



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

**APROVECHAMIENTO DE LA CACHAZA, LA COLOFONIA Y LA ARCILLA
COMO AGLUTINANTES EN LA FORMULACIÓN DE BRIQUETAS
ENERGÉTICAS UTILIZANDO RESIDUOS DE ASERRÍO**

Víctor Enrique Ríos Marticorena
Asesorado por el Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APROVECHAMIENTO DE LA CACHAZA, LA COLOFONIA Y LA ARCILLA
COMO AGLUTINANTES EN LA FORMULACIÓN DE BRIQUETAS
ENERGÉTICAS UTILIZANDO RESIDUOS DE ASERRÍO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

VÍCTOR ENRIQUE RÍOS MARTICORENA

ASESORADO POR EL ING. JORGE EMILIO GODÍNEZ LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Herbert de León
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

APROVECHAMIENTO DE LA CACHAZA, LA COLOFONIA Y LA ARCILLA COMO AGLUTINANTES EN LA FORMULACIÓN DE BRIQUETAS ENERGÉTICAS UTILIZANDO RESIDUOS DE ASERRÍO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 9 de julio de 2013.



Víctor Enrique Ríos Marticorena

Guatemala, 06 de Agosto de 2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

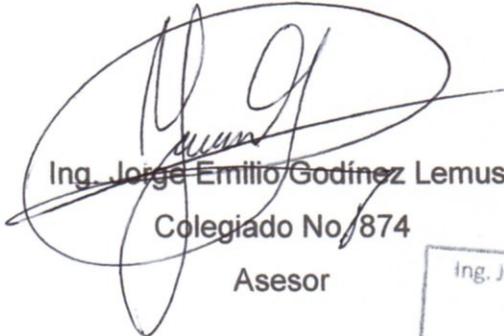
Señor Director:

Por este medio me dirijo a usted, para hacer de su conocimiento que he revisado el Informe Final de Tesis del estudiante **Víctor Enrique Ríos Marticorena**, quien se identifica con número de carne: 2008-15312 en 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. Dejo constancia de aprobación al respectivo trabajo que he encontrado a mi entera satisfacción.

Sin otro particular,

Atentamente;


Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus.

Colegiado No. 874

Asesor

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
INGENIERO QUÍMICO
Colegiado 874



Guatemala, 03 de septiembre de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.035.2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **094-2013** 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: **Víctor Enrique Ríos Marticorena**.
Identificado con número de carné: **2008-15312**.
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:

**APROVECHAMIENTO DE LA CACHAZA, LA COLOFONIA Y LA ARCILLA COMO
AGLUTINANTES EN LA FORMULACIÓN DE BRIQUETAS ENERGÉTICAS
UTILIZANDO RESIDUOS DE ASERRÍO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Emilio Godínez Lemus**.

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. Williams Guillermo Álvarez Mejía
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.234.2014

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, **VÍCTOR ENRIQUE RÍOS MARTICORENA** titulado: "**APROVECHAMIENTO DE LA CACHAZA, LA COLOFONIA Y LA ARCILLA COMO AGLUTINANTES EN LA FORMULACIÓN DE BRIQUETAS ENERGÉTICAS UTILIZANDO RESIDUOS DE ASERRÍO**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.



Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre 2014

Cc: Archivo
VMMV/ale



DTG. 602.2014

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: **APROVECHAMIENTO DE LA CACHAZA, LA COLOFONIA Y LA ARCILLA COMO AGLUTINANTES EN LA FORMULACIÓN DE BRIQUETAS ENERGÉTICAS UTILIZANDO RESIDUOS DE ASERRÍO**, presentado por el estudiante universitario **Víctor Enrique Ríos Marticorena**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
Decano en Funciones

Guatemala, 5 de noviembre de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por estar conmigo en cada etapa de mi vida y permitirme gozar de todas sus bendiciones.
Mis padres	Víctor Enrique Ríos Alvarado (q.e.p.d.), Dalia Irene Marticorena Jurado. Por su amor incondicional, lucha y perseverancia, las cuales serán siempre mi inspiración.
Mis tíos	Por ser una importante influencia en mi carrera, y apoyarme, animarme, entre otras cosas.
Mis primos	Por ser una importante influencia en mi carrera, y acompañarme en todas mis alegrías y tristezas, entre otras cosas.
Grupo de Jóvenes Obreros de Jesucristo	Por estar ahí en las buenas y en las malas.
Señorita Lesly Martinez	Por estar ahí apoyándome y brindándome de su apoyo durante mi carrera universitaria.
Señorita Ana María Samayoa	Por estar conmigo en las buenas y malas.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera, además mi segunda casa.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos necesarios para poder desempeñarme laboralmente.
Mis amigos de la Facultad	José Calderón, Karla Cay, Luis Pedro Ríos, Alejandro Quiñonez, Robert Vásquez.
Ing. Jorge Godinez	Por apoyarme incondicionalmente en el trabajo de graduación.
Hessiel Enríquez	Por brindarme su apoyo durante el desarrollo experimental del trabajo de graduación.
Inga. Telma Cano	Por autorizarme el laboratorio de Tecnología de Madera para trabajar mi trabajo de graduación, y apoyarme con el préstamo de equipo para llevar a cabo mi diseño experimental.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Briquetas	3
2.1.1. Composición	3
2.1.2. Ventajas de las briquetas	4
2.1.3. Ventajas ambientales del producto.....	5
2.1.4. Características de las briquetas.....	5
2.1.5. Clasificación de briquetas según su forma	6
2.2. Aglutinantes.....	8
2.2.1. Tipos de aglutinantes.....	8
2.3. Cachaza	9
2.4. Colofonia	10
2.5. Arcilla.....	11
2.6. Combustión	12
2.6.1. Relación hidrógeno-carbono (H/C)	14
2.7. Potencial de la biomasa.....	15
2.7.1. Tecnología	15

3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
3.1.	Variables	19
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	19
3.3.	Recursos humanos disponibles	20
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería y reactivos).....	20
3.5.	Técnica cuantitativa o cualitativa.....	21
3.5.1.	Técnica cuantitativa.....	21
3.5.2.	Técnicas cualitativas	22
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	23
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	24
3.8.	Análisis estadístico.....	58
4.	RESULTADOS.....	91
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	97
	CONCLUSIONES.....	103
	RECOMENDACIONES	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	107
	ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Briquetas	4
2.	Briquetas del tipo RUF	6
3.	Briquetas ecológicas	7
4.	Briquetas tipo galleta.....	8
5.	Cachaza de caña de azúcar.....	10
6.	Colofonia	11
7.	Arcilla	12
8.	Clasificación de los procesos de extracción de biomasa	16
9.	Aplicaciones de la biomasa.....	17
10.	Comportamiento del porcentaje de humedad para las distintas composiciones de briquetas elaboradas	91
11.	Comportamiento de la densidad para las distintas composiciones de briquetas elaboradas.....	92
12.	Comportamiento de la compresión radial para las distintas composiciones de briquetas.....	92
13.	Comportamiento de la compresión longitudinal en briquetas composición 50 %-50 %.....	93
14.	Comportamiento de la compresión longitudinal en briquetas composición 60 %-40 %.....	93
15.	Comportamiento de la compresión longitudinal en briquetas composición 70 %-30 %.....	94
16.	Comportamiento de la compresión longitudinal en briquetas composición 80 %-20 %.....	94

17.	Dureza de Mohs para las distintas composiciones de briquetas	95
18.	Comportamiento del porcentaje de cenizas para las distintas composiciones de briquetas elaboradas	95
19.	Poder calorífico para las distintas composiciones de briquetas elaboradas	96
20.	Emisión y generación de gases de combustión en las distintas composiciones de briquetas elaboradas	96

TABLAS

I.	Recursos humanos disponibles	20
II.	Recursos materiales disponibles	20
III.	Determinación del porcentaje de humedad en las briquetas elaboradas	24
IV.	Pesos de briquetas elaboradas durante el proceso de secado	25
V.	Datos para determinar el volumen de la briqueta	26
VI.	Datos para determinar la densidad de las briquetas elaboradas	28
VII.	Fuerza de ruptura por compresión radial	29
VIII.	Determinación de la fuerza de ruptura por compresión longitudinal para cada composición de briqueta elaborada	29
IX.	Determinación de la dureza a partir de la escala de Mohs	33
X.	Datos para determinar el porcentaje de cenizas de muestras de 1g de briqueta por composición	33
XI.	Datos requeridos para análisis de poder calorífico	34
XII.	Datos para determinar masa de agua a utilizar en análisis de combustión y poder calorífico	52
XIII.	Datos generales de briquetas y agua	53

XIV.	Determinación de los distintos calores en el análisis de combustión y poder calorífico	54
XV.	Datos de prueba de combustión y poder calorífico de ácido benzoico, para determinar datos teóricos	55
XVI.	Datos del ácido benzoico.....	57
XVII.	Determinación de la capacidad calorífica del calorímetro.....	57
XVIII.	Determinación de valores preliminares para cálculo de análisis de varianza de pesos de briquetas con composición 50 %-50 %, durante secado.....	58
XIX.	Determinación de variables para calcular ANOVA para briquetas con composición 50 %-50 %, para pesos durante el secado	59
XX.	Análisis de varianza de briqueta composición 50 %-50 %, para pesos durante el secado.....	59
XXI.	Determinación de valores preliminares para calcular análisis de varianza de pesos de briquetas con composición 60 %-40 %, durante secado.....	60
XXII.	Determinación de variables para calcular ANOVA para briquetas con composición 60 %-40 %, para pesos durante el secado	60
XXIII.	Análisis de varianza de briqueta composición 60 %-40 %, para pesos durante el secado.....	61
XXIV.	Determinación de valores preliminares para calcular análisis de varianza de pesos de briquetas con composición 70 % - 30 %, durante secado.....	62
XXV.	Determinación de variables para calcular ANOVA para briquetas con composición 70 %-30 %, para pesos durante el secado	62
XXVI.	Análisis de varianza de briquetas de composición 70 %- 30 %...	63

XXVII.	Determinación de valores ANOVA para pesos de briquetas con composición 80 %-20 %, durante el secado.....	64
XXVIII.	Determinación de variables para calcular ANOVA para briquetas con composición 80 %-20 %, para pesos durante el secado.....	64
XXIX.	Análisis de varianza de briquetas con composición 80 %-20 %, para pesos durante el secado.....	65
XXX.	Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 50 %-50 %.....	65
XXXI.	Determinación de variables para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 50 %-50 %.....	66
XXXII.	Análisis de varianza para diámetros de briquetas con composición 50 %-50 %.....	66
XXXIII.	Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 60 %-40 %.....	67
XXXIV.	Determinación de variables para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 60 %-40 %.....	67
XXXV.	Análisis de varianza para diámetros de briquetas con composición 60 %-40 %.....	68
XXXVI.	Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 70 %-30 %.....	68
XXXVII.	Determinación de Variables para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 70 %-30 %.....	69
XXXVIII.	Análisis de varianza para diámetros de briquetas con composición 70 %-30 %.....	69
XXXIX.	Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 80 %-20 %.....	70
XL.	Determinación de variables para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 80 %-20 %.....	70

XL I.	Análisis de varianza para diámetros de briquetas con composición 80 %-20 %	71
XL II.	Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 50 %-50 %	71
XL III.	Determinación de variables para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 50 %-50 %	72
XL IV.	Análisis de varianza para alturas de briquetas con composición 50 %-50 %	72
XL V.	Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 60 %-40 %	73
XL VI.	Determinación de variables para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 60 %-40 %	73
XL VII.	Análisis de varianza para alturas de briquetas con composición 60 %-40 %	74
XL VIII.	Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 70 %-30 %	74
XL IX.	Determinación de variables para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 70 %-30 %	75
L.	Análisis de varianza para alturas de briquetas con composición 70 %-30 %	75
LI.	Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 80 %-20 %	76
LII.	Determinación de variables para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 80 %-20 %	76
LIII.	Análisis de varianza para alturas de briquetas con composición 80 %-20 %	77
LIV.	Valores preliminares para calcular ANOVA para temperatura de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 50 %-50 %	77

LIV.	Determinación de variables para calcular ANOVA para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 50 %-50 %	80
LVI.	Análisis de varianza para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 50 %-50 %	80
LVII.	Valores preliminares para calcular ANOVA para temperatura de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 60 %-40 %	81
LVIII.	Determinación de variables para calcular ANOVA para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 60 %-40 %	83
LIX.	Análisis de varianza para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 60 %-40 %	83
LX.	Valores preliminares para calcular ANOVA para temperatura de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 70 %-30 %	84
LXI.	Determinación de variables para calcular ANOVA para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 70 %-30 %	86
LXII.	Análisis de varianza para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 70 %-30 %	86
LXIII.	Valores preliminares para calcular ANOVA para temperatura de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 80 %-20 %	87
LXIV.	Determinación de variables para calcular ANOVA para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 80 %-20 %	89
LXV.	Análisis de varianza para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 80 %-20 %	89

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h_{prom}	Altura promedio
$Q_{briqueta}$	Calor de briqueta
Q_{AB}	Calor del ácido benzoico
Q_{H_2O}	Calor del agua
Q_{cal}	Calor del calorímetro
C_p	Calor específico
Q_{ABn}	Calor liberado por el ácido benzoico
F_e	Cociente de los cuadrados medios estadísticos
MSTE	Cuadrado medio entre tratamientos
MSTR	Cuadrado medio dentro de tratamientos
ρ	Densidad
d_{prom}	Diámetro promedio
F	Fuerza
$^{\circ}C$	Grados Celsius
kg	Kilogramo
kJ	KiloJoules
m_{AB}	Masa de ácido benzoico
m_{ABn}	Masa de ácido benzoico por corrida
m_{H_2O}	Masa de agua
m_b	Masa de briqueta
m_c	Masa del crisol
m_f	Masa final
m_0	Masa inicial

m_{prom}	Masa promedio
m	Metros
α	Nivel de significancia
n	Número de datos entre tratamientos
K	Número de tratamientos
N	Número total de datos
PB	Peso bruto
PT	Peso tara
PC	Poder Calorífico
PC_t	Poder Calorífico de briquetas por composición
H	Porcentaje de humedad
r	Radio de briqueta
s	Segundos
SSE	Suma de cuadrados dentro de tratamientos
SST	Suma de cuadrados entre tratamientos
ΣX_n	Suma de datos de cada tratamiento
T_c	Suma de datos entre tratamientos
T_{fn}	Temperatura final por corrida
T_o	Temperatura inicial
T_{on}	Temperatura inicial por corrida
π	Pi
V_{H_2O}	Volumen de agua
V	Volumen de sólido

GLOSARIO

Aglutinante	Son materiales capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por métodos exclusivamente físicos.
Biomasa	Es la cantidad de materia acumulada en un individuo, un nivel trófico, una población o un ecosistema.
Briqueta	Es un biocombustible ecológico renovable, catalogado como bioenergía sólida que se utiliza para generar calor.
Calor	Es la transferencia de energía térmica entre dos cuerpos que están a diferentes temperaturas.
Calor específico	Es la cantidad de calor que se requiere para elevar un grado Celsius la temperatura de un gramo de la sustancia.
Calorimetría	Es la medición de los cambios de calor.
Calorímetro	Es un recipiente cerrado diseñado específicamente para medir los cambios de calor.

Capacidad Calorífica	Es la cantidad de calor que se requiere para elevar un grado Celsius la temperatura de determinada cantidad de la sustancia.
Ceniza	Es el producto de la combustión de algún material.
Combustible	Es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor.
Combustión	Es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de energía, en forma de calor y luz, manifestándose visualmente como fuego.
Densidad	Es una propiedad intensiva que describe el cociente de la masa del material y el volumen que este ocupa.
Dureza	Es la oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, entre otras.
Energía	Es la capacidad de realizar trabajo.
Energía renovable	Es la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Esfuerzo de compresión	Es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determinada dirección.
Fuerza	Es una magnitud vectorial que mide la intensidad del intercambio de momento lineal entre dos partículas o sistemas de partículas.
Humedad	Es la cantidad de agua que se impregna o absorbe un cuerpo.
Presión	Es la fuerza aplicada por unidad de área.
Propiedades físicas	Son aquellas propiedades que se pueden medir y observar sin que se modifique la composición o identidad de la sustancia.
Propiedades mecánicas	Son aquellas propiedades de los sólidos que se refieren a la capacidad de los mismos de resistir acciones de cargas.
Propiedades químicas	Son las propiedades que se caracterizan debido a que debe ocurrir un cambio químico.
Ruptura	Es el efecto de romper algo, debido a una fuerza que se aplica.

Termoquímica

Es el estudio de los cambios de calor en las reacciones químicas.

Trabajo

Es el cambio directo de energía que resulta de un proceso.

RESUMEN

Durante el desarrollo de este trabajo de graduación, se tuvo a disposición la elaboración de briquetas energéticas, a partir de los residuos de aserríos obtenidos en la 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. Estos residuos, fueron secados al medio ambiente y mezclados con aglutinantes: cachaza, colofonia y arcilla. Enfatizando que a partir de pruebas, y pese a que la bibliografía refiere a la cachaza y arcilla como potenciales aglutinantes, únicamente se utilizó colofonia por ser un aglutinante que presentaba un sólido compacto y combustible. Mientras que los otros dos aglutinantes restantes no, ya que presentan desmoronamientos, es decir, poca resistencia mecánica; como se describe con mayor detenimiento en la sección de Interpretación de Resultados.

Se elaborarán cuatro tipos de briquetas cilíndricas, con composiciones de aglutinante-aglutinado: 50 %-50 %, 60 %-40 %, 70 %-30 % y 80 %-20 %; cada una con diferentes diámetros y alturas, que son de: 0,2788 m, 0,2797 m, 0,2784 m y 0,273 m de diámetro; y 0,2848 m, 0,2787 m, 0,2768 m y 0,253 m de altura respectivamente. Es importante el mencionar que cada briqueta tiene 5 perforaciones de $\frac{1}{4}$ pulgada, para facilitar el secado y combustión.

Con la fabricación de estas briquetas se procedió a determinar las variables: porcentaje de humedad, densidad, fuerza de ruptura por compresión tanto radial como longitudinal, dureza, porcentaje de cenizas, poder calorífico y generación y emisión de gases de combustión.

A partir de los resultados, se observa que a mayor cantidad de material aglutinante en la briqueta: la densidad, la dureza, el punto de ruptura tanto radial como longitudinal y el poder calorífico, son mayores. Por otro lado, a mayor cantidad de material aglutinado en la briqueta: el porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, generación y emisión de gases de combustión, son mayores.

Estableciendo que, la briqueta que presenta las propiedades fisicoquímicas y mecánicas adecuadas, es la briqueta con composición 80 %-20 %, de aglutinante-aglutinado, respectivamente.

OBJETIVOS

General

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.

Específicos

1. Evaluar la influencia de la cachaza como aglutinante sobre las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de las briquetas fabricadas a partir de residuos de aserrío.
2. Evaluar la influencia de la colofonia como aglutinante sobre las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de las briquetas fabricadas a partir de residuos de aserrío.
3. Evaluar la influencia de la arcilla como aglutinante sobre las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de las briquetas fabricadas a partir de residuos de aserrío.
4. Evaluar la eficiencia térmica de combustión de las briquetas fabricadas.

