



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

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**BIOMASA ENERGÉTICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE
CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) EN LA
COMUNIDAD EL CAUCHO, CANTON JUNÍN, MANABÍ,
ECUADOR**

AUTORES:

**ANA MARÍA LOOR CEVALLOS
JUAN PABLO MUÑOZ MERA**

TUTOR:

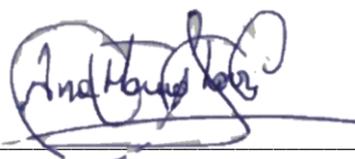
ING. CARLOS RICARDO DELGADO VILLAFUERTE, Mg. C.A.

CALCETA, FEBRERO DE 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **ANA MARÍA LOOR CEVALLOS**, con cédula de ciudadanía **1308670627**, y yo **JUAN PABLO MUÑOZ MERA**, con cédula de ciudadanía **1315518561**, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **BIOMASA ENERGÉTICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum) EN LA COMUNIDAD EL CAUCHO, CANTÓN JUNÍN, MANABÍ, ECUADOR** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



ANA MARÍA LOOR CEVALLOS

C.C: 1308670627



JUAN PABLO MUÑOZ MERA

C.C: 1315518561

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

ANA MARÍA LOOR CEVALLOS, con cédula de ciudadanía **1308670627**, y **JUAN PABLO MUÑOZ MERA**, con cédula de ciudadanía **1315518561** autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **BIOMASA ENERGÉTICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) EN LA COMUNIDAD EL CAUCHO, CANTÓN JUNÍN, MANABÍ, ECUADOR**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



ANA MARÍA LOOR CEVALLOS
C.C: 1308670627



JUAN PABLO MUÑOZ MERA
C.C: 1315518561

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING. CARLOS RICARDO DELGADO VILLAFUERTE Mg. C.A., certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **BIOMASA ENERGÉTICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum) EN LA COMUNIDAD EL CAUCHO, CANTÓN JUNÍN, MANABÍ, ECUADOR**, que ha sido desarrollado por **ANA MARÍA LOOR CEVALLOS** y **JUAN PABLO MUÑOZ MERA**, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. CARLOS R. DELGADO VILLAFUERTE, MG. C.A.

CC: 1311115602

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **BIOMASA ENERGÉTICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum) EN LA COMUNIDAD EL CAUCHO, CANTÓN JUNÍN, MANABÍ, ECUADOR**, que ha sido desarrollado por **ANA MARÍA LOOR CEVALLOS Y JUAN PABLO MUÑOZ MERA**, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. FABRICIO E. ALCÍVAR INTRIAGO, MG.

CC: 1308632262

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ING. MARCO J. VERA VERA, MG.

CC:1313674481

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

BLGO. EVER D. MORALES

AVENDAÑO, PH.D.

CC: 0959966342

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A Dios todo Poderoso, ya que todo se puede mediante el, ya que él siempre está ahí para nosotros y nos impulsa a seguir con nuestras metas en la vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Manabí, gracias por haberme permitido formarme en ella, gracias a todas las persona que fueron participes en este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, quienes me brindaron un pequeño aporte, que el día de hoy se verá reflejado en la culminación de mi paso por la universidad, gracias a mis padres e hijo quienes fueron los promotores en este proceso, gracias a dios que fue el principal apoyo sobre todo motivador para continuar día a día y no decaer.

Este momento muy especial que espero, perduró en el tiempo, no solo en la mente de las personas a quienes agradecí, sino también a quienes invirtieron su tiempo para echarle una mirada a mi proyecto de tesis, a ellos mismo les agradezco con todo mi ser.

ANA MARÍA LOOR CEVALLOS

DEDICATORIA

A mi mamá Aida Mera, ya que ella siempre está ahí para mí y me apoya en mis sueños y necesidades, también porque muestra además de cariño de madre, un cariño de padre, por ser un buen ejemplo en mi vida, por haberme educado, haberme guiado en todos estos años de proceso académico; gracias porque a pesar de que siempre haya cometido algún error siempre estás ahí para corregirme en lo bueno.

A mi grupo JMV, ya que me acogió de niño a estar en esta familia y donde me han enseñado amar a Dios y a mamita María, y que siempre están ahí para mí para apoyarme y nunca dejarme solo.

A mis amigos y familiares, ya que ellos también son los que siempre me apoyaron y animaron a seguir adelante con mis sueños y llegar a mis metas.

JUAN PABLO MUÑOZ MERA

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico primero a Dios por ser mi guía en este camino, darme fuerzas para seguir adelante y no decaer en los problemas que se presentaban día a día, encarando las adversidades sin perder nunca la dignidad ni decaer en el intento,

A mis padres, a mi hijo y a mis familiares, porque por ellos soy lo que soy, gracias por su apoyo incondicional, consejos, comprensión en aquellos momentos difíciles de este proceso, y por ayudarme en los recursos necesarios para estudiar. Me han brindado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, empeño, perseverancia y coraje para cumplir con mis objetivos.

Gracias a cada uno de los maestros y a mis queridos compañeros que me apoyaron y formaron parte durante los 6 años de mi formación académica.

ANA MARÍA LOOR CEVALLOS

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
CONTENIDO GENERAL.....	ix
CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. HIPÓTESIS, PREMISAS Y/O IDEAS A DEFENDER	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. BIOMASA.....	5
2.1.1. TIPOS DE BIOMASA	5
2.1.1.1. BIOMASA RESIDUAL.....	5
2.1.1.2. BIOMASA NATURAL	5
2.2. CULTIVOS ENERGÉTICOS	6
2.2.1. PROPIEDADES DE LA BIOMASA.....	6
2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA BIOMASA	7
2.2.3. TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA.....	8
2.2.4. VENTAJAS DE LA BIOMASA	8
2.3. CAÑA DE AZÚCAR.....	9

2.3.1. ORIGEN DE LA CAÑA DE AZÚCAR	10
2.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	11
2.3.3. PROPIEDADES DE LA CAÑA DE AZÚCAR	11
2.3.4. VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR.....	12
2.3.4.1. Ragnar (Guayaca).....	12
2.3.5. BAGAZO	12
2.3.6. OBTENCIÓN DE BIOMASA ENERGÉTICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR	13
2.3.7. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR ...	13
2.4. BRIQUETAS.....	14
2.4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS BRIQUETAS	14
2.4.2. FABRICACIÓN DE LAS BRIQUETAS	15
2.4.3. VENTAJAS DE LAS BRIQUETAS	16
2.4.4. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS	17
2.4.5. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA Y BIOECONÓMICA DE LAS BRIQUETAS ELABORADAS CON BIOMASA RESIDUAL DEL CULTIVO DE MAÍZ EN ECUADOR.....	17
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	19
3.1. UBICACIÓN	19
3.2. DURACIÓN	19
3.3. VARIABLES EN ESTUDIO	19
3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	19
3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE	19
3.4. MÉTODOS	20
3.4.1. MÉTODO DEDUCTIVO	20
3.4.2. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO.....	20
3.4.3. MÉTODO ESTADÍSTICO.....	20
3.5. TÉCNICAS	20
3.5.1. ENTREVISTAS	20
3.5.2 OBSERVACIÓN	20
3.6. FACTOR DE ESTUDIO.....	21
3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL.....	21

