



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Proyecto de Investigación previo
la obtención del título de
Ingeniera Agroindustrial.

Título del Proyecto de Investigación

**“EVALUCACIÓN DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO A
PARTIR DE RESIDUOS QUE GENERAN LOS PROCESOS
AGROINDUSTRIALES EN EL SECTOR EL EMPALME”**

Autor

Josselin Mercedes Macías Vera

Director de Proyecto de Investigación

Ing. MSc. José Villarroel Bastidas

**Quevedo – Los Ríos – Ecuador
2017**



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Josselin Mercedes Macías Vera**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. _____

Josselin Mercedes Macías Vera
C.C. # 0941734626



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, Ing. MSc. José Vicente Villarroel, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante, Josselin Mercedes Macías Vera, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado Evaluación de briquetas como biocombustible sólido a partir de residuos que generan los procesos agroindustriales en el sector el Empalme, previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

f. _____

Ing. MSc. José Vicente Villarroel Bastidas
DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Ing. MSc. José Vicente Villarroel., en calidad de Director de Proyecto de Investigación titulado **EVALUACIÓN DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO A PARTIR DE RESIDUOS QUE GENERAN LOS PROCESOS AGROINDUSTRIALES EN EL SECTOR EL EMPALME**, me permito manifestar a usted y por intermedio al Consejo Académico de Facultad lo siguiente:

Que, la estudiante Josselin Mercedes Macías Vera, egresada de la Facultad Ciencias de la Ingeniería, ha cumplido con las correcciones pertinentes, e ingresado su Proyecto de Investigación al sistema URKUND, tengo a bien de certificar la siguiente información sobre el informe del sistema anti plagio con un porcentaje de 6%.

URKUND	
Dokument	EVALUACIÓN DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO A PARTIR DE RESIDUOS QUE GENERAN LOS PROCESOS AGROINDUSTRIALES EN EL SECTOR EL EMPALME.docx (D31045180)
Inskickat	2017-10-05 09:06 (-05:00)
Inskickad av	José Villarroel (jvillarroel@uteq.edu.ec)
Mottagare	jvillarroel.uteq@analysis.orkund.com
Meddelande	Visa hela meddelandet
	6% av det här c:a 21 sidor stora dokumentet består av text som också förekommer i 6 st källor.

f. _____

Ing. MSc José Vicente Villarroel Bastidas

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Tema

**“EVALUCACIÓN DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO A
PARTIR DE RESIDUOS QUE GENERAN LOS PROCESOS
AGROINDUSTRIALES EN EL SECTOR EL EMPALME”**

Presentado al Consejo Académico de Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial.

Aprobado por:

Ing. Andrea Cortéz Espinoza.
PRESIDENTE DE TRIBUNAL DE TESIS

Ing. Ruth Isabel Torres Torres.
MIEMBRO DE TRIBUNAL DE TESIS

Ing. Robert Moreira.
MIEMBRO DE TRIBUNAL DE TESIS

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR
2017

Agradecimiento

A Dios por haber estado conmigo en todo momento por haber sido mi soporte y compañía; A la Universidad Técnica estatal de Quevedo por brindarme la oportunidad de haber sido parte de aquella institución, para llegar así a la meta profesional; A los docentes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, que a lo largo de todo mi periodo estudiantil supieron compartir sus conocimientos y experiencias, mostrándome que vale la pena todo el esfuerzo, para llegar a ser una Ingeniera Agroindustrial; A mis padres que confiaron en mi me apoyaron y me siguen apoyando día a día; y a mi esposo por toda la paciencia y el amor que me brinda; A mi tutor, el Ing. José Villarroel, por su incondicional apoyo y siempre estar dispuesto a guiarme y compartir sus conocimientos; A la familia Mackencie Tobar por su gran apoyo y A los colaboradores de la U.T.E.Q en especial a los del taller de mecánica.

JOSSELIN MACIAS.

Dedicatoria

A mis padres por ser el pilar fundamental, por darme la fuerza de seguir triunfando en esta vida por su infinito amor y sacrificio; A mi esposo por todo el amor que me da, por ser mi apoyo incondicional y preocuparse de que nunca me falte nada; A mis hermanos por fortalecer mi corazón por haber estado conmigo en cada momento de mi vida; A mis sobrinos que con sus travesuras me dan el aliento de culminar cualquier meta en esta vida; y como olvidarme de ti mi gran amiga Katherine.

JOSSSELIN MACIAS.

Resumen

La briqueta es un biocombustible sólido, que se obtiene mediante la compactación o densificación de residuos, su composición es 100% natural, ya que no contienen aglutinantes, aditivos ni otra sustancia que puedan deteriorar las calderas e instalaciones de calefacción, su contenido es 100% residuos de los procesos Agroindustriales donde el componente que permite que se mantengan compactas es la lignina, una sustancia natural de la madera que actúa como aglutinante natural. El presente trabajo tiene como objetivo la preparación y caracterización física y química de la briqueta para ser utilizadas como biocombustible sólido, con el fin de darle mayor valor agregado a los residuos Agroindustriales tales como: cascarilla de arroz, polvillo, cuesco y aserrín. Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar con un arreglo factorial $A \times B \times C$ que constó de 12 tratamientos y 2 réplicas lo que corresponde a 24 tratamientos. Los factores de estudio fueron: Factor A (tipo de mezcla), factor B (forma de las briquetas) y factor C (tamaño de las briquetas). Para establecer las diferencias entre los niveles se aplicaron pruebas de significación Tukey ($p < 0,05$), mediante el programa estadístico StatGraphics e Infostat. Para el proceso de compactación se diseñó y fabricó moldes de formas cilíndricas y rectangulares de 10 y 15 cm de altura, las cuales garantizaron la solidez del material al momento de extraer el molde. Se realizó análisis físicos y químicos a las briquetas, luego de la comparación con varios autores se determinó que el mejor tratamiento fue $a_2b_1c_0 = T11$ preparado con cáscara de arroz 4 %, polvillo 14 %, cuesco 10 %, Aserrín 12 %, de forma cuadrada con un tamaño de 10 cm , la cual presento las siguientes características: 4,35 % cenizas, 11 % de humedad, poder calorífico 5268,20 Kcal/ kg, densidad 1 g/cm³ y una fuerza de compactación de 6,51 PSI; al ser este el tratamiento sobresaliente con las características deseadas en una briqueta, se procedió a realizar pruebas de temperatura y tiempo de combustión, donde alcanzo un rango de (127- 240)°C en un tiempo de 30 minutos para ser totalmente calcinada.

Palabras claves: Poder calorífico, biomasa, Compactación, energía, combustión.

Abstract

The briquette is a solid biofuel, which is obtained by compaction or densification of waste, its composition is 100% natural, since they contain no binders, additives or other substance that can damage boilers and heating installations, its content is 100% waste from agro-industrial processes where the component that allows them to remain compact is lignin, a natural substance in wood that acts as a natural binder. The present work aims at the preparation and physical and chemical characterization of the briquette to be used as solid biofuel, in order to give greater added value to the Agroindustrial residues such as: rice husks, dust, cinder, and sawdust. A completely randomized block design was applied with an AxBxC factorial arrangement consisting of 12 treatments and 2 replicates corresponding to 24 treatments. The factors of study were: Factor A (type of mixture), factor B (briquette form) and factor C (briquette size). Tukey significance tests ($p < 0.05$) were used to establish the differences between the levels, using the statistical program StatGraphics and Infostat. For the compaction process, molds of 10 and 15 cm square and cylindrical shapes were designed and manufactured, which ensured the solidity of the material when the mold was removed. Physical and chemical analyzes were performed on briquettes. After comparison with several authors it was determined that the best treatment was a₂ b₁ c₀ = T11 prepared with 4% rice husk, powder 14%, 10% cocoa, sawdust 12% square shape with a size of 10 cm, which presented the following characteristics: 4.35% ash, 11% moisture, calorific value 5268.20 Kcal / kg, density 1 g / cm³ and a compaction force of 6, 51 PSI; being the outstanding treatment with the desired characteristics in a briquette, it was carried out tests of temperature and time of combustion, where it reached a range of (127-240) °C in a time of 30 minutes to be fully calcined.

Key words: Heat power, biomass, compaction, energy, combustion.

Índice General

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO...	iv
Agradecimiento.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
Índice.....	x
Índice de Tablas.....	xi
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Anexos.....	xiv
Código Dublín.....	xv
Introducción.....	1

CAPÍTULO I.

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.	Problema de investigación.....	3
1.1.1.	Planteamiento del problema.....	3
1.1.2.	Diagnóstico.....	3
1.1.3.	Pronóstico.....	4
1.1.3.1.	Formulación del problema.....	4
1.1.4.	Sistematización del problema.....	4
1.2.	Objetivos.....	5
1.2.1.	Objetivo General.....	5
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	5
1.3.	Justificación.....	6
1.4.	Hipótesis.....	7
1.4.1.	Hipótesis Nula.....	7
1.4.2.	Hipótesis Alternativa.....	7
1.5.	Variables de estudio.....	8

1.5.1.	Variables Independientes.....	8
1.5.2.	Variables Dependientes.....	8

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.	Marco Teórico.....	10
2.1.1.	Briquetas.....	10
2.1.1.1.	Composición de las briquetas.....	10
2.1.1.2.	Forma, tamaño y color.....	11
2.1.2.2.	Densidad de las briquetas.....	11
2.1.2.3.	Humedad de las briquetas.....	12
2.1.2.4.	Granulometría.....	12
2.1.2.5.	Contenido de cenizas.....	12
2.1.2.6.	Compactación.....	12
2.1.3.	Secado.....	13
2.1.4.	Usos y beneficios de las briquetas.....	13
2.1.5.	Poder calorífico.....	14
2.1.6.	Cascarilla de arroz.....	14
2.1.6.1.	Usos de la cascarilla de arroz.....	15
2.1.7.	Residuos Agroindustriales.....	15
2.1.8.	Palma Africana.....	16
2.1.8.1.	Usos del subproducto de la palma africana (<i>Elaeis guineensis</i>).....	16
2.1.8.2.	Cuesco.....	16
2.1.8.3.	Aserrín.....	17
2.1.9.	Biocombustible.....	17
2.1.9.1.	Biocombustibles sólidos.....	18
2.1.9.2.	Características energéticas de biocombustibles solidos forestales.....	18
2.1.9.3.	Humedad.....	19
2.1.9.4.	Contenido de cenizas.....	20
2.19.5.	Forma y dimensiones de las partículas del biocombustible.....	20
2.1.9.6.	Biomasa.....	21
2.1.9.7.	Lignina.....	21
2.2.	Principales referencias de la investigación.....	21
2.2.1.	Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato	21

	Y obtención de su poder calorífico.....	21
2.2.2.	Aprovechamiento de los residuos Agroindustriales como biocombustible y biorefinería.....	22
2.2.3.	Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no convencionales.....	22
2.2.4.	Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de Pinus radiata (d. don), con material aglomerante.....	23
2.2.5.	Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para uso en pélets y briquetas.....	23
	La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral	
2.2.6.	Producción de biocombustible sólidos de alta densidad en España.....	24
2.3.	Fundamentación Legal.....	24

CAPÍTULO III.

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	Localización.....	26
3.2.	Tipo de investigación.....	26
3.3.	Métodos de investigación.....	26
3.4.	Fuentes de recopilación de información.....	27
3.5.	Diseño de investigación	27
3.6.	Instrumento de investigación.....	28
3.6.1.	Diseño estadísticos de investigación.....	28
3.6.1.1.	Características del experimento de elaboración de briquetas.....	30
3.7.	Tratamiento de investigación.....	30
3.8.	Variables evaluadas.....	31
3.8.1.	Análisis físicos y químicos al biocombustible (briquetas).....	31
3.8.1.1.	Humedad.....	31
3.8.1.2.	Poder calorífico.....	31
3.8.1.3.	Cenizas.....	32
3.8.1.4.	Temperatura de combustión.....	33
3.8.1.5.	Tamaño y forma.....	33
3.8.1.6.	Densidad.....	33
3.9.	Materiales y equipos utilizados en la investigación.....	34

3.10.	Procedimental.....	35
3.10.1.	Descripción del proceso de elaboración de las briquetas.....	35
3.10.2.	Modelo del proceso de elaboración de las briquetas.....	37
	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1.	Resultados.....	39
4.1.1.	Resultados del análisis de varianza de las variables a estudiar.....	39
4.1.2.	Resultados de la prueba de significación (Tukey $p < 0.05$) con respecto a los factores de estudio para los análisis físicos y químicos de las briquetas.....	41
4.1.2.1.	Evaluación de los porcentajes de desechos Agroindustriales para la elaboración de briquetas con respecto al Factor A (tipos de mezcla).....	41
4.1.2.2.	Definición de la forma adecuada de las briquetas con relación al Factor B (forma de las briquetas).....	42
4.1.2.3.	Determinación del tamaño óptimo de las briquetas con respecto al Factor C (tamaño de las briquetas).....	43
4.1.2.4.	Resultados con respecto a la interacción AxBxC (tipos de mezcla, forma y tamaño de las briquetas).....	45
4.2.	Discusión.....	47
4.2.1.	Con respecto al Factor A (tipo de mezcla).....	47
4.2.2.	Con respecto al Factor B (forma de las briquetas).....	48
4.2.3.	Con respecto al Factor C.....	49
	CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
5.1.	Conclusiones.....	51
5.2.	Recomendaciones.....	52
	CAPITULO VI.	
	BIBLIOGRAFÍA	
	Bibliografía.....	55
	CAPITULO VII.	
	ANEXOS	
	Anexos.....	60

Índice de Anexos

Anexos	Pág.
1. Valores de los análisis realizados a las briquetas elaboradas a partir de residuos Agroindustriales.....	75
2. Descripción de la simbología para el diseño del diagrama de flujo.....	61
3. Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de briquetas	62
4. Costos de materias primas directas en el proceso de elaboración de las briquetas.....	63
5. Fotos de la elaboración y análisis de las briquetas.....	64
6. Resultados de análisis de varianza en la cual no se observó diferencia significativa.....	67
7. Certificado del laboratorio de bromatología.....	68

Índice de ecuación

Ecuación	Pág.
1. Humedad.....	31
2. Poder calorífico.....	32
3. Cenizas.....	33
4. Densidad.....	33

Índice de Tablas

Tablas	Pág.
1. Composición química de la cascarilla de arroz.....	15
2. Características de residuos madereros corrientes.....	17
3. Obtención de biocombustibles.....	18
4. Características físicas, químicas de los biocombustibles sólidos forestales.....	19
5. Factores de estudio que intervienen en la elaboración de las briquetas.....	28
6. TAV (tabla de análisis de varianza) esquemáticas para el diseño...	29
7. Combinación de los tratamientos propuesto para la elaboración de briquetas.....	30
8. Materiales, equipos, reactivos utilizados en el proceso de elaboración de las briquetas.....	34
9. Composición para la elaboración de las briquetas.....	35
10. Análisis de varianza de Ceniza.....	39
11. Análisis de varianza de Humedad.....	39
12. Análisis de varianza del contenido de poder calorífico.....	40

Índice de Gráficos

Gráficos	Pág.
1. Diseño de moldes para el proceso de elaboración de las briquetas.	36
2. Diferencias de medias entre tipos de mezcla de la prueba de significación Tukey ($p < 0.05$). 1.- Ceniza (DS); 2.-Humedad (DS); 3.- Poder calorífico (DS).....	41
3. Diferencias de medias entre forma de briquetas de la prueba de significación Tukey ($p < 0.05$). 1.- Ceniza (DS); 2.-Humedad (DS); 3.- poder calorífico (DS).....	42
4. Diferencias de medias entre tamaño de las briquetas de la prueba de significación Tukey ($p < 0.05$). 1.- Ceniza (DS); 2.-Humedad (DS); 3.- Poder calorífico (DS); 4.- Fuerza de compactación (DS).....	43
5. Muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p < 0.05$) de la interacción de A*B*C.....	45
6. Muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p < 0.05$) de la interacción de A*B*C.....	46

