briquetas.

2.6. Humedad

La humedad de las briquetas varía mucho, porque la humedad de los combustibles depende del momento de la recolección, de la ubicación, del tipo y la duración del almacenamiento, así como de la preparación del combustible; oscila entre menos del 10 % a un 50 % en los subproductos. La humedad tiene que ver no solamente con el poder calorífico sino también con las condiciones de almacenamiento y la temperatura de combustión, así como con el volumen de los gases resultantes de la combustión.

Suelen emplearse dos métodos (base seca y base húmeda) para especificar la humedad de las briquetas. Procede distinguir entre ellas, sobre todo, cuando la humedad es alta.

2.7. Poder calorífico

El poder calorífico es la cantidad de energía desprendida por un kilogramo de combustible al quemarse una briqueta, por lo tanto, la composición química influye mucho en su poder calorífico.

El poder calorífico de las briquetas será en función del material de procedencia. Suponiendo que es madera y corteza sin aditivos su poder calorífico será el de la madera de la que proviene. Si la briqueta influye resto de lijado el poder calorífico es menor pues aparecen los áridos de la fijadora. Estos áridos también darán lugar a un mayor porcentaje de cenizas en la combustión.

Sin embargo, como el poder calorífico es inferior en función de la humedad de la briqueta y como están más secos que las astillas, se puede concluir que su poder calorífico es mayor.

2.8. Combustión

El proceso de combustión requiere de dos elementos básicos: el combustible (la briqueta) y el comburente (aire), generalmente el oxígeno en forma de O_2 gaseoso. Los explosivos tienen oxígeno ligado químicamente, por lo tanto, no necesitan el oxígeno del aire para realizar la combustión.

Los tipos más frecuentes de combustible son las materias orgánicas que contienen carbono e hidrógeno (hidrocarburos). En una reacción completa todos los elementos que forman el combustible se oxidan completamente. Los productos que se forman son el dióxido de carbono (CO_2), el agua (H_2O) y el dióxido de azufre (SO_2).

Si el combustible contiene azufre pueden aparecer óxidos de nitrógeno (NO_x), dependiendo de la temperatura, cantidad de oxígeno en la reacción y, sobre todo, de la presión.

En la combustión incompleta, los productos que se queman pueden no reaccionar con el mayor estado de oxidación, debido a que el comburente y el combustible no están en la proporción adecuada, dando como resultado compuestos como el monóxido de carbono (CO). Además, puede generarse carbón.

El proceso para destruir materiales por combustión se conoce como incineración. Para iniciar la combustión de cualquier combustible, es necesario alcanzar una temperatura mínima, llamada temperatura de ignición, que se define como la temperatura, en $^{\circ}\text{C}$ y a 1 atm (1013 hPa) de presión, a la que los valores de un combustible arden espontáneamente.

2.9. Energía térmica

Es la parte de energía interna de un sistema termodinámico en equilibrio que es proporcional a su temperatura y se incrementa o se disminuye por transferencia de energía, generalmente en forma de calor o trabajo, en procesos termodinámicos. A nivel microscópico y en el marco de la teoría cinética, es el total de la energía cinética media presente como el resultado de los movimientos aleatorios de átomos y moléculas o agitación térmica que desaparecen en el cero absoluto.

Este tipo de energía puede ser obtenida a partir de diferentes situaciones o circunstancias: en la naturaleza, del sol, a partir de una reacción exotérmica como la combustión de algún tipo de combustible.

2.10. Aglutinantes

Los aglutinantes son añadidos a las formulaciones de tabletas para darles cohesividad al material previsto para suministrar de este modo la suficiente coherencia para formar el granulado que bajo forma compactada se transforma en una masa aglutinada previo a ser tableta y obtener así un comprimido más resistente. Normalmente, el resultado es la unión de todo que se convierte en un producto nuevo tipo piedra artificial, pero también puede ser un subproducto ya aglomerado como la argamasa o mortero.

2.10.1. Tipo de aglutinante

Los diversos materiales usados en los aglutinantes formadores de películas de los recubrimientos varían mucho en sus efectos sobre las características de las películas secas: dureza, tenacidad, flexibilidad y duración exterior. Estos componentes de los vehículos varían desde las resinas duras quebradizas desde las resinas blandas, los aceites duros, blandos y no secantes, hasta los líquidos no secantes casi tan poco consistentes como el agua.

Es así como aparecen los plastificantes, los aceites naturales y elaborados, los secantes, las resinas alquídicas, amínicas, fenólicas, derivados de la colofonia, resinas tipo vinilo, resinas epoxi, resinas de poliuretano y resinas diversas.

2.10.1.1. Colofonia

También identificada como resina de colofonia, es un producto natural que se obtiene a partir de varias especies de plantas pináceas y que se presentan en forma de masa resinosa transparente de color ámbar. Una resina es una sustancia orgánica, amorfa, sólida o semifluida, en general, insoluble en agua, y soluble, bajo ciertas condiciones, en numerosos disolventes orgánicos, con poca tendencia a cristalizar. Las resinas u oleorresinas son secreciones externas del metabolismo de los vegetales, excretadas, sobre todo en las plantas coníferas, a través de canales intercelulares (canales resiníferos) cuando se practican incisiones en su corteza.

Figura 4. Colofonia



Fuente: *Colofonia*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Colofonia>. Consulta: 9 de febrero de 2017.

2.11. Cacao

El cacao es una fruta de origen tropical que proviene del árbol de cacao y que es el componente básico del chocolate.

Las semillas de cacao son las que se utilizan en la elaboración del chocolate, concretamente mediante la extracción de estas semillas de cacao de dos productos derivados: la pasta de cacao, que es una materia sólida, y la manteca de cacao, materia grasa.

Figura 5. **Grano de cacao**



Fuente: *Granos de cacao*. <http://www.muyinteresante.es/innovacion/foto/totos-10-curiosidadeschocolate/foto-forma-cacao2909>. Consulta: 10 de febrero de 2017.

2.11.1. Tipos de cacao

2.11.1.1. Cacao criollo

Es un grano de cacao reconocido de gran calidad, de escaso contenido en tanino, reservado para la fabricación de los chocolates más finos. El árbol es frágil y de escaso rendimiento.

2.11.1.2. Cacao forastero o campesino

Originario de la alta amazona, se trata de un cacao normal, con el tanino más elevado. Es el más cultivado y proviene normalmente de África. El grano tiene una cáscara gruesa, resistente y poco aromática.

Para neutralizar sus imperfecciones, requiere de un intenso tueste, de donde proceden el sabor y el aroma a quemado de la mayoría de los chocolates. Los mejores productores usan granos forasteros en sus mezclas, para dar cuerpo y amplitud al chocolate; pero la acidez, el equilibrio y la complejidad de los mejores chocolates proviene de la variedad criolla.

Los híbridos, entre los que destacan el trinitario, es un cruce entre el criollo y el forastero, aunque su calidad es más próxima al del segundo. Como su nombre sugiere, es originario de Trinidad donde, después de un terrible huracán que en 1727 destruyó prácticamente todas las plantaciones de la isla, surgió como resultado de un proceso de cruce. De este modo, heredó la robustez del cacao forastero y el delicado sabor del cacao criollo; se usa también normalmente mezclado con otras variedades.

2.11.2. Características del árbol

Es un árbol de tamaño mediano (5m-8m) aunque puede alcanzar alturas de hasta 20 m cuando crece libremente bajo sombra intensa. Su corona es densa, redondeada y con un diámetro de 7m a 9m. Tronco recto que se puede desarrollar en forma muy variado, según las condiciones ambientales.

El sistema radicular se compone de una raíz principal pivotante y muchas secundarias que se encuentran en los primeros 30 cm del suelo. Las hojas son

simples, enteras y de color verde bastante variable (color café claro, morado o rojizo, verde pálido) y de peciolo corto.

Las flores son pequeñas y se producen, al igual que los frutos, en racimos pequeños sobre el tejido maduro mayor de un año del tronco y de las ramas, alrededor de los sitios donde antes hubo hojas.

Las flores son pequeñas, se abren durante las tardes y pueden ser fecundadas durante todo el día siguiente; el cáliz es de color rosa con segmentos puntiagudos; la corola es de color blancuzco, amarillo o rosa; los pétalos son largos.