Hipótesis

Hipótesis Nula (H_0):

Es posible utilizar cachaza, colofonia y arcilla como aglutinantes en la fabricación de briquetas energéticas.

Hipótesis Alternativa (H_i):

No es posible utilizar cachaza, colofonia y arcilla como aglutinantes en la fabricación de briquetas energéticas.

INTRODUCCIÓN

La gran demanda de energía que se presenta principalmente en países en vías de desarrollo como Guatemala y a la escasez de los combustibles líquidos y gaseosos convencionales, ha requerido que una de las alternativas para generar energía, estimulando el buen uso de los recursos renovables a beneficio del medio ambiente y que también genera ganancias para la industria, sea la fabricación de briquetas, utilizando aglutinantes. Ya que con ellas, se reutilizan todos los residuos de la industria maderera o forestal como: aserrín, virutas, ramas, follaje, entre otros. para uso como un combustible alternativo.

Es importante mencionar, que únicamente se utilizó como aglutinante a la colofonia, ya que presentaba un sólido compacto y combustible. Pese a que la bibliografía refiere a la cachaza y arcilla como potenciales aglutinantes, mediante la ejecución de pruebas, se constató que tanto la arcilla como la cachaza no generan resistencia mecánica, por lo que se desmorona la briqueta. Así como también, son materiales que inhiben a la combustión.

Cabe mencionar que el estudio de la presente investigación determina como factores esenciales en la elaboración de briquetas, propiedades como: porcentaje de humedad, densidad, fuerza de ruptura por compresión tanto radial como longitudinal, dureza, porcentaje de cenizas, poder calorífico y generación y emisión de gases de combustión.

1. ANTECEDENTES

La elaboración de este trabajo de graduación nace con el objetivo de brindar nuevas alternativas energéticas de reemplazo a combustibles líquidos tradicionales, que a medida que pasa el tiempo van escaseándose y que pueden ser nocivos al medio ambiente. Ya que primordialmente, se busca no solo el aprovechar todos los residuos sólidos orgánicos procedentes de la Industria Maderera, sino que producir energía ecológica y renovable.

Velásquez, (2006), et al., en España, han realizado muchos estudios acerca de la elaboración de briquetas, como fuente de energía, en muchos países principalmente sudamericanos, donde se busca optimizar todos los productos, subproductos y residuos con el fin de obtener ganancias.

Valderrama, et al. (2006) han realizado uno de los estudios por el Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos (CEDIT) en Perú. Ellos elaboraron briquetas a partir de residuos secos y no cocidos como cascara de papa, hojas de espinaca, corontas de maíz, entre otros); los cuales fueron secados a temperatura ambiente y mezclados con distintos tipos de aglutinantes. Cabe mencionar que ellos elaboraron briquetas con distintas composiciones y medidas. Los análisis a los cuales fueron sometidas las briquetas fueron: análisis de combustión, humedad y poder calorífico. Obteniendo resultados satisfactorios.

Montufar (2013), en Guatemala, realizó un estudio y evaluación del uso de biomasa como combustible alternativo en la producción de barro cocido en el municipio del Tejar, Chimaltenango. Único estudio relacionado al presente tema, ya que trata del aprovechamiento de residuos como combustible.

En países más desarrollados como Alemania, Dinamarca, Austria, Estados Unidos y Canadá, han generado ganancias millonarias para la industria reutilizando todos los residuos y convirtiéndolos en briquetas, fuente de energía ecológica y renovable.

Es importante mencionar, que un estudio de aprovechamiento de residuos mediante elaboración de briquetas energéticas, no existe en Guatemala. Y es bajo estos lineamientos, como se explicó anteriormente, en que nace la idea de aprovechar todos los residuos de la industria maderera, que muchas veces no es aprovechado, y que genera un medio energético que sea amigable con el medio ambiente y genera ingresos a la industria en Guatemala, para así, fomentar el desarrollo del país.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Briquetas

La briqueta es un biocombustible ecológico renovable, catalogado como bioenergía sólida que se utiliza para generar calor. El término "briqueta" es un término confuso porque puede estar fabricada con diversos materiales compactados.

Las briquetas vienen en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas como por ejemplo: no dañan al ambiente; ya que se utilizan en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas. Son similares en apariencia al carbón normal pero están hechos de residuos de carbón, residuos agrícolas o aserrín, que son normalmente considerados residuos inservibles.

2.1.1. Composición

Generalmente están hechas con materia residual, como madera, cascarilla de arroz, cáscara de caña de azúcar, residuos de pulpa de papel, papel, cáscara de coco, residuos de algodón, cartón, carbón, entre otros, y se aglomeran con agua, aunque en algunos casos con otros residuos orgánicos.

La briqueta más utilizada es la leña de aserrín compactado, también conocida como leñetas, que no utilizan ningún tipo de aglomerante ya que la humedad y la propia lignina de la madera funcionan como pegamento natural.

Son 100 % naturales y ecológicas, ya que están hechas de desperdicios forestales tales como el aserrín, viruta, chips, ramas, restos de poda, raleo fino, entre otros. Los mismos son molidos, secados a un 10 % de humedad y luego se compactan para formar las briquetas.

Figura 1. **Briquetas**



Fuente: WWW.ECOINNOVA.COM/CHIMENEAS-Y-ESTUFAS-DE-BIOMASA/TIPOS-DE-BIOMASA. [Consulta: septiembre de 2013].

2.1.2. Ventajas de las briquetas

- Mayor poder calorífico
- Fácil y rápido encendido
- Baja humedad
- Alta densidad
- Ocupa menos espacio
- Ecológicas
- Homogéneas
- Fácil manipulación
- Sin olores, humos, ni chispas
- Menor porcentaje de cenizas
- 100 % ecológicas y naturales

2.1.3. Ventajas ambientales del producto

- Energía limpia no contaminante.
- Fuente renovable.
- Fabricados con residuos forestales contribuye a la limpieza del medio ambiente.
- 100 % reciclado evitando la tala de árboles.
- Natural, no tóxico.
- Sin conservantes, químicos ni aditivos.
- No emite humo ni olores.
- Menos ceniza.

2.1.4. Características de las briquetas

Las briquetas pueden ser caracterizadas desde el punto de vista físico y desde el punto de vista químico.

- Para caracterizar las briquetas desde el punto de vista físico, se utilizan parámetros tales como la densidad individual de las briquetas y resistencia a la abrasión. Tanto las densidades de las briquetas como la resistencia a la abrasión, son parámetros que influyen en el transporte y la manipulación del combustible. Es importante mencionar que la densidad de las briquetas también tiene influencia sobre la combustión, puesto que está relacionada con el contacto combustible-aire.

- En cuanto a la caracterización química de las briquetas, puede definirse la humedad, el contenido de cenizas, composición y poder calorífico. Por último, la composición de la biomasa, contenido de cenizas y la composición de estas, determinan las emisiones y la cantidad y tipo de cenizas que obtendrán en el proceso de combustión.¹

2.1.5. Clasificación de briquetas según su forma

- Briquetas RUF

Son un combustible 100 % ecológico, hecho con subproductos de aserraderos y sin aglutinantes. Estas poseen un alto poder calorífico, aproximadamente 20,93 kJ/kg (5 000 Kcal/kg). Asimismo, poseen muy poca humedad y no generan ceniza, lo que hace que se requiera menos trabajo de mantenimiento. Su forma hace referencia a lingotes.

Figura 2. Briquetas del tipo RUF



Fuente: WWW.HARIMASA.ES/BRIQUETAS-RUF.HTML. [Consulta: septiembre de 2013].

¹ NOGUÉS, Sebastián Fernando. *Energías renovables: energía de la biomasa*. p. 290.

- Briquetas ecológicas en forma de cilindro

Son tubos pequeños con un agujero al centro que hace más fácil su combustión. Precintado en plástico transparente, por lo que es fácil de almacenar y limpio en su manipulación. Estas se caracterizan por utilizar aglutinantes para su fabricación.

Figura 3. **Briquetas ecológicas**



Fuente: WWW.LENASOLIVER.COM. [Consulta: septiembre de 2013].

- Briquetas en forma de galleta

Son briquetas que presentan una forma cilíndrica al igual que la anterior, pero de menor longitud y sin el agujero en el centro. Haciendo que su combustión sea un poco más lenta.

Figura 4. **Briquetas tipo galleta**



Fuente: WWW.SOLOSTOCKS.COM/VENTA-PRODUCTOS/BIOCOMBUSTIBLES/BIOMASA/BRIQUETAS-DE-VIRUTA-8040714. [Consulta: septiembre de 2013].

2.2. Aglutinantes

Los aglutinantes son materiales capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por métodos exclusivamente físicos. Normalmente el resultado es la unión de todo esto que se convierte en un producto nuevo tipo piedra artificial, pero también puede ser un subproducto ya aglomerado como la argamasa o mortero.²

2.2.1. Tipos de aglutinantes

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, tales como: dureza, tenacidad, flexibilidad y duración exterior. Estos componentes de los vehículos varían desde las resinas duras quebradizas, pasando por las resinas blandas, los aceites duros, blandos y no secantes, hasta los líquidos no secantes casi tan poco consistentes como el agua.

² GENNARO, Alfonso. *Remington Farmacia*. p. 999.

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.

Estos pueden ser:

- Aglutinantes naturales: se obtienen de las secreciones y el tejido conjuntivo de las plantas e insectos, entre ellos se encuentran: los aceites, colas, gomas, resinas, ceras y lacas.
- Aglutinantes químicos: se obtienen a partir de mezclas de varios compuestos, como por ejemplo: el cemento y la pintura.

2.3. Cachaza

La cachaza es un sedimento amorfo de color oscuro que se produce durante el proceso de clarificación y filtrado del jugo de la caña. Está compuesta de una fracción orgánica y otra mineral. La fracción orgánica está formada de tejido fibroso, sacarosa, coloides coagulados, ceras albuminoides, aminoácidos y proteínas. La fracción mineral, en su mayor parte, está formada por fosfatos, sulfatos, silicatos, óxidos de calcio y magnesio y por algún micronutriente.

De la cachaza se obtiene una cera refinada; sirve para la producción de adhesivos, en el recubrimiento de alimentos, en artesanías, betunes, cosméticos, cera refinada, aceites y resinas.

Figura 5. **Cachaza de caña de azúcar**



Fuente: WWW.INGPROVIDENCIA.COM/SECCIONES/94. [Consulta: septiembre de 2013].

2.4. Colofonia

Es una resina natural de color ámbar obtenida de las coníferas por exudación de los árboles en crecimiento o durante la extracción de los tocones. Es la fracción no arrastrable por vapor de la oleoresina y está constituido de una mezcla de ácidos resínicos, mayoritariamente el ácido abiético. Ha sido el tradicional agente de encolado en masa del papel, utilizado desde principios del siglo XIX, para impartir resistencia a la penetración por los fluidos. Su precipitación/unión sobre las fibras celulósicas se realiza mediante el catión aluminio, cuya hidrólisis en medio acuoso implica condiciones ácidas de fabricación de papel que son incompatibles con la producción de papeles permanentes.

Figura 6. **Colofonia**



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Colofonia>. [Consulta: septiembre de 2013].

2.5. **Arcilla**

La arcilla está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años.

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. En la fracción textural *arcilla* puede haber partículas no minerales, los fitolitos. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por los seres humanos, y aún es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina son elaborados con arcilla. También se la utiliza en muchos procesos industriales, tales como en la elaboración de papel, producción de cemento y procesos químicos.

Figura 7. **Arcilla**



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Arcilla>. [Consulta: septiembre de 2013].

2.6. Combustión

La combustión es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de energía, en forma de calor y luz, manifestándose visualmente como fuego.

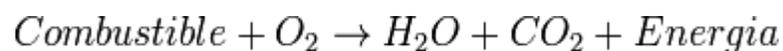
En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), generalmente oxígeno en forma de O₂ gaseoso. Los explosivos tienen oxígeno ligado químicamente, por lo que no necesitan el oxígeno del aire para realizar la combustión.

Los tipos más frecuentes de combustible son las materias orgánicas que contienen carbono e hidrógeno. En una reacción completa todos los elementos que forman el combustible se oxidan completamente. Los productos que se forman son el dióxido de carbono (CO₂) y el agua, el dióxido de azufre (SO₂) (si el combustible contiene azufre) y pueden aparecer óxidos de nitrógeno (NO_x), dependiendo de la temperatura, la 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.

Para iniciar la combustión de cualquier combustible, en este caso aserrín, es necesario alcanzar una temperatura mínima, de entre 315 °C – 460 °C, llamada temperatura de ignición, que se define como la temperatura, en °C y a 1 atm (1 013 hPa) de presión, a la que los vapores de un combustible arden espontáneamente.

La temperatura de inflamación del aserrín es de 270 °C y a 1 atm, y se define como aquella a la que, una vez encendidos los vapores del combustible, estos continúan por sí mismos el proceso de combustión.



Nogués (2010) refería que el poder calorífico determina la capacidad del biocombustible para ceder calor durante la combustión.

2.6.1. Relación hidrógeno-carbono (H/C)

La relación entre los átomos de hidrógeno (H) y los de carbono (C) que contiene un combustible, es muy importante a la hora de reducir las emisiones de CO₂ en el origen, es decir, que dependiendo del combustible que se utilice, se tendrá una relación H/C diferente, ya que la composición en hidrógeno y carbono varía de un combustible a otro.

Una mayor cantidad de carbono dará lugar también a una mayor cantidad de CO₂. Por otra parte, la presencia de hidrógeno en el combustible va a formar agua (en forma de vapor normalmente, pero esto depende de la temperatura a la que se produzca la combustión por encima de 100 °C se sabe que el agua cambia de estado, en condiciones normales).

La relación H/C de un combustible no es más que el cociente entre los átomos de hidrógeno y los átomos de carbono que lo componen. Cuanto mayor sea la relación H/C de un combustible menores serán sus emisiones de CO₂ respecto de las de H₂O, ya que tendrá menor cantidad de carbono que de hidrógeno. Pero cuidado, una relación H/C demasiado alta reduciría en exceso el poder calorífico, debido a lo que ya he explicado sobre la entalpía de formación del agua. Con lo que se reducirían las emisiones de CO₂, pero también se reduciría el poder calorífico, lo cual en algunos procesos industriales puede ser crítico.

2.7. Potencial de la biomasa

La biomasa constituye energía solar almacenada en forma de energía química. El rendimiento teórico de este proceso de conversión es bastante bajo, ya que es inferior al 5 %. Sin embargo, la biomasa se encuentra muy distribuida sobre la superficie de la Tierra, estimándose que la energía anual almacenada por la biomasa es de más de 8 millones de TWh (aproximadamente el 40 % de esta energía se genera en ámbito acuático).

Actualmente, solo se utiliza una mínima parte de la energía de la biomasa como combustible. Sin embargo, no existe forma sostenible en la que se pueda hacer uso de la producción entera anual de la biomasa, incluso aunque se quisiera. El combustible constituye, en cualquier caso, solo uno de los cuatro contrapuestos usos de la biomasa. Comida, forraje y fibra deben compartir el recurso (comida para los humanos, forraje para los animales domésticos y salvajes, y fibra para la fabricación de papel, tejidos, entre otros.).

Los estudios realizados a escala mundial (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medioambiente y Desarrollo), sugieren que el suministro de energía anual procedente de la biomasa, en la mitad de este siglo, podrá alcanzar alrededor de la mitad del consumo actual total de energía primaria.

2.7.1. Tecnología

La biomasa es un recurso que se presenta en una variedad de materiales diferentes: madera, aserrín, paja, restos de semillas, estiércol, desechos de papel, desechos domésticos, aguas residuales, entre otros.

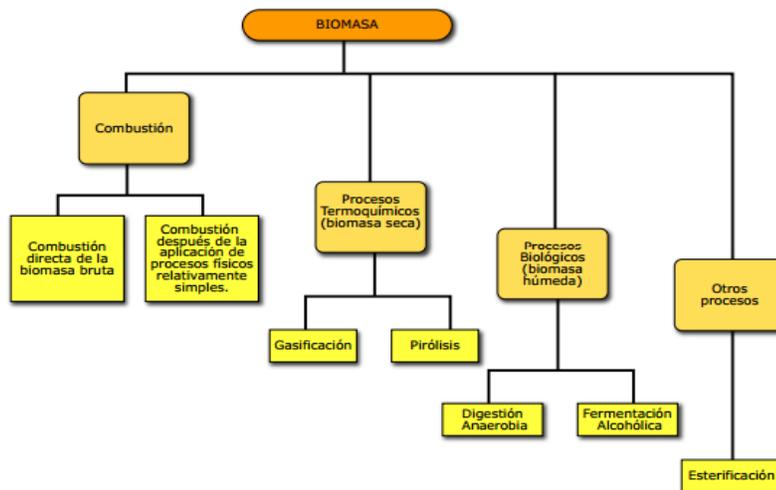
Las características de algunos materiales permiten que estos puedan emplearse como combustibles directamente, sin embargo, otros requieren de una serie de tratamientos previos, que precisan distintas tecnologías antes del aprovechamiento.

El aprovechamiento inmediato de algunos de estos procesos es calor, normalmente empleado *in situ* o a distancias no muy grandes, para procesos químicos o calefacción, o para generar vapor para centrales eléctricas.

Previa a la utilización de la biomasa en los distintos procesos reflejados en la figura siguiente, esta es recogida y sometida a diversos tratamientos, dependiendo del tipo de biomasa y utilización.

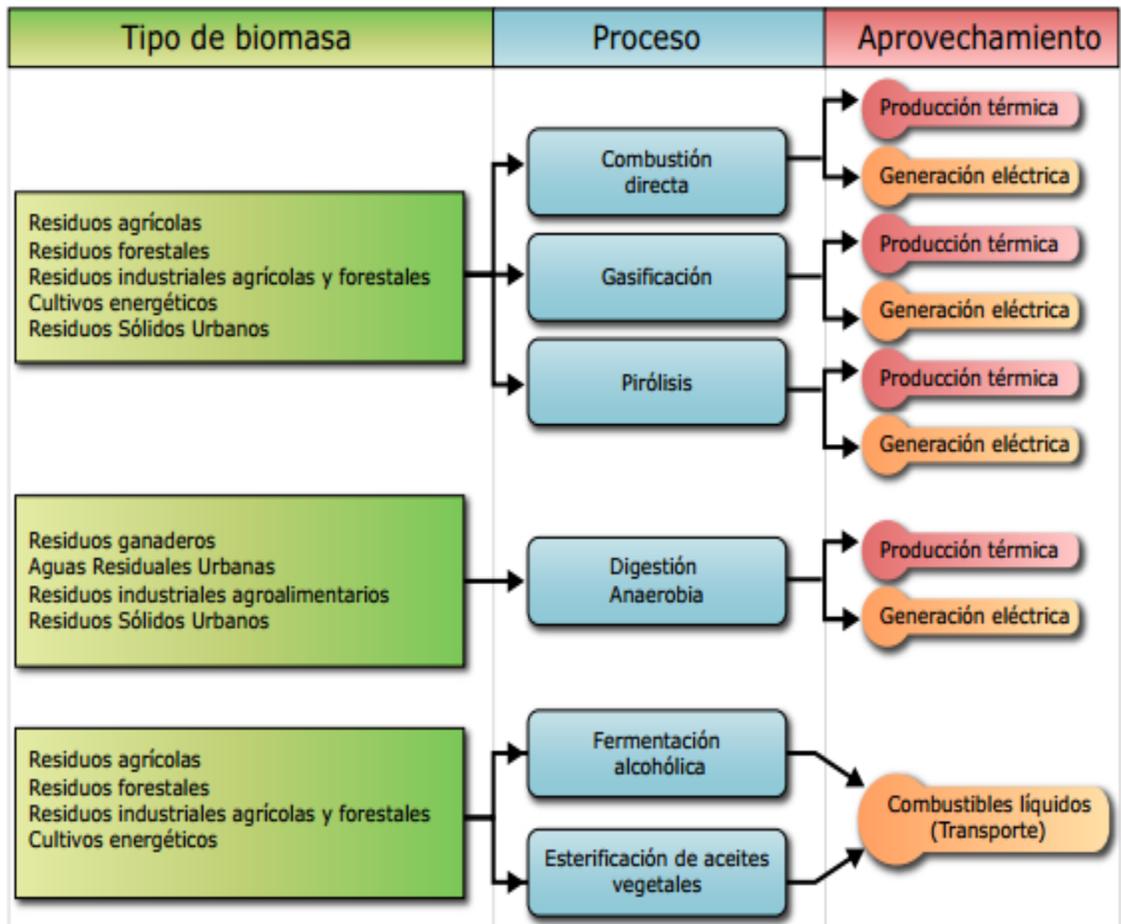
Dependiendo de sus características, antes de la utilización en procesos de combustión directa o termoquímicos.