Índice de fotos

Fotos	Pág.
1. Moldes con alturas de 10 y 15 cm de forma cilíndrica y cuadrada.....	64
2. Moldes con alturas de 10 y 15 cm de forma cilíndrica y cuadrada.....	64
3. Moldes con alturas de 10 y 15 cm de forma cilíndrica y cuadrada.....	64
4. Briquetas.....	64
5. Pesado y mezclado.....	64
6. Prensado de la mezcla.....	64
7. Briqueta prensada.....	64
8. Pesado de la briqueta húmeda.....	64
9. Análisis de energía.....	65
10. Bomba calorimétrica.....	65
11. Variación de temperatura.....	65
12. Equipo para determinar el contenido de energía.....	65
13. Residuos secos del análisis de poder calorífico.....	65
14. Tomando dato del cable restante.....	65
15. Pesado de la muestra.....	65
16. Desecador.....	65
17. Análisis de cenizas.....	65
18. Muestras aplicadas en el desecador.....	66
19. Briqueta calcinada.....	66
20. Temperatura de combustión en 30 minutos.....	66
21. Termómetro infrarrojo.....	66
22. Pruebas de tiempo de combustión.....	66
23. Análisis de humedad.....	66
24. Programando la mufla.....	66
25. Secado de briquetas.....	66

Código Dublín

Título:	Evaluación de briquetas como biocombustible sólido a partir de residuos que generan los procesos Agroindustriales en el sector el Empalme				
Autor:	Josselin Mercedes, Macías Vera				
Palabras clave:	Poder calorífico	Biomasa	Compactación	Energía	Combustión
Fecha de publicación:					
Editorial:	Quevedo UTEQ 2017				
Resumen:	Resumen.- El objetivo de este trabajo fue la preparación y caracterización fisicoquímica de las briquetas para ser utilizado como biocombustible sólido, con el fin de darle mayor valor agregado a los residuos agroindustriales tales como: cuesco de la palma africana, aserrín, polvillo y cascarilla de arroz. Se analizó el tipo de mezcla evaluando diferentes porcentajes, el contenido de humedad, cenizas, poder calorífico, fuerza de compactación, temperatura y tiempo de combustión con el propósito de convertirla en un biocombustible útil para el sector industrial. Luego de la comparación con varios autores se llegó a la conclusión que el mejor tratamiento fue $a_2b_1c_0$ preparado con cáscara de arroz 4 %, polvillo 14 %, cuesco 10 %, Aserrín 12 %, de forma cuadrada con un tamaño de 10 cm, la cual presento las siguientes características: 4,35 % cenizas, 11 % de humedad, poder calorífico 5268,20 Kcal/ kg, densidad 1 g/cm³ y una fuerza de compactación de 6,51 PSI; al ser este el tratamiento sobresaliente en las características deseadas en una briqueta se procedió a realizar pruebas de temperatura y tiempo de combustión, donde alcanzo un rango de (127-214)°C en un tiempo de 30 minutos para ser totalmente quemada. Abstract.- The objective of this work was the preparation and physicochemical characterization of the briquettes to be used as solid biofuel, in order to give greater added value to the agroindustrial residues such as (African palm, sawdust, dust and rice husk) . The type of mixture was analyzed by evaluating different percentages, moisture content, ash, calorific value, compaction force and combustion temperature with the purpose of turning it into a useful biofuel for the industrial sector. After the comparison with several authors it was concluded that the best treatment was prepared with rice husk 4%, powder 14%, 10% cocoa, sawdust 12%, square form with a size of 10 cm 3 ", Which presented the following characteristics: 4.35% ash, 11% moisture, calorific value 5268.20 Kcal / kg, density 1 g / cm³ and a compaction force of 6.51 PSI; being this the outstanding treatment in the desired characteristics in a briquette proceeded to realize tests of temperature and time of combustion, where it reached a range of (127-214) °C in a time of 30 minutes to be totally burned.				
Descripción:	88 hojas : dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162				
URI:					

Introducción

Esta investigación tiene como fin aprovechar y dar un valor agregado a los residuos Agroindustriales que se generan en grandes cantidades en la zona del cantón El Empalme Provincia del Guayas por la actividad agrícola y forestal que no son aprovechadas o industrializadas debido a la falta de información de estos subproductos que tienen un gran potencial para ser reutilizados en la elaboración de briquetas.

En la actualidad la utilización de estos subproductos tienen un alto grado de desaprovechamiento, debido a que se almacenan en grandes espacios físicos o se queman en calderas, sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor; unas de las vías para utilizar los residuos es convirtiéndolos en biocombustibles sólidos densificados ya que al fabricar y comercializar este tipo de combustibles, se disminuye considerablemente la cantidad de residuos, se reduce el volumen transportado, así como también se logra una combustión más limpia y eficiente [1].

Las briquetas son manipuladas para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas; es un producto 100% ecológico y renovable, catalogada como bio-energía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas: poder calorífico similar, fácil y rápido encendido, baja humedad, alta densidad, ocupa menos espacio, homogéneas, fácil manipulación, sin olores, humos ni chispas y menor porcentajes de cenizas [1].

El objetivo de esta investigación fue la preparación y caracterización física y química de las briquetas con el fin de establecer la combinación óptima entre cascarilla de arroz, polvillo, aserrín y cuesco de Palma Africana, utilizando diferentes mezclas como material aglomerante, donde se realizó estudios de eficiencia energética (poder calorífico), contenido de humedad, ceniza, densidad, tamaño (dimensiones) y su forma.

CAPITULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

1.1.2. Diagnóstico

El Cantón El Empalme de la provincia del Guayas, es un sector con gran producción agrícola y forestal, pero poco se ha hecho para aprovechar estos residuos y subproductos de los procesos Agroindustriales que se generan por grandes y pequeñas empresas, como piladoras, aserraderos y extractoras de aceite rojo entre otros, debido a la falta de investigación y el poco interés del aprovechamiento no se da un valor agregado, por lo tanto al no ser tratados o procesados adecuadamente crean diversos problemas ambientales.

El mayor inconveniente que se presenta es que no todas las tecnologías son accesibles para cualquier empresa o País, por lo cual no se les da un tratamiento adecuado a los residuos; procesos más seguros, necesitan gran maquinaria, de costos altos y de funcionamientos supervisado por mano de obra calificada; por ello, empresas con bajo presupuesto no pueden obtener dichos equipos, y prefieren utilizar procesos poco amigables con el medio ambiente para deshacer sus residuos Agroindustriales.

Debido a la falta de investigación y equipos las industrias optaron por deshacerse de los residuos incinerándolos, pues era una forma barata y que al final generaba menos problemas de acumulación creando como consecuencia contaminación al aire, malos olores, desprendimiento de partículas que principalmente afecta a la salud del ser humano con problemas respiratorios.

En la actualidad la utilización de los residuos de los procesos Agroindustriales poseen un alto grado de desaprovechamiento y tienen la característica de generar grandes volúmenes en el proceso propiamente dicho hasta la obtención del producto final y se acumulan en grandes espacios físicos o se quema en calderas, sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor [2].

1.1.3. Pronóstico

En la Agroindustria, las materias primas son sometidas a procesos de adecuación o transformación para darle valor agregado, mediante la implementación de operaciones unitarias para facilitar su consumo; generando una de las principales problemáticas ambientales en nuestro medio, la alta producción de residuos, por lo tanto, al no buscar una manera apropiada de aprovechar la materia prima completa sin perder ningún elemento en los procesos Agroindustriales, se crean diversos problemas ambientales debido al incorrecto almacenamiento o la eliminación inadecuada de los desperdicios sólidos, los cuales perjudican los recursos terrestres, sea en el lugar de la instalación o en los depósitos de desechos, por tales motivos se busca la manera adecuada de utilizar los residuos convirtiéndolos en un producto útil y de mayor valor agregado que solucione una problemática y genere ingresos económicos adicionales.

1.1.3.1. Formulación del problema

¿Cómo se aprovecharía los diferentes residuos Agroindustriales para elaborar biocombustible sólido?

1.1.4. Sistematización del problema

- ¿Qué capacidad calorífica contiene este tipo de biocombustible sólido?
- ¿Cuál será la forma y tamaño adecuado para este tipo de biocombustible?
- ¿Cómo actuaran los residuos Agroindustriales en la composición de la briqueta elaborada?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar las briquetas de residuos Agroindustriales para su utilización como biocombustible sólido.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar los porcentajes de desechos Agroindustriales (cascarilla de arroz, polvillo, aserrín y cuesco de palma africana) para la elaboración de briquetas.
- Definir la forma adecuada de las briquetas para una óptima compactación.
- Determinar el tamaño óptimo que se adapte a la composición de las briquetas para su uso como biocombustible sólido con mayores cualidades en la generación de calor.

1.3. Justificación

Esta investigación busca aprovechar y dar un valor agregado a los residuos Agroindustriales, que se generan en la agroindustria utilizándolos como materia prima en la elaboración de biocombustibles sólidos como una fuente de energía apropiada, al fabricar y comercializar este tipo de combustibles, se disminuye considerablemente la cantidad de residuos, se reduce el volumen transportado, así como también se logra una combustión más limpia y eficiente [3].

El tratamiento de los desechos sólidos que producen contaminación al ambiente es uno de los temas de mayor importancia en la actualidad; ya que se buscan formas adecuadas para su manejo y disposición final, de manera tal que no dañen el ambiente; incorporar los subproductos de los procesos agroindustriales en la elaboración de nuevos productos, es una tendencia que gana más fuerza conforme pasa el tiempo, ya que se obtienen productos similares a los provenientes de materias primas comerciales, y que además son amigables con el ambiente [4] .

En la actualidad los residuos orgánicos son quemados, almacenados o arrojados a los ríos, desaprovechando su utilización en la fabricación de algún producto en general, por tales motivo surge una alternativa completamente ecológica sin riesgos de mayor contaminación que son las briquetas, donde su principal características es la capacidad calorífica que esta poseen, logrando aprovechar la materia prima completa sin perder ningún elemento en los procesos Agroindustriales.

La elaboración de briquetas es una opción para utilizar los residuos de los procesos Agroindustriales con la finalidad de evitar que estos residuos orgánicos sean quemados, almacenados en grandes espacios físicos y arrojados a los ríos donde el objetivo principal es crear un producto natural, no tóxico, económico, limpio y que sólo desprende gases nocivos propios de una combustión.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis Nula

H₀: Las concentraciones de los diferentes desechos Agroindustriales no influyen en el proceso de elaboración de las briquetas.

H₀: La forma de las briquetas no influye en el proceso de compactación.

H₀: El tamaño de las briquetas no afectan la calidad y el rendimiento energético para uso como biocombustible sólido en la generación de calor.

1.4.2. Hipótesis Alternativa

H_a: Las concentraciones de los diferentes desechos Agroindustriales influyen en el proceso de elaboración de briquetas como biocombustible.

H_a: La forma de las briquetas influye en el proceso de compactación.

H_a: El tamaño de las briquetas afecta la calidad y el rendimiento energético para su uso como biocombustible en la generación de calor.

1.5. Variables de Estudio

1.5.1. Variables Independientes

- Cascarilla de arroz, polvillo, aserrín y cuesco.

1.5.2. Variables Dependientes

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| • Forma | • Poder calorífico |
| • Tamaño (dimensiones) | • Contenido de Cenizas |
| • Densidad | • Fuerza de Compactación |
| • Contenido de humedad | |

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Briquetas

Se obtienen mediante la compactación o densificación de residuos (de origen lignocelulósico u otros materiales) y se producen bajo la aplicación de grandes presiones y temperaturas elevadas que provocan la autoaglomeración de sus partículas, o mediante bajas y medianas presiones con ayuda de una sustancia aglomerante para lograr su compactación [5].

No es más que el producto obtenido de la comprensión de los residuos homogéneos lignocelulósicos que por lo general al no ser utilizados adecuadamente se convierten en agentes graves de contaminación y problemas ambientales y pueden estar compuesta por una variedad de materiales residuales de los procesos industriales [6].

Son 100 % ecológicas y renovable con forma de bloque, cilíndrico o cuadrado, catalogada como bio-energía sólida y sustituye a la leña con muchas ventajas, tales como, poder calorífico similar, fácil y rápido encendido, baja humedad, alta densidad, ocupa menos espacio, homogéneas, fácil manipulación, sin olores, humos ni chispas y menor porcentajes de cenizas [1].

2.1.1.1. Composición de las briquetas

Depende del material utilizado, si se emplean aditivos habrá que tener en cuenta la composición química de los mismos, en su mayoría las briquetas están hechas de subproductos de origen agrícola y forestal que no utilizan ningún tipo de aglomerante ya que la humedad y la propia lignina de la madera funciona como pegamento natural, las que son elaboradas con aserrín poseen mayor poder calorífico que la leña tradicional, ya que encienden más rápido, no desprenden humos ni olores y su uso evita la tala indiscriminada de árboles [5].

La composición química y física determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar, específicamente las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar. Por esto se necesita caracterizar estas biomásas en cuanto a contenido de humedad, volátiles, carbono fijo, cenizas y granulometría [7].

2.1.1.2. Forma, tamaño y color

La forma puede ser variable ya que depende de la maquinaria utilizada en el proceso de obtención, casi todas las briquetas fabricadas en la actualidad tienen forma cilíndrica, sin embargo existen otras formas como la sección octogonal, con un hueco redondo en el centro ya que de esta manera se consigue una ignición más rápida y eficiente, otra forma es la sección rectangular, ligeramente redondeada en las cuatro esquinas para así no desintegrarse con los golpes, este tipo de briquetas arden más despacio, pero se almacenan mucho mejor pues ocupan menos volumen a igualdad de peso que el tipo cilíndrico o el de prisma octogonal hueco [5].

Una diferencia entre pellets y briquetas es su tamaño, generalmente las briquetas son más grandes que los pellets, superando los 3,5 centímetros de diámetro y, por lo consiguiente, su forma acostumbra a ser cilíndrica, aunque algunos fabricantes emplean formas octogonales o rectangulares o como pequeños tabiques [8].

2.1.2.2. Densidad de las briquetas

Los factores que influyen en la densidad son la materia prima empleada y la presión ejercida por la prensa, cuanto mayor sea la densidad de la materia prima mayor será la densidad del producto final donde la presión de compactación en el proceso de fabricación son variables, y depende únicamente de la maquinaria utilizada [5].

2.1.2.3. Humedad de las briquetas

Para obtener productos compactados de calidad es preciso que el contenido de humedad no supere valores del orden del 15% y que esté por encima de valores del 8%, puesto que por debajo de este nivel no se obtienen una adecuada aglomeración, ya que el agua en determinadas proporciones actúa como sustancia termoplástica favoreciendo la autoglomeración y, por tanto, si no alcanzan estos porcentajes mínimos la compactación es defectuosa [9].

2.1.2.4. Granulometría

En el factor granulometría, puede decirse que existe gran diversidad de criterios, en España se emplean materiales finos de granulometrías medias entre 0,1 y 1cm y en ocasiones, superiores; lo que sí es evidente es que una cierta uniformidad estructural es importante para obtener densificados de elevada calidad [9].

2.1.2.5. Contenido de cenizas

Los valores típicos de las cenizas o residuos sólidos no quemados varían entre 2 y 5%, cuando es superior al 15% incide negativamente en el rendimiento energético debido a que no es posible el aprovechamiento de la energía útil y genera problemas de sinterización. [10] Los valores de la humedad libre superficial y la retenida en los poros de la biomasa, están alrededor del 8% al 50% y para la materia volátil, el valor es mayor al 65% [10].

2.1.2.6. Compactación

Para conseguir un aumento de densidad y así aumentar la masa transportada por unidad de volumen. Un aumento de densidad, por compactación, proporciona una combustión más lenta y una disminución de las superficies de contacto aire combustible y frente de llama-combustible [11].

La compactación, densificación o briquetación de biomasa representa a todo un conjunto de tecnologías para la conversión de la materia prima, la misma, que mejora sus características como combustible, por ejemplo, aumenta su poder calorífico, reduce el costo de transporte y puede ser fuente fundamental de uso en las zonas rurales en donde no se tiene acceso a otro tipo de biocombustibles [12].

2.1.3. Secado

Eliminación de agua de forma natural o mediante tecnologías de secado (secado forzado). Al eliminar agua aumenta el poder calorífico y se evita transportar agua en el combustible [11].

2.1.4. Usos y beneficios de las briquetas

Son manipuladas para generar calor y generalmente se la utiliza en estufas, chimeneas, hornos, calderas y en la producción eléctrica en centrales combinadas de calor y energía la cual contiene múltiple beneficios que se detallan a continuación [13]:

- Ecológicas y 100% naturales
- Reducción del espacio de almacenamiento
- Elevado poder calorífico
- No producen cenizas
- No requieren una inversión inicial y se sirven a domicilio
- Eleva rápidamente la temperatura
- Combustión lenta y constante
- Porcentaje de humedad constante
- Encendido rápido

2.1.5. Poder Calorífico

Es la cantidad de calor liberado durante la combustión por unidad de masa, a presión constante y a 25°C, según el estado de los productos, el Poder Calorífico Superior (P.C.S.) incluye el calor latente, mientras el Poder Calorífico Inferior (P.C.I.), no lo considera, la biomasa tiene un poder calorífico 50% menor que el resto de los combustibles, excepto al carbón [14].