3.8 DISEÑO EXPERIMENTAL	21
3.9. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	22
3.9.1 FASE 1: DIAGNOSTICAR EL ESTADO DE LOS RESIDUOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA SU APROVECHAMIENTO COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO.....	22
3.9.2 FASE 2: DETERMINAR EL TRATAMIENTO A BASE DE LOS RESIDUOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR QUE GENERE MAYOR PODER CALORÍFICO PARA SU APROVECHAMIENTO	23
3.9.3. FASE 3: REALIZAR UN ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS BRIQUETAS DEL MEJOR TRATAMIENTO.	27
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE LOS RESIDUOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA SU APROVECHAMIENTO COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO.....	29
4.2. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO A BASE DE LOS RESIDUOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR QUE GENERE MAYOR PODER CALORÍFICO PARA SU APROVECHAMIENTO.	44
4.2.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LOS RESIDUOS	44
4.2.2. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES A MEDIR.....	44
4.2.2.1. HUMEDAD	44
4.2.2.2. MATERIAL VOLÁTIL	46
4.2.2.3. CENIZAS.....	48
4.2.2.4. PODER CALORÍFICO	50
4.2.2.5. RESISTENCIA DE COMPRESIÓN	52
4.2.2.6. TIEMPO DE ENCENDIDO	53
4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS BRIQUETAS DEL MEJOR TRATAMIENTO COMO APORTE EN LA ECONOMÍA CIRCULAR	56
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1. CONCLUSIONES.....	59
5.2. RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	61
Anexos	75

CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS

CUADROS

Cuadro 2.1. Transformación de la Biomasa.	9
Cuadro 2.2. Taxonomía de la caña de azúcar.	11
Cuadro 3.1. Tratamientos.	22
Cuadro 4.1 Cuadro de datos de información de las fábricas de caña hecha a los dueños de las fábricas.	31
Cuadro 4.2 Porcentaje de humedad del bagazo de caña de azúcar.	45
Cuadro 4.3. Porcentaje de humedad de las briquetas.	46
Cuadro 4.4. ANOVA para el porcentaje de Humedad.	46
Cuadro 4.5. Prueba Tukey de Humedad.	46
Cuadro 4.6. Porcentaje de material volátil de las briquetas.	48
Cuadro 4.7. ANOVA para el porcentaje de Material Volátil.	48
Cuadro 4.8. Prueba Tukey de Material Volátil.	48
Cuadro 4.9. Porcentaje de la variable Cenizas.	50
Cuadro 4.10. ANOVA para la variable Cenizas.	50
Cuadro 4.11. Prueba Tukey de Cenizas.	50
Cuadro 4.12. Porcentajes de la variable Poder Calorífico.	52
Cuadro 4.13. ANOVA del Poder Calorífico.	52
Cuadro 4.14. Prueba Tukey del Poder Calorífico.	52
Cuadro 4.15. Resultados de Resistencia de comprensión de las briquetas.	53
Cuadro 4.16. Generalidades de los tratamientos y sus variables a medir.	56
Cuadro 4.17. Matriz de Análisis de Precios Unitarios por briqueta.	58
Cuadro 4.18. Precio de venta por kg de cada briqueta.	59

FIGURAS

Figura 1. Estructura general de la caña de azúcar.	11
Figura 2. Ubicación de la comunidad El Caucho, cantón Junín.	19
Figura 3. Diagrama de la elaboración de las briquetas de caña de azúcar.	23
Figura 4. Mapa de Ubicación de Fabricas de caña de azúcar de la Comunidad El Caucho.	31

GRAFICOS

Gráfico 4.1. Superficie Cultivo de caña de azúcar por fábrica.	32
Gráfico 4.2. Producción Cultivo de caña de azúcar por fábrica.	33
Gráfico 4.3. Producción de subproducto por fábrica.	33
Gráfico 4.4. Periodo de obtención del bagazo.	34
Gráfico 4.5. Porcentaje de recolección de subproducto de caña de azúcar.	35

Gráfico 4.6. Porcentaje de tratamiento de conservación de los residuos.	36
Gráfico 4.7. Porcentaje de destino final del subproducto.	37
Gráfico 4.8. Porcentaje de intercambio de residuo de bagazo a personas.	38
Gráfico 4.9. Porcentaje sobre incentivo de los trabajadores para manejo de cultivo de caña.	39
Gráfico 4.10. Porcentaje de cantidad de bagazo por parada.	40
Gráfico 4.11, Porcentaje de alternativa de aprovechamiento del bagazo.	41
Gráfico 4.12. Porcentaje de uso del bagazo de caña de azúcar.	42
Gráfico 4.13. Porcentaje de comercializar el bagazo en el mercado.	43
Gráfico 4.14. Porcentaje de humedad de los tratamientos.	46
Gráfico 4.15. Porcentaje de Material Volátil de los tratamientos.	48
Gráfico 4.16. Porcentaje de Cenizas de los tratamientos.	50
Gráfico 4.17. Porcentaje del Poder Calorífico de los tratamientos.	52
Gráfico 4.18. Resistencia de Comprensión de los tratamientos.	53
Gráfico 4.19. Tiempo de encendido de los tratamientos.	54

RESUMEN

La investigación tiene como propósito elaborar briquetas para la obtención de biomasa energética a partir de residuos de bagazo de caña de azúcar, proveniente de la comunidad El Caucho, cantón Junín. Se empleó investigación de tipo experimental, con los métodos bibliográfico, deductivo, y de análisis estadístico en un diseño completamente al azar, con 3 tratamientos y 9 repeticiones (T₁ bagazo de caña de azúcar más 180 ml de agua, más 20 gramos de almidón de yuca, T₂ cáscara 180 ml de agua, más 20 gramos de almidón de yuca, T₃ combinación de bagazos de caña de azúcar y cascarilla 180 ml de agua, más 20 gramos de almidón de yuca) en tres repeticiones. Las variables en donde se obtuvieron los mejores resultados fueron: T₁ con humedad 8,93%, material volátil 82,92%, cenizas 2,30%, poder calorífico 18,34 MJ/kg, resistencia 4,38 kg/cm², tiempo de encendido 0,56 min; T₂ con humedad 9,61%, material volátil 82,15%, cenizas 3,17%, poder calorífico 18,01 MJ/kg, resistencia 12,04 kg/cm², tiempo de encendido 1,48 min; T₃ con humedad 9,18%, material volátil 82,91%, cenizas 2,65%, poder calorífico 18,28 MJ/kg, resistencia 15,11 kg/cm², tiempo de encendido 3,17 min; en donde el T₃ tuvo el mayor poder calorífico con 18,28 MJ/kg, cumpliendo con esta variable y de las demás en la NTC-2060, dando así una respuesta positiva a la hipótesis planteada.

PALABRA CLAVE

Poder calorífico, briquetas, biomasa energética, caña de azúcar, subproducto

ABSTRACT

The purpose of the research is to make briquettes to obtain energy biomass from sugarcane bagasse waste, coming from El Caucho community, Junín canton. Experimental research was used, with bibliographic, deductive, and statistical analysis methods in a completely randomized design, with 3 treatments and 9 repetitions (T1 bagasse pulp plus 180 ml of water, plus 20 grams of cassava starch, T2 peel 180 ml of water, plus 20 grams of cassava starch, T3 combination of pulp bagasse and husk 180 ml of water, plus 20 grams of cassava starch) in three repetitions. The variables where the best results were obtained were: T1 with humidity 8.93%, volatile material 82.92%, ash 2.30%, heating value 18.34 MJ/kg, resistance 4.38 kg/cm², time ignition 0.56 min; T2 with humidity 9.61%, volatile material 82.15%, ash 3.17%, heating value 18.01 MJ/kg, resistance 12.04 kg/cm², ignition time 1.48 min; T3 with humidity 9.18%, volatile material 82.91%, ash 2.65%, heating value 18.28 MJ/kg, resistance 15.11 kg/cm², ignition time 3.17 min; where T3 had the best calorific value, with a value of 18.28 MJ/kg, complying with this variable and the others in the NTC-2060, thus giving a positive response to the proposed hypothesis.

Keywords

Calorific power, briquettes, energetic biomass, sugar cane, byproduct.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El desarrollo de la industrialización trae beneficios indiscutibles como la mejora de la calidad de vida en la población, pero al mismo tiempo la convierte en una sociedad de consumo, que debe abastecer de nuevos productos a la industria, complejizar procesos y crear cada vez más desperdicios; por lo que ha sido objeto de muchas críticas y ha dado como resultado imágenes con contornos no especialmente positivos a pesar de que estos residuos no reflejan el valor central de la transformación (Cury et al, 2017).