Figura 8. **Clasificación de los procesos de extracción de biomasa**



Fuente: Comunidad Ambiental. <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo18.pdf>. [Consulta: mayo de 2014].

Figura 9. Aplicaciones de la biomasa



Fuente: Comunidad Ambiental. <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/cursos/contenidos/docpdf/capitulo18.pdf>. [Consulta: mayo de 2014].

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Independientes:

- Formulación
- Temperatura
- Presión de prensado

Dependientes:

- Poder calorífico
- Humedad
- Dureza
- Resistencia a la ruptura
- Porcentaje de producción de humo
- Porcentaje de cenizas

3.2. Delimitación del campo de estudio

El presente trabajo de graduación, se centra en el estudio de la aplicación de tres aglutinantes: cachaza, arcilla, colofonia; a un material aglutinado que comprende todos los desechos y residuos de aserrío. Definiendo cuatro composiciones aglutinante-aglutinado: 50 %-50 %, 60 %-40 %, 70 %-30 % y 80 %-20 %. Las cuales se elaboraron en la 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.

3.3. Recursos humanos disponibles

A continuación se presentan los recursos humanos disponibles.

Tabla I. **Recursos humanos disponibles**

Asesoría técnica y profesional por parte del Ingeniero Asesor: Ing. Qco. Jorge Emilio Godínez Lemus
Br. Víctor Enrique Ríos Marticorena

Fuente: elaboración propia.

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería y reactivos)

A continuación se presentan los recursos materiales disponibles.

Tabla II. **Recursos materiales disponibles**

Cachaza
Colofonia
Arcilla
Laboratorio de tecnología de la madera
Tamizadora
Prensa
Bomba calorimétrica
Moldes para briquetas
Cocina convencional
Pirómetro
Termómetro
Taladro
Brocas

Fuente: elaboración propia a partir de visita técnica a la Sección de Tecnología de la Madera, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.5. Técnica cuantitativa o cualitativa

A continuación se presentan el desarrollo de la técnica cuantitativa y cualitativa del diseño experimental.

3.5.1. Técnica cuantitativa

Descripción de los parámetros medibles y cuantificables que se utilizarán en la validación:

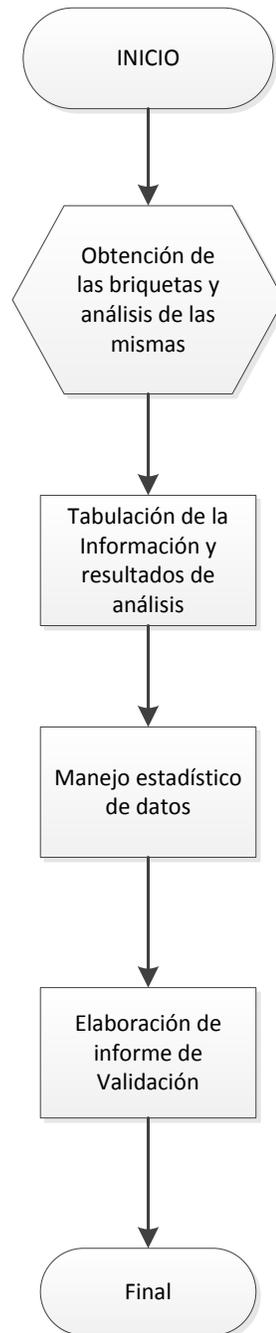
- Humedad (H): medir la humedad porcentual eliminada de las briquetas, por medio de la utilización de una balanza de humedad.
- Densidad (ρ): medir la densidad de las briquetas secas, por medio de la relación cociente entre la masa de la briqueta y el volumen de esta.
- Presión de prensado (P_s): medir la presión de prensado de la mezcla aglutinante – aserrín, por medio de la prensa hidráulica.
- Temperatura (T): medir la temperatura superficial de la briqueta con el uso de un pirómetro y la temperatura del agua.
- Poder calorífico: medir el poder calorífico de la briqueta a partir del uso de un equipo adecuado en la Sección de Tecnología de la Madera.
- Dureza: medir la dureza de la briqueta utilizando del Método de Mohs.
- Resistencia a la ruptura por compresión: medir la resistencia a la ruptura por la carga radial y longitudinal mínima necesaria para partir la briqueta.

- Generación de cenizas: a partir de la utilización de una mufla y posterior medición del peso resultante de la briqueta.

3.5.2. Técnicas cualitativas

- Ensayos de combustión de las briquetas: combustionar tres muestras de 50 gramos de briquetas, por separado, del mismo tipo para calentar 300 ml de agua utilizando un equipo existente en tecnología de la madera.
- Porcentaje de humeo: consistirá en observar y capturar fotográficamente la cantidad de humo generado o producido durante la combustión de las briquetas.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Es importante mencionar que todas las briquetas se realizaron a una presión de prensado constante, de 1 tonelada.

Tabla III. **Determinación del porcentaje de humedad en las briquetas elaboradas**

COMPOSICIÓN 50 %-50 %			
Núm. Corridas	m _o (kg)	m _f (kg)	H (%)
1	0,0012	0,0012	5,641
2	0,0013	0,0012	5,789
3	0,0010	0,0010	4,925
COMPOSICIÓN 60 %-40 %			
1	0,0013	0,0012	5,112
2	0,0012	0,00117	4,634
3	0,0012	0,0011	4,048
COMPOSICIÓN 70 %-30 %			
1	0,0012	0,00118	3,372
2	0,0012	0,00118	2,477
3	0,0012	0,00118	3,045
COMPOSICIÓN 80 %-20 %			
1	0,00113	0,00113	0,354
2	0,00105	0,00105	0,476
3	0,00109	0,00108	0,551

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Tabla IV. **Pesos de briquetas elaboradas durante el proceso de secado**

COMPOSICIÓN 50 %-50 %					
DÍA	1 (kg)	2 (kg)	3 (kg)	4 (kg)	5 (kg)
1	0,7226	0,7289	0,7312	0,7082	0,7105
2	0,7249	0,7340	0,7405	0,7171	0,7151
3	0,7269	0,7379	0,7455	0,7179	0,7194
4	0,7289	0,7431	0,7509	0,7226	0,7240
5	0,7365	0,7512	0,7600	0,7246	0,7327
6	0,7341	0,7497	0,7583	0,7217	0,7305
7	0,7341	0,7495	0,7582	0,7216	0,7304
COMPOSICIÓN 60 %-40 %					
1	0,6819	0,6683	0,7118	0,7168	0,7124
2	0,6854	0,6733	0,7176	0,7214	0,7126
3	0,6926	0,6810	0,7290	0,7300	0,7166
4	0,6948	0,6847	0,7318	0,7335	0,7191
5	0,6988	0,6873	0,7351	0,7371	0,7233
6	0,7048	0,6935	0,7428	0,7441	0,7300
7	0,7028	0,6915	0,7407	0,7425	0,7286
8	0,7018	0,6905	0,7394	0,7417	0,7279
COMPOSICIÓN 70 %-30 %					
1	0,7085	0,7366	0,7038	0,6999	0,6706
2	0,7133	0,7393	0,7104	0,7046	0,6719
3	0,7140	0,7393	0,7125	0,7054	0,6763
4	0,7185	0,7436	0,7185	0,7097	0,6780
5	0,7206	0,7459	0,7210	0,7117	0,6794
6	0,7219	0,7471	0,7228	0,7130	0,6805
7	0,7235	0,7498	0,7253	0,7153	0,6829

Continuación de la tabla IV.

8	0,7279	0,7554	0,7305	0,7204	0,6823
9	0,7269	0,7545	0,7297	0,7199	0,6818
10	0,7258	0,7540	0,7291	0,7194	0,6111
COMPOSICIÓN 80 %-20 %					
1	0,6794	0,7166	0,7392	0,6975	0,6608
2	0,6795	0,7167	0,7392	0,6975	0,6610
3	0,6798	0,7170	0,7395	0,6977	0,6616
4	0,6801	0,7171	0,7399	0,6979	0,6622
5	0,6804	0,7174	0,7401	0,6980	0,6629
6	0,6818	0,7180	0,7408	0,6986	0,6644
7	0,6817	0,7179	0,7408	0,6986	0,6643
8	0,6815	0,7177	0,7408	0,6986	0,6642

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Tabla V. **Datos para determinar el volumen de la briqueta**

COMPOSICIÓN 50 %-50 %						
Núm. Briqueta	No. CORRIDAS DIÁMETRO			No. CORRIDAS ALTURA		
	1 (m)	2 (m)	3 (m)	1 (m)	2 (m)	3 (m)
1	0,2798	0,2778	0,2797	0,2971	0,2887	0,2874
2	0,2784	0,2780	0,2786	0,2835	0,2756	0,2744
3	0,2785	0,2775	0,2792	0,2865	0,2836	0,2827
4	0,2775	0,2770	0,2791	0,2863	0,2867	0,2847
5	0,2803	0,2784	0,2816	0,2872	0,2848	0,2839

Continuación de la tabla V.

COMPOSICIÓN 60 %-40 %						
1	0,2790	0,2778	0,2788	0,2760	0,2749	0,2751
2	0,2819	0,2807	0,2803	0,2822	0,2827	0,2830
3	0,2836	0,2795	0,2805	0,2866	0,2852	0,2867
4	0,2811	0,2786	0,2796	0,2801	0,2818	0,2802
5	0,2788	0,2776	0,2788	0,2685	0,2697	0,2693
COMPOSICIÓN 70 %-30 %						
1	0,2804	0,2783	0,2784	0,2777	0,2782	0,2799
2	0,2811	0,2772	0,2788	0,2734	0,2732	0,2736
3	0,2789	0,2771	0,2822	0,2807	0,2803	0,2792
4	0,2791	0,2774	0,2793	0,2742	0,2727	0,2734
5	0,2774	0,2750	0,2765	0,2782	0,2796	0,2786
COMPOSICIÓN 80 %-20 %						
1	0,2715	0,2683	0,2722	0,2553	0,2550	0,2538
2	0,2691	0,2693	0,2747	0,2576	0,2593	0,2555
3	0,2743	0,2735	0,2757	0,2548	0,2543	0,2529
4	0,2739	0,2738	0,2750	0,2511	0,2497	0,2478
5	0,2722	0,2722	0,2741	0,2522	0,2515	0,2514

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Tabla VI. **Datos para determinar la densidad de las briquetas elaboradas**

COMPOSICIÓN 50 %-50 %					
Núm. Briqueta	D _{prom} (m)	h _{prom} (m)	V(m ³)	m _{prom} (kg)	ρ(kg/m ³)
1	0,2791	0,2911	0,0178	0,7297	40,9729
2	0,2783	0,2778	0,0169	0,7420	43,8952
3	0,2784	0,2842	0,0173	0,7492	43,2923
4	0,2779	0,2859	0,0173	0,7191	41,4643
5	0,2801	0,2853	0,0176	0,7232	41,1448
COMPOSICIÓN 60 %-40 %					
1	0,2785	0,2753	0,6954	0,0168	41,4625
2	0,2810	0,2826	0,6838	0,0175	39,0205
3	0,2812	0,2862	0,7310	0,0178	41,1305
4	0,2798	0,2807	0,7334	0,0173	42,4983
5	0,2784	0,2692	0,7213	0,0164	44,0264
COMPOSICIÓN 70 %-30 %					
1	0,2790	0,2786	0,7201	0,0170	42,2641
2	0,2790	0,2734	0,7465	0,0167	44,6592
3	0,2794	0,2801	0,7204	0,0172	41,9547
4	0,2786	0,2734	0,7119	0,0167	42,7143
5	0,2763	0,2788	0,6715	0,0167	40,1720
COMPOSICIÓN 80 %-20 %					
1	0,2707	0,2547	0,6805	0,0147	46,4320
2	0,2710	0,2575	0,7173	0,0149	48,2930
3	0,2745	0,2540	0,7400	0,0150	49,2335
4	0,2742	0,2495	0,6980	0,0147	47,3684
5	0,2728	0,2517	0,6627	0,0147	45,0324

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Tabla VII. **Fuerza de ruptura por compresión radial**

COMPOSICIÓN	F (kg _f)
50 %-50 %	90
60 %-40 %	96
70 %-30 %	98
80 %-20 %	210

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Tabla VIII. **Determinación de la fuerza de ruptura por compresión longitudinal para cada composición de briqueta elaborada**

COMPOSICIÓN 50 %-50 %	
VARIACIÓN DE LONGITUD (m)	FUERZA (kg _f)
0,065	0
0,059	40
0,058	74
0,057	112
0,056	148
0,055	192
0,055	232
0,055	280
0,055	300
0,054	360
0,053	414
0,053	456

Continuación de la tabla VIII.

0,053	486
0,052	542
COMPOSICIÓN 60 %-40 %	
0,059	0
0,058	50
0,057	102
0,057	110
0,056	124
0,056	132
0,056	142
0,056	160
0,056	174
0,055	190
0,055	214
0,054	244
0,054	282
0,054	308
0,054	332
0,053	364
0,053	418
0,052	434
0,052	484
0,052	502
0,052	544
0,051	606

Continuación de la tabla VIII.

COMPOSICIÓN 70 %-30 %	
0,058	0
0,055	50
0,055	104
0,055	130
0,054	160
0,054	196
0,054	244
0,053	268
0,053	292
0,053	320
0,053	374
0,052	404
0,052	436
0,052	466
0,052	492
0,052	528
0,051	552
0,051	594
0,051	620
0,05	656
0,05	684
0,05	704

Continuación de la tabla VIII.

COMPOSICIÓN 80 %-20 %	
0,049	0
0,049	50
0,049	100
0,049	154
0,048	200
0,048	252
0,048	302
0,048	352
0,048	404
0,047	450
0,047	500
0,046	550
0,046	600
0,046	650
0,046	700
0,045	750
0,045	800

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Tabla IX. **Determinación de la dureza a partir de la escala de Mohs**

COMPOSICIÓN	DUREZA
50 %-50 %	1
60 %-40 %	2
70 %-30 %	3
80 %-20 %	4

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Tabla X. **Datos para determinar el porcentaje de cenizas de muestras de 1g de briqueta por composición**

COMPOSICIÓN 50 %-50 %			
Núm. CRISOL	PESO DE CRISOL(g)	PESO FINAL(g)	CENIZAS(%)
1	19,01	19,15	14
2	21,56	21,67	11
3	19,19	19,36	17
COMPOSICIÓN 60 %-40 %			
1	19,01	19,1	9
2	21,56	21,65	9
3	19,19	19,33	14
COMPOSICIÓN 70 %-30 %			
1	19,01	19,09	8
2	21,56	21,62	6
3	19,19	19,29	10

Continuación de la tabla X.

COMPOSICIÓN 80 %-20 %			
1	19,01	19,07	6
2	21,56	21,6	4
3	19,19	19,25	6

Fuente: elaboración propia a partir de datos experimentales

Tabla XI. **Datos requeridos para análisis de poder calorífico**

COMPOSICIÓN 50 %-50 %		
CORRIDA 1		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	23,5	30,2
30	23,5	186
60	24,3	266
90	24,4	249
120	25,8	285
150	26,8	367
180	27,6	393
210	29,5	415
240	30	425
270	31,8	435
300	32,2	434
330	33,8	422
360	34,5	442

Continuación de la tabla XI.

390	35,4	426
420	36,3	437
450	37,6	447
480	38,2	461
510	38,4	447
540	39,8	437
570	40,6	434
600	41,4	448
630	42	430
660	42,1	414
690	43,1	427
720	44,1	425
750	44,2	402
780	44,4	391
810	45,6	437
840	46,4	335
870	47,5	293
CORRIDA 2		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	24,4	30,3
30	24,6	82
60	24,6	163
90	26,7	138
120	28,7	110

Continuación de la tabla XI.

150	32,7	155
180	33,9	274
210	34	262
240	36,7	315
270	37	419
300	38,6	438
330	39,4	447
360	41,3	405
390	42,5	452
420	43,2	443
450	43,4	451
480	44,5	419
510	45,2	405
540	46,2	403
570	46,4	370
600	47,2	361
630	48	398
660	48,3	388
690	48,4	410
720	49,2	400
750	49,3	363
780	50,4	347
810	50,4	356
840	51,2	398
870	51,2	406
900	52,1	407

Continuación de la tabla XI.

930	52,2	382
960	52,3	371
990	53,1	372
1020	53,3	386
1050	53,5	397
1080	53,5	377
1110	54,2	212
CORRIDA 3		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	24,6	33
30	24,7	201
60	25,8	106
90	26	177
120	26,2	251
150	27,5	273
180	29,8	330
210	31,2	327
240	33,2	306
270	34	326
300	35,6	350
330	36,6	349
360	38,6	352
390	39,3	374
420	40,6	384
450	41,5	372

Continuación de la tabla XI.

480	42,2	315
510	42,6	358
540	43,7	366
570	44,4	409
600	45,9	384
630	45,9	395
660	46,2	378
690	46,3	371
720	47,4	398
750	47,5	413
780	48,3	366
810	48,4	400
840	49,2	400
870	49,2	301
900	50,2	354
930	50,3	293
960	50,3	322
990	51,1	263
1020	51,3	348
1050	51,3	306
1080	52	358
1110	52,2	288
1140	52,3	324
1170	53,2	313
1200	53,3	322
1230	53,4	275

Continuación de la tabla XI.

1260	54,4	299
1290	54,5	291
1320	55	287
1350	55,2	295
1380	55,4	271
1410	56	309
1440	57,1	298
COMPOSICIÓN 60 %-40 %		
CORRIDA 1		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	18,4	20,4
30	18,8	255
60	19,9	297
90	20,5	275
120	21,8	246
150	23,8	404
180	25,3	418
210	28,5	426
240	29,6	484
270	31,1	461
300	32,2	458
330	34,5	466
360	35,5	476
390	36,3	467

Continuación de la tabla XI.