Una de las características principales en el biocombustible sólido es su poder calorífico ya que depende de la composición química del mismo, el cual se define como tal, altos poderes caloríficos indican buenos combustibles y bajos poderes caloríficos señalan malos combustibles [15]. Para el caso de las briquetas, el poder calorífico está en función del material del cual está compuesto, suponiendo que la briqueta está compuesta de madera sin aditivos, entonces su poder calorífico será igual al de la madera que la conforma, análisis realizados en las briquetas indican que el poder calorífico de las briquetas es mayor a 4300 kcal/kg [15].

2.1.6. Cascarilla del arroz

Es el recubrimiento del grano constituidos por celulosa y sílice, elementos que ayudan a su buen rendimiento como combustible es de consistencia quebradiza, abrasiva y su color varía del pardo rojizo al púrpura oscuro, su densidad es baja, por lo cual al apilarse ocupa grandes espacios, el peso específico es de 125 kg/ m³, es decir, 1 tonelada ocupa un espacio de 8 m³ a granel y el poder calorífico de la cascarilla es de 3.281,6 Kcal/kg [16].

Dada la importante generación y acumulación, han sido diversos los ensayos de aprovechar la cascarilla de arroz en diferentes campos y por intermedio de diferentes métodos, para lograr materiales que se utilicen de manera inmediata y directa o a través de etapas previas que viabilicen el uso posterior del residuo pre tratado [16].

Representa aproximadamente una quinta parte en peso del fruto recolectado, variando esta cantidad en función de las condiciones de cultivo y la variedad del arroz; habitualmente la cascarilla de arroz es un producto agroindustrial que se utiliza como combustible por su valor calorífico (16.720 kJ/kg), y de esta manera puede producir energía eléctrica o simplemente calor [17].

2.1.6.1. Usos de la cascarilla de arroz

En algunos casos, se usa para la alimentación de animales de granja; este residuo agrícola casi no aporta fibra a la dieta de los animales, y provoca la irritación de los tractos digestivos de los animales que la consumen por el alto contenido de sílice [18]. La cascarilla de arroz es considerado un recurso renovable, y aunque es difícil de quemar, se puede utilizar para alimentar calderas que se encuentren en las instalaciones arroceras, a continuación se muestra una tabla donde indica los componentes principales de la cascarilla arroz [18]:

Tabla 1. Composición química de la cascarilla de arroz.

Componente	%
Carbono	39,1
Hidrógeno	5,2
Nitrógeno	0,6
Oxígeno	37,2
Azufre	0,R
Cenizas	17,8

FUENTE: Vargas, J. & Porras M. (2013).

2.1.7. Residuos Agroindustriales

Los residuos agroindustriales adecuados para su uso como combustible en calderas de biomasa son fundamentalmente los provenientes de las industrias de la producción de aceite de oliva y aceituna (hueso de aceituna), de los frutos secos (cáscara de almendra) y de las alcoholeras y la uva. Se suele reducir su grado de humedad mediante procesos de secado con el objetivo de aumentar su poder calorífico inferior. Normalmente son combustibles económicos y de buena calidad [19].

2.1.8. Palma Africana

También conocida como palma aceitera, es ampliamente utilizada en la industria para la producción de aceite de consumo humano, crece por debajo de los 500 m sobre el nivel del mar, por lo tanto es cultivada en países tropicales, entre los cuales se encuentran Malasia, Colombia, Ecuador, entre otros [20]. El proceso de transformación que se debe realizar al fruto incluye la esterilización, desgranado, macerado, extracción del aceite de la pulpa, clarificación y recuperación de las almendras del bagazo resultante, de las almendras se obtienen subproductos como el aceite y la torta de Palmiste; al final de la transformación se producen residuos como el cuesco y el afrecho [20].

2.1.8.1. Usos del subproducto de la palma africana (*Elaeis guineensis*)

La cascarilla del Palmiste o coquito, es usada como biomasa con aplicaciones energéticas, principalmente en la producción de gas, energía térmica y energía eléctrica, pero únicamente en el sector industrial, puesto que para los procesadores de aceite de Palma Africana la utilidad de este subproducto se limita a los campos en mención; el excedente se vende a precios extremadamente bajos y de esta manera no se preocupan por su almacenamiento; la cascarilla de la nuez, adecuadamente procesada, puede convertirse en carbón y que posteriormente será compactado en briquetas [21].

2.1.8.2. Cuesco

Se refiere a la cáscara que recubre la almendra y a las fibras resultantes del proceso de prensado del fruto. El uso de este residuo Agroindustrial como combustible no solo contribuye con el tratamiento de residuos del proceso de obtención del aceite de palma, sino que ayuda a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de los combustibles fósiles. Las cáscaras de la almendra tienen un poder calorífico de 12,56 MJ/kg y equivalen aproximadamente al 7% del peso del racimo, mientras que las fibras mencionadas tienen un poder calorífico de 8,97 MJ/kg y son el 10% del peso del racimo [20].

2.1.8.3. Aserrín

Es el conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada; también contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de la misma, paneles contrachapados y/o aglomerados. Además del polvo, en el proceso de aserrado se genera la viruta, que es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral [7].

En los residuos industriales, el contenido de humedad depende en gran medida de la fase del proceso en que se extraiga y del secado del producto antes de esa fase [7]. Para el caso del aserrín y de otros residuos madereros se reportan valores de humedad superiores al 10 % y contenido de cenizas superiores a 0,5 %, como se indica en la tabla N° 2 que se muestra a continuación [7]:

Tabla 2. Características de residuos madereros corrientes.

Residuos	Tamaño (mm)	Contenido de humedad (%)	Contenido de cenizas (%)
Lijaduras	<1	2-10	0,1-0,5
Virutas	1-12	10-20	0,1-1,0
Aserrín	1-10	25-40	0,5-2,0
Corteza D	1-100	25-75	1,0-2,0
Residuos forestales	—	30-60	3,0-20

FUENTE: Giralt et al., (2016).

2.1.9. Biocombustible

Son aquellos combustibles que se obtienen de biomasa, el cual se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); tanto de origen vegetal como de origen animal, sin embargo, existen otras formas de utilización como es el caso de la obtención de briquetas a partir de la biomasa orgánica, las cuales pueden sustituir el uso de combustibles fósiles, esta fuente de energía aporta a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero [22].

Tabla 3. Obtención de biocombustibles.

Tipos de combustibles		
Sólidos	Líquidos	Gaseosos
• Paja • Leña sin procesar • Astillas • Briquetas y pellets • Triturados finos • Carbón vegetal	• Alcoholes • Biohidrocarburos • Aceites vegetales • Ésteres derivados de aceites vegetales • Aceites de pirolisis	• Gasógeno • Biogás • Hidrógeno

FUENTE: Salinas, E; Gaspa V., (2009).

Según la naturaleza de la biomasa, su uso energético y el uso del biocombustible deseado, se puede contar con diferentes métodos para obtener biocombustibles: procesos mecánicos (astillado, trituración y compactación), termoquímicos (combustión, pirolisis y gasificación), biotecnológicos (micro bacterianos y enzimáticos) y extractivos para obtener combustibles líquidos, sólidos y gaseosos [22].

2.1.9.1. Biocombustibles sólidos

Son biocombustibles sólidos aquellos productos derivados de la biomasa sólida, los más importantes son los del tipo primario, constituidos por materias lignocelulósicas procedentes del sector agrícola y forestal y de las industrias de transformación que producen residuos de dicha naturaleza; la paja y los restos de poda de vid, olivo y frutales, la leña, las cortezas y los restos de podas y aclareos de las masas forestales son materias típicas para la elaboración de biocombustibles sólidos de origen agrario o forestal [23].

2.1.9.2. Características energéticas de biocombustibles sólidos forestales

Las principales características físicas, químicas y físico-químicas que influyen en el comportamiento energético de los diferentes biocombustibles sólidos forestales son las coleccionadas en la tabla siguiente:

Tabla N° 4: Características físicas, químicas y físico-químicas de los biocombustibles sólidos forestales.

Características físicas, químicas y físico-químicas de los biocombustibles sólidos forestales.		
Físicas	1.	Forma y tamaño.
	2.	Superficie específica.
	3.	Aspecto (color, brillo).
	4.	Densidades.
	5.	Humedades.
	6.	Friabilidad.
	7.	Resistencia a la compresión.
	8.	Absorción de gases.
Químicas	1.	Composición química elemental.
	2.	Composición química por compuestos.
	3.	Poderes caloríficos.
Físico-químicas	1.	Coeficiente de conductividad térmica.
	2.	Temperatura y Tiempos de combustión.
	3.	Temperatura máxima de llama.
	4.	Potencia calorífica.
	5.	Densidad energética
	6.	Índices de calidad energética

AUTOR: F, Marcos et al., (2001).

2.1.9.3. Humedad

Es el agua contenida en un combustible, puede ser de dos clases: humedad superficial y de fácil eliminación secado al aire, hasta 110 °C de temperatura, y la humedad retenida en los poros de la biomasa, que puede conllevar a la degradación de la materia orgánica [24].

2.1.9.4. Contenido de cenizas

Son el residuo sólido no quemado que se lo obtiene de la combustión completa del combustible estas cenizas producen escorias y depósitos en los refractarios y de esta manera disminuyen el poder calorífico de un combustible, pues además de no aportar calor, absorben calor sensible en el hogar donde los residuos de la biomasa normalmente tienen muy bajo contenido de cenizas [24].

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material; En los procesos térmicos de aprovechamiento de la biomasa que incluyen la combustión, es importante conocer el porcentaje contenido de ceniza en la biomasa, ya que en algunos procesos puede causar un deterioro de los equipos por formación de escorias [25].

2.1.9.5. Forma y dimensiones de las partículas del biocombustible

Son usualmente factores importantes en la elección de los tipos de hornos y suministro del material, ya que influyen en el transporte y en la eficiencia de la combustión; las partículas grandes requieren de equipos de alimentación más robustos y a menudo, más tiempo para lograr combustión completa [26].

Es fundamental conocer las dimensiones y la distribución granulométrica de las partículas en los subproductos maderables antes de iniciar procesos de densificación, el tamaño de las partículas influye en la durabilidad mecánica de los pellets y las briquetas; las finas (<1 mm) presentan mayor durabilidad (resistencia a desmoronarse) e higroscopicidad (capacidad de adsorber agua), que las grandes (>1 mm), por lo que las primeras experimentarán un grado de acondicionamiento superior; Por otra parte, la inclusión de partículas grandes puede generar fisuras y posteriores rompimientos en los pellets [26].

2.1.9.6. Biomasa

Son todos aquellos compuestos que se generan de procesos de fotosíntesis y que debido a su contenido de carbono pueden producir energía mediante procesos térmicos o químicos; Dentro de las principales ventajas que ofrece el uso de este tipo de fuentes de energía se encuentran: la fácil obtención, los bajos niveles de emisión de gases de efecto invernadero producidos por los procesos de transformación y el bajo costo de recolección. Es posible producir distintos tipos de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos a partir de la biomasa entre los cuales se encuentran las briquetas, los pellets, el carbón vegetal, alcoholes, biohidrocarburos, aceites de pirólisis, biogás e Hidrógeno, entre otros [27].

2.1.9.7. Lignina

Es un material que puede obtenerse de la madera básicamente, a través de métodos químicos o mecánicos, los cuales proporcionan como subproducto, grandes volúmenes de licores residuales o licor negro, por lo que existen grandes concentraciones de sólidos entre los que predominan los de naturaleza lignica, además la lignina se obtiene principalmente en la industria de la celulosa y el papel por separación de los componentes celulares vegetales [28].

2.2. Principales referencias de la investigación

2.2.1. Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico

En su investigación realizó el análisis inmediato de las muestras, obteniéndose valores bajos en cenizas y humedad lo que evita la generación de polvo y el retraso en el encendido del carbón [1]. También se realizó la medición de su poder calorífico con la bomba de Mahler y luego se verificó este valor con fórmula de regresión lineal dado por bibliografía científica los valores hallados en el análisis inmediato y poder calorífico de las briquetas fueron 12,3% humedad, 1,9 % contenido de cenizas, 4289,4 Kcal/kg poder calorífico y el poder calorífico calculado es de 4672,45Kcal/k [1].

2.2.2. Aprovechamiento de los residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería

En esta investigación, a partir de características de residuos agroindustriales típicos del Departamento del Cauca, bagacillo de caña, polvillo de fique, afrecho de yuca y sus mezclas, se evaluó el aprovechamiento como biorefinería [10]. Se determinaron las propiedades térmicas, físicas químicas y morfológicas en siete muestras de residuos, se realizaron ensayos exploratorios de pre-tratamientos y posibles usos [10]. Se concluye que la muestra M6 con el 9,93% de humedad, 4,12% de ceniza, 43,97% de carbono, 5,86% de hidrogeno, 0,43% nitrógeno, poder calorífico inferior de 15MJ/kg y con 22,25% de celulosa, 9,30% de hemicelulosa y 4,56% de lignina, presenta características apropiadas para ser utilizada en hornos y calderas de menor potencia para el sector rural por la cantidad de ceniza, la cual mantiene estable el poder calorífico inferior y reduce la emisión [10].

2.2.3. Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no convencionales

En su investigación elaboraron 3 tipos de briquetas cilíndricas con un volumen de 446cm³, teniendo como materia prima a los RSO con 70% en masa, luego son perforadas axialmente con 5 agujeros de 7.9mm. para facilitar su secado y combustión; la relación H/C es de 0.16 superior al petróleo diesel (0.14), la humedad relativa es de (89-91)%, la densidad de las briquetas tipo 1 es mayor en 10% a la densidad de la briqueta tipo 2 y esta a su vez es mayor en 6% que la briqueta tipo 3, debido a la presencia en su composición de 10%, 5% y 0% de aserrín respectivamente, el poder calorífico inferior de las briquetas tipo 1 es de 13,826 kJ/Kg, del tipo 2 de 13,029 kJ/Kg y del tipo 3 es de 10,725 kJ/Kg, esta variación se debe a que la cal y la arcilla logran disminuir el poder calorífico de las briquetas y lo hacen gradualmente de acuerdo al porcentaje en peso en su composición; el punto de inflamación de las briquetas fluctúan entre (86-90)°C [29].

Las briquetas tipo 1, tipo 2 y tipo 3, originan (8, 13 y 20)% de cenizas, debido a que poseen 0% arcilla o cal, 5% de cal y 10% de arcilla respectivamente. Durante la combustión de las briquetas las temperaturas medias superficiales alcanzaron valores de (250-400) °C y se determinó el tiempo para hervir 500 cm³ de agua, obteniéndose en promedio (30 a 45) minutos [29].

2.2.4. Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de pinus radiata (d. don), como material aglomerante

En el presente estudio, se utilizó carbonilla de carbón vegetal y aserrín de Pinus radiata (D. Don) para fabricar pellets, con similares características en peso, volumen y densidad, manteniendo como única variable, la cantidad de aserrín y carbonilla en cada pellets [30].

Según los resultados, se concluye que es posible fabricar pellets de carbonilla, utilizando aserrín de Pinus radiata (D. Don) como material aglomerante con un 47,5% de carbonilla y un 52,5% de aserrín, la friabilidad alcanza un valor equivalente a 0,94 (7 pellets rotos de cada 100) y un poder calorífico superior de 5092,5 kcal/kg, originando una ganancia energética de 24,25% con respecto al poder calorífico superior referencial de los pellets de aserrín (4098,6 kcal/kg) [30].

2.2.5. Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para su uso en pélets y briquetas

En la presente investigación se estudió el aserrín y la viruta de *Pinus leiophylla* Sch. Et Cham., *P. montezumae* Lamb. y *P. pseudostrobus* Lindl en las cuales se analizaron fisicoquímicamente para determinar si reunían los requisitos para la elaboración de pélets y briquetas [31]. El contenido de humedad, ceniza y elementos inorgánicos de los subproductos se determinaron según estándares internacionales [31].

El contenido de humedad en aserrín fue $51.5 \pm 1.9 \%$ y $53.7 \pm 0.1 \%$ en viruta; estos valores superaron el máximo permisible [31]. El contenido de cenizas en el aserrín y en la viruta fue $0.26 \pm 0.03 \%$ y $0.34 \pm 0.03 \%$, respectivamente [31]. Valores límites permitidos de contenido de humedad (CH) 18 % y ceniza para su uso en pélets y briquetas 0,50 % [31].