Los frutos son de tamaño, color y forma variable, pero generalmente tienen forma de baya de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro, lisos y acostillados, de forma elíptica y de color rojo, amarillo, morado o café. La pared del fruto es gruesa, gruesa dura o suave y de consistencia como de cuero. Los frutos se dividen interiormente en cinco celdas. La pulpa es blanca, rosada o café, de sabor ácido a dulce y aromática. El contenido de semillas por vaya es de 20 a 40 y son planas o redondeadas, de color blanco, café o morado, de sabor dulce o amargo. Comienza a producir fruto a los 3 o 4 años de haberse plantado, y se calcula que durante 30 años pueden producir buen cacao.

Figura 6. **Árbol de cacao**



Fuente: Panoramio. *Photo of arbol del cacao*. <http://www.panoramio.com/photo/21053381>.

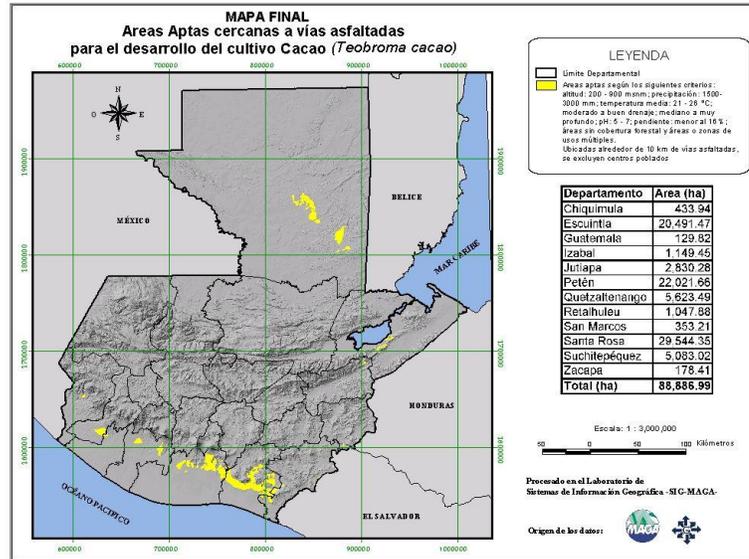
Consulta: 11 de febrero de 2017.

2.11.3. Cultivo de cacao en Guatemala

El cacao requiere suelos muy ricos en materias orgánicas, profundos, francoarcillosos, con buen drenaje y topografía regular. El factor limitante del suelo en el desarrollo del cacao es la delgada capa húmica. Esta capa se degrada muy rápidamente cuando la superficie del suelo queda expuesta al sol, al viento y a la lluvia directa. Por esa razón es común el empleo de plantas leguminosas auxiliares que proporcionen la sombra necesaria y sean una fuente constante de sustancias nitrogenadas para el cultivo.

La siguiente figura muestra la localización del desarrollo de áreas aptas para la plantación de cacao en Guatemala.

Figura 7. Mapa de cultivo de cacao



Fuente: *Áreas aptas para el cultivo de cacao*. <http://www.zonu.com/fullsize/2011-11-24-15012/reas-aptas-para-el-cultivo-de-Cacao-en-Guatemala.ml>. Consulta: 11 de febrero de 2017.

2.11.3.1. Aspectos técnicos

Estos aspectos dan un enfoque de como el cultivo de cacao puede proliferar tomando en cuenta los factores climáticos críticos para su desarrollo: temperatura, lluvia, viento y luz o radiación solar. El cacao es una planta que se desarrolla bajo sombra. La humedad relativa también es importante ya que puede contribuir a la propagación de algunas enfermedades del fruto.

2.11.3.2. Temperatura

El cacao no soporta temperaturas bajas; su límite medio anual de temperatura es de los 21 °C ya que es difícil cultivar cacao satisfactoriamente con una temperatura más baja. Es un cultivo que debe estar bajo sombra para que los rayos solares no incidan directamente y se incremente la temperatura.

La temperatura determina la formación de flores de 25 °C, la floración es normal y abundante.

2.11.3.3. Agua

El cacao es una planta sensible a la escasez de agua, pero también al encharcamiento por lo que se precisarán de suelos previstos de un buen drenaje. Un anegamiento o estancamiento puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo.

Las necesidades de agua oscilan entre 1 500 mm y 2 500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 1 200 mm y 1 500 mm en las zonas más frescas o los valles altos.

2.11.3.4. Viento

Vientos continuos pueden provocar un desecamiento, muerte y caída de las hojas. Por tal razón en las zonas costeras es preciso el empleo de cortavientos para que el cacao no sufra daños. Los cortavientos suelen estar formados por distintas especies arbóreas (frutales o maderadas) que se disponen alrededor de los árboles de cacao.

2.11.3.5. Sombra

El cacao es un cultivo típicamente umbrófilo. El objetivo de la sombra al inicio de la plantación es reducir la cantidad de radiación que llega al cultivo para reducir la actividad de la planta y proteger al cultivo de los vientos que la puedan perjudicar. Cuando el cultivo se haya establecido se podrá reducir el porcentaje de sombras hasta un 25% o 30 %. La luminosidad deberá estar comprendida más o menos al 50 % durante los primeros 4 años de vida de las plantas para que estas alcancen un buen desarrollo y limiten el crecimiento de las malas hierbas.

Se emplean especies para sombra que generalmente son otros árboles frutales intercalados en el cultivo con marcos de plantación regulares. Las especies más empleadas son las musáceas (plátano, banano) para sombras temporales. En nuevas plantaciones de cacao se están empezando a emplear otras especies de sombras que otorgan un mayor beneficio económico como especies maderables (cedro, palo blanco) y/o frutales (cítricos, aguacate, zapote).

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

La fabricación de briquetas estará determinada por dos variables: porcentaje de formulación aglutinante-aglutinado y la fuerza de compactación. Manteniendo el diámetro de partícula y la morfología de la briqueta.

3.1.1. Variables independientes

En la siguiente tabla se especifican las variables independientes que forman parte del proceso de fabricación de briquetas.

Tabla I. **Especificación de las variables independientes**

c	Variable	Cuantitativa	Cualitativa	Dimensional
1	Formulación		X	Adimensional
2	Fuerza de compactación		X	Ton

Fuente: elaboración propia.

- Tipos de morfologías de briquetas a evaluar
 - Briqueta tipo Pini Kay
 - Briqueta tipo Nastro
 - Briqueta tipo Pini Kay con tres agujeros en el centro

Los dos primeros tipos de briquetas son las más comercializadas; la tercera es una mejora para que el oxígeno tenga una mejor entrada y pueda combustionar mejor la briqueta.

3.1.2. Variables dependientes

En la siguiente tabla se especifican las variables dependientes del proceso de fabricación de briquetas.

Tabla II. **Especificación de las variables dependientes**

Núm.	Variable	Cuantitativa	Cualitativa	Dimensional
1	Humedad	X		%
2	Densidad	X		kg/m ³
3	Poder calorífico	X		J/kg
4	Porcentaje de cenizas	X		%

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El presente trabajo de investigación corresponde al aprovechamiento de residuos agrícolas como principal subproducto se tiene la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.), obtenido de la fábrica de chocolate San Juan ubicada en el pueblo de San Juan del Obispo, Antigua Guatemala. En el Laboratorio Multipropósito Sección Tecnología de la Madera se fabricaron diferentes tipos de briquetas con diferentes tipos formulaciones aglutinante-cáscara de cacao, para poder determinar sus propiedades: humedad, densidad, poder calorífico y contenido de cenizas para determinar la formulación y fuerza de compactación que tiene mejor desempeño.

3.3. Recursos humanos disponibles

Los recursos humanos disponibles son representados en la siguiente tabla.

Tabla III. **Recursos humanos disponibles**

Investigador: Marco Alejandro Pérez Toribio
Asesora: Inga. Adela María Marroquín González

Fuente: elaboración propia.

3.4. Recursos materiales disponibles

Los insumos y materiales disponibles para la fabricación de las briquetas son:

- Materia prima para la fabricación de la briqueta
 - Cáscara de cacao
 - Colofonia

- Equipo utilizado para la fabricación de las briquetas
 - Prensa hidráulica
 - Balanza analítica RAD WAG, determinación del peso
 - Molde de hierro
 - Tamizador
 - Molino de cizallamiento
 - Estufa eléctrica
 - *Beaker*

- Equipo auxiliar para la fabricación de las briquetas
 - Computadora
 - Calculadora
 - Cámara fotográfica

- Equipo para la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las briquetas.
 - Mufla thermolyne, determinación del porcentaje en peso de la ceniza.
 - Balanza de humedad RADWAG, determinación del porcentaje de humedad.
 - Venier electrónico MITUTOYO, determinación del diámetro y largo de la briqueta.
 - Crisoles.