Vargas (2018) expresa que la agroindustria es capaz de contribuir al desarrollo económico, social y ambiental del mundo, siempre y cuando mantenga un equilibrio entre las actividades que realiza, la protección ambiental y los residuos generados en cualquier proceso desde la transformación de las materias primas hasta su distribución y disposición final. La generación de residuos como lo indica el Servicio de Información y Noticias Científicas (2022) depende en gran medida de la posición de cada país en términos de ingreso promedio, producto interno bruto y consumo de la población, ya que afectan la cantidad y el tipo de consumo. Por ejemplo, en Colombia, Ecuador, Paraguay, India, México y Panamá, los residuos se generan principalmente por actividades agrícolas debido a la alta actividad económica del sector (Tóala, 2022).

Riera et al (2018) aseguran que, en el Ecuador, el sector agropecuario es considerado uno de los sectores económicos más importantes entre los que destacan los cultivos de caña de azúcar en donde producen alrededor de 11 millones de toneladas anuales generando alrededor de 793.283,28 toneladas de residuos. El manejo de estos subproductos agroindustriales no es suficiente considerando los efectos ambientales que provocan, ya que muchos de ellos suelen ser quemados de forma descontrolada o depositados indebidamente en vertederos, terrenos secos o baldíos, que, bajo la influencia del viento, contribuyen al taponamiento de los cauces de los ríos y dañan visualmente el paisaje (Aguar et al, 2022). Sin embargo, debido a sus propiedades químicas y

biológicas, son recursos valiosos para diversas aplicaciones (Instituto Nacional de Preinversión, 2014).

Manabí es una de las provincias ecuatorianas que produce residuos agroindustriales. La producción del cultivo de caña de azúcar se encuentra enfocada dentro del cantón Junín, en donde muchas instituciones, empresas o centros desconocen la utilidad de estos desechos y residuos porque no aplican la normativa aplicable a este tipo de actividades para su correcto aprovechamiento en su entorno, así que, por lo tanto, si estos residuos no se reciclan o eliminan, se convierten en contaminantes del suelo y de las aguas subterráneas donde se encuentran (Andrade, 2017).

Es por eso que estos problemas aún existen hoy en día, porque cuando la producción agrícola aumenta significativamente, también hay muchos residuos, que son muy difíciles de eliminar por falta de un tratamiento previo, porque estos residuos se tratan como para tirarlos en vertederos o quemarlos, lo que provoca problemas en la atmósfera y produce gases de efecto invernadero, lo que es una contaminación muy grave (Caballero et al, 2016).

El bagazo está saturado en el cantón Junín, ya que muchos productos locales se derivan de este rubro, una fibra natural que genera problemas ambientales como proliferación de vectores, quema a cielo abierto, contaminación de cuerpos de agua. Ante lo expuesto, se formula la siguiente interrogativa:

¿De qué manera se puede aprovechar los residuos del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), para la obtención de la biomasa energética en la comunidad El Caucho, cantón Junín?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años como expresa Cantú (2019), el aprovechamiento de los recursos energéticos de la biomasa desde un punto de vista ambiental ha cobrado cada vez más importancia, principalmente por la escasez de combustibles fósiles, lo que obliga a buscar alternativas amigables con el medio ambiente, por lo que la creación de puestos de trabajo en las zonas rurales y la promoción de la independencia energética en los países en desarrollo también es una posibilidad interesante. La biomasa se utiliza tanto en la industria como en el hogar, especialmente para calefacción, e incluso para cocinar en los países en desarrollo (Nogales et al, 2016).

La caña de azúcar desde un ámbito práctico se puede cosechar de dos formas: quemando la caña de azúcar, cruda o verde, ya que en la mayoría de las áreas donde se cultiva, los campos se queman antes de la cosecha para reducir la entrada de materia extraña al molino y para facilitar el trabajo de las cosechadoras y cortadores (Mellizo, 2021). Los residuos de cosecha de caña azúcar también se pueden utilizar para generar electricidad, cuatro toneladas de residuos equivalen a la electricidad producida por una tonelada de carbón; así también se le puede dar uso para alimentación del ganado, ya que es considerado como un banco energético (Sagarpa, 2016).

Desde un punto de vista económico, la biomasa puede contribuir a la creación de empleo y la prosperidad en regiones rurales o en desarrollo, seguido de una demanda continua del mercado y fluctuaciones significativas que no crean oportunidades de empleo, y luego productos de estas regiones (Cálix & Blancos, 2020). El aprovechamiento industrial de las masas forestales residuales permite desbrozar las áreas forestales y así evitar la propagación y fácil propagación de incendios, promover el rebrote de la masa forestal, mejorar la calidad de los árboles y promover el movimiento en el monte (Nogales, 2017).

La presente investigación se enmarca dentro de los objetivos de la agenda 2030, en la cual se hace referencia de que “las personas vulnerables, dependen de la madera para la preparación de alimentos y para calefacción”, por lo que es

imprescindible adicionar una materia prima y darle un nuevo valor agregado al residuo de caña de azúcar que se está generando; por lo que se proyecta hasta el 2030 aumentar considerablemente la proporción de fuentes bioenergéticas. Así mismo, mediante su objetivo 11 pretende restaurar, conservar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales, potenciando las capacidades de los pequeños productores, para generar alternativas económicamente sostenibles (Secretaría Nacional de Planificación 2021, 2021).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar residuos sólidos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como materia prima para la obtención de biomasa energética para la elaboración de briquetas en la comunidad El Caucho, cantón Junín.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado de los residuos de la caña de azúcar para su aprovechamiento como biocombustible sólido.
- Determinar el tratamiento a base de los residuos de la caña de azúcar que genere mayor poder calorífico para su aprovechamiento.
- Realizar un análisis económico para la obtención de las briquetas del mejor tratamiento como aporte en la economía circular.

1.4. HIPÓTESIS, PREMISAS Y/O IDEAS A DEFENDER

Hipótesis Nula:

Ninguno de los tratamientos mantiene igual eficiencia calorífica

Hipótesis Alternativa:

Al menos uno de los tratamientos tiene una alta eficiencia calorífica

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. BIOMASA

Según Rodríguez (2020) la biomasa puede considerarse como un material orgánico producido por procesos biológicos, ya sean espontáneos o estimulados, que puede ser utilizado como fuente de energía, ya que su alta eficiencia energética, ahorro de dosis y sostenibilidad medioambiental lo convierten en una solución viable en multitud de situaciones.

La biomasa puede tener distintos orígenes, lo que permite obtener distintos tipos de productos, como carbón vegetal, etanol o biogás, de los que, puede producir electricidad (De Gregorio, 2023). Este tipo de producción de energía también es un proceso ecológico que protege el medio ambiente y tiene un costo financiero mucho menor en comparación con otras formas de energía (AQUAE Fundación, 2021).

Como indica el Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BVVA, 2022), la biomasa se suma a otras fuentes de energía renovable en los ríos y océanos, en el viento provocado por las diferencias de temperatura, en las inagotables plantas de energía solar o en las partes más profundas de la tierra.

2.1.1. TIPOS DE BIOMASA

La biomasa se puede obtener de varias fuentes (Goldoni, 2019). A continuación, veamos los tipos de biomasa más comunes:

2.1.1.1. BIOMASA RESIDUAL

Son residuos de la agricultura (madera y hierba), ganadería, silvicultura, industria maderera e industria alimentaria, etc., que aún pueden utilizarse y eliminarse como subproductos (Lorena, 2017). Algunos de sus beneficios son que ayuda a reducir los vertederos, reduce el riesgo de contaminación e incendios y es una solución económica (Ondarse, 2021).

2.1.1.2. BIOMASA NATURAL

Se produce en un ecosistema natural sin intervención humana. Un ejemplo de

dicha biomasa es la leña o las ramas. Este tipo de biomasa depende de condiciones ambientales y planes de manejo forestal y de cultivos para no afectar su nivel de variabilidad de rendimiento (Valenzuela, 2021). El problema es que la extracción intensiva de este recurso no respeta la protección del medio ambiente, por lo que ya se hablaría de cualquier combustible en especial ya sea ecológico o renovable (Aragón, 2016).