2.2.6. Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad en España

En el documento se hace repaso a las principales tecnologías y sistemas existentes en el mercado nacional para la producción de combustibles biomásicos densificados como las briquetas, los pélets y los gránulos, asimismo, se aportan datos técnicos de productos, características, costes, rendimientos, problemática asociada Etc. [9]. Por otra parte, se incluyen tabla de datos ambientales, así como diseños, esquemas e imágenes de diferentes equipos [9].

2.3. Fundamentación Legal

- NORMA ESPAÑOLA UNE-EN 14588:2010. Biocombustibles sólidos. Terminología, definiciones y descripciones. Esta norma establece los términos técnicos de residuos y subproductos para formar biocombustibles sólidos. Los términos y definiciones están armonizadas en lo posible con el lenguaje actual utilizado en la gestión, así como en las actividades de regulación.
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-2060. Combustible Sólido. Briquetas combustibles para uso doméstico. Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben someterse las briquetas combustibles para uso doméstico.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

Los tratamientos se realizaron en el taller mecánico de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) en Mayo y Junio del 2017, situado en el km 7 de la Vía Quevedo – Santo Domingo, Cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos, entre las coordenadas geográficas 01° 06' de latitud Sur y 79° 29' de longitud Oeste. A una altura de 73 msnm. Los diferentes residuos Agroindustriales como (cascarilla de arroz, cuesco, aserrín, y polvillo) para la elaboración de las briquetas, fueron recolectados en distintas empresas ubicadas en el sector “El Empalme” provincia del Guayas.

Los análisis de las briquetas fueron realizados en el laboratorio de bromatología del campus finca experimental La María de la UTEQ, localizado en el km 7 de la vía Quevedo - El Empalme, C. P. 73. Mocache, Los Ríos. Situada en las coordenadas geográficas 70°27'13” de latitud Sur y 01°06'02” de longitud Oeste, a una altura de 73 msnm, temperatura promedio de 25° C, humedad relativa de 84.0 % la cual cuenta con los equipos y materiales necesarios para la realización de los análisis de humedad, densidad aparente, cenizas y poder calorífico.

3.2. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo exploratoria y experimental, las cuales se utilizaron para establecer los diferentes porcentajes de residuos Agroindustriales y determinar la combinación óptima en la elaboración de briquetas el cual ha sido poco estudiado en nuestro medio.

3.3. Métodos de Investigación

Se utilizó el método experimental el cual sirvió para evaluar los diferentes componentes de origen vegetal (variables independientes), las características físicas y químicas (variables dependientes) de las briquetas para la utilización como biocombustible sólido, con el objetivo de predecir fenómenos y poder explicar cualquier tipo de casualidad siendo de gran importancia para mejorar las necesidades de la sociedad.

3.4. Fuentes de recopilación de información

Se empleó el método bibliográfico para la recopilación de datos e informaciones reelaborados o sintetizados basados en libros, artículos científicos (redalyc, scielo, Dialnet), tesis e información de la web, consideradas como fuentes secundarias de información.

3.5. Diseño de la investigación

Se utilizó el diseño completamente al azar DCA para establecer la combinación adecuada en la elaboración de briquetas, procesándose los datos a través de un ANOVA de tres factores teniendo como tratamientos la mezcla, forma y tamaño, luego se empleó la prueba de TUKEY ($p \leq 0.05$) para determinar la diferencia entre tratamientos.

Para efectuar la investigación se empleó los siguientes factores de estudios:

A= Tipo de mezcla (cascarilla de arroz – polvillo – cuesco - aserrín).

B= La forma (cilíndrica - cuadrada)

C= Tamaño (10 cm – 15 cm).

Tabla 5. Factores de estudio que intervienen en la elaboración de briqueta.

FACTORES DE ESTUDIO	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
El factor A: Mezcla.	a_0	Mezcla 1 Cáscara de arroz 1 % Polvillo 16 % Cuesco 8 % Aserrín 15 % Agua 60%
		Mezcla 2 Cáscara de arroz 2 % Polvillo 14 % Cuesco 12 % Aserrín 12 % Agua 60%
		Mezcla 3 Cáscara de arroz 4 % Polvillo 14 % Cuesco 10 % Aserrín 12 % Agua 60%
	a_2	
El factor B: Forma.	b_0	Cilíndrica
	b_1	Cuadrada
El factor C: Tamaño.	c_0	10 cm
	c_1	15 cm

ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

3.6. Instrumento de investigación

3.6.1. Diseño Estadístico de la Investigación

Para demostrar los efectos entre los niveles y tratamientos se utilizará la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las respuestas experimentales pueden explicarse por el siguiente modelo matemático.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

para $i = 1, \dots, a$, $j = 1, \dots, b$, $k = 1, \dots, n$ donde:

Donde:

μ es el efecto medio global.

α_i es el efecto incremental sobre la media causado por el nivel i del factor A.

β_j el efecto incremental sobre la media causado por el nivel j del factor B.

$(\alpha\beta)_{ij}$ el efecto incremental sobre la media causado por la interacción del nivel i del factor A y el nivel j del factor B.

ε_{ijk} el término de error

Resultado un total de: 12 tratamientos, 2 repeticiones, y 24 unidades experimentales.

Tabla 6. TAV (tabla de análisis de Varianza) esquemáticas para el diseño.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad		Cuadrados medios	Razón de varianza
Replicaciones	SCR	(r-1)	1	CMR	
Factor A	SCA	(a-1)	2	CMA	CMA/CME
Factor B	SCB	(b-1)	1	CMB	CMB/CME
Factor C	SCC	(c-1)	1	CMC	CMC/CME
Efecto (AB)	SC(AB)	(a-1)(b-1)	2	CM(AB)	CM(AB)/CME
Efecto (AC)	SC(AC)	(a-1)(c-1)	2	CM(AC)	CM(AC)/CME
Efecto (BC)	SC(BC)	(b-1)(c-1)	1	CM(BC)	CM(BC)/CME
Efecto (ABC)	SC(ABC)	(a-1)(b-1)(c-1)	2	CM(ABC)	CM(ABC)/CME
Residuo o error	SCE	(abc-1)(r-1)	11	CME	
Total	SCT	(abcr-1)	23		

ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

3.6.1.1. Características del experimento de elaboración de briquetas

Tratamientos: 12

Repeticiones: 2

Unidades Experimentales: 24

Tamaño de la muestra:

3.7. Tratamientos de la investigación

La combinación de los factores A, B y C (mezcla de residuos, forma y tamaño) respectivamente, se plantearon 12 tratamientos que se muestran a continuación en la tabla 7:

Tabla 7. Combinación de los tratamientos propuesto para la elaboración de briquetas.

Tratamientos		Descripción
T1	$a_0b_0c_0$	Mezcla 1 + cilíndrica + 10 cm
T2	$a_0b_0c_1$	Mezcla 1 + cilíndrica + 15 cm
T3	$a_0b_1c_0$	Mezcla 1 + cuadrada + 10 cm
T4	$a_0b_1c_1$	Mezcla 1 + cuadrada + 15 cm
T5	$a_1b_0c_0$	Mezcla 2 + cilíndrica + 10 cm
T6	$a_1b_0c_1$	Mezcla 2 + cilíndrica + 15 cm
T7	$a_1b_1c_0$	Mezcla 2 + cuadrada + 10 cm
T8	$a_1b_1c_1$	Mezcla 2 + cuadrada + 15 cm
T9	$a_2b_0c_0$	Mezcla 3 + cilíndrica + 10 cm
T10	$a_2b_0c_1$	Mezcla 3 + cilíndrica + 15 cm
T11	$a_2b_1c_0$	Mezcla 3 + cuadrada + 10 cm
T12	$a_2b_1c_1$	Mezcla 3 + cuadrada + 15 cm

ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

3.8. Variables evaluadas

3.8.1. Análisis físicos y químicos al biocombustible (briquetas)

3.8.1.1. Humedad

Para establecer el porcentaje de humedad se utilizó la técnica pérdida de peso con la estufa, la cual se basa en la pérdida de masa de la muestra y compararla con la inicial.

La determinación de este parámetro se efectuó por duplicado utilizando recipientes herméticos, limpios y secos, posterior a esto se pesó 2 g de la muestra para luego llevar a la estufa a una temperatura de 130 °C por dos horas, pasado el tiempo se saca la muestra y se deja enfriar en el desecador por 30 minutos, y se pesa con precisión.

Para fijar la humedad se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% H = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

W₀ = Peso de la muestra en (g).

W₁ = peso del crisol mas la muestra despues del secado.

W₂ = Peso del crisol mas la muestra antes del secado.

3.8.1.2. Poder calorífico

Para determinar el poder calorífico se utilizó una bomba calorimétrica que determina el poder calorífico específico de la muestra, llevando a cabo su combustión en atmósfera de oxígeno para luego destilar las calorías y llevarlas a titulación, para esto fue necesario conocer la capacidad calorífica del sistema, la masa de la muestra y el incremento de la temperatura que origina la combustión.

Para la preparación se pesó 1 g de la muestra, luego es llevada a la bomba con ignición posterior a esto se sella y se coloca 30 atmosfera de oxígeno se conecta y se pone en funcionamiento el equipo, registrar la temperatura inicial y obturar el botón de encendido, la temperatura empieza a subir, leer la temperatura cada minuto hasta que esta se estabilice; Para establecer el porcentaje de poder calorífico se reemplaza valores en la siguiente ecuación:

$$H_g = \frac{TW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (2)$$

Siendo:

H_g = Calor de combustión Cal/g

T = Temperatura final – Temperatura inicial

W = Energía equivalente del calorímetro 2410,16

e₁ = Milímetros consumidos de sol. Carbonato de Sodio

e₂ = (13.7 × 1.02) peso de la pastilla

e₃ = cm. del alambre restante × 2.3

m = peso de la pastilla

3.8.1.3. Cenizas

Para determinar el contenido de cenizas se empleó el método de calcinación, esta técnica consiste en colocar las muestras en un horno de mufla hasta que se queme toda la materia sólida combustible de origen agropecuario y productos terminados.

Para la preparación de las muestras se esterilizó el crisol de porcelana e inmediatamente se pesa 2 g de la muestra, se introduce el crisol con el contenido cerca de la puerta de la mufla y se mantiene allí durante unos minutos; para evitar posibles pérdidas por proyección del material, se cierra cuidadosamente y esperar a que la mufla alcance los 600°C ± 2 °C hasta que se queme toda la materia sólida libre de carbón, producto de la combustión se generan cenizas en un lapso de tres horas; sacar el crisol y dejar enfriar en el desecador y pesar con exactitud.

Se reemplaza los valores en la siguiente ecuación:

$$C = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

W₀ = Peso de la muestra en (g).

W₁ = peso del crisol vacío.

W₂ = Peso del crisol mas la muestra calcinada.

3.8.1.4. Temperatura de combustión

Para establecer la temperatura de combustión se utilizó un termómetro infrarrojo que mide altas temperaturas sin tener contacto con la muestra, por medio de la radiación infrarroja el cual posee un rayo de luz piloto que facilitó una mejor orientación el mismo que proporcionó el resultado de medición inmediatamente.

3.8.1.5. Tamaño y forma

Para determinar el tamaño se diseñó moldes elaborados con material de acero de formas cuadrada y cilíndrica de 10 cm y 15 cm los mismos que garantizaron la solidez del material al momento de extraer el molde.

3.8.1.6. Densidad

La determinación de la densidad fue realizada por el teorema de Arquímedes, siguiendo lo descrito por Olesen (1971), ya que se considera uno de los métodos más prácticos y exactos, así como el más utilizado para calcular la densidad del material leñoso de formas irregulares [32].

$$P_c = \frac{m_c}{m^*_c} P_a \quad (4)$$

P_a = densidad del agua (g/m^3)

m_c = masa del cuerpo (g)

m_c^* = masa relativa al valor de empuje del cuerpo en el agua (g)

3.9. Materiales y equipos utilizados en la investigación

Tabla 8. Materiales, equipos, reactivos e insumos utilizados en el proceso de elaboración de las briquetas.

Materiales	Equipos
Moldes de hierro	Prensa hidráulica
Desecador	Mufla
Balanza	Bomba calorimétrica
Tamiz	Termómetro infrarrojo
Mezclador	Matraz Elenmeyer
Vaso de precipitación de 200ml	Crisoles de porcelana
Bureta graduado	
Insumos	Reactivos
Cuesco	Agua destilada
Polvillo	Carbonato de sodio 0.1 N
Aserrín	Carbonato de sodio 0.1 N
Cascarilla de arroz	
Agua	

ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

3.10. Procedimental

Para la investigación se estableció tres tipos de mezclas con porcentajes distintos de los residuos Agroindustriales que se muestran a continuación en la tabla 9:

Tabla 9. Composición para la elaboración de las briquetas.

Componentes	Mezcla 1		Mezcla 2		Mezcla 3	
	cantidad (g)	%	cantidad (g)	%	cantidad (g)	%
C. de arroz	50	1	100	2	200	4
Polvillo	800	16	700	14	700	14
Cuesco	400	8	600	12	500	10
Aserrín	750	15	600	12	600	12
Agua	3000	60	3000	60	3000	60
Total	5000	100	5000	100	5000	100

ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

3.10.1. Descripción del proceso de elaboración de las briquetas

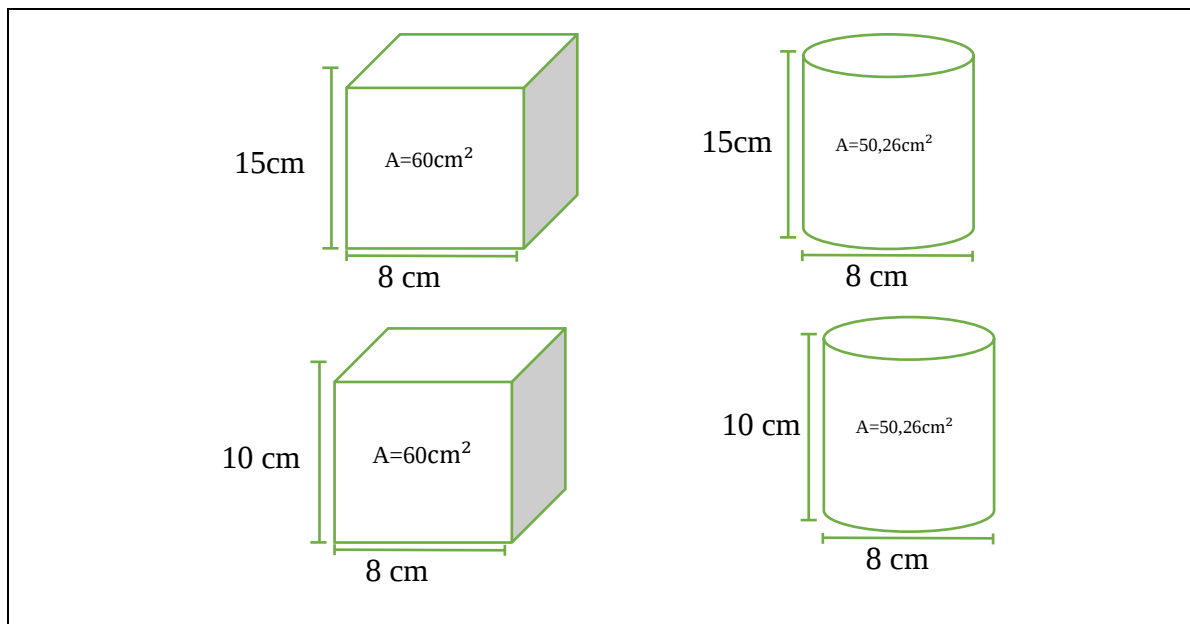
El método que se utilizó para el mezclado fue manual, ya que simplemente se necesitó tener los componentes en los porcentajes indicados, agregarle agua gradualmente y mezclar hasta obtener una masa pastosa y homogénea, en este proceso lo que importa es conformar las briquetas y obtenerlas de una forma no continua, práctica y sencilla, ser estricto y preciso en parámetros como proporción de mezcla.

Para el proceso de compactación se diseñó y se fabricó moldes con alturas de 10 cm y 15 cm de forma rectangular y cuadrada, como se muestra en el gráfico 1, los cuales garantizaron la solidez del material al momento de extraer el molde. Se lo realizó utilizando una prensa hidráulica de 15 toneladas fuerzas en la cual se prensó el material dentro del molde eliminando el mayor porcentaje de agua.

El secado de las briquetas se efectuó utilizando una mufla ajustada a una temperatura de 50 °C por 24 horas, transcurrido el tiempo se retiró las briquetas y se dejó al intemperie con intenso sol, hasta obtener un peso constante para conseguir briquetas con menor porcentaje de humedad para su fácil combustión.