3.5. Técnicas cuantitativas

Para el desarrollo de la fase experimental de la fabricación de briquetas, se toma en cuenta el análisis cuantitativo que permite medir los parámetros fisicoquímicos: densidad, humedad, poder calorífico y el contenido de cenizas.

3.6. Recolección y ordenamiento de información

Se elaboraron un total de 9 briquetas experimentales para cada tipo de morfología que se representa en las siguientes tablas:

Tabla IV. **Tipo de morfología Pini Kay (cilindro sólido con un agujero en el centro)**

Tipo de morfología	Formulación	Presión (Ton)	Repeticiones
Tipo Pini Kay (cilindro sólido con un agujero en el centro)	70 % – 30 %	2,5	1
	80 % – 20 %	2,5	1
	90 % – 10 %	2,5	1
	70 % – 30 %	5	1
	80 % – 20 %	5	1
	90 % – 10 %	5	1
	70 % – 30 %	7,5	1
	80 % – 20 %	7,5	1
	90 % – 10 %	7,5	1
Total			9

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Tipo de morfología Nestro (cilindro sólido)**

Tipo de morfología	Formulación	Presión (Ton)	Repeticiones
Tipo Nestro (cilindro sólido)	70 % – 30 %	2,5	1
	80 % – 20 %	2,5	1
	90 % – 10 %	2,5	1
	70 % – 30 %	5	1
	80 % – 20 %	5	1
	90 % – 10 %	5	1
	70 % – 30 %	7,5	1
	80 % – 20 %	7,5	1
	90 % – 10 %	7,5	1
Total			9

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Tipo de morfología Pini Kay (cilindro sólido con tres agujeros en el centro)**

Tipo de morfología	Formulación	Presión (Ton)	Repeticiones
Pini Kay (cilindro sólido con tres agujero en el centro)	70 % – 30 %	2,5	1
	80 % – 20 %	2,5	1
	90 % – 10 %	2,5	1
	70 % – 30 %	5	1
	80 % – 20 %	5	1
	90 % – 10 %	5	1
	70 % – 30 %	7,5	1
	80 % – 20 %	7,5	1
	90 % – 10 %	7,5	1
Total			9

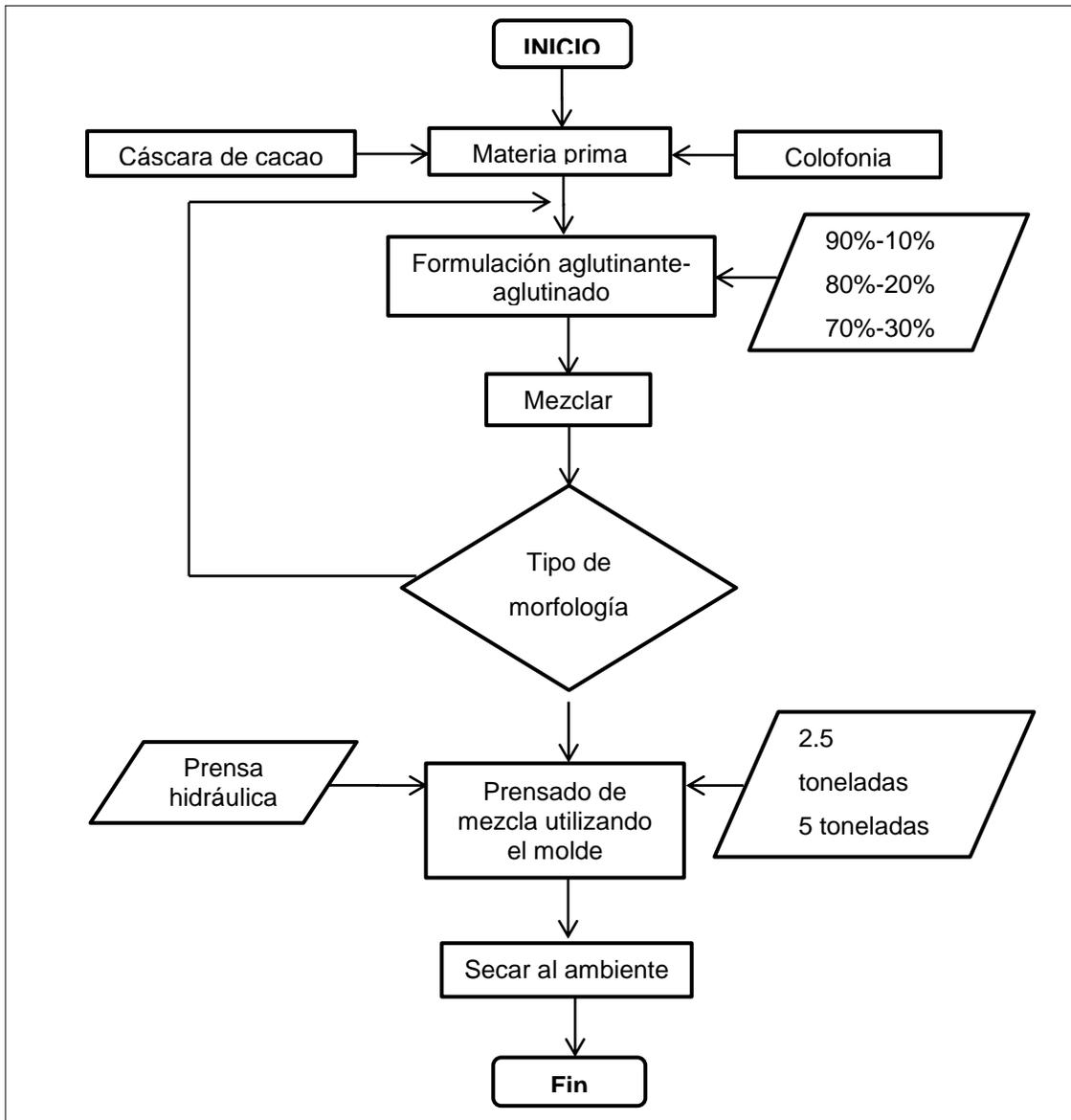
Fuente: elaboración propia.

A cada una de las 9 briquetas realizadas se le hicieron las pruebas fisicoquímicas para obtener los datos necesarios para cumplir los objetivos del estudio, la recolección y ordenamiento de los datos se llevó a cabo en el Laboratorio Multipropósito Sección de la Madera, en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.7. Método de elaboración de las briquetas

A continuación, se detalla el método de fabricación de las briquetas en un diagrama de flujo.

Figura 8. Diagrama de flujo de la elaboración de briquetas



Fuente: elaboración propia.

3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En los datos recopilados para la fabricación de las briquetas a partir de la cáscara de cacao y colofonia como aglutinante, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas para luego tabular y ordenar el procedimiento previo al análisis.

3.8.1. Tabulación de información

Todas las tablas tabuladas y los datos obtenidos en la fase experimental de la investigación son recopilados y ordenados en las siguientes tablas.

Tabla VII. **Caracterización de materia prima**

Materia prima	Humedad [M] W-%

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Determinación del porcentaje de humedad para la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de corridas	m_o (kg)	m_f (kg)	% Humedad
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de corridas	m_o (kg)	m_f (kg)	% Humedad
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de corridas	m_o (kg)	m_f (kg)	% Humedad

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Determinación del porcentaje de ceniza para la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Datos para determinar el volumen de la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
Formulación 80 % - 20 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
Formulación 90 % - 10 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Datos para determinar la densidad de la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %					
Núm. de briquetas	D _{prom} (m)	H _{prom} (m)	V _{total} (m ³)	M _{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
Formulación 80 % - 20 %					
Núm de briquetas	D _{prom} (m)	H _{prom} (m)	V _{total} (m ³)	M _{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
Formulación 90 % - 10 %					
Núm de briquetas	D _{prom} (m)	H _{prom} (m)	V _{total} (m ³)	M _{total} (kg)	ρ (kg/m ³)

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Determinación del porcentaje de humedad para la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de corridas	m _o (kg)	m _f (kg)	%Humedad
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de corridas	m _o (kg)	m _f (kg)	%Humedad
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de corridas	m _o (kg)	m _f (kg)	%Humedad