2.2. CULTIVOS ENERGÉTICOS

Estos son aquellos de los que se puede obtener el biocombustible. Se pueden dividir en dos cultivos que producen aceite y biodiesel, y cultivos que producen alcohol, donde el producto final es bioetanol (AgroSpray, 2022). Promueven el rápido crecimiento de plantas que serán utilizadas como energía o como materia prima precisa para la obtención de otros combustibles (Franquesa, 2016).

2.2.1. PROPIEDADES DE LA BIOMASA

Bustamante (2016) menciona que la biomasa es una fuente de energía renovable, la cual puede presentar una gran heterogeneidad tanto estructural, anatómica y química, las cuales dependerá de las siguientes propiedades:

- a) **Densidad Energética:** La biomasa tiene inherentemente una densidad de energía relativamente baja, es decir, requiere una alta disponibilidad para producir electricidad en comparación con los combustibles fósiles,
- b) **Contenido de Humedad:** Este es el factor más importante porque determina la cantidad de energía que se puede obtener al quemarlo. Al quemar biomasa, el agua debe evaporarse antes de que se pueda producir calor, y cuanto mayor sea el contenido de agua, menor será el poder calorífico (Hidalgo, 2017).
- c) **Tamaño y forma:** Puede tener diferentes formas y tamaños (desde gránulos hasta briquetas)
- d) **Composición Química:** La biomasa está compuesta por varios elementos como carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre, cloro (en algunos casos), y oxígeno, aunque este no se determina de manera directa (Herguedas et al, 2012).
- e) **Contenido de cenizas:** Al quemar biomasa se producen dos

combustibles: residuos, cenizas de fondo (CF) y cenizas volantes (CV) formadas a partir de material total o parcialmente quemado, partículas transportadas por el flujo de aire fuera de la cámara de combustión (García et al, 2016).

- f) **Poder Calorífico:** Es un parámetro que define la energía disponible en la biomasa, expresada como energía por unidad física (por ejemplo, joule/kg) y liberada como calor cuando la biomasa se quema por completo (López, 2021).

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA BIOMASA

Básicamente, la biomasa se obtiene quemando materiales naturales como madera, residuos vegetales e incluso desechos animales. A continuación, veamos las siguientes características que presenta la biomasa las cuales Maldonado (2021) menciona:

- a) **Se produce por medio de productos naturales**, ya que esta energía es producto de la naturaleza, y es aprovechada para eliminar el gran porcentaje que existe de materia orgánica que se encuentra en ella.
- b) **Es una energía renovable**, debido a la abundancia de los residuos y de los desechos orgánicos que hay, mediante los cuales los usamos para obtener energía
- c) **Por su baja emisión de gases**, la vuelven una energía limpia, pero para eso debe pasar por un proceso de combustión, clasificación de residuos orgánicos, selección, y por último un control de emisiones por medio de chimeneas.
- d) **Produce una gran energética**, que se genera por medio de la biomasa y que se encuentra a disposición de los usuarios
- e) **Genera energía eléctrica y térmica**, en donde la energía eléctrica es generada por medio del calor, y la energía térmica por medio de combustión.

- f) **Es una energía económica**, ya que la mayoría de materia prima proviene de desechos orgánicos por lo que no supera el valor monetario de sus competidores.

2.2.3. TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA

Existen diferentes procesos de la transformación de la biomasa, las cuales dependerá de lo físico, termoquímicos, bioquímicos y biológicos (Gómez y Sánchez, 2022). A continuación, se muestra cada proceso con sus respectivas categorías:

- a) En los procesos físicos se debe realizar una compactación o reducir el volumen de la biomasa para su tratamiento respectivo, para después hacer el secado mediante tu tratamiento térmico
- b) En los procesos termoquímicos se debe someter a tres pasos: combustión, ya que al quemar la biomasa se obtiene calor, pirólisis, que es un calentamiento sin la presencia de oxígeno, y la gasificación, para obtener hidrocarburos
- c) En los procesos bioquímicos y biológicos, se necesita de la fermentación aeróbica, que consiste transformar la glucosa en etanol, y la fermentación anaeróbica, donde se fermenta sin oxígeno y con un largo tiempo.

Cuadro 2.1. Transformación de la Biomasa.

Categoría de la Biomasa		
Procesos físicos	Procesos termoquímicos	Procesos bioquímicos y biológicos
Compactación	Combustión	Fermentación aeróbica
Secado	Pirólisis	Fermentación anaeróbica
	Gasificación	

Fuente: Desarrollo Forestal, 2016

2.2.4. VENTAJAS DE LA BIOMASA

Según Roper (2020) expresa que la biomasa tiene muchas aplicaciones, ya que se utiliza para la generación de calor y energía, el transporte y otras actividades, entre las que destacan:

- a) Es una fuente de energía renovable ya que contiene la energía del sol y del ciclo de la vida, por lo que es prácticamente inagotable.

- b) Es menos contaminante que la quema de combustibles fósiles, por lo que su uso reduce las emisiones de dióxido de carbono y tiene un menor impacto sobre la capa de ozono.
- c) La biomasa se encuentra en todas partes del planeta y es más económica
- d) Esto brinda una nueva oportunidad para el sector agrícola ya que los cultivos energéticos reemplazan a los que fueron abandonados.
- e) Casi no hay emisiones de partículas como nitrógeno y azufre y no hay contaminación.
- f) Reduce la dependencia de los combustibles fósiles.

2.3. CAÑA DE AZÚCAR

Elizalde (2016) expresa que la caña de azúcar es una planta tropical perenne con tallos gruesos y fibrosos que pueden crecer de 3 a 5 metros de altura y contiene grandes cantidades de sacarosa que se puede extraer mediante el procesamiento. También Cárdenas (2020) menciona que, durante la fotosíntesis, la caña de azúcar produce carbohidratos, los cuales son más importantes para la industria azucarera.

América Latina y el Caribe son las regiones productoras de azúcar más grandes, con Brasil produciendo 32,2 millones de toneladas de azúcar en 2007, de las cuales 54% a 55% se convirtió en etanol; En México, se espera que la producción de azúcar sea de 5.7 millones de toneladas, un aumento de 5.1% en comparación con 2006; En Argentina, la producción de azúcar debería ser mayor debido al aumento de la superficie. También se espera que aumente la producción de azúcar en Ecuador, Colombia, Perú y Guatemala, mientras que disminuirá en Cuba (Quisphe y Valle, 2020). Es por eso que la caña de azúcar se considera una de las fuentes de energía más baratas para la humanidad (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

La caña de azúcar tiene una excelente adaptabilidad y un gran potencial para la generación y conversión de energía solar, con un rendimiento de casi 70 toneladas por hectárea, ocupa el primer lugar en el mundo en términos de productividad y rendimiento, y se consume diariamente en diversas bebidas y

alimentos en todo el mundo, proporcionando importantes calorías y energía a los consumidores (Zambrano, 2019).

Cuadro 2.2. Taxonomía de la caña de azúcar.