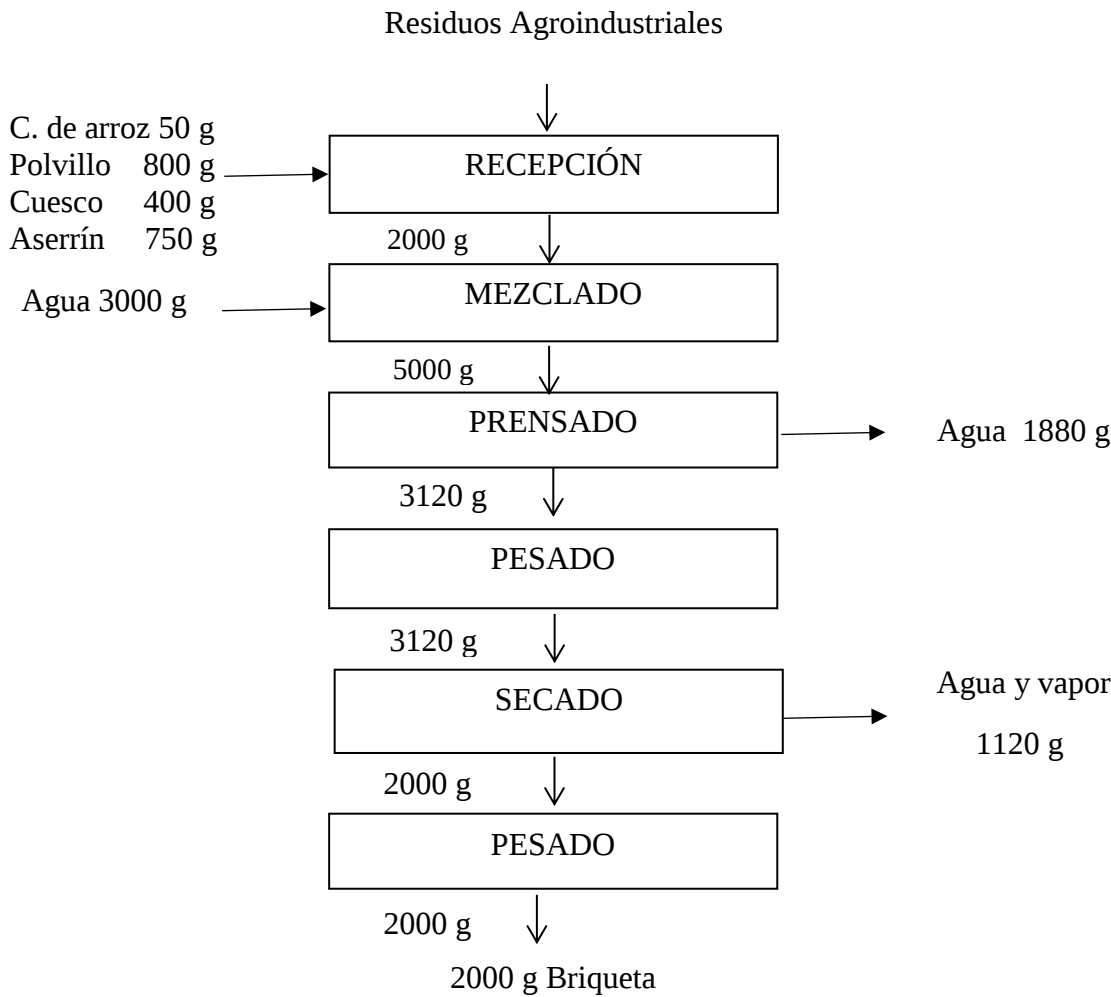
Cuando las briquetas alcanzaron un peso constante fueron almacenadas en un lugar seco libre de humedad, para luego ser sometida a los diferentes análisis establecidos en esta investigación.

Gráfico 1. Diseño de moldes para el proceso de elaboración de las briquetas



ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

3.10.2. Modelo del proceso de elaboración de las briquetas



ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados del análisis de varianza de las variables a estudiar

Tabla 10. Análisis de varianza de Ceniza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos Principales					
A: Mezcla	14.1119	2	7.05595	276.80	0.0000**
B: Forma	0.10935	1	0.10935	4.29	0.0626
C: Tamaño	0.0308167	1	0.0308167	1.21	0.2950
D: Repetición	0.0486	1	0.0486	1.91	0.1948
Interacciones					
AB	0.182425	2	0.0912125	3.58	0.0635
AC	0.241808	2	0.120904	4.74	0.0327**
BC	0.0352667	1	0.0352667	1.38	0.2643
ABC	0.0413583	2	0.0206792	0.81	0.4692
RESIDUOS	0.2804	11	0.0254909		
TOTAL (CORREGIDO)	15.0819	23			

Nivel de confianza $p < 0.05$ CV: 2,85

ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

Interpretación: En la tabla 10 (valores de ceniza (%)) existe diferencia significativa en los factores A ($a_0 = \text{Mezcla 1} + a_1 = \text{Mezcla 2} + a_2 = \text{Mezcla 3}$), e interacción A×C. Respecto a los factores B, C, interacciones A×B, B×C, A×B×C.

Tabla 11. Análisis de varianza de Humedad.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos Principales					
A: Mezcla	3.2925	2	1.64625	86.23	0.0000**
B: Forma	1.92667	1	1.92667	100.92	0.0000**
C: Tamaño	0.426667	1	0.426667	22.35	0.0006**
Repetición	0	1	0	0.00	1.0000
Interacciones					
AB	3.58083	2	1.79042	93.78	0.0000**
AC	2.73583	2	1.36792	71.65	0.0000**
BC	2.40667	1	2.40667	126.06	0.0000**
ABC	0.440833	2	0.220417	11.55	0.0020**
RESIDUOS	0.21	11	0.0190909		
TOTAL (CORREGIDO)	15.02	23			

Nivel de confianza $p < 0.05$ CV: 1,11

ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

Interpretación: En la tabla 11 (valores de humedad (%)) se encontró diferencia significativa en los niveles del factor A (a_0 = Mezcla 1 + a_1 = Mezcla 2 + a_2 = Mezcla 3), factor B (b_0 = cilíndrica + b_1 = cuadrada), y factor C (c_0 = 10 cm 3 + c_1 = 15 cm 4), e interacciones A×B, A×C, B×C y A×B×C.

Tabla 12. Análisis de varianza del contenido de Poder calorífico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos Principales					
A: Mezcla	156008.	2	78003.8	5667.44	0.0000**
B: Forma	251806.	1	251806.	18295.19	0.0000**
C: Tamaño	81881.5	1	81881.5	5949.18	0.0000**
Repetición	2.04167	1	2.04167	0.15	0.7075
Interacciones					
AB	242974.	2	121487.	8826.76	0.0000**
AC	2.41164E6	2	1.20582E6	87610.07	0.0000**
BC	807877.	1	807877.	58697.10	0.0000**
ABC	410382.	2	205191.	14908.34	0.0000**
Residuos	151.398	11	13.7635		
Total (Corregido)	4.36272E6	23			

Nivel de confianza $p < 0.05$ CV: 0,07

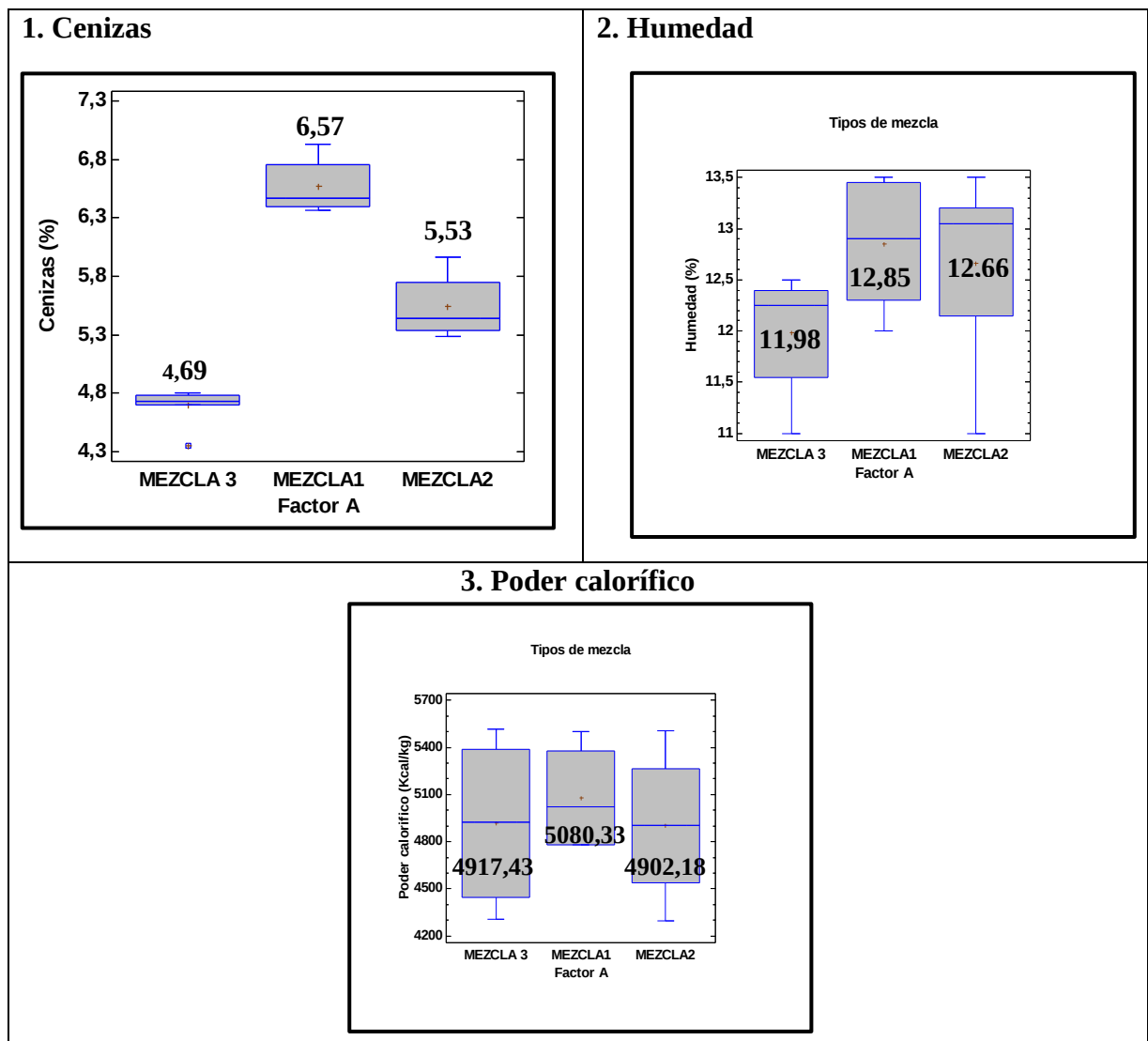
ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

Interpretación: En la tabla 12 (Valores del contenido del Poder calorífico) indica que se mostró diferencia significativa en los niveles del factor A (a_0 = Mezcla 1 + a_1 = Mezcla 2 + a_2 = Mezcla 3), factor B (b_0 = cilíndrica + b_1 = cuadrada), y factor C (c_0 = 10 cm 3 + c_1 = 15 cm 4), e interacciones A×B, A×C, B×C y A×B×C.

4.1.2. Resultados de la prueba de significación (Tukey $p < 0.05$) con respecto a los factores de estudio para los análisis fisicoquímicos de las briquetas

4.1.2.1. Evaluación de los porcentajes de desechos Agroindustriales para la elaboración de briquetas con respecto al Factor A (tipo de mezcla)

Gráfico 1. Diferencias de medias entre tipos de mezcla de la prueba de significación Tukey ($p < 0.05$). 1.- Ceniza (DS); 2.- Humedad (DS); 3.- Poder calorífico (DS).

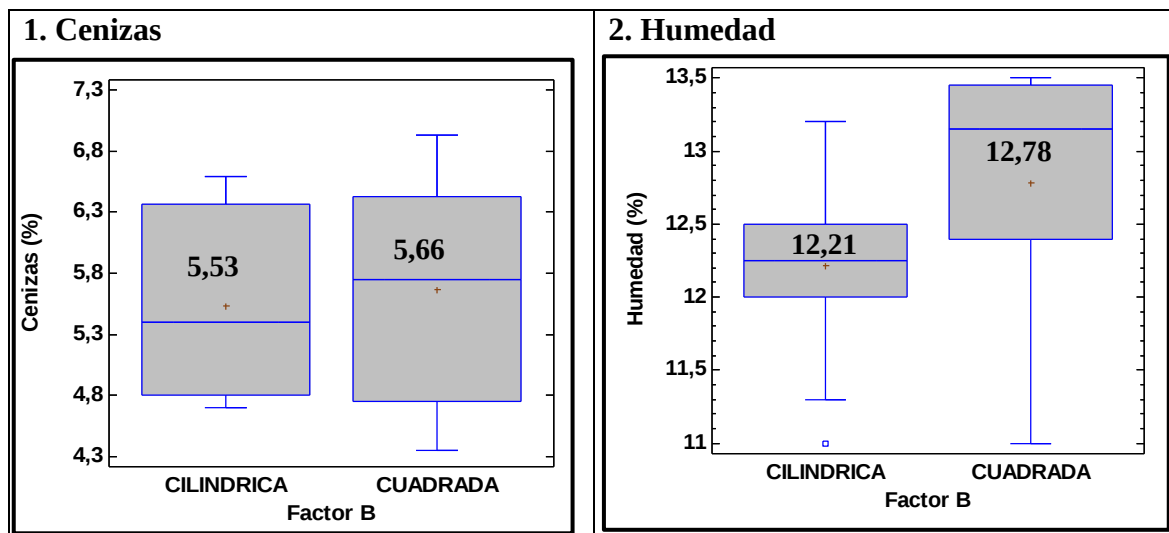


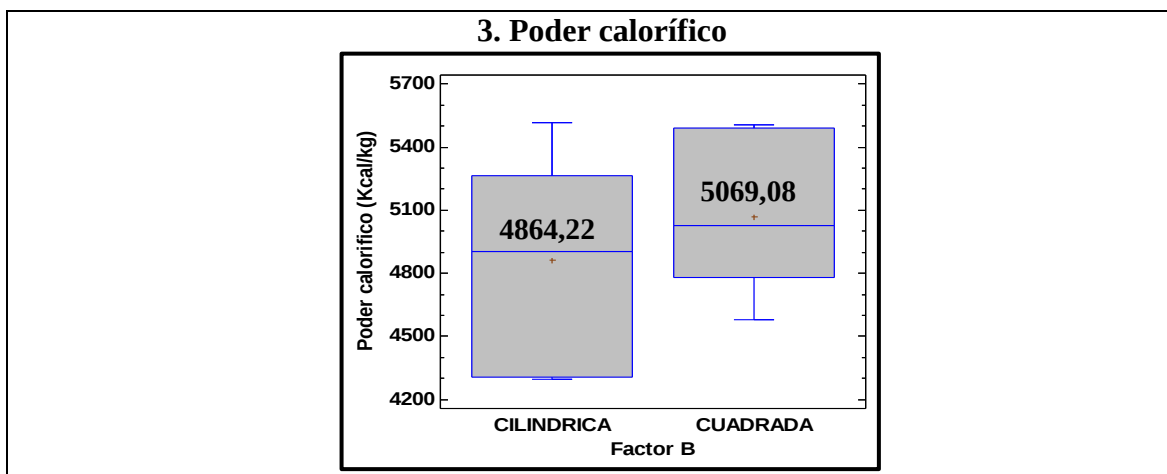
ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

Interpretación: En el gráfico N° 1. Se observó diferencia significativa en Cenizas con un valor bajo (4,69%) en a_2 = Mezcla 3 (cascarilla de arroz al 4%, polvillo al 14%, cuesco al 10%, aserrín al 12%), mientras que: a_0 = Mezcla 1 (cascarilla de arroz al 1%, polvillo al 16%, cuesco 8%, aserrín 15%) reportó un valor alto (6,57%), en Humedad se presentó un valor alto (12,85%) en a_0 = Mezcla 1 (cascarilla de arroz al 1%, polvillo al 16%, cuesco 8%, aserrín 15%), mientras que: a_2 = Mezcla 3 (cascarilla de arroz al 4%, polvillo al 14%, cuesco al 10%, aserrín al 12%) el valor fue inferior (11,98%), en Poder calorífico se encontró un valor de superior (5080,33 kcal/kg) en a_0 = Mezcla 1 (cascarilla de arroz al 1%, polvillo al 16%, cuesco 8%, aserrín 15%), mientras que en a_1 = Mezcla 2 (Cáscara de arroz al 2 %, polvillo 14 %, cuesco 12 %, aserrín 12 %) el valor fue inferior (4092,18kcal/kg).