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Determinación del porcentaje de ceniza para la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Datos para determinar el volumen de la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
Formulación 80 % - 20 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
Formulación 90 % - 10 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Datos para determinar la densidad de la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %					
Núm. de briquetas	D_{prom} (m)	H_{prom} (m)	V_{total} (m ³)	M_{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
Formulación 80 % - 20 %					
Núm. de briquetas	D_{prom} (m)	H_{prom} (m)	V_{total} (m ³)	M_{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
Formulación 80 % - 20 %					
Núm. de briquetas	D_{prom} (m)	H_{prom} (m)	V_{total} (m ³)	M_{total} (kg)	ρ (kg/m ³)

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Determinación del porcentaje de humedad para la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de corridas	m_o (kg)	m_f (kg)	%Humedad
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de corridas	m_o (kg)	m_f (kg)	%Humedad
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de corridas	m_o (kg)	m_f (kg)	%Humedad

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Determinación del porcentaje de ceniza para la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Datos para determinar el volumen de la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %								
	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
Núm. de briqueta	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
Formulación 80 % - 20 %								
	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
Núm. de briqueta	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
Formulación 90 % - 10 %								
	Núm. corrida diámetro				Nm. corrida altura			
Núm. de briqueta	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Datos para determinar la densidad de la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %					
Núm. de briquetas	D_{prom} (m)	H_{prom} (m)	V_{total} (m ³)	M_{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
Formulación 80 % - 20 %					
Núm. de briquetas	D_{prom} (m)	H_{prom} (m)	V_{total} (m ³)	M_{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
Formulación 90 % - 10 %					
Núm. de briquetas	D_{prom} (m)	H_{prom} (m)	V_{total} (m ³)	M_{total} (kg)	ρ (kg/m ³)

Fuente: elaboración propia.

3.9. Gráfico de control estadístico

Es un diagrama que sirve para examinar si un proceso se encuentra en una condición estable o para asegurar que se mantenga en esa condición. La línea central representa la media del proceso. Los límites de control representan la variación del proceso. Los puntos que caen aleatoriamente dentro de los límites de control indican que el proceso se encuentra bajo control y presenta solamente una variación de causa común. Los puntos que caen fuera de los límites de control o muestran un patrón no aleatorio indican que el proceso está fuera de control y que está presente una variación por causas especiales.

Figura 9. **Gráfico de control estadístico**



Fuente: *SPC Consulting Group*. <http://spcgroup.com.mx/wp-content/uploads/2013/02/Untitled-5-copy.jpg>. Consulta: 13 de febrero de 2017.

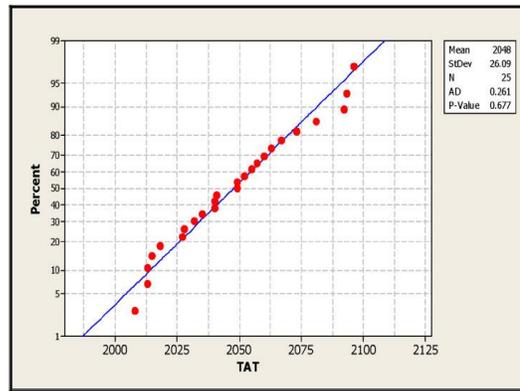
3.10. Normalización de datos

Esta prueba se realiza cuando se debe rechazar o no una hipótesis nula, los datos provienen de una población distribuida normalmente. Para probar normalidad de datos, se pueden utilizar los métodos de Anderson Darling o Ryan y la gráfica de probabilidad normal.

3.10.1. Prueba de Anderson Darling

Esta prueba se utiliza para probar si un conjunto de datos muestrales proviene de una población con una distribución de probabilidad continua específica (por lo general la distribución normal). Si esta diferencia observada es adecuadamente grande, se rechazará la hipótesis nula de normalidad en la población.

Figura 10. **Gráfico de Anderson Darling**



Fuente: *Download*. <https://www.minitab.com/es-mx/Case-Studies/Departamento-de-Informaci%C3%B3n-de-Salud/>. Consulta: 14 de febrero de 2017.

3.11. Análisis estadístico

Para poder determinar los resultados de la elaboración de briquetas se realizaron los diferentes tipos de análisis estadístico.

3.11.1. Media aritmética

Es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos. Se representa matemáticamente de la siguiente forma:

$$x_p = \frac{\sum x_i}{n} \quad [\text{Ec. 1}]$$

3.11.2. Varianza

Se trata de la esperanza del cuadrado de la desviación de esa variable considerada frente a su media y se mide en una unidad diferente.

$$S^2 = \frac{\sum(x-x_p)^2}{n-1} \quad [\text{Ec. 2}]$$

3.11.3. Desviación estándar

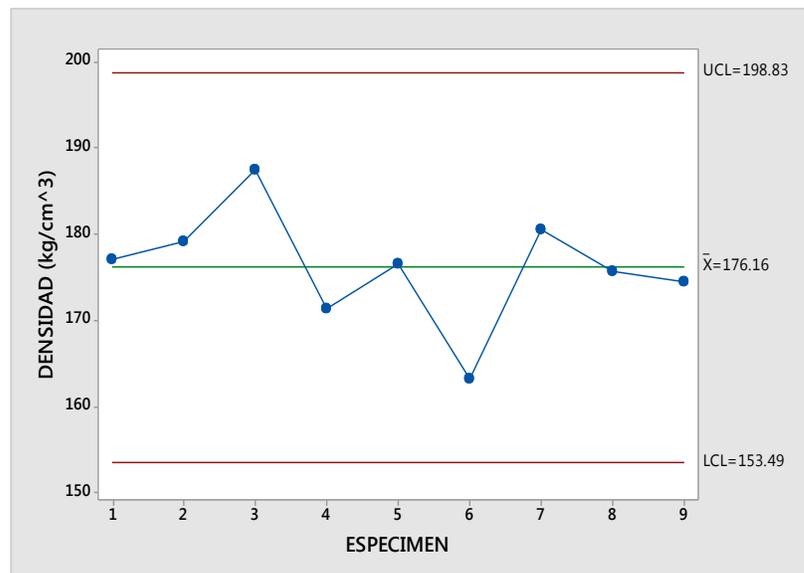
La desviación estándar da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con encontrar la raíz cuadrada de la varianza.

$$S = \sqrt{S^2} \quad [\text{Ec. 3}]$$

Se analizó mediante análisis de varianza (ANOVA) para comprobar hipótesis nula y alternativa planteadas.

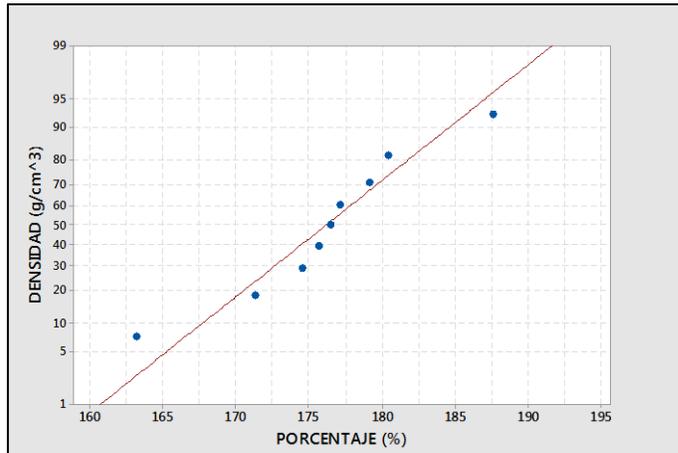
4. RESULTADOS

Figura 11. Gráfico de control estadístico correspondiente a la determinación de la densidad (kg/m^3) en función de las formulaciones



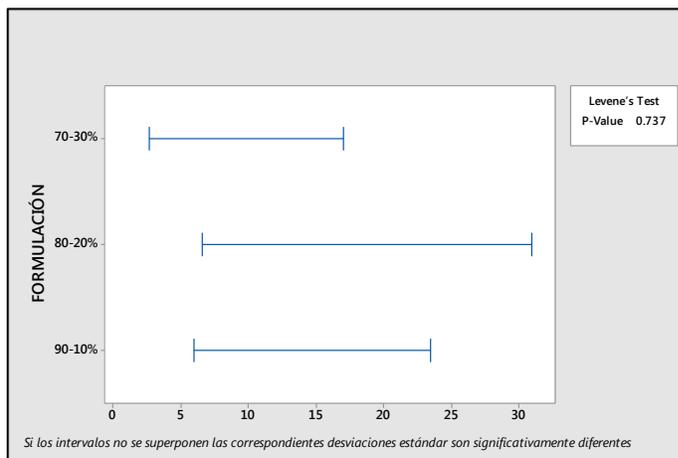
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 12. **Prueba de normalidad para la determinación de la densidad (Kg/m³) en función de las formulaciones**