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Subclase	<i>Commelinidae</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Subfamilia	<i>Panicoideae</i>
Tribu	<i>Andropogoneae</i>
Género	<i>Saccharum</i>
Especie	<i>S. officinarum</i>
Nombre Binomial	<i>Saccharum</i>

Fuente: Rodríguez, Jean Carlos (2017)

2.3.1. ORIGEN DE LA CAÑA DE AZÚCAR

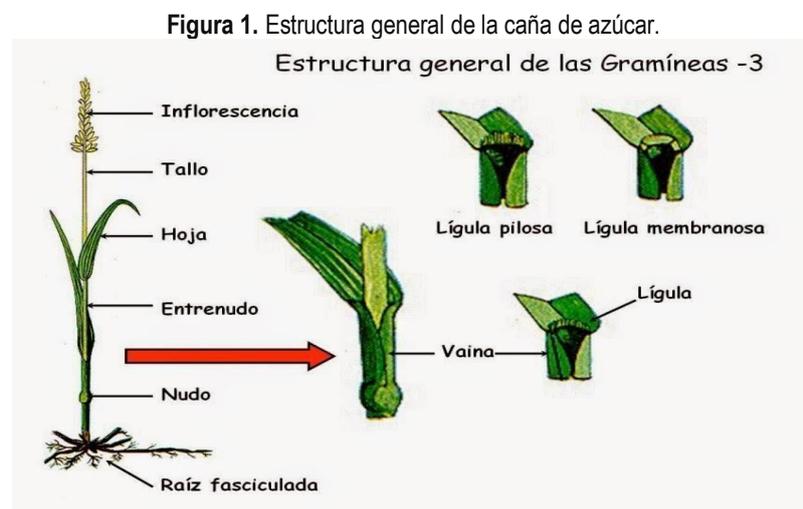
Según como indica Lara (2022), todo comenzó en el 4500 A.C. Hierba originaria de la isla de Nueva Guinea, de allí los antiguos navegantes se extendieron a Borneo, Sumatra e India, y de allí a China. El jugo de caña en esa época se obtenía triturando y endureciendo el azúcar de caña, convirtiéndolo en un azúcar conocido como "Sal de la India" (Fernández, 2021). La introducción de la caña de azúcar en el continente americano fue obra de españoles y portugueses, en donde esta última habla de la industria azucarera en Bahía (Brasil) hacia 1531 (López, 2016).

Desde el advenimiento y la expansión del cultivo de la caña de azúcar, los productores y propietarios de los medios de producción han estado íntimamente conectados con las fuerzas económicas del mundo y, por lo tanto, han influido en la formación del mundo (Lagos, 2019). Esta expansión agrícola redujo la mano de obra, la tecnología, las costumbres, la historia, las formas de organización y las relaciones sociales de producción, pero también estuvo asociada con la esclavitud y el crecimiento de personas de color en varias áreas

geográficas del mundo (Hernández et al, 2017).

2.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Yara (2022) expone que es un cultivo perenne con un macollo fuerte, 4-12 tallos y crece de 3-5 metros de altura. Como planta C4, la caña de azúcar tiene una tasa fotosintética muy alta: alrededor de un 150-200 % más alta que el promedio de otras plantas. Después de la fase de rotación, las plantas entran en la fase de crecimiento rápido, por lo que esta enorme fase de crecimiento requiere un plan nutricional completo. Sus tallos son largos, con hojas en la parte superior y muchos entrenudos (León & Bonifaz, 2018).



Fuente: InteresAgro (2014)

2.3.3. PROPIEDADES DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Castillo (2021) menciona que la caña de azúcar se utiliza principalmente para la extracción de azúcar y su jugo es un ingrediente importante en la producción de diversas bebidas alcohólicas, y es por eso que menciona las siguientes propiedades que esta tiene:

- Es una fuente natural de energía instantánea y ayuda a combatir la fatiga.
- Mantiene un índice glucémico bajo así sea que este dulce, lo que la hace perfecta para todo tipo de personas.
- Tiene propiedades antisépticas, las cuales ayudan a síntomas como resfriados y tos, fiebre y dolor de garganta.

- d) La caña de azúcar contiene mucha agua y es excelente para hidratar el cuerpo y mantenerlo en buenas condiciones.
- e) Tiene un ácido glucosídico el cual ayuda a mantener suave la piel
- f) Ayuda al metabolismo del cuerpo

2.3.4. VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR

Cobeña (2016) menciona que la producción de caña de azúcar en el Ecuador es cada vez más importante ya que el área continúa aumentando para garantizar más producción de azúcar y satisfacer la demanda nacional, en donde el 20% lo está destinado para la producción de paneles, y el 80% restante se utiliza para producir azúcar y etanol a partir de jugo y mezclas de caña de azúcar, respectivamente.

A continuación, se muestran las siguientes variedades de caña de azúcar sembradas en el Ecuador:

2.3.4.1. Ragnar (Guayaca)

Conocida también como caña guayaca, este tipo de caña como dice (Veléz, 2020), tiene las características de tener tallos de longitud media, son verdes con entrenudos cortos y delgados, y es debido a su hábito de crecimiento postrado, tiende a caerse a una edad muy temprana, lo que dificulta la poda y favorece la aparición de nuevos brotes, y por eso muestra tasas de floración muy altas en algunas áreas de producción y maduración temprano. La producción de caña de azúcar es aceptable con un alto contenido de sacarosa en el jugo y altas tasas de extracción, y es susceptible a la roya en algunas zonas cañeras de Ecuador, aunque se comporta bien contra otros complejos fúngicos en las hojas (Cobeña, 2016).

2.3.5. BAGAZO

Mesa (2018) describe al bagazo como un residuo lignocelulósico fibroso que se obtiene después de la molienda de los tallos de caña de azúcar para extraer el jugo, en donde luego se transfiere al área del horno para la combustión, que

simultáneamente produce electricidad y combustible (Terrones, 2018).

El bagazo se compone de un 20 % de fibras vasculares (también conocidas como fibras cortas), un 55 % de corteza o fibras largas y un 25 % de médula (Huerta & Tenorio, 2020). Una vez conocida su composición, se debe abordar tanto la porosidad como la resistencia al desgarrar, por lo que existen métodos para la extracción de la pulpa; cabe señalar que estos procedimientos se realizan después de que se completan las fibras (López, 2021).

2.3.6. OBTENCIÓN DE BIOMASA ENERGÉTICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar es esencialmente una excelente planta con un alto potencial de producción de biomasa, ya que los centros de investigación en los países donde se cultiva esta gramínea están tratando de obtener híbridos con mayor productividad de biomasa (Aguilar & Pérez, 2017). Durante esta misma, un 70 a 80% de esta cosecha se deja en el campo mientras que el 20-30% son trasladados a fábricas mezcladas con los tallos de la caña; todo esto porque estos residuos de caña de azúcar poseen un poder calorífico igual que el bagazo, pero a su vez mantienen una ventaja sobre él, debido a la menor cantidad de humedad que tiene, lo que hace posible rápidamente su secado (Gómez, 2017). Usando biomasa de caña de azúcar y otros compuestos orgánicos, este enfoque ayuda a reducir el consumo de combustibles fósiles al producir procesos más eficientes que producen energía basada en productos renovables (Verdezoto *et al*, 2021).

2.3.7. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La biomasa que se puede utilizar como energía es el bagazo y el RAC. El bagazo tiene un 30% en lo que corresponde a tallo verde molido, y es el residuo fibroso de la molienda; obteniendo un 50% de humedad. Esto significa que se pueden obtener 13,5 toneladas de bacha por hectárea cosechada al año, y como indica Debernardi & Ortiz (2017), corresponde a 2,7 tce (tonelada equivalente de combustible: 37,5 MJ/Kg). La caña de azúcar puede almacenar el 1,7% de la energía contenida en la radiación incidente en cultivos de regadío, y el 1,1% en campos de regadío bien manejado, con un rendimiento genético potencial de 200

a 300 t/ha, es competitivo con otros cultivos (Mathier *et al*, 2015).

2.4. BRIQUETAS

Modrego (2022) define a las briquetas como un excelente sustituto a base leña, el cual se puede utilizar como combustible para chimeneas, estufas, hornos, calderas y todos los aparatos que utilicen leña, y esta se produce mediante la compactación de aserrín y virutas de todas las industrias que los utilizan. Además, poseen mayor resistencia física y mejor inflamabilidad que el residuo original, y tienen también más energía, por lo que se calientan más rápido y producen menos humo que el carbón y la madera, lo que los convierte en una opción eficiente para cocinar (Calderón, 2021).

Es un producto 100% orgánico y renovable, ya que se elabora a partir de residuos forestales como aserrín, virutas, ramas, restos de poda catalogados como bioenergéticas sólidas, en forma de cilindros o ladrillos, como alternativa a la leña (Jurado, 2021). Ventajas: poder calorífico similar, encendido fácil y rápido, baja humedad, alta densidad, huella pequeña, homogéneo, fácil de manejar, inodoro, sin humo ni chispas, bajo contenido de cenizas (Montalvan, 2022).