420	38	466
450	39,9	464
480	40,4	419
510	41,5	450
540	42,5	409
570	43,5	431
600	44,5	387
630	45,2	384
660	46,7	412
690	47,1	355
720	48,2	373
750	48,4	386
780	49,4	394
810	50,1	395
840	50,3	353
870	51,3	307
900	51,4	350
CORRIDA 2		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	19,2	28,9
30	19,5	191
60	19,7	260
90	20,5	301
120	21,3	294
150	22,9	321

Continuación de la tabla XI.

180	24,5	412
210	26,5	414
240	27	386
270	28,8	445
300	30,7	473
330	31,9	444
360	32,4	429
390	33,8	419
420	34,1	412
450	35,7	407
480	36,5	420
510	37,4	400
540	38,5	420
570	39,5	416
600	40,3	351
630	41	267
660	42,4	301
690	42,3	243
720	43,1	317
750	43,2	262
780	44,5	226
810	45,3	245
840	45,4	254
870	46,1	285
900	46,3	255

Continuación de la tabla XI.

930	47,2	255
960	47,5	319
990	48,2	301
1 020	49,5	361
1 050	50,5	423
1 080	50,3	328
1 110	50,6	396
1 140	50,6	396
CORRIDA 3		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	19,4	42,7
30	19,5	190,3
60	20,2	189
90	22,5	287
120	23,7	277
150	24,2	292
180	27	349
210	28,3	362
240	29,1	374
270	31,3	405
300	32	402
330	32,3	413
360	34,1	414
390	35,2	420
420	36,1	425

Continuación de la tabla XI.

450	37,1	427
480	38,1	426
510	39,1	414
540	40,1	404
570	40,3	433
600	41,7	396
630	42,4	376
660	42,5	307
690	43,2	300
COMPOSICIÓN 70 %-30 %		
CORRIDA 1		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	18,9	19,7
30	18,9	78,3
60	19,4	117
90	19,4	197,4
120	19,5	208
150	20,5	243
180	22,7	349
210	24	362
240	26,3	450
270	28,1	423
300	29,7	444
330	30,1	449
360	31,1	468

Continuación de la tabla XI.

390	32,2	416
420	34,1	427
450	35,6	357
480	36,4	386
510	37,1	397
540	38,6	419
570	40,3	444
600	41,3	381
630	42,7	347
660	44,3	365
690	45,3	356
720	46,5	354
750	48,2	352
780	50,4	334
810	51,4	359
840	52,8	342
870	54,1	351
900	55,9	357
930	56,6	339
960	58,5	365
990	59	372
1020	60,4	355
1050	61,3	359
1080	63	357
1110	64,1	301
1140	65	292

Continuación de la tabla XI.

1170	65,2	208
CORRIDA 2		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	18,2	25,3
30	18,2	85,8
60	18,5	190,4
90	19,1	147
120	19,5	256
150	21,7	369
180	22,7	442
210	25,1	457
240	25,2	478
270	27,2	484
300	28,8	463
330	29,7	497
360	30,5	499
390	31,4	423
420	32	481
450	33,8	417
480	35,1	438
510	36,3	429
540	37,4	391
570	38,1	332
600	40,5	299
630	43,4	116,8

Continuación de la tabla XI.

660	44,1	104,9
690	44,3	92,4
CORRIDA 3		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	19,5	24,6
30	20,1	169
60	21,5	230
90	22	208
120	23,4	262
150	25,7	311
180	27,5	385
210	28,6	401
240	30,4	440
270	31,2	465
300	32,5	441
330	35,3	463
360	36,6	424
390	38,3	442
420	39,1	402
450	41,8	414
480	42,3	362
510	43,4	379
540	45,4	385
570	46,2	389
600	47,2	354

Continuación de la tabla XI.

630	48,9	286
660	49,2	333
690	50,6	332
720	51,6	340
750	53,5	137,1
COMPOSICIÓN 80 %-20 %		
CORRIDA 1		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	20,3	35,3
30	20,7	190
60	20,7	199
90	21	206
120	22,6	271
150	24,2	329
180	26,5	329
210	29,3	353
240	30,1	345
270	32,3	334
300	34,1	366
330	35,1	369
360	37,5	362
390	38	392
420	40,6	393
450	42,7	381
480	43,2	422

Continuación de la tabla XI.

510	45,4	385
540	46,1	413
570	47,3	401
600	48,3	405
630	50,9	381
660	51,9	382
690	52,5	328
720	53,9	368
750	54,1	304
780	55,2	311
810	57,2	353
840	58	380
870	58,3	338
900	60,3	309
930	61,5	342
960	61,5	349
990	63,1	349
1020	64,3	299
1050	65,2	331
1080	65,3	330
1110	66,2	347
1140	67,5	304
1170	68,1	317
1200	69,1	322
1230	70	330

Continuación de la tabla XI.

CORRIDA 2		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	20,7	25
30	20,8	123
60	21,1	223
90	21,3	250
120	22,5	297
150	22,6	314
180	23,8	321
210	25,1	360
240	27,5	295
270	28,3	350
300	30,1	360
330	32,2	381
360	33,1	383
390	34,3	354
420	36,3	358
450	38,4	348
480	39,9	414
510	41,9	427
540	51,8	384
570	54,3	373
600	56,8	371
630	57,2	406
660	58,2	359

Continuación de la tabla XI.

690	59,5	392
720	60,3	350
750	61,3	373
780	62,4	367
810	63,1	387
840	64,4	383
870	65,4	348
900	66,2	314
930	68	272
960	68,2	281
990	69,5	257
1020	70	249
CORRIDA 3		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	21,7	25,3
30	23,4	164,6
60	23,6	166,8
90	24,6	154,9
120	25,7	204
150	27,1	207
180	29,6	288
210	31,9	315
240	32,8	353
270	34,2	382
300	35,1	342

Continuación de la tabla XI.

330	37,4	387
360	39	388
390	42,6	324
420	44,6	402
450	45,4	399
480	46,5	344
510	48,1	370
540	49,2	369
570	50	370
600	51,7	382
630	52,6	414
660	53,8	399
690	55	389
720	56	422
750	56,2	387
780	57,5	322
810	58,2	327
840	59,3	322
870	60,4	269
900	61,4	241
930	61,4	289
960	62,5	234
990	63,2	253
1 020	64,2	267
1 050	64,4	176
1 080	65,5	144,1

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Tabla XII. **Datos para determinar masa de agua a utilizar en análisis de combustión y poder calorífico**

COMPOSICIÓN 50 %-50 %			
CORRIDA	T _o AGUA (°C)	ρ(kg/m ³)	V _{H₂O} (m ³)
1	23,5	997,538	0,0003
2	24,4	997,296	
3	24,6	997,045	
COMPOSICIÓN 60 %-40 %			
1	18,4	998,595	0,0003
2	19,2	998,405	
3	19,4	998,405	
COMPOSICIÓN 70 %-30 %			
1	18,9	998,405	0,0003
2	18,2	998,595	
3	19,5	998,405	
COMPOSICIÓN 80 %-20 %			
1	20,3	998,204	0,0003
2	20,7	997,992	
3	21,7	997,77	

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Tabla XIII. **Datos generales de briquetas y agua**

COMPOSICIÓN 50 %-50 %				
CORRIDAS	m _b (kg)	m _{H₂O} (kg)	ΔT(°C) agua	C _{cal} (kJ/°C)
1	0,0501	0,2993	24	2,6611
2	0,0490	0,2992	29,8000	
3	0,0496	0,2991	32,5000	
COMPOSICIÓN 60 %-40 %				
1	0,0498	0,2996	33	2,6611
2	0,0493	0,2995	31,4	
3	0,0500	0,2995	23,8	
COMPOSICIÓN 70 %-30 %				
1	0,0500	0,2995	46,3	2,6611
2	0,0500	0,2996	26,1	
3	0,0504	0,2995	34	
COMPOSICIÓN 80 %-20 %				
1	0,0499	0,2995	49,7	2,6611
2	0,0503	0,2994	49,3	
3	0,0505	0,2993	43,8	

Fuente: elaboración propia a partir de datos experimentales.

Tabla XIV. **Determinación de los distintos calores en el análisis de combustión y poder calorífico**

COMPOSICIÓN 50 %-50 %				
CORRIDAS	Q_{agua} (kJ)	Q_{cal} (kJ)	Q_{briqueta} (kJ)	Poder Calorífico(kJ/kg)
1	30,0506	63,8671	93,9177	1 875,3537
2	37,3038	79,3016	116,6054	2 379,7029
3	40,6735	86,4867	127,1601	2 565,7814
COMPOSICIÓN 60 %-40 %				
1	41,3634	87,8172	129,1806	2 595,5523
2	39,3504	83,5594	122,9098	2 493,1004
3	29,8261	63,3349	93,1610	1 861,7300
COMPOSICIÓN 70 %-30 %				
1	58,0189	123,2102	181,2291	3 626,7590
2	32,7147	69,4555	102,1701	2 042,5858
3	42,6087	90,4784	133,0871	2 639,5695
COMPOSICIÓN 80 %-20 %				
1	62,2714	132,2581	194,5295	3 899,1678
2	61,7571	131,1936	192,9507	3 833,7122
3	54,8552	116,5574	171,4126	3 394,3086

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Tabla XV. **Datos de prueba de combustión y poder calorífico de ácido benzoico, para determinar datos teóricos**

CORRIDA 1		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	20,1	21,2
30	20,2	200
60	20,2	276
90	21,8	294
120	22	311
150	22,2	300
180	23,6	319
210	24,2	273
240	27,2	268
270	29,8	218
300	32,5	236
330	33,1	207
360	35,3	254
390	37,2	221
420	38,6	234
450	40,7	263
480	42,1	220
510	43,4	204
540	44,4	223
570	45,4	187,8
600	46,3	170,6
630	47,2	143,1

Continuación de la tabla XV.

660	47,5	134,1
690	48,2	89,4
720	48,3	50,5
CORRIDA 2		
t(s)	Temperatura de agua (°C)	Temperatura de briqueta combustión (°C)
0	20,9	21,2
30	22,4	197,1
60	24,4	227
90	27,7	206
120	31,7	179,8
150	33,2	197,9
180	35,4	153
210	37,2	166,9
240	38,4	263
270	39,3	227
300	41,3	191,3
330	42,8	228
360	43,3	205
390	43,4	193,2
420	44	162,9
450	44	123,3
480	44	71,8

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Tabla XVI. **Datos del ácido benzoico**

corrida	$Q_{\text{liberado}}^{\text{ácido}}$ (kJ) para 1g	m_{AB} (g)	$Q_{\text{liberado}}^{\text{ácido}}$ (kJ)	ΔT (°C)
1	26,42	4,17	110,1714	28,2
2	26,42	3,43	90,6206	23,1

Fuente: elaboración propia a partir de datos experimentales

Tabla XVII. **Determinación de la capacidad calorífica del calorímetro**

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ (kg/m ³)	$Q_{\text{H}_2\text{O}}$ (kJ)	Q_{AB} (kJ)	Q_{Cal} (kJ)	ΔT_{prom} (°C)	C_{cal} (kJ/°C)
998,2040	32,1381	100,3960	68,2579	25,6500	2,6611

Fuente: elaboración propia a partir de datos experimentales

3.8. Análisis estadístico

- Análisis de varianza para los pesos de las briquetas durante el secado.

Tabla XVIII. **Determinación de valores preliminares para cálculo de análisis de varianza de pesos de briquetas con composición 50 %-50 %, durante secado**

X_1 (kg)	X_1^2 (kg) ²	X_2 (kg)	X_2^2 (kg) ²	X_3 (kg)	X_3^2 (kg) ²	X_4 (kg)	X_4^2 (kg) ²	X_5 (kg)	X_5^2 (kg) ²
0,7226	0,5221	0,7289	0,5313	0,7312	0,5347	0,7082	0,5016	0,7105	0,5049
0,7249	0,5255	0,7340	0,5387	0,7405	0,5483	0,7171	0,5143	0,7151	0,5113
0,7269	0,5284	0,7379	0,5445	0,7455	0,5557	0,7179	0,5154	0,7194	0,5175
0,7289	0,5313	0,7431	0,5522	0,7509	0,5638	0,7226	0,5222	0,7240	0,5241
0,7365	0,5424	0,7512	0,5643	0,7600	0,5777	0,7246	0,5250	0,7327	0,5369
0,7341	0,5389	0,7497	0,5621	0,7583	0,5751	0,7217	0,5209	0,7305	0,5337
0,7341	0,5389	0,7495	0,5617	0,7582	0,5748	0,7216	0,5207	0,7304	0,5335

Fuente: elaboración propia a partir de tabla IV. Pesos de briquetas durante el secado.

Tabla XIX. **Determinación de variables para calcular ANOVA para briquetas con composición 50 %-50 %, para pesos durante el secado**

X ₁		X ₂		X ₃		X ₄		X ₅	
T _c	Σ X ₁ ²	T _c	Σ X ₂ ²	T _c	Σ X ₃ ²	T _c	Σ X ₄ ²	T _c	Σ X ₅ ²
5,108 0	3,7275	5,1942	3,8547	5,2445	3,930 0	5,0337	3,6200	5,0626	3,6619
Σ T _c ² /n _c	Σ (X) ² /N	n _c	N						
18,79 21	18,7876	7	35						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XX. **Análisis de varianza de briqueta composición 50 %-50 %, para pesos durante el secado**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	0,0045		4	0,0011
DENTRO DE TRATAMIENTOS		0,0019	30	6,4491E-05
TOTAL			F	17,4572
NIVEL DE SIGNIFICANCIA α=0,05				
F TEORICA	2,69			
CONCLUSIÓN	LOS PESOS DE LAS 5 BRIQUETAS PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXI. **Determinación de valores preliminares para calcular análisis de varianza de pesos de briquetas con composición 60 %-40 %, durante secado**

X_1 (kg)	X_1^2 (kg) ²	X_2 (kg)	X_2^2 (kg) ²	X_3 (kg)	X_3^2 (kg) ²	X_4 (kg)	X_4^2 (kg) ²	X_5 (kg)	X_5^2 (kg) ²
0,6819	0,4650	0,6683	0,4466	0,7118	0,5066	0,7168	0,5138	0,7124	0,5075
0,6854	0,4698	0,6733	0,4533	0,7176	0,5150	0,7214	0,5204	0,7126	0,5078
0,6926	0,4797	0,6810	0,4638	0,7290	0,5314	0,7300	0,5330	0,7166	0,5135
0,6948	0,4828	0,6847	0,4688	0,7318	0,5356	0,7335	0,5380	0,7191	0,5171
0,6988	0,4883	0,6873	0,4724	0,7351	0,5404	0,7371	0,5433	0,7233	0,5232
0,7048	0,4967	0,6935	0,4810	0,7428	0,5518	0,7441	0,5536	0,7300	0,5329
0,7028	0,4939	0,6915	0,4782	0,7407	0,5486	0,7425	0,5514	0,7286	0,5309
0,7018	0,4925	0,6905	0,4767	0,7394	0,5467	0,7417	0,5501	0,7279	0,5298

Fuente: elaboración propia a partir de tabla IV. Pesos de briquetas durante el secado.

Tabla XXII. **Determinación de variables para calcular ANOVA para briquetas con composición 60 %-40 %, para pesos durante el secado**

X_1		X_2		X_3		X_4		X_5	
T_c	ΣX_1^2	T_c	ΣX_2^2	T_c	ΣX_3^2	T_c	ΣX_4^2	T_c	ΣX_5^2
4,1956	2,9339	4,1286	2,8409	4,4189	3,2545	4,4289	3,2693	4,3454	3,1473
$\Sigma T_c^2/n_c$	$\Sigma (X)^2/N$	n_c	N						
11,5840	11,5748	8	40						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXIII. **Análisis de varianza de briqueta composición 60 %-40 %, para pesos durante el secado**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	0,0158		4	0,00395122
DENTRO DE TRATAMIENTOS		0,0030	35	8,5676E-05
TOTAL			F	46,1179
NIVEL DE SIGNIFICANCIA $\alpha=0,05$				
F TEORICA	2,64			
CONCLUSIÓN	LOS PESOS DE LAS 5 BRIQUETAS PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXIV. **Determinación de valores preliminares para calcular análisis de varianza de pesos de briquetas con composición 70 %-30 %, durante secado**

X_1 (kg)	X_1^2 (kg) ²	X_2 (kg)	X_2^2 (kg) ²	X_3 (kg)	X_3^2 (kg) ²	X_4 (kg)	X_4^2 (kg) ²	X_5 (kg)	X_5^2 (kg) ²
0,7085	0,5020	0,7366	0,5426	0,7038	0,4953	0,6999	0,4898	0,6706	0,4497
0,7133	0,5088	0,7393	0,5465	0,7104	0,5047	0,7046	0,4965	0,6719	0,4515
0,7140	0,5097	0,7393	0,5465	0,7125	0,5076	0,7054	0,4975	0,6763	0,4574
0,7185	0,5162	0,7436	0,5530	0,7185	0,5163	0,7097	0,5036	0,6780	0,4597
0,7206	0,5193	0,7459	0,5563	0,7210	0,5199	0,7117	0,5065	0,6794	0,4615
0,7219	0,5211	0,7471	0,5582	0,7228	0,5225	0,7130	0,5084	0,6805	0,4631
0,7235	0,5234	0,7498	0,5622	0,7253	0,5261	0,7153	0,5117	0,6829	0,4663
0,7279	0,5298	0,7554	0,5706	0,7305	0,5337	0,7204	0,5190	0,6823	0,4655
0,7269	0,5284	0,7545	0,5692	0,7297	0,5324	0,7199	0,5183	0,6818	0,4649
0,7258	0,5268	0,7540	0,5685	0,7291	0,5315	0,7194	0,5175	0,6111	0,3734

Fuente: elaboración propia a partir de tabla IV. Pesos de briquetas durante el secado.