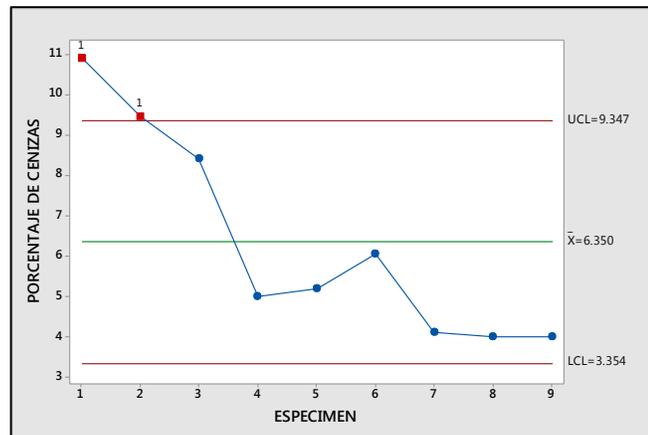
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 13. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente para la determinación de la densidad (Kg/m³) en función de las formulaciones**



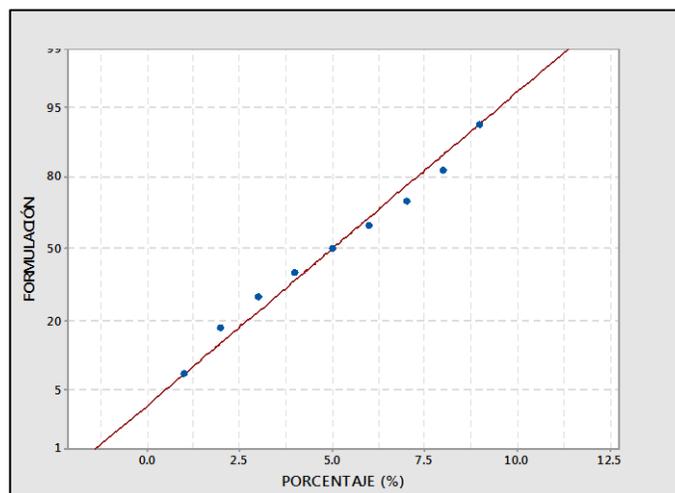
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 14. **Gráfico de control estadístico correspondiente a la determinación del porcentaje de ceniza en función de las formulaciones**



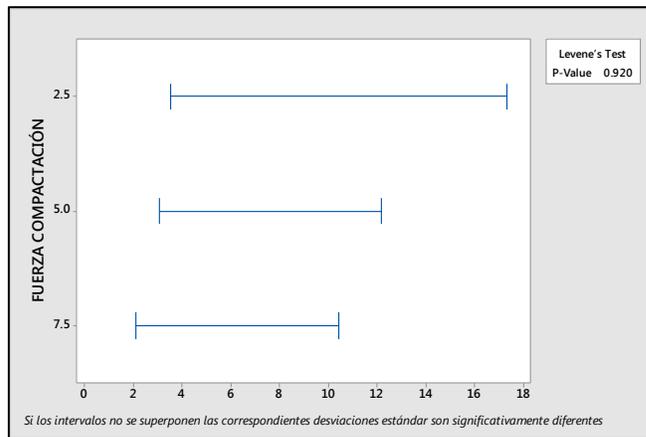
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 15. **Prueba de normalidad para la determinación el porcentaje de ceniza en función de las formulaciones**



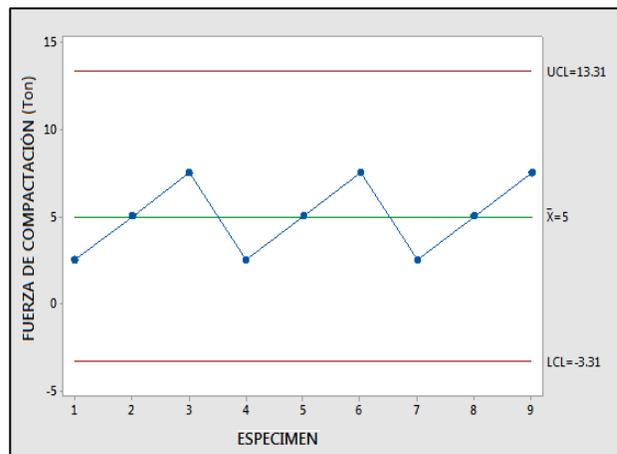
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 16. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente para la determinación del porcentaje de ceniza en función de las formulaciones**



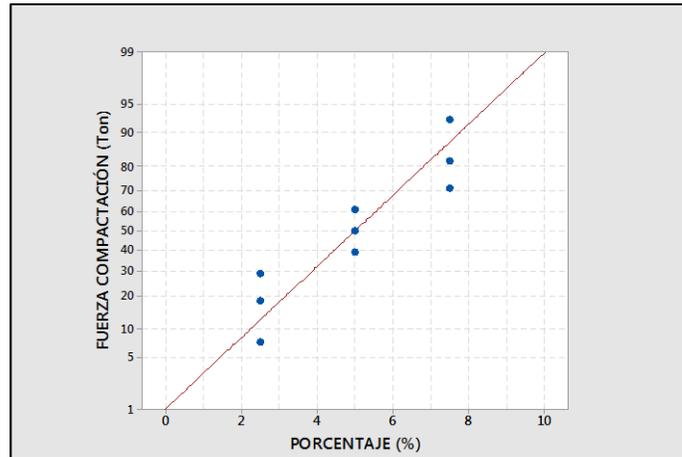
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 17. **Gráfico de control estadístico correspondiente a la determinación del porcentaje de ceniza en función de la fuerza de compactación**



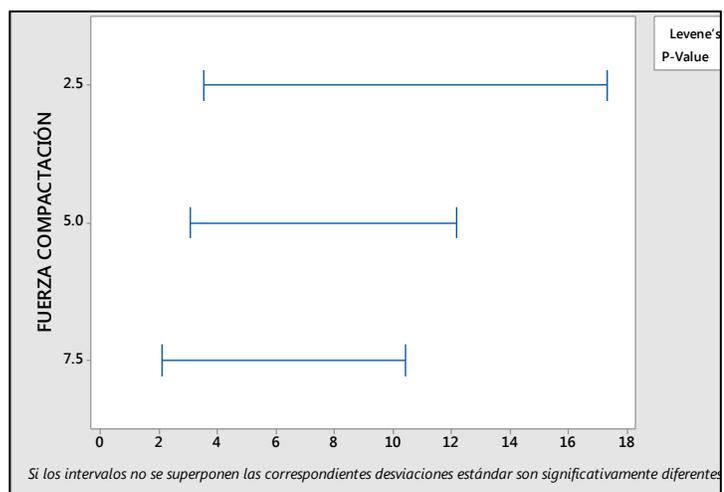
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 18. Prueba de normalidad para la determinación el porcentaje de ceniza en función de las formulación



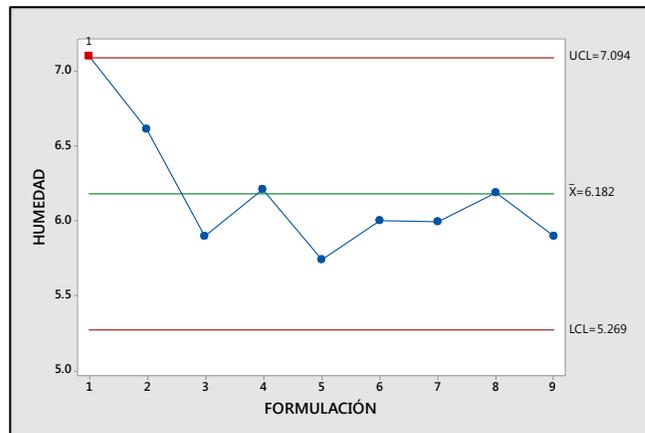
Fuente: elaboración propia, empleando Sotware Minitab 17.