2.4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS BRIQUETAS

Las briquetas son un biocombustible similar a los gránulos, pero de mayor tamaño y se produce utilizando la misma biomasa que se utiliza para fabricar gránulos (González, 2020). A continuación, se muestran las siguientes características físicas de estas briquetas:

- a) **Forma y tamaño:** La forma de las briquetas varía mucho según el equipo utilizado para obtenerlas. Sin embargo, casi todas las briquetas están dentro actualmente son cilíndricas (González, 2018). También hay una forma común de briquetas, que es una sección transversal octogonal con un orificio redondo en el medio, y otra forma es una sección transversal rectangular con cuatro esquinas ligeramente redondeadas. La máquina determina el grosor (ancho) de las briquetas, mientras que el fabricante determina la longitud de las briquetas (González E., 2018).
- b) **Aspecto y color:** El aspecto y color de las briquetas es lo más parecida

posible a la leña, por lo que parece que la leña se está quemando en la chimenea. Por esta razón, se prefieren las briquetas cilíndricas (Martin, 2019).

- c) **Densidad:** Las briquetas tienen un factor característico llamado densidad, la cual optimiza la compactación de los residuos y mejora su manejo (Díaz et al, 2019). Esta propiedad depende de dos factores: la densidad del material utilizado, cuanto mayor sea la densidad de la materia prima, mejor será el resultado en base a la masa por unidad de volumen (Espíritu, 2021).
- d) **Humedad:** El contenido de humedad de la briqueta es una consideración importante, ya que el rendimiento depende de él, y es imperativo utilizar gránulos secos de materia prima con un contenido de humedad inferior al 12 % sobre una base húmeda durante el proceso de prensado para formar las briquetas (Acevedo, 2017). Si para la fabricación de briquetas se utilizan materias primas con un determinado nivel de humedad, la humedad de las briquetas puede aplastarlas durante la extracción, lo que conduce a un deterioro de la calidad de las briquetas (Valiente, 2017).
- e) **Friabilidad:** Es una variable muy importante en las briquetas porque constantemente están siendo manipuladas y chocando entre sí, cuanto más frágiles, menos resistencia al impacto (Hoyos & González, 2019). Estas briquetas se forman por la compactación de partículas finas, por lo que es importante comprender hasta qué punto estos dos biocombustibles se descomponen, el transporte y el almacenamiento (Cunurana, 2018).

2.4.2. FABRICACIÓN DE LAS BRIQUETAS

Según lo que (Cruz, 2020) menciona, las briquetas se fabrican comprimiendo materiales orgánicos que actúan como combustible, haciéndolos más compactos, fuertes y densos, proporcionando una forma de energía más concentrada que la que pueden proporcionar el carbón o la madera. Además, el proceso de compresión "provocaba que las briquetas se quemaran más lentamente que el resto del material que se encontraba en su forma original".

- a) **Almacenamiento de materia prima.** - Las materias primas son recolectadas a través de un sistema de succión que consta de una red de tuberías ubicadas en cada cortadora y un motor de succión que aspira aserrín y virutas de cada cortadora, las virutas son transportadas al almacén de materia prima a través de tuberías.
- b) **Homogenizado de materia prima.** - Esto se hace mediante un molino de rodillos o de martillos, donde el aserrín, virutas o virutas no superan 1 mm.
- c) **Secado.** - A la salida del molino se conecta una tubería equipada con un motor para aspirar el serrín y dirigirlo al secador de pellets.
- d) **Briquetado.** - A medida que las astillas de madera salen del horno de secado, caen en una tolva ubicada en la pendiente, que transfiere las astillas de madera secas al contenedor de la máquina briquetadora.
- e) **Corte.** - Se adjunta un tubo al tubo cilíndrico, que conduce las briquetas a unas tijeras o una motosierra, que corta automáticamente el producto al tamaño deseado.
- f) **Empaque.** - Las briquetas se colocarán sobre una mesa y los trabajadores las empaquetan en costales o bolsas dependiendo del nicho de mercado al que se destine el producto.
- g) **Almacenamiento de producto terminado.** - Los productos terminados, empacados en cajas o bolsas, se apilan en paletas y luego se transportan a los almacenes apropiados con la ayuda de montacargas (García, 2015).

2.4.3. VENTAJAS DE LAS BRIQUETAS

Las briquetas ecológicas más usadas y mejores son las que están hechas de biomasa natural y no usan ningún tipo de cola debido a la humedad, y la madera actúa como una cola natural y es 100% natural y orgánica (Generación Verde, 2019), de los cuales tenemos las siguientes funciones:

- a) Ocupan menos volumen que lo habitualmente tiene la leña
- b) Tiene mayor poder calorífico
- c) Se encienden más fácil y rápidamente.
- d) Producen menos ceniza y olor que la leña.
- e) Tiene una fuente de energía renovable, y es de menor impacto en el medio ambiente.

- f) Sin aglutinantes químicos
- g) Producto ecológico
- h) Proviene de productos residuales de madera, por lo que es muy económico.

2.4.4. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS

La fabricación de briquetas de residuos agrícolas es una de las inversiones propuestas para resolver el problema de la acumulación de residuos agrícolas y su uso beneficioso, por lo que la agricultura y el procesamiento de alimentos implican enormes cantidades de desechos, muchos de los cuales es poco probable que se utilicen (Rojas, 2016). Un ejemplo de estos como el de Resano et al (2022) es el bagazo es uno de estos residuos y se produce triturando o dispersando caña de azúcar, las fibras de madera de la caña de azúcar, con jugo residual y humedad de pequeños procesos industriales de extracción destinados a la producción. Aunque hay muchas empresas al no tener conocimiento de este aprovechamiento, decide tirar estos residuos al río o quemarlos al aire libre, causando problemas al ambiente, por lo que se acudiría a realizar evaluaciones de monóxido de carbono para evaluar el nivel de contaminación que tiene el ozono y que producen las briquetas (López *et al*, 2016).

2.4.5. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA Y BIOECONÓMICA DE LAS BRIQUETAS ELABORADAS CON BIOMASA RESIDUAL DEL CULTIVO DE MAÍZ EN ECUADOR

Ecuador es el principal país en la producción de energía de biomasa según el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2020). Debido al continuo desarrollo de la economía agrícola, cuenta con abundantes recursos forestales y ganaderos, y el aprovechamiento de los residuos puede producir energía limpia y renovable. La obtención de biomasa a partir de subproductos agrícolas, como las briquetas, es una alternativa para abordar y solucionar diversos problemas ambientales; como un recurso renovable barato y respetuoso con el medio ambiente, especialmente para las personas que no tienen acceso al GLP (Riera & Palma, 2018).

El maíz duro *Zea mays* en el Ecuador es una de las pocas variedades que se cultivan en las cuatro regiones naturales del país, por lo que es considerado uno de los productos agrícolas más importantes con una superficie de unas 500.000 ha (Delgado *et al*, 2020).

Debido a la homogeneidad de las unidades experimentales se utilizó un diseño completo al azar (DCA), tomando en cuenta el poder calorífico potencial producido por cada tratamiento, con 60 g cada unidad, considerando que el tratamiento que produjo mayor poder calorífico fue el mejor (López & González, 2017). Para dicho tratamiento se añadió un 30% de aglutinante y un 70% de residuos de cultivo de maíz. Para poder obtener el poder calorífico, dichas briquetas se sometieron a una temperatura comprendida entre 125 a 160° C, donde se tomó en cuenta el tiempo de combustión según Bastidas (2019), y después el tiempo de combustión total de las briquetas más el tiempo en el que estas estuvieron encendidas por 10 min.