Tabla XXV. **Determinación de variables para calcular ANOVA para briquetas con composición 70 %-30 %, para pesos durante el secado**

X_1		X_2		X_3		X_4		X_5	
T_c	ΣX_1^2	T_c	ΣX_2^2	T_c	ΣX_3^2	T_c	ΣX_4^2	T_c	ΣX_5^2
7,2007	5,1854	7,4654	5,5737	7,2036	5,1899	7,1193	5,0689	6,7148	4,5131
$\Sigma T_c^2/n_c$	$\Sigma (X)^2/N$	n_c	N						
25,5248	25,4953	10	50						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXVI. **Análisis de varianza de briquetas de composición 70 %-30 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	0,02949		4	0,0074
DENTRO DE TRATAMIENTOS		0,0062	45	1.3756 E-04
TOTAL			F	53,5874
NIVEL DE SIGNIFICANCIA $\alpha=0,05$				
F TEORICA	2,59			
CONCLUSIÓN	LOS PESOS DE LAS 5 BRIQUETAS PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXVII. **Determinación de valores ANOVA para pesos de briquetas con composición 80 %-20 %, durante el secado**

X_1 (kg)	X_1^2 (kg) ²	X_2 (kg)	X_2^2 (kg) ²	X_3 (kg)	X_3^2 (kg) ²	X_4 (kg)	X_4^2 (kg) ²	X_5 (kg)	X_5^2 (kg) ²
0,6794	0,4616	0,7166	0,5135	0,7392	0,5464	0,6975	0,4864	0,6608	0,4366
0,6795	0,4617	0,7167	0,5136	0,7392	0,5464	0,6975	0,4865	0,6610	0,4369
0,6798	0,4622	0,7170	0,5140	0,7395	0,5469	0,6977	0,4868	0,6616	0,4376
0,6801	0,4625	0,7171	0,5143	0,7399	0,5474	0,6979	0,4871	0,6622	0,4385
0,6804	0,4629	0,7174	0,5146	0,7401	0,5478	0,6980	0,4872	0,6629	0,4395
0,6818	0,4649	0,7180	0,5155	0,7408	0,5488	0,6986	0,4881	0,6644	0,4415
0,6817	0,4647	0,7179	0,5154	0,7408	0,5488	0,6986	0,4881	0,6643	0,4413
0,6815	0,4645	0,7177	0,5152	0,7408	0,5488	0,6986	0,4880	0,6642	0,4411

Fuente: elaboración propia a partir de tabla IV.

Tabla XXVIII. **Determinación de variables para calcular ANOVA para briquetas con composición 80 %-20 %, para pesos durante el secado**

X_1		X_2		X_3		X_4		X_5	
T_c	ΣX_1^2	T_c	ΣX_2^2	T_c	ΣX_3^2	T_c	ΣX_4^2	T_c	ΣX_5^2
5,4442	3,7049	5,7384	4,1161	5,9204	4,3814	5,5844	3,8982	5,3013	3,5130
$\Sigma T_c^2/n_c$	$\Sigma (X)^2/N$	n_c	N						
19,6136	19,5841	8	40						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXIX. **Análisis de varianza de briquetas con composición 80 %-20 %, para pesos durante el secado**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	0,0294		4	0,0074
DENTRO DE TRATAMIENTOS		3,0674 E-05	35	8,7640E-07
TOTAL			F	8397,3455
NIVEL DE SIGNIFICANCIA $\alpha=0,05$				
F TEORICA	2,59			
CONCLUSIÓN	LOS PESOS DE LAS 5 BRIQUETAS PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXX. **Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 50 %-50 %**

X_1 (m)	X_1^2 (m) ²	X_2 (m)	X_2^2 (m) ²	X_3 (m)	X_3^2 (m) ²	X_4 (m)	X_4^2 (m) ²	X_5 (m)	X_5^2 (m) ²
0,2798	0,0783	0,2784	0,0775	0,2785	0,0776	0,2775	0,0770	0,2803	0,0786
0,2778	0,0772	0,2780	0,0773	0,2775	0,0770	0,2770	0,0768	0,2784	0,0775
0,2797	0,0782	0,2786	0,0776	0,2792	0,0780	0,2791	0,0779	0,2816	0,0793

Fuente: elaboración propia a partir de tabla VI. Determinación de la densidad.

Tabla XXXI. **Determinación de variables para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 50 %-50 %**

X ₁		X ₂		X ₃		X ₄		X ₅	
T _c	Σ X ₁ ²	T _c	Σ X ₂ ²	T _c	Σ X ₃ ²	T _c	Σ X ₄ ²	T _c	Σ X ₅ ²
0,8374	0,2337	0,8350	0,2324	0,8353	0,2326	0,8337	0,2317	0,8403	0,2354
Σ T _c ² /n _c	Σ (X) ² /N	n _c	N						
1,1657	1,1657	3	15						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXXII. **Análisis de varianza para diámetros de briquetas con composición 50 %-50 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	8,7646E-06		4	2,1911E-06
DENTRO DE TRATAMIENTOS		1,1669E-05	10	1,1669E-06
TOTAL			F	1,8777
NIVEL DE SIGNIFICANCIA α=0,05				
F TEORICA	3,48			
CONCLUSIÓN	LOS DIÁMETROS DE LAS 5 BRIQUETAS NO PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXXIII. **Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 60 %-40 %**

X_1 (m)	X_1^2 (m) ²	X_2 (m)	X_2^2 (m) ²	X_3 (m)	X_3^2 (m) ²	X_4 (m)	X_4^2 (m) ²	X_5 (m)	X_5^2 (m) ²
0,2790	0,0778	0,2819	0,0795	0,2836	0,0804	0,2811	0,0790	0,2788	0,0777
0,2778	0,0772	0,2807	0,0788	0,2795	0,0781	0,2786	0,0776	0,2776	0,0771
0,2788	0,0777	0,2803	0,0786	0,2805	0,0787	0,2796	0,0782	0,2788	0,0777

Fuente: elaboración propia a partir de tabla VI. Determinación de la densidad.

Tabla XXXIV. **Determinación de variables para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 60 %-40 %**

X_1		X_2		X_3		X_4		X_5	
T_c	ΣX_1^2	T_c	ΣX_2^2	T_c	ΣX_3^2	T_c	ΣX_4^2	T_c	ΣX_5^2
0,8355	0,2327	0,842 9	0,236 8	0,843 6	0,237 2	0,839 4	0,234 8	0,835 2	0,23 25
Σ T_c^2/n_c	Σ $(X)^2/N$	n_c	N						
1,1741	1,1741	3	15						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXXV. **Análisis de varianza para diámetros de briquetas con composición 60 %-40 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	2,1124E-05		4	5,2810E-06
DENTRO DE TRATAMIENTOS		1,5716 E-05	10	1,5716E-06
TOTAL			F	3,3603
NIVEL DE SIGNIFICANCIA $\alpha=0,05$				
F TEORICA	3,48			
CONCLUSIÓN	LOS DIÁMETROS DE LAS 5 BRIQUETAS NO PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXXVI. **Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 70 %-30 %**

X_1 (m)	X_1^2 (m) ²	X_2 (m)	X_2^2 (m) ²	X_3 (m)	X_3^2 (m) ²	X_4 (m)	X_4^2 (m) ²	X_5 (m)	X_5^2 (m) ²
0,2804	0,0786	0,2811	0,0790	0,2789	0,0778	0,2791	0,0779	0,2774	0,0769
0,2783	0,0774	0,2772	0,0768	0,2771	0,0768	0,2774	0,0769	0,2750	0,0756
0,2784	0,0775	0,2788	0,0777	0,2822	0,0796	0,2793	0,0780	0,2765	0,0765

Fuente: elaboración propia a partir de tabla VI. Determinación de la densidad.

Tabla XXXVII. **Determinación de Variables para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 70 %-30 %**

X ₁		X ₂		X ₃		X ₄		X ₅	
T _c	Σ X ₁ ²	T _c	Σ X ₂ ²	T _c	Σ X ₃ ²	T _c	Σ X ₄ ²	T _c	Σ X ₅ ²
0,8371	0,2336	0,8371	0,2336	0,8382	0,2342	0,8358	0,2328	0,8289	0,2290
Σ T _c ² /n _c	Σ (X) ² /N	n _c	N						
1,1632	1,1631	3	15						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXXVIII. **Análisis de varianza para diámetros de briquetas con composición 70 %-30 %**

TABLA XXXVIII. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DIÁMETROS DE BRIQUETAS 70 %-30 %				
FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	1,8566E-05		4	4,6415E-06
DENTRO DE TRATAMIENTOS		2,9373E-05	10	2,9373E-06
TOTAL			F	1,5802
NIVEL DE SIGNIFICANCIA α=0,05				
F TEORICA	3,48			
CONCLUSIÓN	LOS DIÁMETROS DE LAS 5 BRIQUETAS NO PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XXXIX. **Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 80 %-20 %**

X_1 (m)	X_1^2 (m) ²	X_2 (m)	X_2^2 (m) ²	X_3 (m)	X_3^2 (m) ²	X_4 (m)	X_4^2 (m) ²	X_5 (m)	X_5^2 (m) ²
0,2715	0,0737	0,2691	0,0724	0,2743	0,0753	0,2739	0,0750	0,2722	0,0741
0,2683	0,0720	0,2693	0,0725	0,2735	0,0748	0,2738	0,0749	0,2722	0,0741
0,2722	0,0741	0,2747	0,0754	0,2757	0,0760	0,2750	0,0756	0,2741	0,0751

Fuente: elaboración propia a partir de tabla VI. Determinación de la densidad.

Tabla XL. **Determinación de variables para calcular ANOVA para diámetros de briquetas con composición 80 %-20 %**

COMPOSICIÓN 80 %-20 %									
X_1		X_2		X_3		X_4		X_5	
T_c	ΣX_1^2	T_c	ΣX_2^2	T_c	ΣX_3^2	T_c	ΣX_4^2	T_c	ΣX_5^2
0,8120	0,2198	0,813 0	0,220 4	0,823 5	0,226 0	0,822 6	0,225 6	0,818 5	0,22 33
$\Sigma T_c^2/n_c$	$\Sigma (X)^2/N$	n_c	N						
1,1151	1,1150	3	15						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XLI. **Análisis de varianza para diámetros de briquetas con composición 80 %-20 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	3,7501E-05		4	9,3752E-06
DENTRO DE TRATAMIENTOS		3,4500 E-05	10	3,4500E-06
TOTAL			F	2,7175
NIVEL DE SIGNIFICANCIA $\alpha=0,05$				
F TEORICA	3,48			
CONCLUSIÓN	LOS DIÁMETROS DE LAS 5 BRIQUETAS NO PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XLII. **Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 50 %-50 %**

X_1 (m)	X_1^2 (m) ²	X_2 (m)	X_2^2 (m) ²	X_3 (m)	X_3^2 (m) ²	X_4 (m)	X_4^2 (m) ²	X_5 (m)	X_5^2 (m) ²
0,2971	0,0882	0,2835	0,0804	0,2865	0,0821	0,2863	0,0820	0,2872	0,0825
0,2887	0,0834	0,2756	0,0760	0,2836	0,0804	0,2867	0,0822	0,2848	0,0811
0,2874	0,0826	0,2744	0,0753	0,2827	0,0799	0,2847	0,0811	0,2839	0,0806

Fuente: elaboración propia a partir de tabla VI. Determinación de la densidad.

Tabla XLIII. **Determinación de variables para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 50 %-50 %**

X ₁		X ₂		X ₃		X ₄		X ₅	
T _c	Σ X ₁ ²	T _c	Σ X ₂ ²	T _c	Σ X ₃ ²	T _c	Σ X ₄ ²	T _c	Σ X ₅ ²
0,8732	0,2542	0,833	0,231	0,852	0,242	0,857	0,245	0,855	0,24
		5	6	7	4	8	3	9	42
Σ	Σ	n _c	N						
T _c ² /n _c	(X) ² /N								
1,2175	1,2173	3	15						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XLIV. **Análisis de varianza para alturas de briquetas con composición 50 %-50 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	0,0003		4	6,7191E-05
DENTRO DE TRATAMIENTOS		0,0001	10	1,1904E-05
TOTAL			F	5,6443
NIVEL DE SIGNIFICANCIA α=0,05				
F TEORICA	3,48			
CONCLUSIÓN	LAS ALTURAS DE LAS 5 BRIQUETAS PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XLV. **Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 60 %-40 %**

X_1 (m)	X_1^2 (m) ²	X_2 (m)	X_2^2 (m) ²	X_3 (m)	X_3^2 (m) ²	X_4 (m)	X_4^2 (m) ²	X_5 (m)	X_5^2 (m) ²
0,2760	0,0762	0,2822	0,0796	0,2866	0,0821	0,2801	0,0784	0,2685	0,0721
0,2749	0,0756	0,2827	0,0799	0,2852	0,0814	0,2818	0,0794	0,2697	0,0727
0,2751	0,0757	0,2830	0,0801	0,2867	0,0822	0,2802	0,0785	0,2693	0,0725

Fuente: elaboración propia a partir de tabla VI. Determinación de la densidad.

Tabla XLVI. **Determinación de variables para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 60 %-40 %**

X_1		X_2		X_3		X_4		X_5	
T_c	ΣX_1^2	T_c	ΣX_2^2	T_c	ΣX_3^2	T_c	ΣX_4^2	T_c	ΣX_5^2
0,8260	0,2274	0,8479	0,2396	0,8585	0,2457	0,8421	0,2364	0,8075	0,2173
$\Sigma T_c^2/n_c$	$\Sigma (X)^2/N$	n_c	N						
1,1664	1,1659	3	15						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XLVII. **Análisis de varianza para alturas de briquetas con composición 60 %-40 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	5,3252E-04		4	0,0001
DENTRO DE TRATAMIENTOS		4,8981E-06	10	4,8981E-07
TOTAL			F	271,7992
NIVEL DE SIGNIFICANCIA $\alpha=0,05$				
F TEORICA	3,48			
CONCLUSIÓN	LAS ALTURAS DE LAS 5 BRIQUETAS PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla XLVIII. **Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 70 %-30 %**

ANÁLISIS DE VARIANZA DE ALTURAS DE BRIQUETAS									
COMPOSICIÓN 70 %-30 %									
X_1 (m)	X_1^2 (m) ²	X_2 (m)	X_2^2 (m) ²	X_3 (m)	X_3^2 (m) ²	X_4 (m)	X_4^2 (m) ²	X_5 (m)	X_5^2 (m) ²
0,2777	0,0771	0,2734	0,0747	0,2807	0,0788	0,2742	0,0752	0,2782	0,0774
0,2782	0,0774	0,2732	0,0746	0,2803	0,0786	0,2727	0,0743	0,2796	0,0782
0,2799	0,0784	0,2736	0,0749	0,2792	0,0780	0,2734	0,0747	0,2786	0,0776

Fuente: elaboración propia a partir de tabla VI. Determinación de la densidad.

Tabla XLIX. **Determinación de variables para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 70 %-30 %**

X ₁		X ₂		X ₃		X ₄		X ₅	
T _c	Σ X ₁ ²	T _c	Σ X ₂ ²	T _c	Σ X ₃ ²	T _c	Σ X ₄ ²	T _c	Σ X ₅ ²
0,8358	0,2329	0,820	0,224	0,840	0,235	0,820	0,224	0,836	0,23
		2	2	2	3	3	3	3	32
Σ	Σ	n _c	N						
T _c ² /n _c	(X) ² /N								
1,1499	1,1497	3	15						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla L. **Análisis de varianza para alturas de briquetas con composición 70 %-30 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	0,0001		4	3,0594E-05
DENTRO DE TRATAMIENTOS		6,3273 E-06	10	6,3273E-07
TOTAL			F	48,3526
NIVEL DE SIGNIFICANCIA α=0,05				
F TEORICA	3,48			
CONCLUSIÓN	LAS ALTURAS DE LAS 5 BRIQUETAS PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla LI. **Determinación de valores preliminares para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 80 %-20 %**

ANÁLISIS DE VARIANZA DE ALTURAS DE BRIQUETAS									
COMPOSICIÓN 80 %-20 %									
X_1 (m)	X_1^2 (m) ²	X_2 (m)	X_2^2 (m) ²	X_3 (m)	X_3^2 (m) ²	X_4 (m)	X_4^2 (m) ²	X_5 (m)	X_5^2 (m) ²
0,2553	0,0652	0,2576	0,0664	0,2548	0,0649	0,2511	0,0631	0,2522	0,0636
0,2550	0,0650	0,2593	0,0672	0,2543	0,0647	0,2497	0,0624	0,2515	0,0632
0,2538	0,0644	0,2555	0,0653	0,2529	0,0639	0,2478	0,0614	0,2514	0,0632

Fuente: elaboración propia a partir de tabla VI. Determinación de la densidad.

Tabla LII. **Determinación de variables para calcular ANOVA para alturas de briquetas con composición 80 %-20 %**

X_1		X_2		X_3		X_4		X_5	
T_c	ΣX_1^2	T_c	ΣX_2^2	T_c	ΣX_3^2	T_c	ΣX_4^2	T_c	ΣX_5^2
0,7642	0,1946	0,772	0,198	0,762	0,193	0,748	0,186	0,755	0,19
		5	9	0	6	6	8	1	00
$\Sigma T_c^2/n_c$	$\Sigma (X)^2/N$	n_c	N						
0,9639	0,9638	3	15						

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla LIII. **Análisis de varianza para alturas de briquetas con composición 80 %-20 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	0,0001		4	2,7484E-05
DENTRO DE TRATAMIENTOS		1,6468 E-05	10	1,6468E-06
TOTAL			F	16,6888
NIVEL DE SIGNIFICANCIA $\alpha=0,05$				
F TEORICA	3,48			
CONCLUSIÓN	LASALTURAS DE LAS 5 BRIQUETAS PRODUCEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla LIV. **Valores preliminares para calcular ANOVA para temperatura de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 50 %-50 %**

$X_1(^{\circ}\text{C})$	$X_1^2(^{\circ}\text{C})$	$X_2(^{\circ}\text{C})$	$X_2^2(^{\circ}\text{C})$	$X_3(^{\circ}\text{C})$	$X_3^2(^{\circ}\text{C})$
23,5	552,3	24,4	595,4	24,6	605,2
23,5	552,3	24,6	605,2	24,7	610,1
24,3	590,5	24,6	605,2	25,8	665,6
24,4	595,4	26,7	712,9	26,0	676,0
25,8	665,6	28,7	823,7	26,2	686,4
26,8	718,2	32,7	1 069,3	27,5	756,3

Continuación de la tabla LIV.

27,6	761,8	33,9	1 149,2	29,8	888,0
29,5	870,3	34,0	1 156,0	31,2	973,4
30,0	900,0	36,7	1 346,9	33,2	1 102,2
31,8	1 011,2	37,0	1 369,0	34,0	1 156,0
32,2	1 036,8	38,6	1 490,0	35,6	1 267,4
33,8	1 142,4	39,4	1 552,4	36,6	1 339,6
34,5	1 190,3	41,3	1 705,7	38,6	1 490,0
35,4	1 253,2	42,5	1 806,3	39,3	1 544,5
36,3	1 317,7	43,2	1 866,2	40,6	1 648,4
37,6	1 413,8	43,4	1 883,6	41,5	1 722,3
38,2	1 459,2	44,5	1 980,3	42,2	1 780,8
38,4	1 474,6	45,2	2 043,0	42,6	1 814,8
39,8	1 584,0	46,2	2 134,4	43,7	1 909,7
40,6	1 648,4	46,4	2 153,0	44,4	1 971,4
41,4	1 714,0	47,2	2 227,8	45,9	2 106,8
42,0	1 764,0	48,0	2 304,0	45,9	2 106,8
42,1	1 772,4	48,3	2 332,9	46,2	2 134,4
43,1	1 857,6	48,4	2 342,6	46,3	2 143,7
44,1	1 944,8	49,2	2 420,6	47,4	2 246,8
44,2	1 953,6	49,3	2 430,5	47,5	2 256,3
44,4	1 971,4	50,4	2 540,2	48,3	2 332,9
45,6	2 079,4	50,4	2 540,2	48,4	2 342,6
46,4	2 153,0	51,2	2 621,4	49,2	2 420,6
47,5	2 256,3	51,2	2 621,4	49,2	2 420,6
		52,1	2 714,4	50,2	2 520,0
		52,2	2 724,8	50,3	2 530,1

Continuación de la tabla LIV.