Figura 19. Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente para la determinación del porcentaje de ceniza en función de las formulaciones



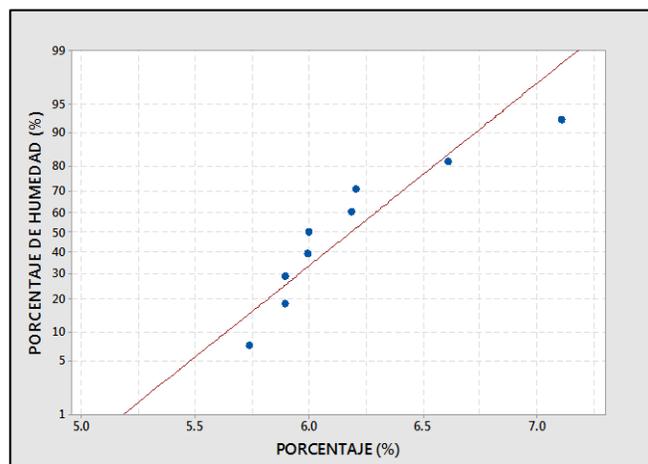
Fuente: elaboración propia, empleando Sotware Minitab 17.

Figura 20. **Gráfico de control estadístico correspondiente a la determinación del porcentaje de humedad en función de las formulaciones**



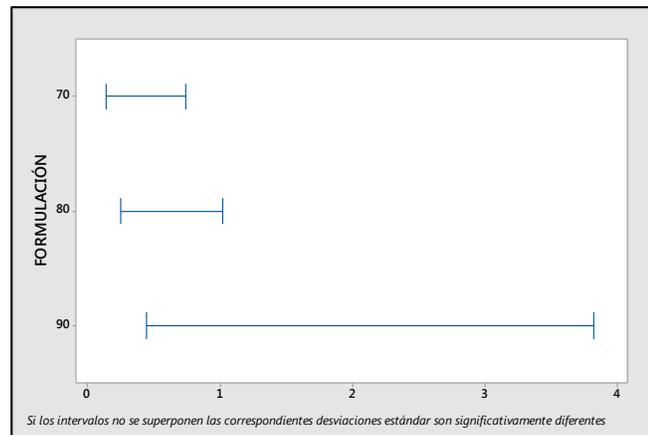
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 21. **Prueba de normalidad para la determinación del porcentaje de humedad en función de las formulación**



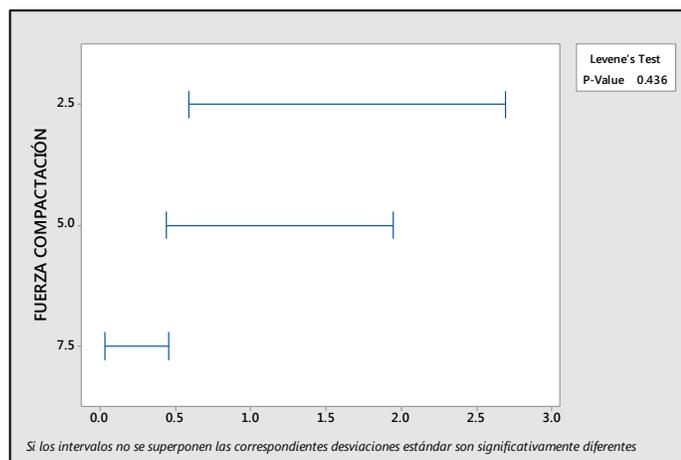
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 22. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente para la determinación del porcentaje de humedad en función de las formulaciones**



Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 23. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente para la determinación del porcentaje de humedad en función de la fuerza de compactación**



Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo principal evaluar las propiedades fisicoquímicas de las briquetas fabricadas, a partir de la cáscara de cacao como residuo no utilizable y colofonia como aglutinante, ejerciéndole diferentes tipos de fuerza de compactación a diferentes tipos de morfologías con el fin de realizar una comparación de las diferentes briquetas para obtener el mejor biocombustible.

La obtención de la materia prima para la fabricación de las briquetas se realizó de la siguiente manera: la cáscara de cacao se obtuvo de la Fábrica de Chocolate San Juan ubicada en Antigua Guatemala cáscara que no era utilizable en ningún momento. En cuanto a la colofonia fue proporcionada por el Laboratorio Multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigación de Ingeniería.

Como tratamiento inicial de la materia prima se puso a secar la cáscara de cacao para luego tamizarla con el fin de obtener un diámetro de partícula establecido con un porcentaje de humedad del 9 %; para poder manipular mejor la colofonia se calienta a una temperatura de 60 °C para obtener una mejor mezcla con la cáscara de cacao, con el fin de tener una mejor homogenización de ambas materia primas. Las diferentes formulaciones de aglutinante-aglutinado, su peso en volumen es: 70 % - 30 %, 80 % - 20 %, 90 % - 10 %.

Los diferentes tipos de morfologías que se evaluaron y se fabricaron son: Pini Kay, Nestro y Pini Kay con tres agujeros en el centro, y se descartó la tipo Pini Kay y Pini Kay con tres agujeros en el centro ya que presentaron un desmoronamiento debido a una mala compactación fenómeno que se observó en todas las formulaciones.

Por otra parte, se determinó que la briqueta tipo Nestro es funcional y adecuada a la mezcla de cáscara de cacao y colofonia por ser un tipo de briqueta sólida y cilíndrica consistente.

Con las briquetas fabricadas de tipo Nestro a diferentes formulaciones y fuerzas de compactación, se procedió a determinar las propiedades fisicoquímicas: densidad, porcentaje de humedad, porcentaje de ceniza y poder calorífico.

Para la determinación de la densidad, se relacionó la masa y el volumen de la briqueta. En cuanto al diámetro y la altura de cada briqueta, se midió a partir del instrumento llamado venier; por otra parte, la masa se determinó a partir de una balanza analítica el cual cuyo prototipo había sido secado de forma natural. Al graficar las densidades de cada briqueta a diferentes tipos de formulaciones y fuerzas de compactación se obtuvo que en cada prototipo no hay diferencia significativa ya que los puntos que caen aleatoriamente dentro de los límites de control indican que el proceso se encuentra bajo un estado de control.

Para la prueba de humedad se tomaron probetas de cuadro de 1 cm por 1cm con un peso de 1 gramo para cada prototipo fabricado, se colocó en la balanza de humedad y se realizó en el análisis.

Se observó que a medida que se aumenta el contenido de colofonia, el porcentaje de humedad tiende a disminuir, independientemente de la fuerza de compactación con que se fabricó la briqueta; es decir, el porcentaje de humedad va a ser inversamente proporcional al aglutinante. Esto sucede porque a mayor cantidad de aglutinante los poros o espacios libres de la briqueta son más reducidos y no permiten el paso de cualquier fluido que pueda absorber.

El porcentaje de ceniza se determinó a partir de una mufla, a medida que se aumenta la cantidad de material aglutinante-aglutinado, la composición de ceniza aumenta; esto no afecta a medida que se varían la fuerza de compactación de la briqueta. También, la colofonia influye mucho en el porcentaje de cenizas: a menor colofonia se posee una mayor cantidad de cenizas, lo cual presenta un mayor porcentaje de cáscara de cacao al combustionar; esto implica que la colofonia se evapora fácilmente a altas temperaturas.

El poder calorífico se calculó por medio de la sumatoria de los diferentes tipos de formulación; se determinó que la briqueta con mayor colofonia poseerá un mayor poder calorífico: la formulación 70 % - 30 % con un poder calorífico de 23,030 kJ/kg, que la colofonia es un buen tipo de combustible para la ignición de la briqueta.

CONCLUSIONES

1. En cuanto a los tipos de morfologías Pini Kay y Pini Kay con tres agujeros en el centro, no son aceptables para los diferentes tipos de formulaciones de cáscara de cacao y colofonia, por su desmoronamiento y mala compactación.
2. Se tomó como briqueta funcional la tipo Nestro ya que los tipos de formulaciones se adecuan bien a este tipo de morfología.
3. No existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de las probetas evaluadas a diferentes tipos de formulaciones y fuerza de compactación.
4. A mayor cantidad de colofonia, en cada formulación en la briqueta, el porcentaje de humedad y el porcentaje de cenizas son mayores sin importar la fuerza de compactación ejercida.

RECOMENDACIONES

1. Tener un tipo de molde específico para cada tipo de morfología de cada briqueta.
2. Conservar la humedad de la materia prima a un 9 %.
3. Calentar la colofonia a una temperatura de 60 °C a modo de que pueda quedar en fase líquida y así poderla mezclar más fácilmente con el otro subproducto.
4. Para el proceso de secado de la briqueta es preferible un secado natural y no un secado forzado ya que tiende a desmoronarse fácilmente.
5. Para evitar desmoronamiento se recomienda ampliar el tiempo de compactación.
6. Se debe tener un molde hecho de un material resistente que resista presiones mayores a 8 toneladas.