4.1.2.2. Definición de la forma adecuada de las briquetas con relación al factor B (forma de las briquetas)

Gráfico 2. Diferencias de medias entre forma de briquetas de la prueba de significación Tukey ($p < 0.05$). 1.- Ceniza (DS); 2.- Humedad (DS); 3.- Poder calorífico (DS).



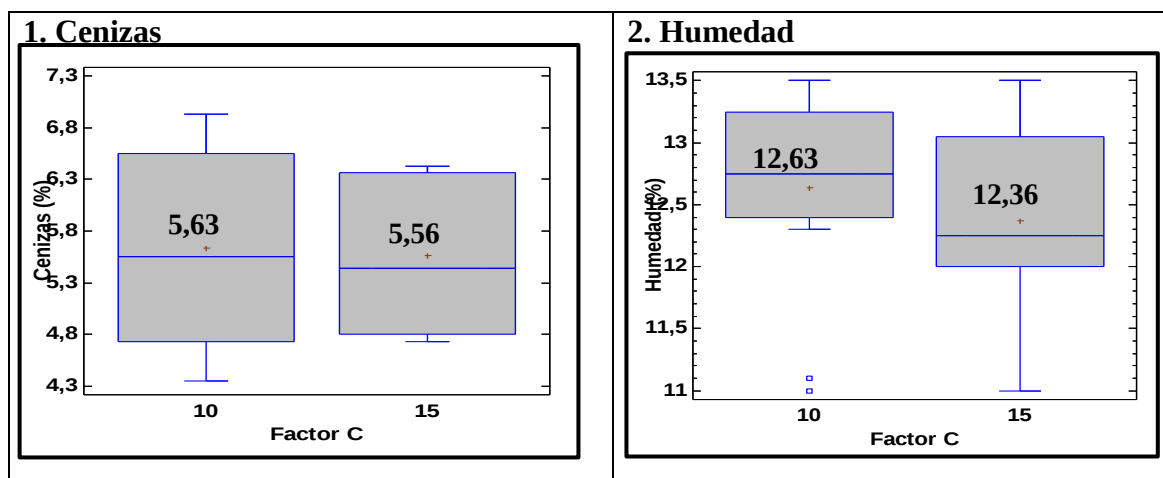


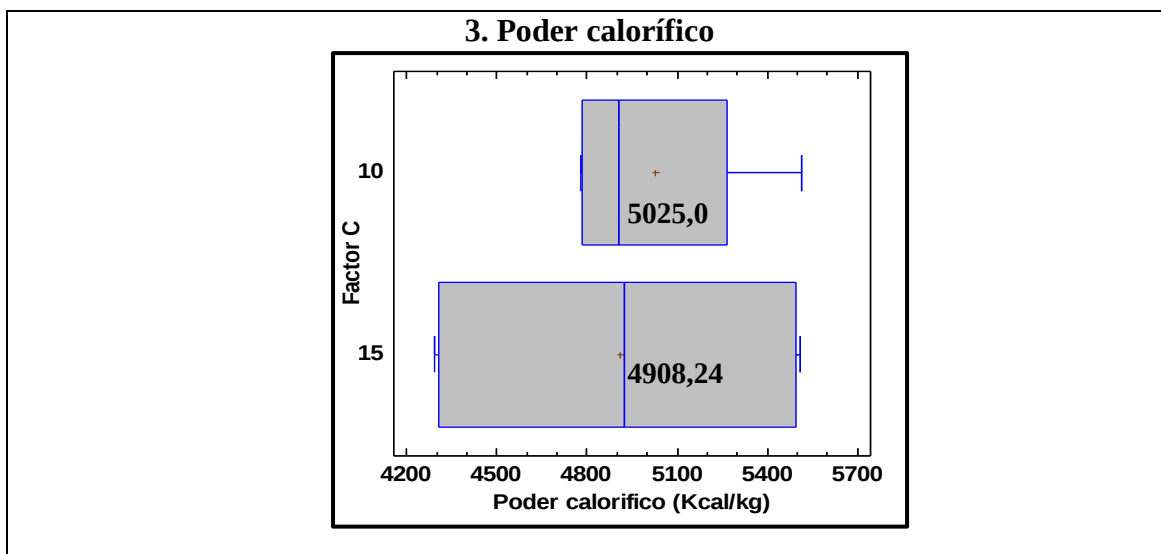
ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

Interpretación: En el gráfico N° 2. Se observó diferencia significativa en Cenizas con un valor bajo (5,53%) en b_0 = Cilíndrica, mientras que: b_1 = Cuadrada reporto un valor alto (5,66%), en Humedad se presentó un valor alto (12,78%) en b_1 = Cuadrada, mientras que: b_0 = Cilíndrica el valor fue inferior (12,21%), en Poder calorífico se encontró un valor de superior (5069,08 kcal/kg) en b_1 = Cuadrada, mientras que en: b_0 = Cilíndrica el valor fue inferior (4864,22 kcal/kg).

4.1.2.3. Determinación del tamaño óptimo de las briquetas con respecto al factor C (tamaño de las briquetas)

Gráfico 3. Diferencias de medias entre tamaño de las briquetas de la prueba de significación Tukey ($p < 0.05$). 1.- Ceniza (DS); 2.- Humedad (DS); 3.- Poder calorífico (DS)



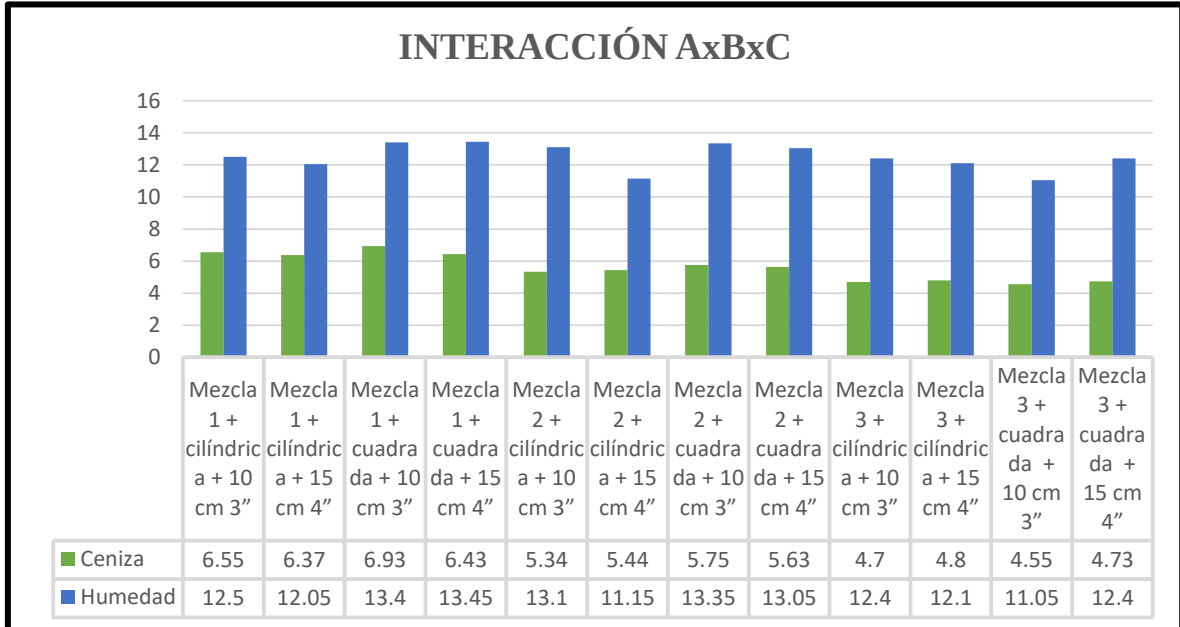


ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

Interpretación: En el gráfico N° 3. Se observó diferencia significativa en Cenizas con un valor bajo (5,56%) en $c_1 = 15$ cm, mientras que: $c_0 = 10$ cm reporto un valor alto (5,63%), en Humedad se presentó un valor alto (12,63%) en $c_0 = 10$ cm , mientras que: $c_1 = 15$ cm el valor fue inferior (12,36%), en Poder calorífico se encontró un valor de superior (5025,06 kcal/kg) en $c_0 = 10$ cm 3, mientras que en : $c_1 = 15$ cm el valor fue inferior (4908,24 kcal/kg).

4.1.2.4. Resultados con respecto a la interacción A×B×C (Tipos de mezcla, forma y tamaño de las briquetas)

Gráfico 1. Muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p < 0.05$) de la interacción de A×B×C.

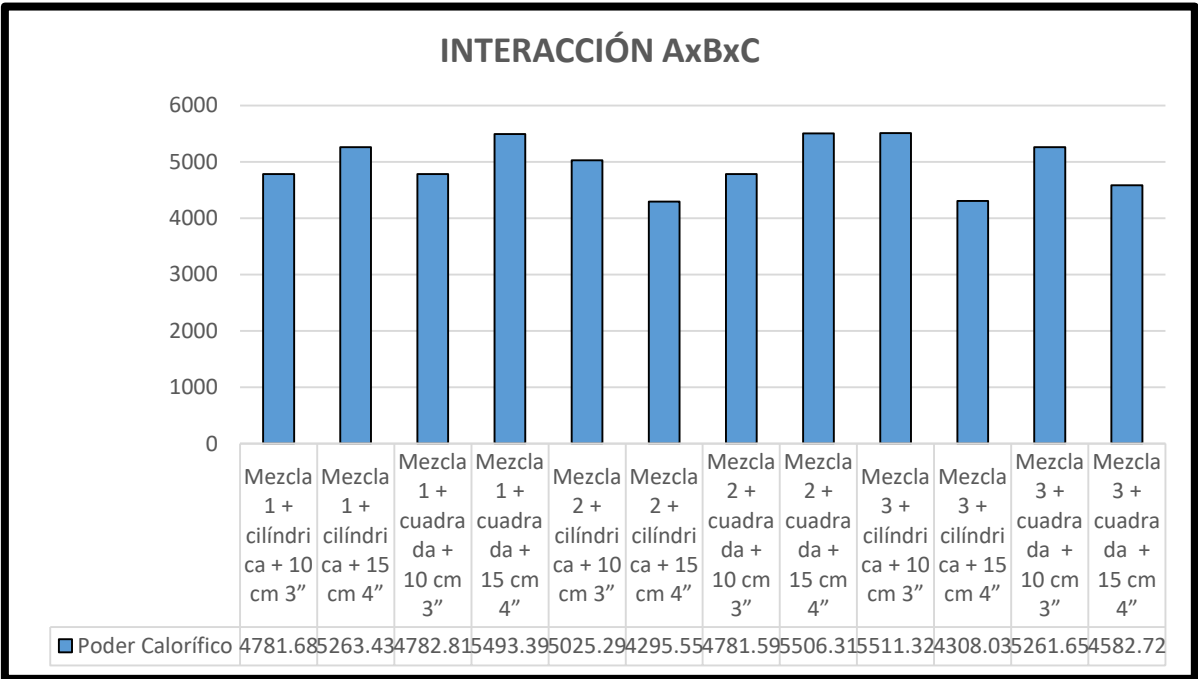


ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

Interpretación: El gráfico N° 14, indica el resultado de la interacción A×B×C en Ceniza el cual presentó diferencia significativa con valores bajos en las interacciones $a_0 + b_0 + c_0 = (\text{Mezcla 1} + \text{cilíndrica} + 10 \text{ cm})$, $a_0 + b_0 + c_1 = (\text{Mezcla 1} + \text{cilíndrica} + 15 \text{ cm})$, $a_0 + b_1 + c_0 = (\text{Mezcla 1} + \text{cuadrada} + 10 \text{ cm})$, mientras que los más altos los reportaron $a_2 + b_0 + c_0 = (\text{Mezcla 3} + \text{cilíndrica} + 10 \text{ cm})$, $a_2 + b_0 + c_1 = (\text{Mezcla 3} + \text{cilíndrica} + 15 \text{ cm})$, $a_2 + b_1 + c_0 = (\text{Mezcla 3} + \text{cuadrada} + 10 \text{ cm})$, $a_2 + b_1 + c_1 = (\text{Mezcla 3} + \text{cuadrada} + 15 \text{ cm})$.

Con respecto a la humedad el resultado de la interacción A×B×C, presentó diferencia significativa con valores bajos en las interacciones $a_0 + b_1 + c_1 = (\text{Mezcla 1} + \text{cuadrada} + 15 \text{ cm})$, $a_0 + b_1 + c_0 = (\text{Mezcla 1} + \text{cuadrada} + 10 \text{ cm})$, $a_1 + b_1 + c_0 = (\text{Mezcla 2} + \text{cuadrada} + 10 \text{ cm})$, $a_1 + b_0 + c_0 = (\text{Mezcla 2} + \text{cilíndrica} + 10 \text{ cm})$, $a_1 + b_1 + c_1 = (\text{Mezcla 2} + \text{cuadrada} + 15 \text{ cm})$, mientras que los más altos los reportaron $a_1 + b_0 + c_1 = (\text{Mezcla 2} + \text{cilíndrica} + 15 \text{ cm})$, $a_2 + b_1 + c_0 = (\text{Mezcla 3} + \text{cuadrada} + 10 \text{ cm})$.

Gráfico 5. Muestra los resultados de la prueba de Tukey ($p < 0.05$) de la interacción de $A \times B \times C$.



ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

Interpretación: El gráfico N° 16, indica el resultado de la interacción $A \times B \times C$ del contenido calorífico el cual presentó diferencia significativa con valores bajos en las interacciones $a_2 + b_0 + c_0 = (\text{Mezcla 3} + \text{cilíndrica} + 10 \text{ cm})$, $a_1 + b_1 + c_1 = (\text{Mezcla 2} + \text{cuadrada} + 15 \text{ cm})$, mientras que los más altos los reportaron $a_2 + b_0 + c_1 = (\text{Mezcla 3} + \text{cilíndrica} + 15 \text{ cm})$, $a_1 + b_0 + c_1 = (\text{Mezcla 2} + \text{cilíndrica} + 15 \text{ cm})$.

4.2. Discusión

4.2.1. Con respecto al Factor A (tipo de mezcla)

En relación a ceniza se obtuvo un valor de 4,69 % para la mezcla 3 (cascarilla 4%, polvillo 14 %, cuesco 10 % y aserrín 14 %), este valor es similar al reportado por los autores Muñoz & Cuatin, (2014), En su investigación sobre Aprovechamiento de los residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería, la cual indica que el porcentaje obtenido de cenizas en su estudio es de 4, 12 %.

El autor Fernández, (2011), “En su estudio con el tema Características, barreras y retos para la implantación comercial de la biomasa sólida como combustible”, indica que el contenido en ceniza depende del propio origen de la biomasa donde el incremento de cenizas en el biocombustible es perjudicial en proceso de combustión o en cualquier otro proceso termoquímico, pues se tiende a incrementar la formación de escorias dentro de las calderas [33].

Con lo referente al contenido de humedad se alcanzó el 11,98 % en la mezcla 3 (cascarilla 4%, polvillo 14 %, cuesco 10 % y aserrín 14 %), este valor es similar al 12,3 % señalados por Gallipoliti & García, (2012), En su investigación sobre Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico la cual indica que la humedad del biocombustible sólido es muy importante, porque el grado de humedad de la briqueta depende directamente de su rendimiento, en caso de obtener un mayor porcentaje la misma humedad deformaría la briqueta ya que esta no lleva ningún tipo de producto químico ni aditivo para su compactación Gallipoliti & García, (2012).

De acuerdo al poder calorífico se alcanzó un valor de 4902,18 Kcal/kg en la mezcla 2 (cascarilla 2 %, polvillo 14 %, cuesco 12% y aserrín 12%), este valor es similar a los datos reportados por Gallipoliti & García, (2012), en su investigación sobre Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico, menciona 4289,4 Kcal/kg en las briquetas.

El autor García, (2014). En su investigación con el tema Diseño de proceso y de planta piloto para la fabricación de briquetas de aserrín, señala que el poder calorífico es uno de los aspectos más importantes porque es la cantidad de energía que desprende el combustible al producirse la combustión ya que altos poderes caloríficos indican un biocombustible de calidad y bajos poderes caloríficos señalan malos combustibles, por lo tanto, se obtiene altos poderes caloríficos ya que las briquetas están elaboradas con subproductos con alto nivel de energía García, (2014).