		52,3	2 735,3	50,3	2 530,1
		53,1	2 819,6	51,1	2 611,2
		53,3	2 840,9	51,3	2 631,7
		53,5	2 862,3	51,3	2 631,7
		53,5	2 862,3	52,0	2 704,0
		54,2	2 937,6	52,2	2 724,8
				52,3	2 735,3
				53,2	2 830,2
				53,3	2 840,9
				53,4	2 851,6
				54,4	2 959,4
				54,5	2 970,3
				55,0	3 025,0
				55,2	3 047,0
				55,4	3 069,2
				56,0	3 136,0
				57,1	3 260,4

Fuente: elaboración propia a partir de tabla XI. Datos combustión y poder calorífico.

Tabla LV. **Determinación de variables para calcular ANOVA para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 50 %-50 %**

X_1		X_2		X_3	
T_c	ΣX_1^2	T_c	ΣX_2^2	T_c	ΣX_3^2
1 074,8	40204,2	1651,8	74926,2	2170,9	100728,3
$\Sigma T_c^2/n_c$	$\Sigma (X)^2/N$	n_1	n_2	n_3	N
206 487,37	205 004,3269	30	38	49	117

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla LVI. **Análisis de varianza para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 50 %-50 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	1 483,0431		2	741,5216
DENTRO DE TRATAMIENTOS		9371,2800	114	82,2042
TOTAL			F	9,0205
NIVEL DE SIGNIFICANCIA $\alpha=0,05$				
F TEORICA	3,076			
CONCLUSIÓN	LAS TRES CORRIDAS PRODUCEN DIFERENCIA SIGNIFICATIVA			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla LVII. **Valores preliminares para calcular ANOVA para temperatura de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 60 %-40 %**

$X_1(^{\circ}\text{C})$	$X_1^2(^{\circ}\text{C})$	$X_2(^{\circ}\text{C})$	$X_2^2(^{\circ}\text{C})$	$X_3(^{\circ}\text{C})$	$X_3^2(^{\circ}\text{C})$
18,4	338,56	19,2	368,64	19,4	376,36
18,8	353,44	19,5	380,25	19,5	380,25
19,9	396,01	19,7	388,09	20,2	408,04
20,5	420,25	20,5	420,25	22,5	506,25
21,8	475,24	21,3	453,69	23,7	561,69
23,8	566,44	22,9	524,41	24,2	585,64
25,3	640,09	24,5	600,25	27	729
28,5	812,25	26,5	702,25	28,3	800,89
29,6	876,16	27	729	29,1	846,81
31,1	967,21	28,8	829,44	31,3	979,69
32,2	1 036,84	30,7	942,49	32	1024
34,5	1 190,25	31,9	1 017,61	32,3	1 043,29
35,5	1 260,25	32,4	1 049,76	34,1	1 162,81
36,3	1 317,69	33,8	1 142,44	35,2	1 239,04
38	1 444	34,1	1 162,81	36,1	1 303,21
39,9	1 592,01	35,7	1 274,49	37,1	1 376,41
40,4	1 632,16	36,5	1 332,25	38,1	1 451,61
41,5	1 722,25	37,4	1 398,76	39,1	1 528,81
42,5	1 806,25	38,5	1 482,25	40,1	1 608,01
43,5	1 892,25	39,5	1 560,25	40,3	1 624,09
44,5	1 980,25	40,3	1 624,09	41,7	1 738,89
45,2	2 043,04	41	1 681	42,4	1 797,76
46,7	2 180,89	42,4	1 797,76	42,5	1 806,25

Continuación de la tabla LVII.

47,1	2 218,41	42,3	1 789,29	43,2	1 866,24
48,2	2 323,24	43,1	1 857,61		
48,4	2 342,56	43,2	1 866,24		
49,4	2 440,36	44,5	1 980,25		
50,1	2 510,01	45,3	2 052,09		
50,3	2 530,09	45,4	2 061,16		
51,3	2 631,69	46,1	2 125,21		
51,4	2 641,96	46,3	2 143,69		
		47,2	2 227,84		
		47,5	2 256,25		
		48,2	2 323,24		
		49,5	2 450,25		
		50,5	2 550,25		
		50,3	2 530,09		
		50,6	2 560,36		
		50,6	2 560,36		

Fuente: elaboración propia a partir de tabla XI. Datos combustión y poder calorífico.

Tabla LVIII. **Determinación de variables para calcular ANOVA para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 60 %-40 %**

X_1		X_2		X_3	
T_c	ΣX_1^2	T_c	ΣX_2^2	T_c	ΣX_3^2
1 154,6	46 582,1	1 454,7	58 196,41	779,4	26 745,04
$\Sigma T_c^2/n_c$	$\Sigma (X)^2/N$	n_1	n_2	n_3	N
122 574,5882	122 162,6350	31	39	24	94

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla LIX. **Análisis de varianza para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 60 %-40 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	411,9532		2	205,9766
DENTRO DE TRATAMIENTOS		8948,9618	91	98,3402
TOTAL			F	2,0945
NIVEL DE SIGNIFICANCIA $\alpha=0,05$				
F TEORICA	3,1035			
CONCLUSIÓN	LAS TRES CORRIDAS NO PRODUCEN DIFERENCIA SIGNIFICATIVA			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla LX. **Valores preliminares para calcular ANOVA para temperatura de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 70 %-30 %**

$X_1(^{\circ}\text{C})$	$X_1^2(^{\circ}\text{C})$	$X_2(^{\circ}\text{C})$	$X_2^2(^{\circ}\text{C})$	$X_3(^{\circ}\text{C})$	$X_3^2(^{\circ}\text{C})$
18,9	357,21	18,2	331,24	19,5	380,25
18,9	357,21	18,2	331,24	20,1	404,01
19,4	376,36	18,5	342,25	21,5	462,25
19,4	376,36	19,1	364,81	22	484
19,5	380,25	19,5	380,25	23,4	547,56
20,5	420,25	21,7	470,89	25,7	660,49
22,7	515,29	22,7	515,29	27,5	756,25
24	576	25,1	630,01	28,6	817,96
26,3	691,69	25,2	635,04	30,4	924,16
28,1	789,61	27,2	739,84	31,2	973,44
29,7	882,09	28,8	829,44	32,5	1 056,25
30,1	906,01	29,7	882,09	35,3	1 246,09
31,1	967,21	30,5	930,25	36,6	1 339,56
32,2	1 036,84	31,4	985,96	38,3	1 466,89
34,1	1 162,81	32	1 024	39,1	1 528,81
35,6	1 267,36	33,8	1 142,44	41,8	1 747,24
36,4	1 324,96	35,1	1 232,01	42,3	1 789,29
37,1	1 376,41	36,3	1 317,69	43,4	1 883,56
38,6	1 489,96	37,4	1 398,76	45,4	2 061,16
40,3	1 624,09	38,1	1 451,61	46,2	2 134,44
41,3	1 705,69	40,5	1 640,25	47,2	2 227,84
42,7	1 823,29	43,4	1 883,56	48,9	2 391,21
44,3	1 962,49	44,1	1 944,81	49,2	2 420,64

Continuación de la tabla LX.

45,3	2 052,09	44,3	1962,49	50,6	2 560,36
46,5	2 162,25			51,6	2 662,56
48,2	2 323,24			53,5	2 862,25
50,4	2 540,16				
51,4	2 641,96				
52,8	2 787,84				
54,1	2 926,81				
55,9	3 124,81				
56,6	3 203,56				
58,5	3 422,25				
59	3 481				
60,4	3 648,16				
61,3	3 757,69				
63	3 969				
64,1	4 108,81				
65	4 225				
65,2	4 251,04				

Fuente: elaboración propia a partir de tabla XI. Datos combustión y poder calorífico.

Tabla LXI. **Determinación de variables para calcular ANOVA para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 70 %-30 %**

X_1		X_2		X_3	
T_c	ΣX_1^2	T_c	ΣX_2^2	T_c	ΣX_3^2
1 648,9	76 995,11	720,8	23 366,22	951,8	37 788,52
$\Sigma T_c^2/n_c$	$\Sigma (X)^2/N$	n_1	n_2	n_3	N
124463,0085	122581,8028	40	24	26	90

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla LXII. **Análisis de varianza para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 70 %-30 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	1881,2057		2	940,6028
DENTRO DE TRATAMIENTOS		13686,84154	87	157,3200
TOTAL			F	5,9789
NIVEL DE SIGNIFICANCIA $\alpha=0,05$				
F TEORICA	3,11			
CONCLUSIÓN	LAS TRES CORRIDAS PRODUCEN DIFERENCIA SIGNIFICATIVA			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

Tabla LXIII. **Valores preliminares para calcular ANOVA para temperatura de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 80 %-20 %**

$X_1(^{\circ}\text{C})$	$X_1^2(^{\circ}\text{C})$	$X_2(^{\circ}\text{C})$	$X_2^2(^{\circ}\text{C})$	$X_3(^{\circ}\text{C})$	$X_3^2(^{\circ}\text{C})$
20,3	412,09	20,7	428,49	21,7	470,89
20,7	428,49	20,8	432,64	23,4	547,56
20,7	428,49	21,1	445,21	23,6	556,96
21	441	21,3	453,69	24,6	605,16
22,6	510,76	22,5	506,25	25,7	660,49
24,2	585,64	22,6	510,76	27,1	734,41
26,5	702,25	23,8	566,44	29,6	876,16
29,3	858,49	25,1	630,01	31,9	1 017,61
30,1	906,01	27,5	756,25	32,8	1 075,84
32,3	1 043,29	28,3	800,89	34,2	1 169,64
34,1	1 162,81	30,1	906,01	35,1	1 232,01
35,1	1 232,01	32,2	1 036,84	37,4	1 398,76
37,5	1 406,25	33,1	1 095,61	39	1 521
38	1 444	34,3	1 176,49	42,6	1 814,76
40,6	1 648,36	36,3	1 317,69	44,6	1 989,16
42,7	1 823,29	38,4	1 474,56	45,4	2 061,16
43,2	1 866,24	39,9	1 592,01	46,5	2 162,25
45,4	2 061,16	41,9	1 755,61	48,1	2 313,61
46,1	2 125,21	51,8	2 683,24	49,2	2 420,64
47,3	2 237,29	54,3	2 948,49	50	2 500
48,3	2 332,89	56,8	3 226,24	51,7	2 672,89
50,9	2 590,81	57,2	3 271,84	52,6	2 766,76
51,9	2 693,61	58,2	3 387,24	53,8	2 894,44

Continuación de la tabla LXIII.

52,5	2 756,25	59,5	3 540,25	55	3 025
53,9	2 905,21	60,3	3 636,09	56	3 136
54,1	2 926,81	61,3	3 757,69	56,2	3 158,44
55,2	3 047,04	62,4	3 893,76	57,5	3 306,25
57,2	3 271,84	63,1	3 981,61	58,2	3 387,24
58	3 364	64,4	4 147,36	59,3	3 516,49
58,3	3 398,89	65,4	4 277,16	60,4	3 648,16
60,3	3 636,09	66,2	4 382,44	61,4	3 769,96
61,5	3 782,25	68	4624	61,4	3 769,96
61,5	3 782,25	68,2	4 651,24	62,5	3 906,25
63,1	3 981,61	69,5	4 830,25	63,2	3 994,24
64,3	4 134,49	70	4900	64,2	4 121,64
65,2	4 251,04			64,4	4 147,36
65,3	4 264,09			65,5	4 290,25
66,2	4 382,44				
67,5	4 556,25				
68,1	4 637,61				
69,1	4 774,81				
70	4 900				

Fuente: elaboración propia a partir de tabla XI. Datos combustión y poder calorífico.

Tabla LXIV. **Determinación de variables para calcular ANOVA para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 80 %-20 %**

X ₁		X ₂		X ₃	
T _c	Σ X ₁ ²	T _c	Σ X ₂ ²	T _c	Σ X ₃ ²
1 980,1	103 693,41	1 576,5	82 024,35	1 715,8	86 639,4
Σ T _c ² /n _c	Σ (X) ² /N	n ₁	n ₂	n ₃	N
243 929,0973	243 843,8751	42	35	37	114

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

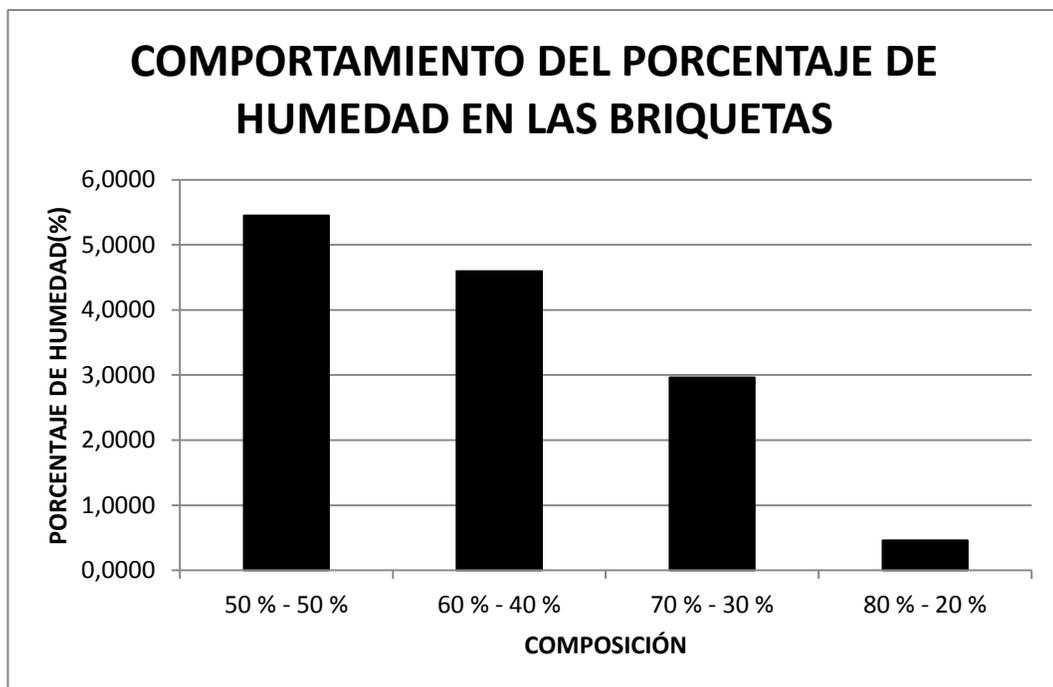
Tabla LXV. **Análisis de varianza para temperaturas de combustión y poder calorífico de briquetas con composición 80 %-20 %**

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
	SST	SSE	K-1	
ENTRE TRATAMIENTOS	85,2222		2	42,6111
DENTRO DE TRATAMIENTOS		28428,06273	111	256,1087
TOTAL			F	0,1664
NIVEL DE SIGNIFICANCIA α=0,05				
F TEORICA	3,079			
CONCLUSIÓN	LAS TRES CORRIDAS NO PRODUCEN DIFERENCIA SIGNIFICATIVA.			

Fuente: elaboración propia, con base en cálculo de varianza, sección de anexos.

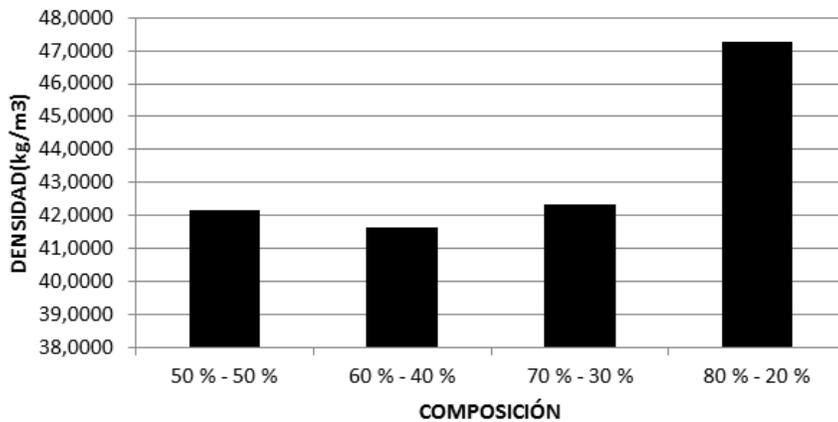
4. RESULTADOS

Figura 10. Comportamiento del porcentaje de humedad para las distintas composiciones de briquetas elaboradas



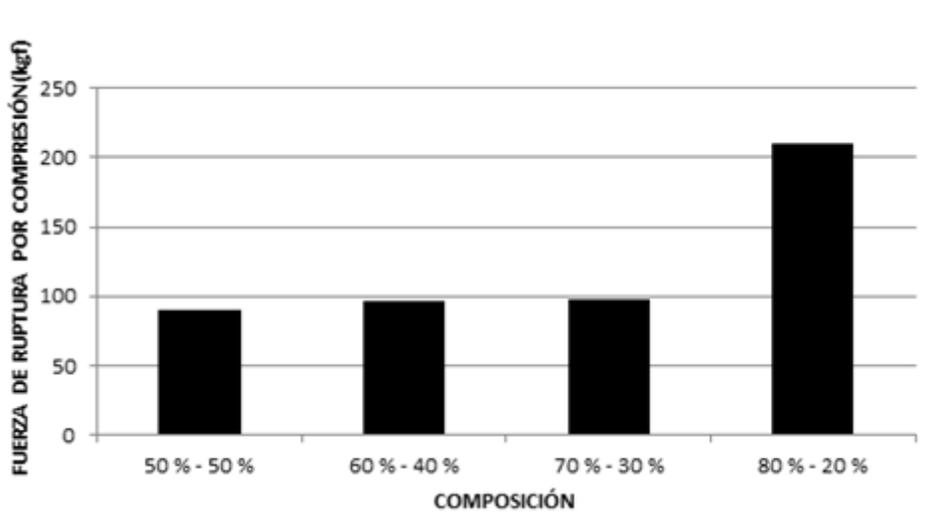
Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Figura 11. **Comportamiento de la densidad para las distintas composiciones de briquetas elaboradas**



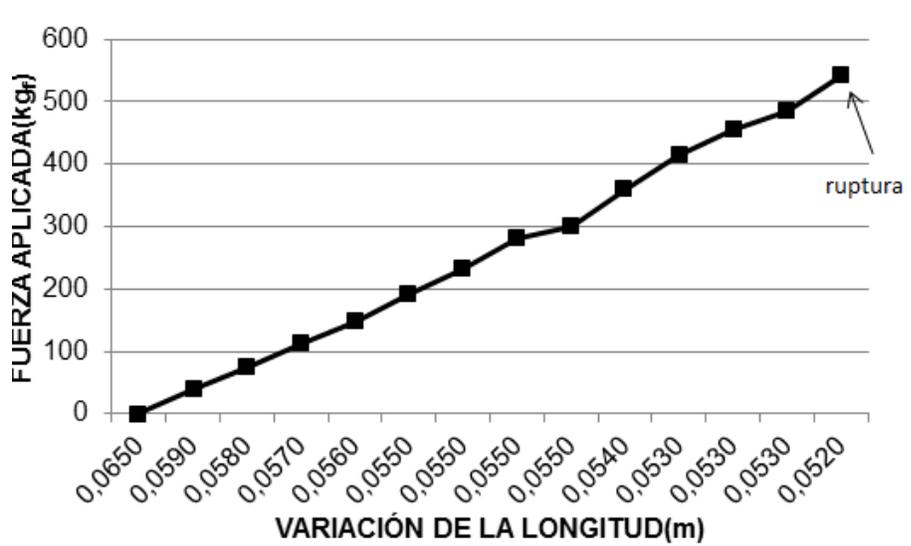
Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Figura 12. **Comportamiento de la compresión radial para las distintas composiciones de briquetas**