BIBLIOGRAFÍA

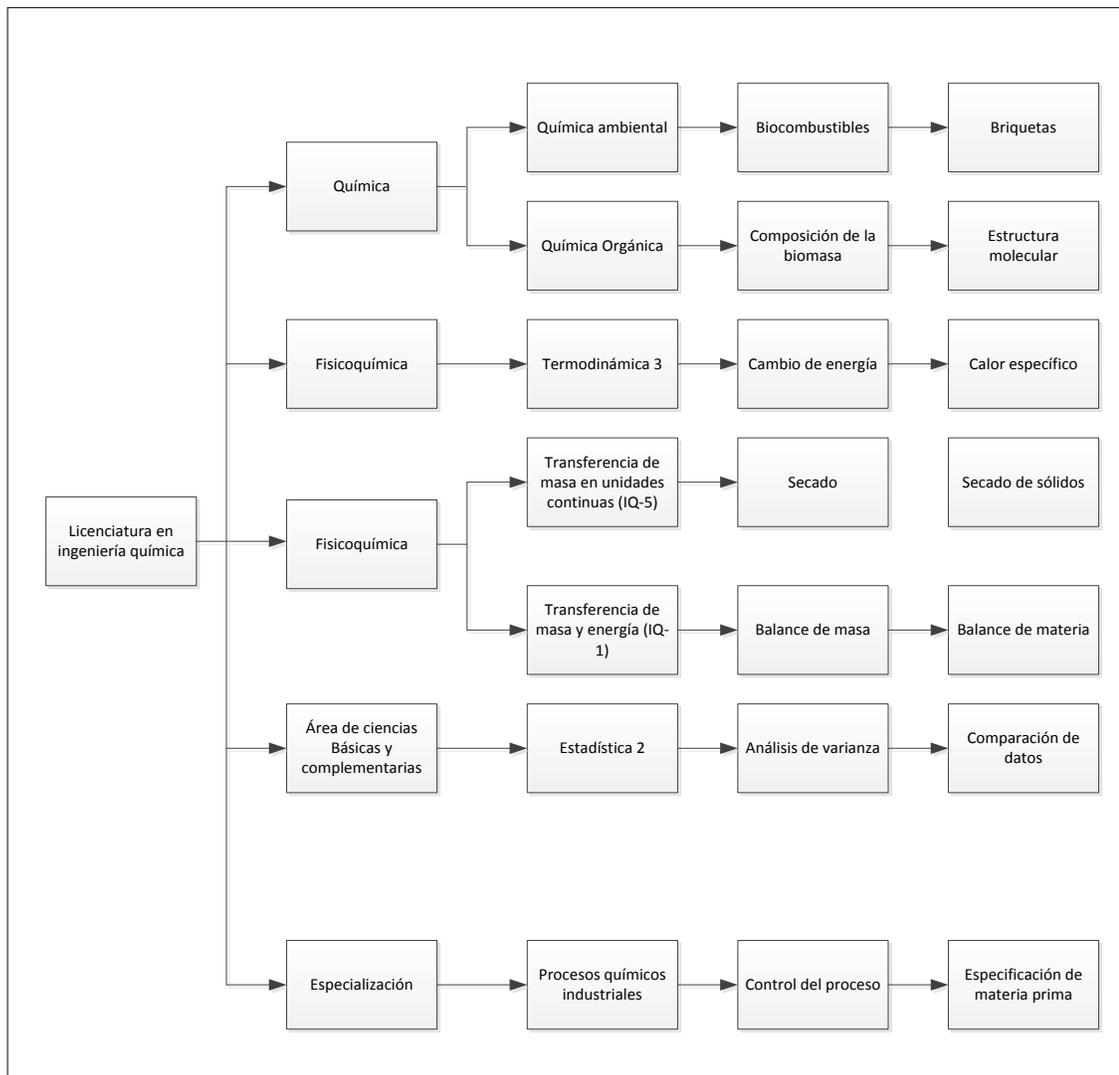
1. ANACAFÉ. *Cultivo de cacao*. [En línea]. <<http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/200412/33/7/Cultivo%20de%20Cacao.pdf>> [Consulta: 18 de octubre de 2015].
2. GASCA QUEZADA, Victor; SALINA CALLEJAS, Edmar. *Los biocombustibles: el cotidiano*. México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco México, 2009. 9 p.
3. LOMAS ESTEBAN, José María. *Valorización de la biomasa en el País Vasco*. [En línea]. <<http://www.eve.eus/CMSPages/GetFile.aspx?guid=8512077b-883d-4239-8ab9-39e2aeba2bca>>. [Consulta: 2 de octubre de 2015].
4. MILLER, James N.; MILLER, Jane C. *Estadística y quimiometría para química analítica*. Madrid, España: Pearson Educación, 2002. 296 p.
5. RICÓN MARTÍNEZ, José María y SILVA LORA, Eduardo Electo. *Bioenergía: fuente, conversión y sustentabilidad*. Bogotá, Colombia: Charlie's Impresores Ltda., 2014. 332 p.
6. SÁNCHEZ QUEZADA, Johanna Patricia. *Evaluación energética de cáscara de cacao Nacional y CCN-51*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, 2013. 128 p.

7. TORRES, R. Juan M. *Especies con usos no maderables en bosques de encino, pino y pino-encino en los estados Chihuahua, Durango, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca*. México: Centro de investigación y Docencia Económicas (CIDE) México, 1999. 19 p.

8. VALDERRAMA, Andrés. *Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calórica en cocinas no convencionales*. [En línea]. <<http://es.scribd.com/doc/116960058/briquetas-de-residuossolidos-organicos-como-fuente-de-energia-calorifica-en-cocinasno-convencionales#scrib>>. [Consulta: 15 de octubre de 2015].

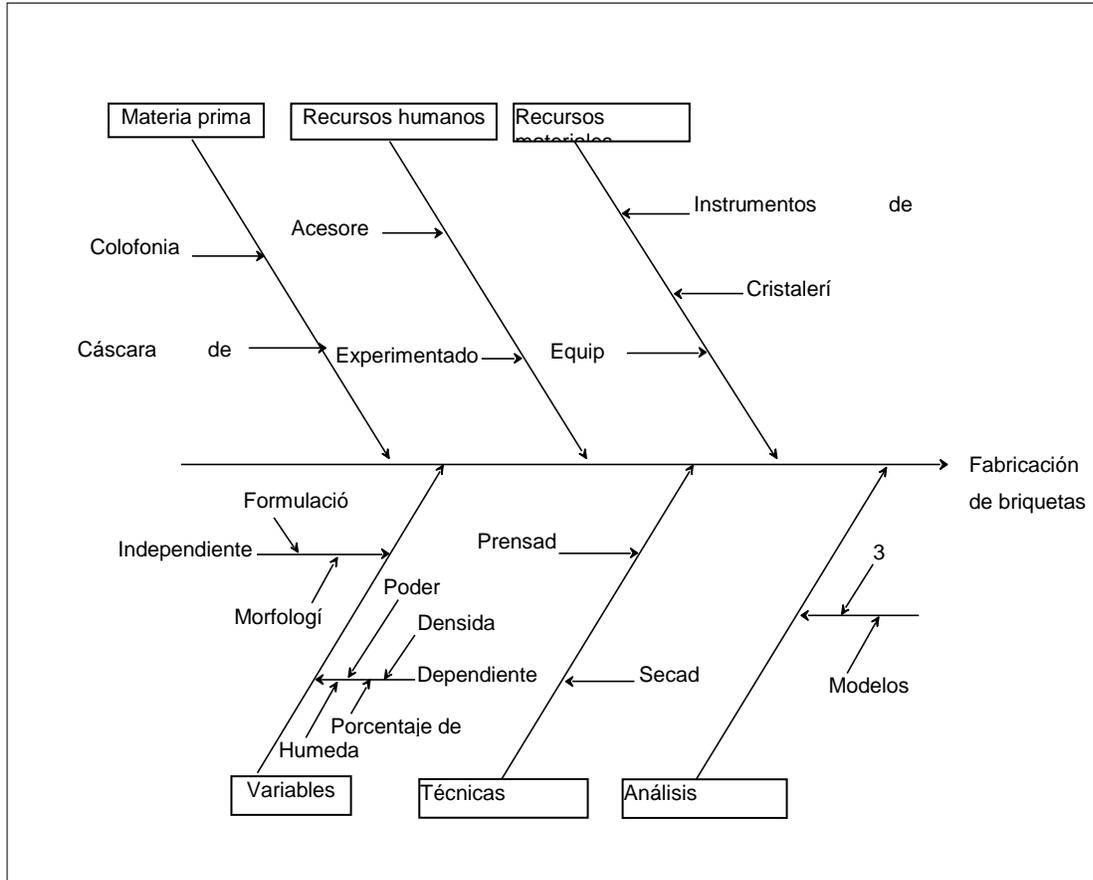
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Caracterización de materia prima**