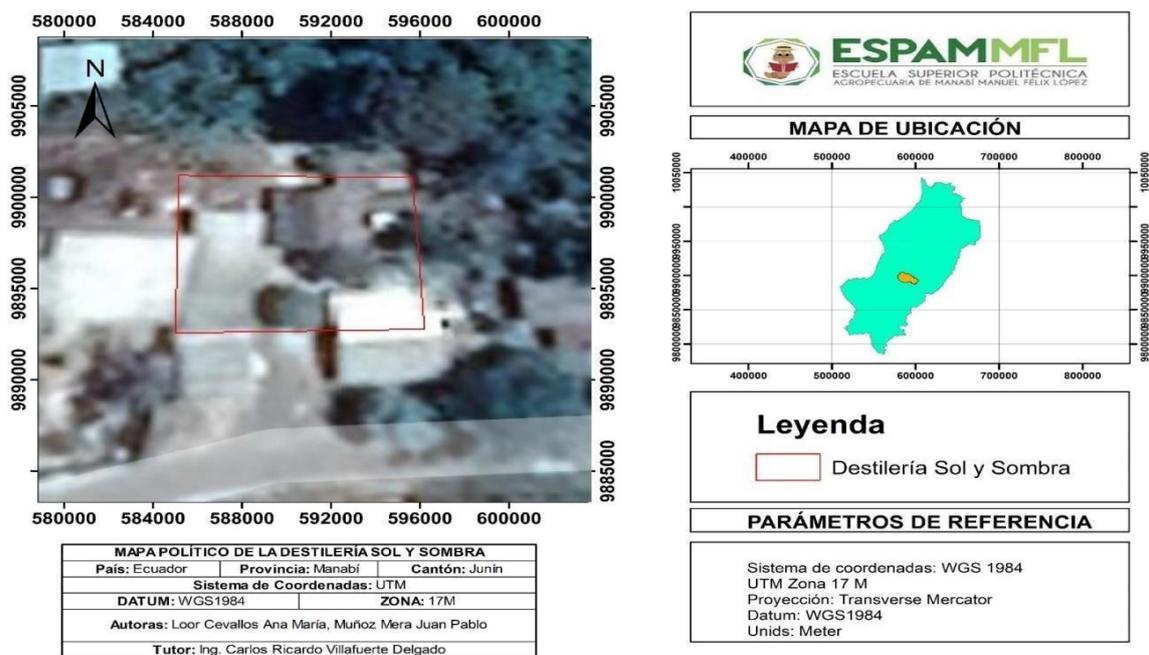
Conforme a los resultados, el mayor poder calórico de las briquetas fue el tratamiento 3, superando así el valor mínimo de lo que establece la Norma Técnica Colombiana, debido a que todas las variables están estrechamente relacionadas, cuanto menor sea el contenido de humedad de los residuos utilizados, menor será el porcentaje de cenizas removidas de las briquetas, lo que a su vez ayudará a lograr una mayor concentración de poder calorífico (Beltrón & Palacios, 2019).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La investigación se realizó en la comunidad “El Caucho” del cantón Junín, provincia de Manabí. Esta comunidad se encuentra en coordenadas UTM: X: 590637, Y:9899908.

Figura 2. Ubicación de la comunidad El Caucho, cantón Junín.



Fuente: Autores

3.2. DURACIÓN

Esta investigación tuvo una duración de 9 meses a partir de la aprobación del proyecto.

3.3. VARIABLES EN ESTUDIO

3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Proporción de residuos de caña de azúcar en la composición de briquetas

3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Poder calorífico de briquetas para generación de energía.

3.4. MÉTODOS

3.4.1. MÉTODO DEDUCTIVO

El propósito de utilizar este método es sacar conclusiones de las hipótesis propuestas, buscando una recopilación de información desde lo más general hasta lo más específico (Sarmiento, 2020).

3.4.2. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO

Se recurrió a la recopilación de diferentes materiales bibliográficos y revisión de datos que se manejan al día de hoy, con el objetivo de adquirir conocimientos teóricos para poder realizar este proyecto (Salas, 2019). Entre los materiales que se buscó información, proveniente de artículos científicos, entre los que destaca: Redalyc, Scielo, Google Académico, etc., así como también información del Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025, y del Instituto Nacional de Preinversión.

3.4.3. MÉTODO ESTADÍSTICO

Se empleó la estadística descriptiva para resumir los datos cuantitativos recopilados sobre un proyecto que nos permitió probar hipótesis o establecer relaciones causales para ese proyecto, para tabular y promediar ese conjunto de datos (Montes, 2018).

3.5. TÉCNICAS

3.5.1. ENTREVISTAS

En el presente trabajo se realizó como herramienta de investigación una entrevista basada en preguntas específicas, ya que son de carácter flexible y abierta y que permite mayor entendimiento del punto de vista interno al entrevistado (Mata, 2020). Dicha entrevista se aplicó a 5 propietarios de fábricas de caña de azúcar alrededor de la comunidad El Caucho, con el fin de conocer el manejo actual que se les da a los residuos de caña de azúcar.

3.5.2 OBSERVACIÓN

En la primera fase del estudio, la observación directa es fundamental para alcanzar los objetivos de la investigación. Esta técnica proporciona un estándar para la situación real en el campo de estudio (Mata, 2020).

3.6. FACTOR DE ESTUDIO

El presente factor de estudio fue conocer la proporción de residuos de caña de azúcar en la fabricación de las briquetas.

Cuadro 3.1. Tratamientos.

Tratamientos	Aglutinante (%)	Residuo de Bagazo (g)	Composición (%)
T ₁	20%	50 g	50%
T ₂	20%	50 g	50%
T ₃	20%	50 g	25-25%

Fuente: Autores

3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL

Las variables de pretratamiento, replicación y respuesta correspondientes a un diseño completamente al azar (DCA) se determinaron considerando el porcentaje de aglutinante como una constante en cada tratamiento de briquetas, en donde según su composición para cada tratamiento será de 20% de aglutinante de almidón de yuca y de 50 g de residuos de caña de azúcar. Cabe destacar que los tratamientos realizados son una combinación de 25% de parte interna del bagazo- 75% parte externa del bagazo, 50% parte externa del bagazo- 50% parte interna del bagazo, 75% parte interna del bagazo- 25% parte externa del bagazo y un 100% de bagazo completo.

3.8 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se planteó un diseño completamente al azar debido a que este diseño se basa en la creación de un tratamiento al azar entre unidades experimentales homogéneas, considerando relación de composición de residuos de bagazo, teniendo en cuenta el potencial de energía térmica por cada unidad (Hoz, 2016). Para la tabulación de datos, se utilizó el programa INFOSTAD, donde se realizó prueba de Tukey para obtener los resultados estadísticos.

3.9. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

En cuanto a la implementación del proyecto, se definen tres objetivos, los cuales indican los procedimientos a seguir para lograr los resultados. Los objetivos formulados son los siguientes:

3.9.1 FASE 1: DIAGNOSTICAR EL ESTADO DE LOS RESIDUOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA SU APROVECHAMIENTO COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO

En esta fase se procedió al diagnóstico del área de estudio para conocer el uso que se le da los residuos sólidos de la caña de azúcar en la comunidad El Caucho

Actividad 1: Reconocimiento del área de estudio: Durante las observaciones de campo, se identificó el área de estudio (anexo 2) y se determinó el número de agricultores en la comunidad, y además se realizó una reunión con el dueño de la fábrica de la comunidad El Caucho, para realizar las entrevistas con los agricultores del sector.

Actividad 2: Georreferenciación: Para la georreferenciación se tomó las coordenadas de la comunidad mediante la aplicación Handy GPS Lite (anexo 3), para luego con dichos datos llevarlos al software ArcGIS, con el objetivo de realizar un mapa de los terrenos que son utilizados para sembrar de caña de azúcar.

Actividad 3: Entrevista: Los temas y métodos de trabajo se determinan a través de reuniones con agricultores locales. Se realizó una entrevista a dichos agricultores (Anexo 4), con el objetivo de indagar el manejo de los residuos sólidos de caña de azúcar. Al igual se tomaron de los resultados de la entrevista, información acerca de la disposición final de los desechos de la caña de azúcar (Anexo 1).