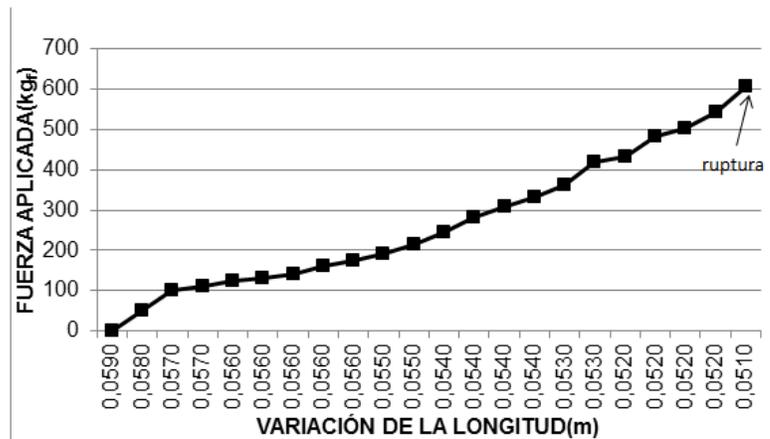
Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Figura 13. **Comportamiento de la compresión longitudinal en briquetas composición 50 %-50 %**



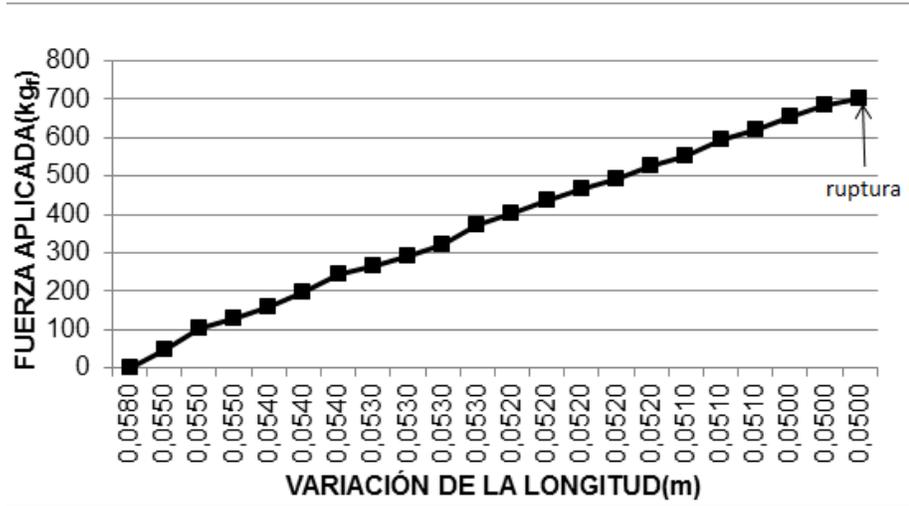
Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Figura 14. **Comportamiento de la compresión longitudinal en briquetas composición 60 %-40 %**



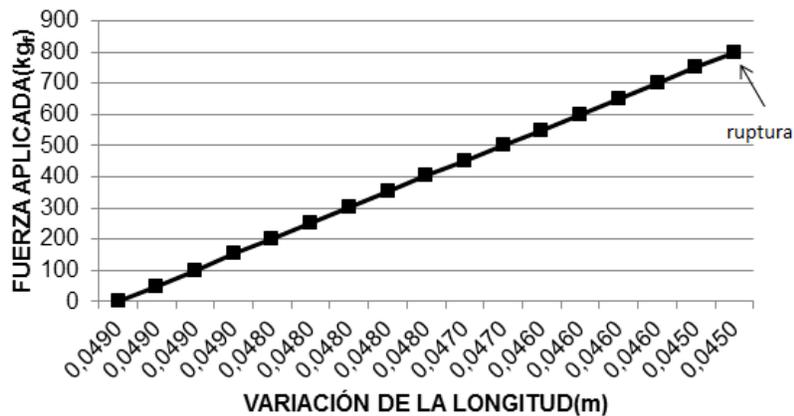
Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Figura 15. **Comportamiento de la compresión longitudinal en briquetas composición 70 %-30 %**



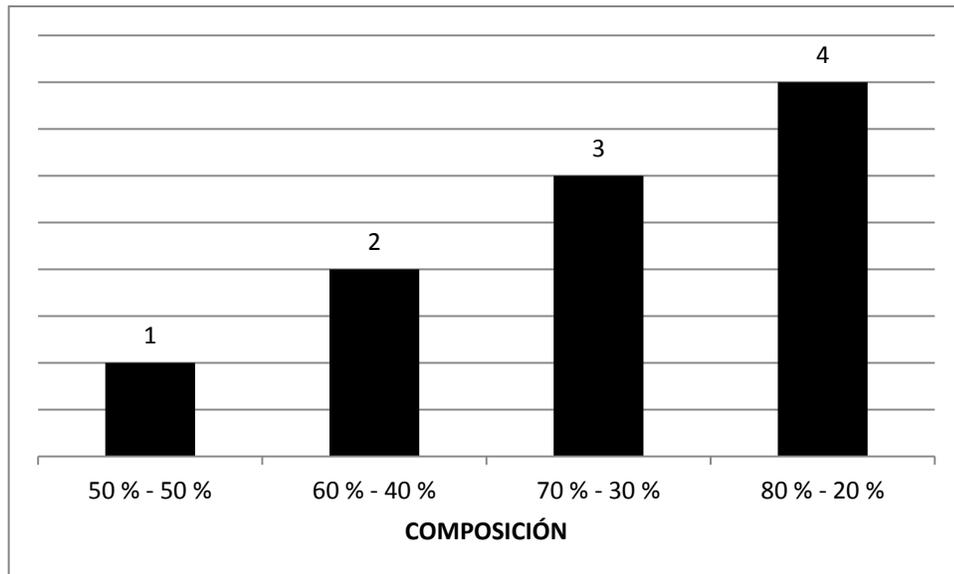
Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Figura 16. **Comportamiento de la compresión longitudinal en briquetas composición 80 %-20 %**



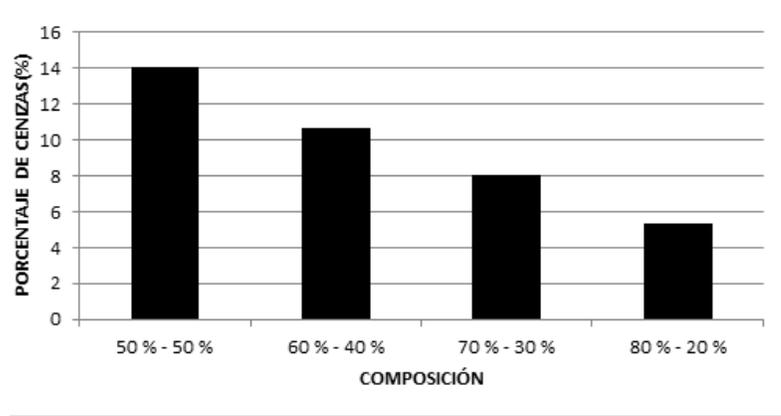
Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Figura 17. **Dureza de Mohs para las distintas composiciones de briquetas**



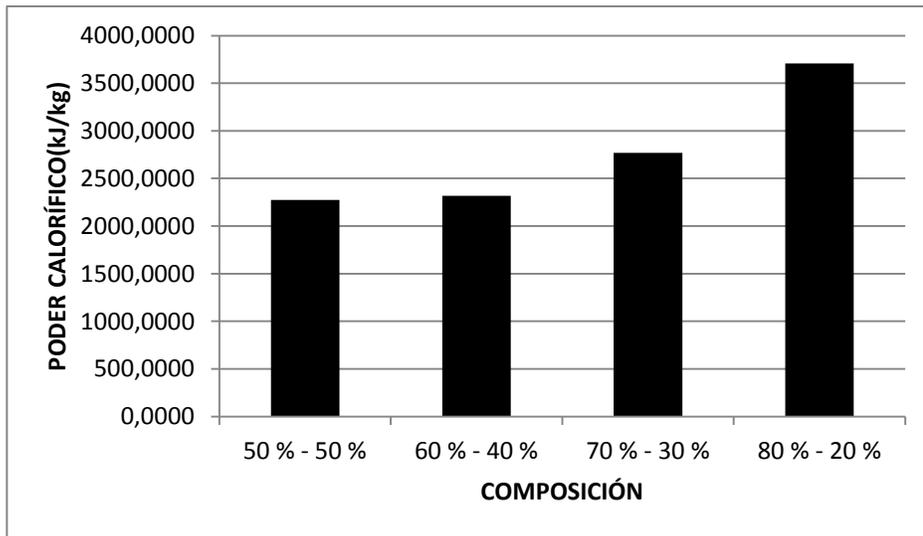
Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

Figura 18. **Comportamiento del porcentaje de cenizas para las distintas composiciones de briquetas elaboradas**



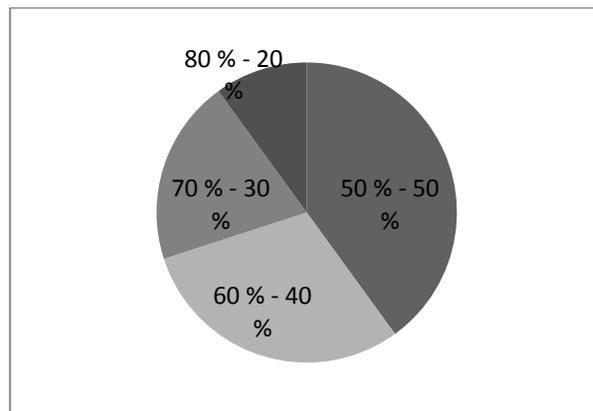
Fuente: elaboración propia, a partir de cálculo de cenizas, sección de anexos.

Figura 19. **Poder calorífico para las distintas composiciones de briquetas elaboradas**



Fuente: elaboración propia, a partir de cálculo de poder calorífico, sección de anexos.

Figura 20. **Emisión y generación de gases de combustión en las distintas composiciones de briquetas elaboradas**



Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo principal el 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.

Cabe destacar que mediante pruebas, se determinó que tanto la arcilla como la cachaza al momento de mezclarse con el aglutinado, aserrín, no funcionan como fuentes energéticas; ya que la primera, a pesar de que forma un sólido compacto, inhibe a la combustión, es decir, no funciona como fuente energética. Asimismo la cachaza, con la diferencia que el sólido formado con este aglutinante es más inconsistente, tiende a quebrarse con facilidad, por ello se le añadió cal y agua, formando un sólido más consistente pero al igual que la arcilla, no producía energía. Por ello se determinó que el único aglutinante que podía ser utilizado como fuente energética por sus características y consistencia, fue la colofonia.

Por otro lado, se determinó que el tamaño de partícula o tamiz para los residuos de aserrío fue: tamiz 10 y que la mezcla de los componentes debía darse en caliente. Y las proporciones y/o composiciones de aglutinante-aglutinado, peso en volumen, son: 50 %-50 %, 60 %-40 %, 70 %-30 %, 80 %-20 %.

Ya con las briquetas elaboradas, se procedió a realizar cada una de las pruebas necesarias para determinar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas: Porcentaje de humedad, densidad, porcentaje de cenizas, poder calorífico, emisión y generación de gases de combustión, ruptura por compresión radial y longitudinal y dureza de Mohs.

La primera prueba, se realizó mediante la toma de muestras de 50 g de briqueta y la posterior utilización de una balanza de humedad. Observando que a medida que la proporción y/o composición de aglutinante (colofonia) aumenta, el porcentaje de humedad disminuye como se muestra a continuación: briquetas 50 %-50 %, 60 %-40 %, 70 %-30 %, y 80 %-20 %, con porcentaje de humedad de 5.45%,4.598%,2.97% y 0.46%, respectivamente. Es decir, el porcentaje de humedad es inversamente proporcional a la cantidad de aglutinante. Esto debido a que cuando existe una mayor proporción de aglutinante, este cierra todos los poros o espacios libres entre las partículas de aserrín, impidiendo la absorción de cualquier fluido circundante.

La densidad se determinó a partir de la medición tanto del volumen como de la masa. El primero resultó de la medición del diámetro como de la altura de la briqueta; en tanto la masa, se determinó a partir de la recolección diaria de los pesos de las briquetas durante el proceso de secado natural. Al graficar las densidades de cada una de las composiciones, se observó que a pesar de ser materiales heterogéneos, la densidad aumentaba en función de la cantidad de aglutinante, es decir, a mayor cantidad de colofonia en la muestra, mayor era la densidad, como se presenta en la briqueta 80 %-20 % con densidad de 47,27 kg/m³.

El porcentaje de cenizas, se determinó utilizando una mufla y siguiendo el procedimiento que sigue la Norma ANSI/ASTM D 1102-56. Visualizando que a medida que la cantidad de material aglutinado (aserrín) aumenta, las cenizas generadas son mayores, como se observa en la briqueta con composición 50 %-50 % con un porcentaje de cenizas de 14 %. Esto debido a que el aserrín forma una mayor cantidad de cenizas tras la combustión, mientras que a mayor cantidad de colofonia, se presenta un menor porcentaje de cenizas, ya que la colofonia se evapora a altas temperaturas.

El poder calorífico, se calculó a partir de la utilización de un equipo proporcionado por la sección de Tecnología de la Madera de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Determinando que a mayor proporción de colofonia en las briquetas, estas tendrían un mayor poder calorífico, tal es el caso de la briqueta con composición 80 %-20 % con un poder calorífico de 3 709,06 kJ/kg. Siendo un factor importante el que la colofonia sea una resina, teniendo así, una mayor facilidad de producir o generar una mayor cantidad de energía en forma de calor.

La generación y emisión de gases, se evaluó a partir de las capturas fotográficas y observaciones de cada una de las briquetas en combustión. Mostrando que a medida que la proporción de residuos de aserrín aumenta, los gases de combustión que se generan son mayores, como se visualiza en la briqueta 50 %-50 %, la cual, genera mayor cantidad de gases que las demás.

Luego, se analizaron las propiedades mecánicas de las briquetas, iniciando con el punto de ruptura por compresión. Este ensayo al igual que el anterior, se determinó a partir del uso de un equipo de la sección de Tecnología de la Madera de la Universidad de San Carlos de Guatemala; en el cual se determinaba la fuerza a partir de la variación de longitud de la biqueta. Es importante el mencionar que esta prueba, se dividió en dos ensayos distintos: ruptura por compresión radial y ruptura por compresión longitudinal.

En la primera se observa que a mayor cantidad de colofonia, más fuerza se requerirá para realizar una ruptura en ella; es decir, a mayor cantidad de aglutinante mayor fuerza para la ruptura. Según lo describe la biqueta con composición 80 %-20 %, la cual requiere 210 kg_f para realizar la ruptura, mientras que la 70 %-30 % 98kg_f, la 60 %-40 % 96kg_f y finalmente la 50 %-50 % 90 kg_f.

Mostrando el mismo comportamiento la fuerza para la ruptura por compresión longitudinal, requiriendo para las composiciones 50 %-50 %, 60 %-40 %, 70 %-30 %, 80 %-20 %, fuerzas de ruptura de: 542kg_f, 606kg_f, 704kg_f y 800 kg_f, respectivamente.

Finalmente, mediante la aplicación del método de Mohs, se determinó que a medida en que aumenta la cantidad de aglutinante en la biqueta, mayor será la dureza. Ya que se realizaron cada uno de las acciones que exige el método. Para la composición 50 %-50 % con el pasar la uña en la biqueta, esta se rayaba con facilidad.

Mientras que para la briqueta 60 %-40 % con un poco más de dificultad pero siempre con la uña. La briqueta 70 %-30 % no se rayaba con la uña, entonces se procedió a utilizar una moneda de cobre, con la cual se rayó con mayor facilidad la briqueta. La briqueta 80 %-20 %, no se rayaba con la moneda, con lo cual, se utilizó un cuchillo de acero, rayando la briqueta y obteniendo el resultado deseado.

CONCLUSIONES

1. El aglutinante que puede ser utilizado como fuente energética por sus características de generación de calor y consistencia es la colofonia.
2. La arcilla no puede ser utilizada como aglutinante para briquetas energéticas ya que es inhibidor de combustión.
3. La cachaza no puede ser utilizada como aglutinante ya que no presenta las propiedades de resistencia mecánica para poder elaborar briquetas energéticas.
4. A mayor cantidad de material aglutinante en la briqueta, 80 %: la densidad, la dureza, el punto de ruptura tanto radial como longitudinal y el poder calorífico, son mayores.
5. A mayor cantidad de material aglutinado en la briqueta, 50 %: el porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, generación y emisión de gases de combustión, son mayores.
6. La briqueta que presenta las propiedades fisicoquímicas y mecánicas adecuadas es la briqueta con composición 80 %-20 %.

RECOMENDACIONES

1. En la fabricación de briquetas energéticas utilizar aglutinantes que sean combustibles o que tengan punto de ignición bajo, para que así puedan ser utilizadas como fuentes de energía.
2. Utilizar un secado controlado, mediante la utilización de un secador.
3. Esperar a que enfríe la briqueta, antes de sacarla del molde para que no se dañe la morfología.
4. Utilizar equipo de protección para cada uno de los ensayos.
5. Tener un conocimiento previo en la utilización de equipo y herramientas.
6. Utilizar la cachaza como material aglutinado mezclándolo con un aglutinante como la colofonia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Comunidad Ambiental. [en línea] <<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo18.pdf>>. [Consulta: mayo de 2014].
2. ELIAS, Xavier. *Reciclaje de residuos industriales: sólidos urbanos y fangos de depuradora*. 2a ed. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A. 2012. 1251 p.
3. HERNÁNDEZ ADROVER, Juan José. *Modelado de la formación y emisión de contaminantes en sistemas de combustión*. España: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. 2001. 242 p.
4. INCROPERA, Frank. *Fundamentos de transferencia de calor y masa*. 4a ed. México: Prentice Hall. 1999. 889 p.
5. MARKS. *Manual del ingeniero mecánico*. 2a ed. México: McGraw-Hill. 1984. 2596 p.
6. PERRY, P. *Biblioteca del ingeniero químico*. 2a ed. México: McGraw-Hill. 1986. 331 p.
7. SUBIRÓS RUIZ, Fermín. *El cultivo de la caña de azúcar*. Costa Rica: EUNED. 2010. 367 p.

ANEXOS

A continuación, se describen cada uno de los procedimientos a seguir para determinar cada una de las propiedades energéticas de las briquetas.