4.2.2. Con respecto al factor B (forma de las briquetas)

Con respecto al porcentaje de cenizas se hallaron valores de 5,53 % para la forma cuadrada y 5,66 % en la forma cilíndrica, estos datos están por debajo de (8, 13, 20) % de cenizas referenciados por Valderrama & Gallo, (2007) en su investigación con el tema, “Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no convencionales”, lo cual indica que utilizar diferente formas para la elaboración de las briquetas no afecta en el contenido de cenizas del biocombustible, sin embargo utilizar formas cilíndricas ayudan a no desintegrarse con los golpes, a diferencia de las briquetas de formas cuadradas que se desintegran con gran facilidad al ser manipuladas Valderrama & Gallo, (2007).

Con respecto a humedad la forma cuadrada obtuvo 12,78 % y la cilíndrica 12,71 %, los mismos que están por debajo del dato citado por Carrillo & Garza, (2003), en su investigación con el tema, “Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para su uso en pélets y briquetas”, en el cual indica que el los valores límites permitidos de contenido de humedad (CH) es el 18 %.

El autor Ortiz, 2008. En su investigación con el tema Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad en España señala que es preciso que el contenido de humedad no supere valores del orden del 15 % y que esté por encima de valores del 8%, puesto que por debajo de este nivel no se obtienen una adecuada aglomeración, ya que el agua en determinadas proporciones actúa como sustancia termoplástica favoreciendo la autoglomeración y, por tanto, si no alcanzan estos porcentajes mínimos la compactación es defectuosa Ortiz, (2008).

Con respecto al poder calorífico se obtuvo el mayor contenido de energía en las briquetas de formas cuadradas con 5069,08 Kcal/kg, este dato es similar 5092,5 kcal/kg, planteado por los autores Soto & Núñez, (2008), en su investigación con el tema “Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de *pinus radiata* (d. don)”, esta variación muestra que utilizar diferentes formas para la elaboración de las briquetas influye en su poder calorífico, lo cual, es un aspecto muy importante ya que las briquetas con un alto poder calorífico consiguen elevar la temperatura muy rápidamente Soto & Núñez. (2008).

4.2.3. Con respecto al factor C (tamaño de las briquetas)

Con respecto a cenizas con un valor bajo (5,56%) en $c_1 = 15$ cm, mientras que: $c_0 = 10$ cm reporto un valor alto (5,63%), estos datos están por debajo de (8, 13, 20) % de cenizas referenciados por Valderrama & Gallo, 2007. En su investigación con el tema, Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no convencionales, lo cual indica que utilizar diferentes tamaños y diámetro en la elaboración de las briquetas no incrementa el porcentaje de cenizas.

Con relación a la humedad se presentó un valor alto (12,63%) en $c_0 = 10$ cm, mientras que: $c_1 = 15$ cm el valor fue inferior (12,36%), los mismos que están entre los rangos citados por Carrillo & Garza. 2003, en su investigación con el tema, Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para su uso en pélets y briquetas, donde indica los valores límites permitidos de contenido de humedad (CH) 18 %. La forma más sencilla de saber que una briketa tiene un porcentaje de humedad adecuado es observar su forma, si su forma es completamente rectangular o cuadrada con la mezcla bien compactada la briketa está en su punto óptimo de humedad caso contrario si se observa que el bloque no está muy compactado y se rompe con gran facilidad significa que la briketa tiene un porcentaje de humedad demasiado alto Ortiz, (2008).

En el poder calorífico se encontró un valor de superior (5025,06 kcal/kg) en $c_0 = 10$, mientras que en: $c_1 = 15$ cm el valor fue inferior (4908,24 kcal/kg), estos valores son superiores a los datos reportados por Gallipoliti & García (2012), en su investigación sobre “Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico”, menciona 4289,4 Kcal/kg en las briquetas Fernández, (2011).

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- La Mezcla 3= a_2 compuesta de (cascarilla de arroz 4%, polvillo 14%, cuesco 10%, aserrín 12% y 60 % de agua), obtuvo diferencia significativa en cenizas con el 4,96 %, 11,98 % humedad y un poder calorífico de 4917,43 kcal/kg, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que las concentraciones de los diferentes desechos Agroindustriales influyen en el proceso de elaboración de briquetas como biocombustible.
- Se observó diferencia significativa en las briquetas de formas cuadradas, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que la utilización de diferentes formas en la elaboración de las briquetas afectan la calidad y el rendimiento energético.
- De acuerdo a los resultados obtenidos el tamaño óptimo de la briqueta es de 10 cm = c_1 ya que presento diferencia significativa en humedad con el (12,63%), y un elevado poder calorífico de (5025,06 kcal/kg), por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que el tamaño de las briquetas afecta la calidad y el rendimiento energético para uso como biocombustible sólido en la generación de calor.

5.2. Recomendaciones

- Para el proceso de elaboración de las briquetas se recomienda utilizar la mezcla 3=a₂ (cascarilla de arroz 4%, polvillo 14%, cuesco 10%, aserrín 12%, agua 60%), ya que utilizando estos componentes en los porcentajes indicado incrementa el poder calorífico, reduce el porcentaje de cenizas, humedad y como consecuencia, encienden con mayor facilidad y de forma rápida, por lo tanto las briquetas pueden ser utilizadas como fuente de energía en empresas industriales para la alimentación de calderas.
- De acuerdo a su forma geométrica, las briquetas cuadradas tienen, además de mejor rendimiento un alto poder calorífico, ya que utilizan mayor presión facilitando el proceso de compactación sin la utilización de componentes químicos , por lo tanto, su forma cuadrada permite que sean colocadas de forma organizada en un pelet, cubriendo espacios vacíos a diferencia de las briquetas de forma cilíndrica, aunque estén bien organizadas, inevitablemente tienen espacios vacíos que hace aumentar considerablemente su volumen de almacenamiento.
- Por su excelentes características físicas el tamaño adecuado para el proceso de elaboración de las briquetas es de 10 cm, por lo tanto para conservar su calidad se recomienda que sean almacenadas en un lugar fresco y seco (sin humedad), ya que la humedad es la culpable de que las briquetas se estropeen, pero si se mantienen seca pueden ser almacenadas en un largo periodo de tiempo.
- La utilización de partículas de diferente tamaño ayuda que la compactación sea efectiva, caso contrario si se utilizan materiales donde no existe un agente que una los diferentes componentes las partículas grandes pueden generar fisuras y posteriores rompimientos en las briquetas y, como consecuencia, la compactación será defectuosa.

- Se debe tener cuidado con los bordes de la briqueta de forma cuadrada ya que tienden a desintegrarse con mayor facilidad, a diferencia de las formas cilíndricas que no requiere el mismo cuidado al momento de ser manipuladas, por lo tanto, es considerable que los moldes sean elaborados con material de hierro y un espesor de 4 mm el mismo que resiste altas presiones y permite la solidez de las briquetas.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6. Bibliografía

- [1] Gallipoliti, V; Martina, P; Corace , J; Aeberhardt, R; Garcia, Sola, Fabricacion De Briquetas Con Aserrin Blanco De Pino. Analisis Inmediato Y Obtencion De Su Poder Calorifico., Vol. 10, 2012, Pp. 129-137.
- [2] Lesmes Jaén, Nora Lidia; Oliva Ruiz, Luis Oscar; Lesme Jaén, René; Palacios Barrera, Antonio, «Coeficientes De Residuos De La Industria Forestal.,» Tecnología Química, Pp. 26-29, 2006.
- [3] Valiente, Mireya; Verdú, Salvador; Albert, Nuria; Fernández Puratich, Harald; Oliver Villanueva, José Vicente, «Desarrollo De Pellets A Partir De Tres Especies Leñosas Bajo Condiciones Mediterráneas,» Madera Y Bosques, Vol. 20, N° 3, Pp. 97-111, 2014.
- [4] Vargas, J; Alvarado, P; Vega-Baudrit, J; M3, Porras, «Caracterización Del Subproducto Cascarillas De Arroz En Búsqueda De Posibles,» Vol. 23 No 1 Revista Científica, Pp. 87-102, 2013.
- [5] Da Silva, D, Proyecto De Creacion De Una Fabrica De Briquetas De Aserrin En Santa Rosa Del Aguaray, Santa Rosa Del Aguaray- Paraguay, 2013.
- [6] Mera, M; Simbaña, E, «Evaluación De La Capacidad Calorífica De Biocombustible Sólido A Partir De Residuos Lignocelulósicos De Café (Coffea Spp) Frente A Leña De Espino (Vachellia Macracantha) Y Eucalipto (Eucalyptus Globulus Labill),» Axioma, N° 15, P. 36, 2016.
- [7] Giralt-Ortega, Giselle; Serret-Guasch, Nurian; Quintero-Ríos, Mairet, «Caracterización De Aserrín De Diferentes Maderas,» Tecnología Química, Vol. 36, N° 3, P. 470, 2016.
- [8] Barrera , J., «La Mejor Forma De Reutilizar Ls Residuos Forestales,» Insumos, 2005.
- [9] Ortiz, L, «Producción De Biocombustibles Sólidos De Alta Densidad En España,» Ed. Gamesal., N° 5, P. 109, 2008.

- [10] Muñoz Muñoz, Deyanira; Pantoja Matta, Alvaro Javier; Cuatin Guarín, Ilton Fernando ;, «Aprovechamiento De Residuos Agroindustriales Como Biocombustible Y Biorefinería,» *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, Vol. 12, N° 2, 2014.
- [11] García Benedicto, Luis; Fernández López, Carlos; Francisco, Marcos Martín, *Biocombustibles Sólidos Y Líquidos Forestales*, 2010.
- [12] Fonseca Cuenca, Edison Geovanny; Tierra Tingo, Luis Fernando;, " Desarrollo De Un Proceso Tecnológico Para La Obtención De Briquetas De Aserrín De Madera Y Cascarilla De Arroz, Y Pruebas De Producción De Gas Pobre", *Riobamba*, 2011.
- [13] López, R; Cajina, C; Ramírez, J; Reyes, E; Olivas, N; Molina, L, «Evaluación De Los Parámetros Físicos Y Químicos De Las Briquetas Obtenidas Con La Máquina Briquetadora Construida En Faramitán,» *Faramitán-Estelí*, N° 16, P. 5, 2015.
- [14] Muñoz, D; Pantoja, A; Cuatin, M;, «Aprovechamiento De Residuos Agroindustriales Como Biocombustible Y Biorefinería,» *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, Vol. 12, N° 2, P. 10, 2014.
- [15] García, M, *Diseño De Proceso Y De Planta Piloto Para La Fabricación De Briquetas De Aserrín*, Perú, 2014.
- [16] Prada, Abelardo; Cortés, Caroll E, «La Descomposición Térmica De La Cascarilla De Arroz: Una Alternativa De Aprovechamiento Integral,» *Orinoquia*, Vol. 14, N° 1, P. 156, 2010.
- [17] Serrano, Tomás; Borrachero, María ; Monzó, José; Jordí, Payá, «Morteros Aligerados Con Cascarilla De Arroz: Diseño De Mezclas Y Evaluación De Propiedades,» *Dyna*, N° 175, P. 128, 2012.
- [18] Vargas, J., Alvarado, P., Vega-Baudrit, J., Porras M, «Caracterización Del Subproducto Cascarilla De Arroz En Búsquedas De Posibles Aplicaciones Como Materia Prima En Procesos,» *Dialnet*, Vol. 23, N° 1, P. 91, 2013.

- [19] Navarra,J., «Combustibles De Biomasa Tipos Y Caracteristicas,» Scielo, Pp. 1-9, 2015.
- [20] Cediel , Alexandra; Rivera, Jose L; Montalvo, Andrea S; Sierra, Fabio E; Forero, Carlos, «Estudio Preliminar Del Potencial Energético De Cuesco De Palma Y Cáscara De Coco En Colombia,» Ingeniería Solidaria, Vol. 8, N° 14, P. 20, 2012.
- [21] Hernández, J, "Estudio Técnico Para La Obtención De Briquetas De Facil Encendido A Partir De Carbón De La Cascarilla De Palma Africana Y Su Producción En La Empresa Tysai S.A.", Riobamba, 2011.
- [22] Salinas, E; Gasca, Víctor., «Los Biocombustibles,» El Cotidiano, N° 157, P. 76, 2009.
- [23] Mosquera, Pepa; Merino, Luis, «Lo Que Su Empresa Debe Saber Sobre Energías Renovables, Eficiencia Energética Y Kioto,» De Empresa Y Energías Renovables, Fund. Confemetal, 2006, P. 184.
- [24] Hurtado, Pablo, «Aprovechamiento De Residuos De,» Ingenium, Vol. 1, Pp. 27-28, 2016.
- [25] Puratich, Harald Fernández; Oliver Villanueva, José Vicente; Valiente, Mireya ; Verdú, Salvador ; Albert, Nuria ;, «Desarrollo De Pellets A Partir De Tres Especies Leñosas Bajo Condiciones Mediterráneas,» Madera Y Bosques, Vol. 20, N° 3, 2014.
- [26] Correa Méndez, Fermín ; Carrillo Parra, Artemio; Rutiaga Quiñones, José Guadalupe; Márquez Montesino, Francisco; González Rodríguez, Humberto ; Jurado Ybarra, Enrique; Garza Ocañas, Fortunato;, «Distribución Granulométrica En Subproductos De Aserrío Para Su Posible Uso En Pellets Y Briquetas,» Revista Mexicana De Ciencias Forestales, Vol. 5, N° 25, 2014.
- [27] Forero Núñez, Carlos Andrés; Guerrero Fajardo, Carlos Alberto; Sierra Vargas, Fabio Emiro;, «Producción Y Uso De Pellets De Biomasa Para La Generación De Energía Térmica: Una Revisión A Los Modelos Del Proceso De Gasificación,» Iteckne, Vol. 9, N° 1, P. 22, 2012.

- [28] Ysambertt, F., «“Propiedades Tensoactivas De La Lignina Extraída Del ‘Licor Negro’ Modificada Por Reacciones Asistidas Por Microondas,» Cuba Química, Vol. 21, 2009.
- [29] Valderrama, Andrés; Curo, Herve; Quispe, César; Llantoy, Victor ; Gallo, José,, Briquetas De Residuos Sólidos Orgánicos Como Fuente De Energía Calorífica En Cocinas No Convencionales.
- [30] Soto, Gerardo; Núñez, Miguel ;, «Fabricación De Pelletsde Carbonilla Usando Aserrín De Pinus Radiata (D. Don), Como Material Aglomerante.,» Maderas, Ciencia Y Tecnología., Vol. 10, Nº 2, Pp. 129-137, 2008.
- [31] Carrillo, A; Correa, F; Rutiaga, J.; Márquez, F; González , ; Jurado, E; Garza , F., «Contenido De Humedad Y Sustancias Inorgánicas En Subproductos Maderables De Pino Para Uso En Pélets Y Briquetas.,» Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente (SciELO), 2014.
- [32] Fernández Puratich, Harald; Oliver Villanueva, José Vicente; Valiente, Mireya; Verdú, Salvador; Albert, Nuria, «Desarrollo De Pellets A Partir De Tres Especies Leñosas Bajo Condones Mediterráneas,» Madera Y Bosques, Vol. 20, Nº 3, Pp. 97-111, 2014.
- [33] M. Fernández Llorente, «Características, Barreras Y Retos Paara La Implementación Comercial De La Biomasa Sólida Como Combustible.,» Vida Rural, Pp. 60 - 64, 2011.
- [34] Vera Velasquez, Alexander, Diseño De Briquetas Ecológicas Para La Generación De Energía Calórica Y Mejoramiento De Ecosistemas En El Corregimiento De Nabusimake, Municipio De Pueblo Bello-Cesar, Valledupar, 2014.

CAPITULO VII

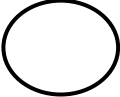
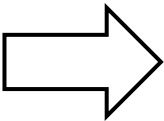
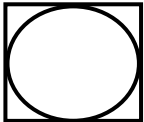
ANEXOS

Anexo 1. Valores de los análisis realizados las briquetas elaboradas a partir de residuos Agroindustriales.