Materia prima	% Humedad	C_p (MJ/kg)
Cáscara de cacao	9,928	15,29
Colofonia	1,15	42

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Determinación del porcentaje de humedad para la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de corridas	m _o (g)	m _f (g)	% Humedad
1	1.001	0,941	5,994
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de corridas	m _o (g)	m _f (g)	% Humedad
1	1	0,943	6,206
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de corridas	m _o (g)	m _f (g)	% Humedad
1	0,999	0,928	7,107

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Determinación del porcentaje de ceniza para la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %
1	0,97	0,04	4,123
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %
1	1	0,05	5
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de muestra	P _o (g)	P _f (g)	W - %
	1,01	0,11	10,891

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Datos para determinar el volumen de la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas**

Composición 70 % - 30 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
1	80,1	79,69	80,75	80,51	124,84	125,65	122,88	125,27
Composición 80 % - 20 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
1	80,6	83,47	80,91	82,88	122,92	123,31	121,77	121,14
Composición 90 % - 10 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
1	81,52	81,82	81,33	81,18	120,63	118,32	120,33	120,03

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Datos para determinar la densidad de la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 2,5 toneladas**

Composición 70 % - 30 %					
Núm. de briquetas	D _{prom} (m)	H _{prom} (m)	V _{total} (m ³)	M _{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
1	0,0805125	0,12466	0,002538655	0,44309171	174,538004
Composición 80 % - 20 %					
Núm. de briquetas	D _{prom} (m)	H _{prom} (m)	V _{total} (m ³)	M _{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
1	0,081965	0,122285	0,002580952	0,453384061	175,6654292
Composición 90 % - 10 %					
Núm. de briquetas	D _{prom} (m)	H _{prom} (m)	V (m ³)	M _{prom} (kg)	ρ (kg/m ³)
1	0,0814625	0,1198275	0,002498169	0,450820985	180,4605532

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Determinación del porcentaje de humedad para la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de corridas	m_o (g)	m_f (g)	% Humedad
1	0,998	0,942	5,611
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de corridas	m_o (g)	m_f (g)	% Humedad
1	0,999	0,936	5,74
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de corridas	m_o (g)	m_f (g)	% Humedad
1	1,002	0,92	6,188

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Determinación del porcentaje de ceniza para la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de muestra	P_o (g)	P_f (g)	W - %
1	1	0,04	4
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de muestra	P_o (g)	P_f (g)	W - %
1	0,96	0,05	5,208
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de muestra	P_o (g)	P_f (g)	W - %
1	0,74	0,07	9,459

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10.

Datos para determinar el volumen de la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 5 toneladas

Composición 70 % - 30 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
1	82,19	83,17	83,8	82,67	118,19	119,14	116,69	117,59
Composición 80 % - 20 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
1	81,91	80,88	81,76	81,37	113,69	114,19	113,31	114,59
Composición 90 % - 10 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
1	81,57	81,56	81,44	81,49	116,7	116,38	116,08	117,78

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11.

Datos para determinar la densidad de la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 5 toneladas

Composición 70 % - 30 %					
Núm. de briquetas	D_{prom} (m)	H_{prom} (m)	V_{total} (m ³)	M_{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
1	0,0829575	0,1179025	0,002549084	0,416079295	163,2269655
Composición 80 % - 20 %					
Núm. de briquetas	D_{prom} (m)	H_{prom} (m)	V_{total} (m ³)	M_{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
1	0,08148	0,113945	0,002376551	0,419413296	176,4798021
Composición 90 % - 10 %					
Núm. de briquetas	D_{prom} (m)	H_{prom} (m)	V (m ³)	M_{prom} (kg)	ρ (kg/m ³)
1	0,081515	0,116735	0,002436834	0,417521025	171,3374599

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Determinación del porcentaje de humedad para la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de corridas	m_o (g)	m_f (g)	%Humedad
1	1,001	0,942	5,894
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de corridas	m_o (g)	m_f (g)	%Humedad
1	1	0,94	6
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de corridas	m_o (g)	m_f (g)	%Humedad
	0,997	0,935	6,219

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Determinación del porcentaje de ceniza para la briqueta tipo Nestro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas**

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de muestra	P_o (g)	P_f (g)	W - %
1	1	0,04	4
Formulación 80 % - 20 %			
Número de muestra	P_o (g)	P_f (g)	W - %
1	0,99	0,06	6,06
Formulación 90 % - 10 %			
Número de muestra	P_o (g)	P_f (g)	W - %
1	1,07	0,09	8,411

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Datos para determinar el volumen de la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas**

Composición 70 % - 30 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
1	83,42	82,04	82,13	82,75	113,94	115,21	115,74	115,01
Composición 80 % - 20 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
1	83,26	82,12	84	82,07	119,42	120,37	119,15	120,79
Composición 90 % - 10 %								
Núm. de briqueta	Núm. corrida diámetro				Núm. corrida altura			
	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)	1(mm)	2(mm)	3(mm)	4(mm)
1	81,33	82,37	83,05	80,74	122,47	123,5	121,8	127,07

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Datos para determinar la densidad de la briqueta tipo Nastro con una fuerza de compactación de 7,5 toneladas**

Composición 70 % - 30 %					
Núm. de briquetas	D _{prom} (m)	H _{prom} (m)	V _{total} (m ³)	M _{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
1	0,082585	0,114975	0,002463517	0,462024429	187,5466461
Composición 80 % - 20 %					
Núm. de briquetas	D _{prom} (m)	H _{prom} (m)	V _{total} (m ³)	M _{total} (kg)	ρ (kg/m ³)
1	0,0828625	0,1199325	0,002587038	0,463356027	179,1067664
Composición 90 % - 10 %					
Núm. de briquetas	D _{prom} (m)	H _{prom} (m)	V (m ³)	M _{prom} (kg)	ρ (kg/m ³)
1	0,0818725	0,12371	0,002605138	0,461393672	177,1090897

Continuación del apéndice 15.

- Calor específico de la briqueta.

Para el cálculo del calor específico de la briqueta tipo Nestro se toma en cuenta lo siguiente.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. Calor específico de la materia prima

Materia prima	C_p (kJ/kg)
Cáscara de cacao	15 290
Colofonia	42 000

Fuente: elaboración propia.

- $C_{PT} = \text{Cáscara de cacao } C_p + \text{Colofonia } C_p$
- $C_{PT} = 15290 \text{ kJ/kg} + 42000 \text{ kJ/kg}$
- $C_{PT} = 57290 \text{ kJ/kg}$

Apéndice 17. Calor específico para cada tipo de formulación

Formulación 70 % - 30 %			
Núm. de corridas	Cascara de cacao C_p (kJ/kg)	Colofonia C_p (kJ/kg)	C_{PT} (kJ/kg)
1	10703	12600	23030
Formulación 80 % - 20 %			
Núm. de corridas	Cascara de cacao C_p (Kk/kg)	Colofonia C_p (kJ/kg)	C_{PT} (kJ/kg)
1	12232	8400	20632
Formulación 90 % - 10 %			
Núm. de corridas	Cascara de cacao C_p (kJ/kg)	Colofonia C_p (kJ/kg)	C_{PT} (kJ/kg)
1	13761	4200	17961

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Pesaje de materia prima cáscara de cacao y colofonia**



Fuente: elaboración propia, en el Laboratorio de Multipropósito, Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

Apéndice 19. **Preparación y mezcla de la materia prima**



Fuente: elaboración propia, en el Laboratorio de Multipropósito, Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

Apéndice 20. **Prensado de materia prima**



Fuente: elaboración propia, en el Laboratorio de Multipropósito, Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

Apéndice 21. **Tipo de morfología Nestro finalizada**



Fuente: elaboración propia, en el Laboratorio de Multipropósito, Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

Apéndice 22. **Fotografías de la realización de las pruebas fisicoquímicas de la briqueta tipo Nastro**



Fuente: elaboración propia, en el Laboratorio de Multipropósito, Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.