Elaboración de las briquetas:

1. Realizar un proceso de secado natural, es decir al aire libre y temperatura ambiente, de la biomasa a tratar; en este caso, aserrín.
2. Hacer la mezcla de la biomasa y el material aglutinante, tomando en cuenta el tamaño, es decir, las dimensiones y el tipo de briketa a elaborar.
3. Al hacer la mezcla, se necesita tener los componentes en los porcentajes indicados y homogeneizarlos.
4. Luego se procede a la compactación de la mezcla, la cual se llevó a cabo, con el uso de moldes, para garantizar la solidez de la masa compactada durante la extracción del molde para ser pesado y transportado hacia el secado.
5. Llevar los moldes a la prensa hidráulica, y emplear un nivel de presión de 1 tonelada.
6. Secar las briquetas por convección libre, es decir, sacar a la interperie durante aproximadamente 8 días.

Determinación de la humedad:

Esta operación se determina mediante el uso de una balanza de humedad. En donde inicialmente se tomas muestras de 1g de la briketa en cuestión, y se colocan en la balanza. Finalmente, la balanza de humedad proporciona los datos exactos de humedad de la briketa.

Determinación de la densidad de las briquetas secas:

Esta variable se determina mediante la medición, tanto del diámetro como de la altura de la briketa, con la ayuda de un Vernier, y la toma de pesos de la briketa en el proceso de secado natural. Para así determinar el cociente de la masa y volumen, llamado densidad.

Procedimiento de cálculo:

1. Debido a que se realizaron tres corridas de mediciones de diámetro y altura distintas de cada una de las briquetas elaboradas, en este caso 5, por composición; se determina el promedio de diámetro y altura por briketa elaborada:

$$D_{prom} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}$$

[Ecuación No. 1]

$$h_{prom} = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$$

[Ecuación No. 2]

2. Luego se calcula el volumen de cada una de las briquetas elaboradas mediante la siguiente ecuación:

$$V = \pi r^2 h$$

[Ecuación No. 3]

3. Con la obtención de los pesos de cada una de las briketa por composición durante el proceso de secado (Tabla IV); se calculó la densidad de cada briketa por composición:

$$\rho = \frac{m_b}{V}$$

[Ecuación No. 4]

4. Entonces con la aplicación de la ecuación No. 4, se obtienen cuatro valores distintos de densidad de briqueta por composición, por lo cual, se realiza un promedio de densidades, para determinar la densidad de la briqueta con la respectiva composición.

$$\rho_t = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5}{5}$$

[Ecuación No. 5]

Eficiencia térmica de combustión y poder calorífico de las briquetas (ensayo de combustión):

Para que un determinado material se le considere combustible en composición debe contener cantidades de carbono e hidrógeno, similar a un hidrocarburo. El principal insumo de las briquetas como combustible lo constituye tanto la biomasa como los aglutinantes.

El ensayo de combustión, consiste en combustionar una porción de 50g de briqueta de la misma composición, para hervir 300 ml de agua en un recipiente. Midiendo la temperatura del agua a partir de un termómetro digital y el tiempo desde que inicia la quema de la briqueta hasta la extinción. Cuando la porción de briqueta termina de combustionar, el tiempo se detiene. Es importante el mencionar, que se las tomas de datos se dan cada treinta segundos.

Procedimiento de cálculo:

1. Primeramente, se procede a determinar la Capacidad Calorífica del calorímetro a partir de la combustión de una substancia a la cual se le conozcan todos sus datos, en este caso ácido benzoico. Debido a que se realizan dos corridas de combustión distintas, se realiza lo siguiente:

Si el ácido benzoico libera 26,42kJ de calor en 1g, entonces:

$$Q_{AB_n} = \left(\frac{26.42kJ}{g} \right) * m_{AB_n}$$

[Ecuación No. 6]

Donde el subíndice “n” denota a la masa utilizada en cada una de las dos corridas de combustión.

2. Luego, se determina el promedio de los calores liberados por la combustión del ácido benzoico:

$$Q_{AB} = \frac{\sum Q_{AB_n}}{2}$$

[Ecuación No. 7]

3. Debido a que se tienen dos cambios de temperatura distintos, ya que se hicieron dos corridas para el ácido benzoico, se realiza un promedio de los cambios de temperatura.

$$\Delta T_n = T_{f_n} - T_{o_n}$$

[Ecuación No. 8]

Donde el subíndice “n” denota a la corrida de combustión evaluada.

$$\Delta T = \frac{\sum \Delta T_n}{2}$$

[Ecuación No. 9]

4. Se determina el calor que el agua genera debido a la combustión del ácido.

$$Q_{H2O} = m_{H2O} * C_{pH2O} * \Delta T$$

[Ecuación No. 10]

5. Se determina el calor generado por el Calorímetro:

$$Q_{cal} = Q_{AB} - Q_{H2O}$$

[Ecuación No. 11]

6. Con el calor determinado en el paso anterior, se procede a determinar la Capacidad Calorífica del calorímetro:

$$C_{cal} = \frac{Q_{cal}}{\Delta T}$$

[Ecuación No. 12]

Ahora, debido a que por cada composición se realizaron tres corridas, se realiza el siguiente procedimiento por corrida para determinar el Poder Calorífico:

7. Con los datos del agua que se determinaron (Tabla XIII), se procedió a determinar el Calor del Agua, mediante la ecuación No. 10.
8. Se determina el calor generado por el calorímetro:

$$Q_{cal} = C_{cal} * \Delta T$$

[Ecuación No. 13]

9. Luego, se calcula el calor generado por la briqueta:

$$Q_{briqueta} = Q_{cal} - Q_{H2O}$$

[Ecuación No. 14]

10. Finalmente, se determina el poder calorífico de la briqueta mediante la siguiente ecuación:

$$PC = \frac{Q_{briqueta}}{m_{briqueta}}$$

[Ecuación No. 15]

Se utiliza el procedimiento anterior para cada corrida por composición de briqueta. Y con cada poder calorífico obtenido por composición, determinar:

$$PC_t = \frac{\sum PC}{3}$$

[Ecuación No. 16]

Determinación de la dureza:

Esta se realiza a partir de la aplicación de la escala de Mohs, para determinar la dureza de cada una de las briquetas fabricadas.

La escala de Mohs es una relación de diez sólidos ordenados por dureza, de menor a mayor. Se utiliza como referencia de la dureza de una sustancia o cuerpo en cuestión.

Figura 21. ESCALA DE MOHS

Dureza	Mineral	Se raya con / raya a	Composición química
1	Talco	Se puede rayar fácilmente con la uña	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
2	Yeso	Se puede rayar con la uña con más dificultad	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
3	Calcita	Se puede rayar con una moneda de cobre	$CaCO_3$
4	Fluorita	Se puede rayar con un cuchillo de acero	CaF_2
5	Apatita	Se puede rayar difícilmente con un cuchillo	$Ca_5(PO_4)_3(OH, Cl, F, I)$
6	Ortoclasa	Se puede rayar con una lija para el acero	$KAlSi_3O_8$
7	Cuarzo	Raya el vidrio	SiO_2
8	Topacio	Rayado por herramientas de carburo de wolframio	$Al_2SiO_4(OH, F)_2$
9	Corindón	Rayado por herramientas de carburo de silicio	Al_2O_3
10	Diamante	El material más duro en esta escala (rayado por materiales como el Grafeno o el Carbino).	C

Fuente: [www.http://es.wikipedia.org/wiki/Escalas_de_dureza](http://es.wikipedia.org/wiki/Escalas_de_dureza)

Determinación del punto de Ruptura por compresión

Esta variable se determina a partir de la utilización de un equipo de la sección de Tecnología de la Madera, en donde, se aplicaba fuerza por compresión a la muestra conforme esta variaba en longitud, hasta la ruptura.

Determinación del porcentaje de humeo

Esta se determina mediante la captura fotográfica del proceso de combustión de las muestras de briquetas. Para luego, comparar cual composición de briqueta genera y/o produce una mayor cantidad de humo.

Determinación del porcentaje de cenizas

Para ello, se siguió la norma ANSI/ASTM D 1102-56, llamada: "CENIZAS EN MADERA". La cual tiene como procedimiento lo siguiente:

1. Calcinar un crisol, adecuado para un gramo de muestra, a 600°C en una mufla durante 1 hora.
2. Retirar el crisol e introducirlo en una desecadora durante 15 minutos, para después tararlo.
3. Agregar un gramo de muestra, previamente tamizada, a la mufla aplicando 100°C y luego aumentar de modo que no haya ignición en la muestra. Debe llegar a 600°C.
4. Revisar la muestra después de transcurrida 1 hora y media, extrayendo el crisol con una pinza, de modo que el material sea solamente cenizas.
5. Llevar la muestra a una desecadora, esperar 15 minutos y pesar.

6. Obtener el porcentaje de cenizas mediante:

$$\%Ceniza = (PB - PT) * 100$$

[Ecuación No. 17]

DETERMINACIÓN ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico que se utilizará para la presente tesis es el de análisis de varianza (ANOVA). El análisis de varianza se va a utilizar para verificar si hay diferencias estadísticamente significativas entre medias cuando se tienen más de dos muestras o grupos en el mismo planteamiento. En estos casos no se utiliza la t de Student que solamente es un procedimiento válido cuando se compara únicamente las medias de dos muestras. Como se explicará más adelante, cuando se tiene más de dos muestras y se compara las medias de dos en dos suben las probabilidades de error al rechazar la hipótesis

de no diferencia porque queda suficientemente explicada por factores aleatorios (que también se denomina error muestral).

Con el análisis de varianza se comprueba si existen diferencias estadísticamente significativas entre más de dos grupos, es decir, se comprueba si las diversas muestras se pueden considerarlas como muestras aleatorias de la misma población. Es el método apropiado cuando se tiene más de dos grupos en el mismo planteamiento; en vez de comparar las medias de dos en dos, se utiliza el análisis de varianza.

El razonamiento para explicar el análisis de varianza (se considera que dos grupos son distintos cuando la variabilidad entre los grupos, entre las medias, es mayor que la variabilidad dentro de los grupos) es sencillo y además aplicable a otras situaciones al margen del análisis estadístico. Dentro de grupos oficialmente distintos en la percepción social (distintos en estatutos, ideario o cualquier otra variable) puede haber diferencias mayores o iguales que las diferencias que se dan por ciertas entre los grupos; la única diferencia puede estar en el cartel utilizado para designarlos, sin base real para afirmar que en una determinada característica esos grupos tienen medias distintas y constituyen poblaciones distintas.

1. Se determina el T_c por cada tratamiento

$$T_c = \sum X_n$$

[Ecuación No. 18]

2. Se calcula la sumatoria total de cada T_c evaluado

$$\sum X = \sum T_c$$

[Ecuación No. 19]

3. Se determina el cuadrado de cada valor dentro de cada tratamiento y con ellos se procede a determinar:

$$\sum X^2 = \sum (X_n)^2$$

[Ecuación No. 20]

4. Se calcula el SST:

$$SST = \sum \frac{(T_c)^2}{n} - \frac{(\sum X)^2}{N}$$

[Ecuación No. 21]

5. Calculo del SSE:

$$SSE = \sum X^2 - \sum \frac{(T_c)^2}{n}$$

[Ecuación No. 22]

Tabla LXVI. Tabla ejemplo Análisis de varianza

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS		GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
ENTRE TRATAMIENTOS	SST		K-1	MSTR= SST/K-1
DENTRO DE TRATAMIENTOS		SSE	N-K	MSTE= SSE/N-K
TOTAL			F	MSTR/MSTE
NIVEL DE SIGNIFICANCIA $\alpha=0,05$				

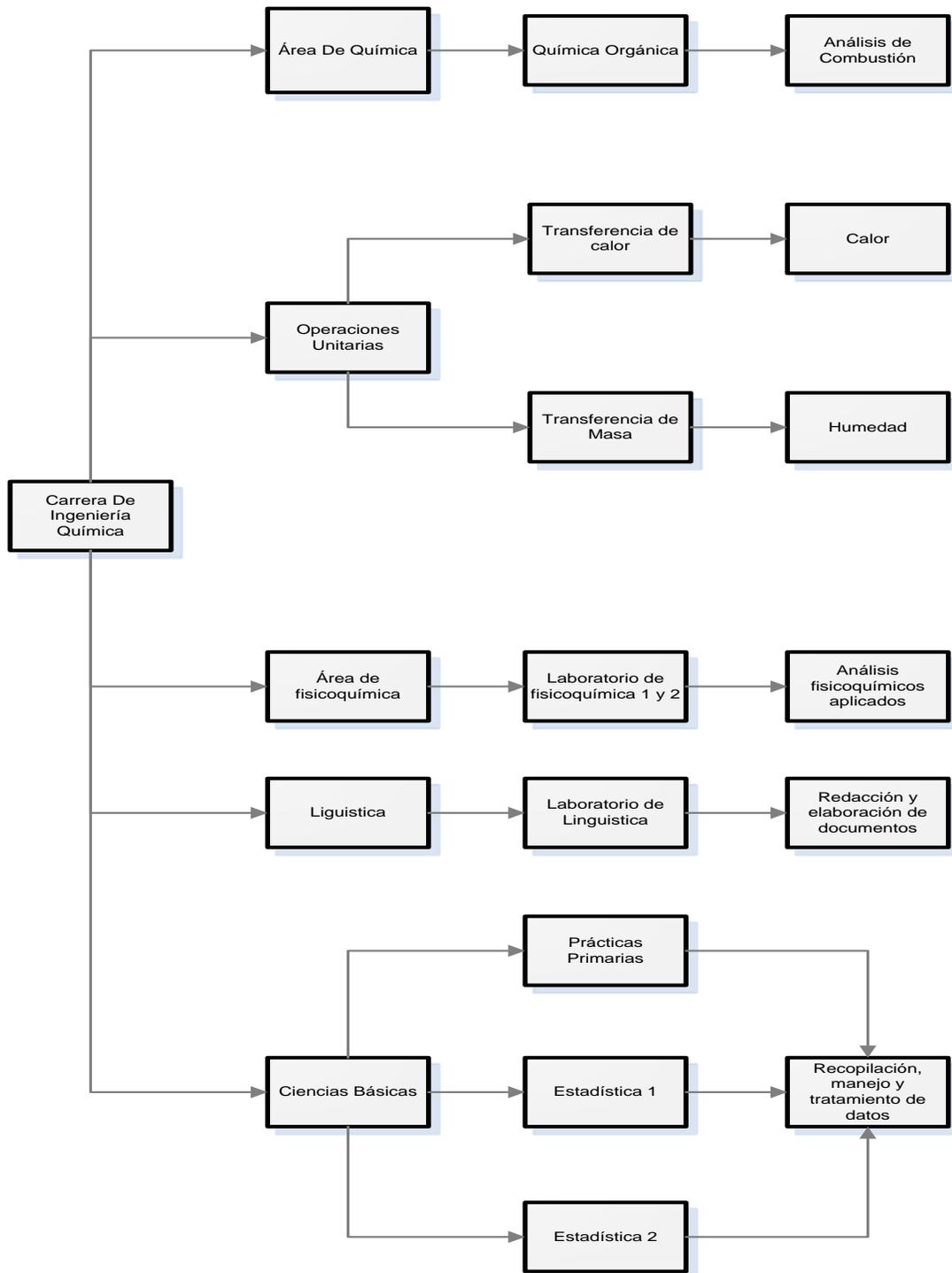
Figura 22. VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F de FISHER

APÉNDICE 1. TABLA DE REQUISITOS ACADÉMICOS

Valores críticos de la distribución F de Fisher
 $\alpha = 0.05$

V_2	V_1																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	243.90	245.95	248.02	249.05	250.10	251.14	252.20	253.25
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.08	2.00	1.92	1.88	1.83	1.78	1.73	1.67
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.07	1.99	1.91	1.86	1.82	1.77	1.71	1.66
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.06	1.98	1.90	1.85	1.81	1.76	1.70	1.64
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.05	1.97	1.89	1.84	1.80	1.75	1.69	1.63
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.04	1.96	1.88	1.83	1.79	1.74	1.68	1.62
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.03	1.95	1.87	1.82	1.78	1.73	1.67	1.61
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.02	1.95	1.86	1.82	1.77	1.72	1.66	1.60
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.02	1.94	1.85	1.81	1.76	1.71	1.65	1.59
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.01	1.93	1.85	1.80	1.75	1.70	1.65	1.58
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
40	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47
40	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.85	1.77	1.68	1.63	1.57	1.52	1.45	1.38
40	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35
40	3.84	3.00	2.61	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.40	1.32	1.22

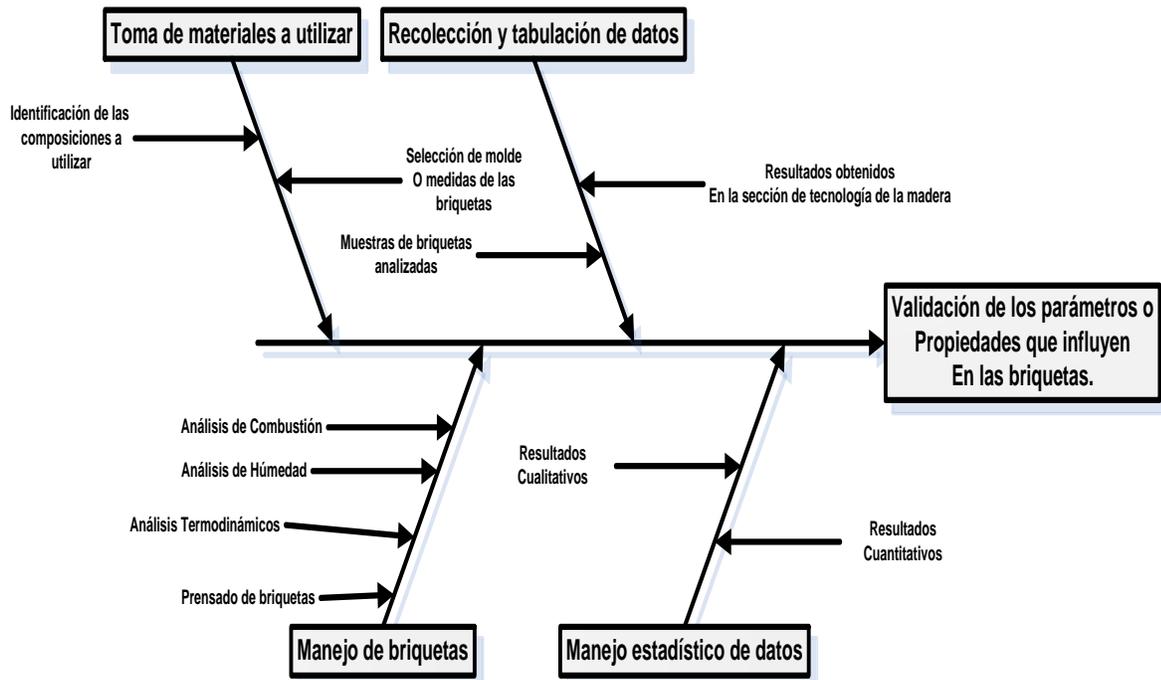
Figura 23. TABLA DE REQUISITOS ACADÉMICOS



Fuente: elaboración propia.

DIAGRAMA DE ISHIKAWA y/o ÁRBOL DE PROBLEMA

Figura 24. Diagrama de Ishikawa y/o árbol de problema



Fuente: elaboración propia.