✚✚

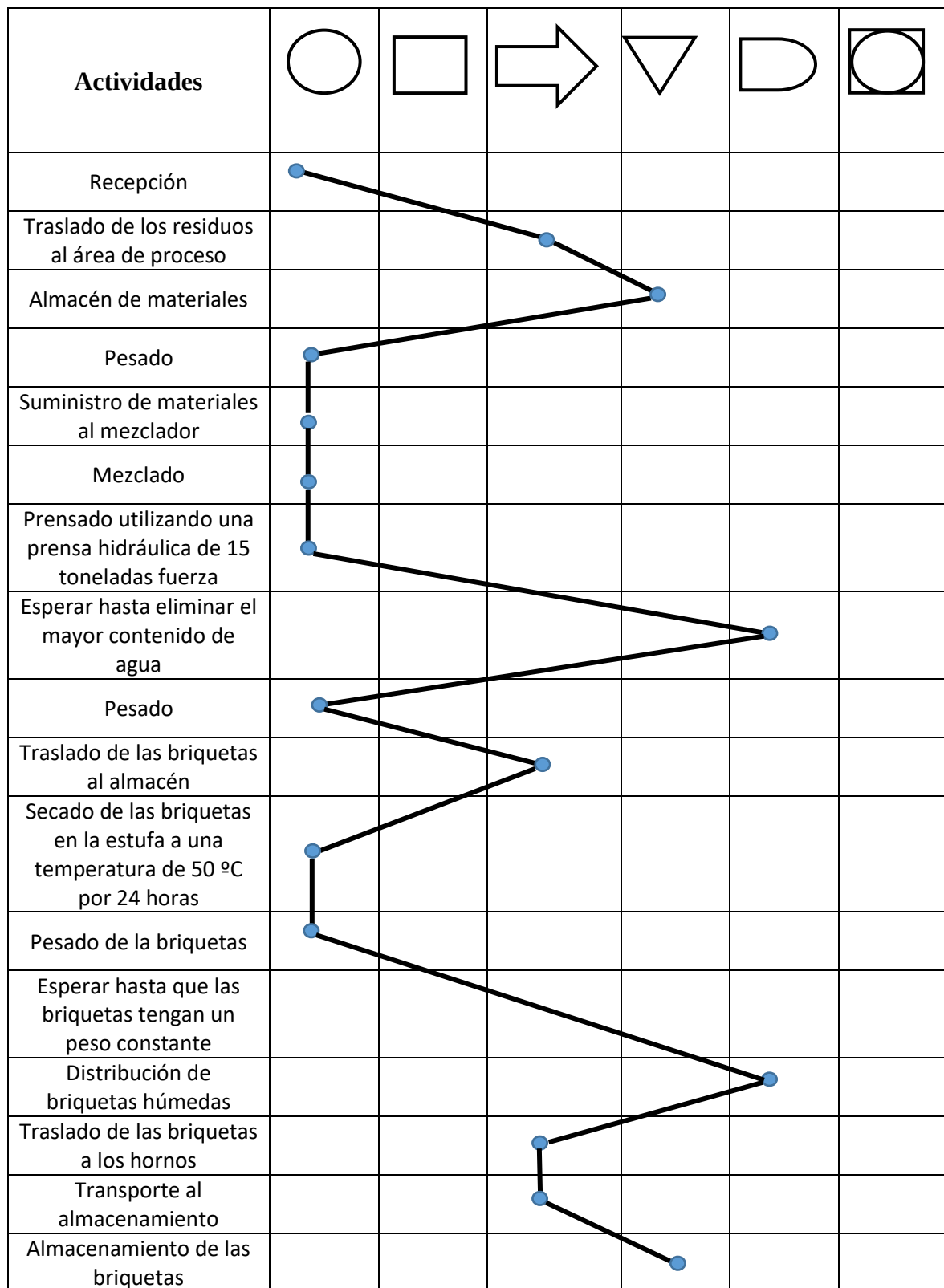
Factor A: Mezcla	Factor B: Forma	Factor C: Tamaño	Repetición	Briqueta húmeda (g)	Briqueta presada (g)	Briqueta seca (g)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Poder calorífico (Kcal/kg)	Densidad aparente (g/m ³)	Fuerza de compactación (PSI)
Mezcla 1	Cilíndrica	10cm x 3"	1	609,1	350	235,0	6,52	12,5	4780,57	1,0	4,06
Mezcla 1	Cilíndrica	15cm x 4"	1	1325,7	1000	549,6	6,37	12,0	5263,35	1,0	10,81
Mezcla 1	Cuadrada	10cm x 3"	1	748,5	550	316,3	6,93	13,5	4780,52	1,0	6,10
Mezcla 1	Cuadrada	15cm x 4"	1	1575,1	1120	638,1	6,43	13,5	5499,96	0,8	12,81
Mezcla 2	Cilíndrica	10cm x 3"	1	410,0	330,5	206,3	5,38	13,0	5024,23	1,0	3,34
Mezcla 2	Cilíndrica	15cm x 4"	1	1025,0	701,5	397,7	5,46	11,0	4197,73	0,8	8,36
Mezcla 2	Cuadrada	10cm x 3"	1	698,0	518,5	258,1	5,73	13,5	4780,62	0,8	5,69
Mezcla 2	Cuadrada	15cm x 4"	1	1261,0	841,0	505,4	5,28	13,0	5507,37	0,6	10,28
Mezcla 3	Cilíndrica	10cm x 3"	1	840,0	493,0	316,5	4,70	12,5	5514,35	0,8	6,85
Mezcla 3	Cilíndrica	15cm x 4"	1	1525,7	1078,0	609,5	4,80	12,0	4306,02	1,0	12,44
Mezcla 3	Cuadrada	10cm x 3"	1	799,0	540,9	321,6	4,35	11,0	5168,20	1,0	6,51
Mezcla 3	Cuadrada	15cm x 4"	1	1991,0	1060,5	376,4	4,73	12,5	4580,35	0,6	16,24
Mezcla 1	Cilíndrica	10cm x 3"	2	584,1	390,0	287,6	6,59	12,5	4782,80	1,0	4,76
Mezcla 1	Cilíndrica	15cm x 4"	2	1350,0	1000,0	605,8	6,37	12,1	5263,50	1,0	11,01
Mezcla 1	Cuadrada	10cm x 3"	2	648,5	450,0	220,6	6,93	13,3	4785,10	0,8	5,29
Mezcla 1	Cuadrada	15cm x 4"	2	1571,0	1150,0	557,60	6,43	13,4	5486,82	0,8	12,81
Mezcla 2	Cilíndrica	10cm x 3"	2	412,0	328,0	208,9	5,30	13,2	5026,35	1,0	3,36
Mezcla 2	Cilíndrica	15cm x 4"	2	1027,0	705,4	396,6	5,42	11,3	4199,37	0,9	8,37
Mezcla 2	Cuadrada	10cm x 3"	2	698,9	517,5	257,5	5,76	13,2	4782,55	1,0	5,70
Mezcla 2	Cuadrada	15cm x 4"	2	1265,0	843,5	505,6	5,97	13,1	5505,25	1,0	10,32
Mezcla 3	Cilíndrica	10cm x 3"	2	838,6	490,6	322,2	4,70	12,3	5508,29	0,8	6,84
Mezcla 3	Cilíndrica	15cm x 4"	2	1529,5	1073,3	601,5	4,80	12,2	4310,05	0,8	12,47
Mezcla 3	Cuadrada	10cm x 3"	2	798,5	538,8	320,5	4,76	11,1	5267,11	1,0	6,44
Mezcla 3	Cuadrada	15cm x 4"	2	1987,5	1058,2	373,9	4,73	12,3	4585,08	1,0	16,30

Anexo 2. Descripción de la simbología para el diseño del Diagrama de Flujo.

Símbolo	Descripción	Indica	Significado
	Círculo	Operación	Indica las principales fases del proceso
	Cuadrado	Inspección	Verifica la calidad y/o cantidad. En general no agrega valor al producto
	Flecha	Transporte	Indica los movimientos de materiales
	Triángulo	Almacenamiento	Indica depósito de un objeto bajo vigilancia en almacén
	D Grande	Demora	Indica demora entre dos operaciones
		Combinación	Indica varias actividades simultáneas

ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

Anexo 3. Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de las briquetas.



ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

Anexo 4. Costo de materias primas directas en el proceso de elaboración de las briquetas.

INSUMOS	CANTIDAD (g)	Mezcla 1				Mezcla 2				Mezcla 3			
		$a_0b_0c_0$	$a_0b_0c_1$	$a_0b_1c_0$	$a_0b_1c_1$	$a_1b_0c_0$	$a_1b_0c_1$	$a_1b_1c_0$	$a_1b_1c_1$	$a_2b_0c_0$	$a_2b_0c_1$	$a_2b_1c_0$	$a_2b_1c_1$
C. de Arroz	50-100-200	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005	0.005	0.005	0.005	0.050	0.050	0.050	0.050
Polvillo	800 -700-700	0.045	0.045	0.045	0.045	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
Cuesco	400-600-500	0.060	0.060	0.060	0.060	0.025	0.025	0.025	0.025	0.080	0.080	0.080	0.080
Aserrín	750-600-600	0.048	0.048	0.048	0.048	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038
Agua	3000-3000-3000	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
Total costo fijo		0.181	0.181	0.181	0.181	0.133	0.133	0.133	0.133	0.233	0.233	0.233	0.233
% Rendimiento		0.188	0.440	0.253	0.510	0.165	0.318	0.206	0.404	0.253	0.488	0.257	0.301
Conversión a briqueta kg		0.235	0.549	0.316	0.638	0.206	0.397	0.258	0.505	0.316	0.609	0.321	0.576
Costo de producción USD por kg		0.768	0.329	0.571	0.283	0.646	0.335	0.516	0.263	0.737	0.383	0.726	0.405

ELABORADO POR: Macías, J. (2017).

Anexo

4. Fotos de la elaboración y análisis de briquetas.



Foto 1.- Moldes con alturas de 10 y 15 cm



Foto 2.- Moldes con alturas de 10 y 15 cm



Foto 3.- Moldes con alturas de 10 y 15 cm



Foto 4.- Briquetas



Foto 5.- Pesado y mezclado



Foto 6.- Pesado y mezclado



Foto 7.- Prensado de la mezcla.



Foto 8.- Briqueta prensada.



Foto 9.- Pesado de la briqueta húmeda.



Foto 10.- Análisis de energía.



Foto 11.- Bomba calorimétrica.



Foto 12.- Variación de temperatura.



Foto 13.- Equipo para determinar el contenido de energía



Foto 14.- Residuos seco del análisis de poder calorífico.



Foto 15.- Tomando dato del cable restante.



Foto 16.- Pesado de la muestra.



Foto 17.- Desecador.



Foto 18.- Análisis de cenizas.



Foto 19.- Muestras aplicadas en el desecador.



Foto 20.- Briqueta calcinada.



Foto 21.- Temperatura de combustión en 30 minutos.



Foto 22.- Termómetro infrarrojo.



Foto 23.- Pruebas de tiempo de combustión.



Foto 24.- Análisis de humedad.



Foto 25.- Programando la mufla.



Foto 26.- Secado de briquetas



Foto 27.- Secado de briquetas

Anexo 6. Resultado de análisis de varianza en la cual no se observó diferencia significativa.

Tabla N° 18: Densidad.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
COVARIABLES					
Repetición	0,0204167	1	0,0204167	1,10	0,3172
EFFECTOS					
PRINCIPALES					
Factor A	0,0108333	2	0,00541667	0,29	0,7529
Factor B	0,0204167	1	0,0204167	1,10	0,3172
Factor C	0,03375	1	0,03375	1,81	0,2050
INTERACCIONES					
AB	0,0408333	2	0,0204167	1,10	0,3675
AC	0,0075	2	0,00375	0,20	0,8204
BC	0,0204167	1	0,0204167	1,10	0,3172
ABC	0,0308333	2	0,0154167	0,83	0,4620
RESIDUOS	0,204583	11	0,0185985		
TOTAL	0,389583	23			
(CORREGIDO)					

Elaborado por: Macías, J. (2017)

Tabla N° 19: Prueba de Tukey para el factor A.

<i>Factor A</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
MEZCLA 3	8	0,875	0,0482163	X
MEZCLA2	8	0,8875	0,0482163	X
MEZCLA1	8	0,925	0,0482163	X

Elaborado por: Macías, J. (2017)

Tabla N° 20: Prueba de Tukey para el factor B.

<i>Factor B</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
CUADRADA	12	0,866667	0,0393684	X
CILINDRICA	12	0,925	0,0393684	X

Elaborado por: Macías, J. (2017)

Tabla N° 21: Prueba de Tukey para el factor C.

<i>Factor C</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
15 cm 4"	12	0,858333	0,0393684	X
10 cm 3"	12	0,933333	0,0393684	X

Elaborado por: Macías, J. (2017)

Tabla N° 14: Resultados de Cenizas en la interacción A×B×C.

Int. A×B×C	Cenizas	
Mezcla 1 + cilíndrica + 10 cm	6,93	A
Mezcla 1 + cilíndrica + 15 cm	6,56	A
Mezcla 1 + cuadrada + 10 cm	6,43	A
Mezcla 1 + cuadrada + 15 cm	6,37	AB
Mezcla 2 + cilíndrica + 10 cm	5,75	BC
Mezcla 2 + cilíndrica + 15 cm	5,63	C
Mezcla 2 + cuadrada + 10 cm	5,44	CD
Mezcla 2 + cuadrada + 15 cm	5,34	CDE
Mezcla 3 + cilíndrica + 10 cm	4,80	DEF
Mezcla 3 + cilíndrica + 15 cm	4,73	EF
Mezcla 3 + cuadrada + 10 cm	4,70	EF
Mezcla 3 + cuadrada + 15 cm	4,56	F

Elaborado por: Macías, J. (2017).

Tabla N° 15: Resultados de Humedad en la interacción A×B×C.

Int. A×B×C	Humedad	
Mezcla 1 + cuadrada + 15 cm	13,45	A
Mezcla 1 + cuadrada + 10 cm	13,40	A
Mezcla 2 + cuadrada + 10 cm	13,35	A
Mezcla 2 + cilíndrica + 10 cm	13,10	A
Mezcla 2 + cuadrada + 15 cm	13,05	AB
Mezcla 1 + cilíndrica + 10 cm	12,50	BC
Mezcla 3 + cilíndrica + 10 cm	12,40	C
Mezcla 3 + cuadrada + 15 cm	12,40	C
Mezcla 3 + cilíndrica + 15 cm	12,10	C
Mezcla 1 + cilíndrica + 15 cm	12,05	C
Mezcla 2 + cilíndrica + 15 cm	11,15	D
Mezcla 3 + cuadrada + 10 cm	11,05	D

Elaborado por: Macías, J. (2017)

Tabla N° 16: Resultados de Poder calorífico en la interacción A×B×C.

Int. A×B×C	Poder calorífico	
Mezcla 3 + cilíndrica + 10 cm	5511,32	A
Mezcla 2 + cuadrada + 15 cm	5506,31	AB
Mezcla 1 + cuadrada + 15 cm	5493,39	B
Mezcla 3 + cuadrada + 10 cm	5267,66	C
Mezcla 1 + cilíndrica + 15 cm	5263,43	C
Mezcla 2 + cilíndrica + 10 cm	5025,29	D
Mezcla 1 + cuadrada + 10 cm	4782,81	E
Mezcla 1 + cilíndrica + 10 cm	4781,69	E
Mezcla 2 + cuadrada + 10 cm	4781,59	E
Mezcla 3 + cuadrada + 15 cm	4582,72	F
Mezcla 3 + cilíndrica + 15 cm	4308,04	G
Mezcla 2 + cilíndrica + 15 cm	4295,55	G

Elaborado por: Macías, J. (2017).

Anexo 5. Certificado del laboratorio de bromatología.



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA
Dirección km 1 ½ vía Sto. Domingo Teléfono: 052750320
FAX: (593-06) 752300 753-503 CASILLA Quevedo: 73
www.uteq.edu.ec
Quevedo-Los Ríos-Ecuador

CERTIFICACION

Quevedo, 12 de Septiembre del 2017

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente certifico que la Srta. MACIAS VERA JOSSELIN MERCEDES con CI: 094173462-6, realizó los análisis de Humedad, Densidad, Cenizas y Calorimetría en muestras de briquetas a partir de residuos sólidos, correspondiente a la tesis titulada "EVALUACION DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SOLIDO A PARTIR DE RESIDUOS QUE GENERAN LOS PROCESOS AGROINDUSTRIALES EN EL SECTOR EL EMPALME", en este laboratorio, con la guía de la Ing. Lourdes Ramos, Coordinadora del Laboratorio.

Autorizo a la Srta. MACIAS VERA JOSSELIN MERCEDES dar el presente certificado el uso que estime conveniente.

Atentamente,

Ing. Lourdes Ramos Mackliff

ENCARGADA DEL LABORATORIO DE BROMATOLOGIA