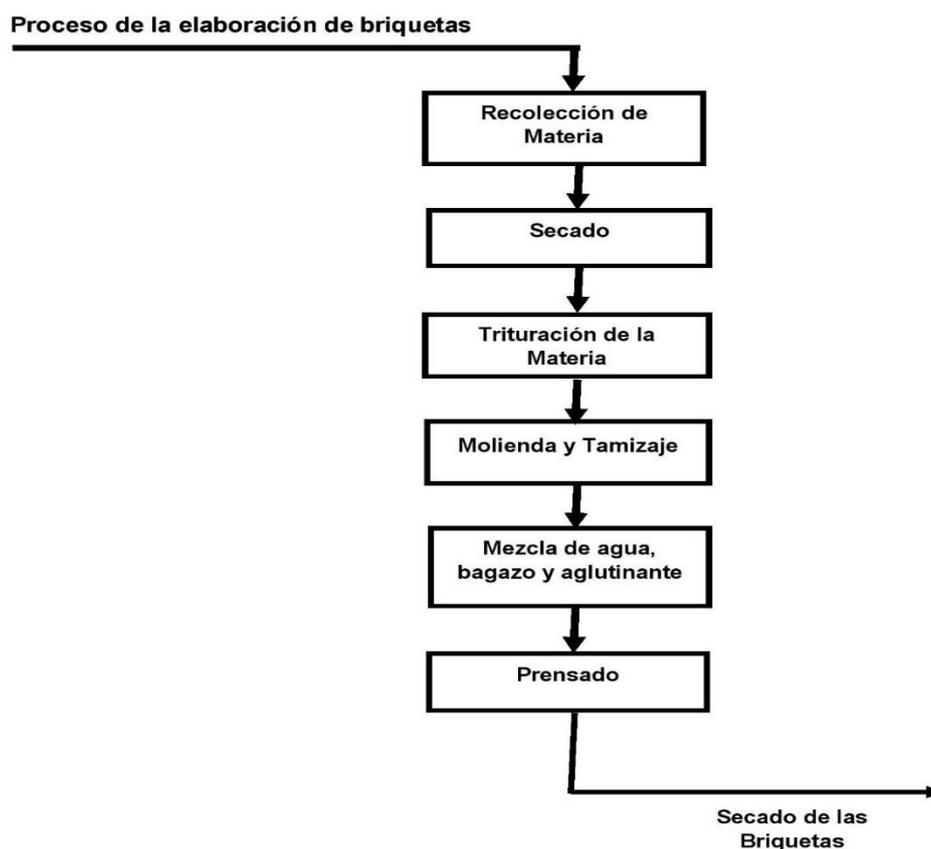
Actividad 4: Procesamiento de datos: Conforme a los resultados que se obtuvieron de la entrevista, se los procesó en el software Microsoft Excel, sobre el uso y destino final de los residuos sólidos de caña de azúcar en el sector.

Actividad 5: Recolección de materia prima: Una vez finalizado el ciclo de cosecha, los residuos sólidos de la caña de azúcar se recolectaron manualmente en la comunidad del Caucho.

3.9.2 FASE 2: DETERMINAR EL TRATAMIENTO A BASE DE LOS RESIDUOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR QUE GENERE MAYOR PODER CALORÍFICO PARA SU APROVECHAMIENTO

Para la elaboración de las briquetas, se siguió la metodología de Barba (2020) en donde se utilizó como materia prima el residuo del bagazo de la caña de azúcar, proveniente de la fábrica Campeón, ubicada en la comunidad El Caucho cantón Junín, provincia de Manabí.

Figura 3. Diagrama de la elaboración de las briquetas de caña de azúcar.



Fuente: Barba (2020)

- a) **Recolección y limpieza de la biomasa.** - Una vez recolectada la biomasa, se procedió a limpiarla, ya que los residuos se combinan con el material de fondo, que no es necesario para hacer briquetas. Para la

limpieza, se usó material manual como la escoba, con el fin de separar aquellos materiales del suelo del residuo de bagazo (Anexo 5).

- b) **Secado.** - Para el secado de biomasa se utilizaron procesos de secados naturales y artificiales. Durante tres días, el residuo se expuso a la luz solar durante 10 horas. Sin embargo, teniendo en cuenta la presencia de humedad en la cámara debido a las fuertes lluvias durante la temporada de los monzones, se procedió a colocar el residuo durante 180 minutos en una estufa de secado Memmert de 35 a 60 °C (Anexo 6).
- c) **Trituración.** - La muestra de bagazo pretratado se trituró utilizando un molino de mano, lo que resultó en un tamaño de partícula uniforme (Anexo 7).
- d) **Molienda y Tamizaje.** – Para el molido se utilizó un molino MS 300 y el tamiz de 3 mm para reducir el tamaño de los desechos a una producción óptima de briquetas para garantizar la compactación y el acabado de la superficie (Anexo 8).
- e) **Mezclado.** – Una vez obtenida el tamaño de partícula suficiente del material, se consideró la elección del aglomerante, en este caso almidón de yuca (Anexo 9).

La preparación de este componente se llevó a cabo mediante el procedimiento de Barba (2020) en el siguiente procedimiento:

- i. Pesar la cantidad de almidón, aproximadamente 20 g (Anexo 9A)
- ii. Agregar el almidón en un recipiente con agua fría, con unos 60 ml (Anexo 9B)
- iii. Mezclar el almidón con el agua fría, con el fin de obtener una mezcla homogénea (Anexo 9C)
- iv. Hervir 120 ml de agua en otro recipiente hasta llegar a un punto de ebullición, y después se procedió a adicionarla con la mezcla (Anexo 9D)
- v. Una vez que empiece a formarse burbujas en la mezcla y a desbordarse del recipiente, se retiró para poder enfriarla (Anexo 10 e).

- f) **Prensado.** – Se trabajó a una temperatura ambiente de 30 °C con 3 réplicas para cada tratamiento. Para el prensado se moldeó de forma cilíndrica, utilizando una masa de 60 g, con un diámetro de 70,68 mm, con el fin de obtener una longitud de 50 mm y 263,15 kg/m³ de densidad (Anexo 10)
- g) **Secado de briquetas.** – Se dejó secar las briquetas de forma comprimida (Anexo 11).

Luego del proceso de la elaboración de las briquetas, se analizó las siguientes variables de estudio a medir:

- a) **Humedad.** - Se determinó el porcentaje de humedad promedio para cada tratamiento de briquetas para poder determinar el contenido de humedad del producto restante antes del proceso de briquetaje. Para poder obtener el parámetro de humedad, fue necesario medir el peso de la muestra húmeda, para luego pasarla a una estufa de calentamiento alrededor de unos 120 minutos y luego pesar dicha cantidad, en donde según Arzola y García (2017), el porcentaje debe salir en una cantidad mínima de 10%. Para ello se siguió la siguiente ecuación (3.1):

$$\%H = \frac{(P_{cp} + P_o) - P_f}{P_o} * 100\% \quad [3.1]$$

En donde:

$\%H$ = Porcentaje de humedad

P_o = Peso inicial de la muestra

P_{cp} = Peso de la caja Petri

P_f = Peso final

- b) **Resistencia de compresión.** - Para poder conocer la capacidad de permanencia de las briquetas, fue necesario realizar una resistencia de compresión. Para ello, se tendrá en cuenta la siguiente ecuación (3.2):

$$Rc = \frac{Pm * K}{A} \quad [3.2.]$$

En donde:

Rc = Resistencia de compresión (kg/cm²)

Pm =Peso de la muestra (kg)

K = constante de resistencia

A = Área de la briqueta (cm²)

- c) **Tiempo de encendido.** – Para esto se tomó de cada tratamiento de las briquetas unos 1,5 gramos de bagazo, para luego añadirle en cada una varias gotas de alcohol y luego encenderlas. Luego de esto se tomó un tiempo en que las briquetas comenzaron con su proceso de combustión.
- d) **Poder calorífico.** - El aporte energético de cada componente se tiene en cuenta a la hora de calcular el poder calorífico.
- e) **Material volátil.** - Es la pérdida de masa del carbón cuando se calienta sin contacto con el aire en condiciones estándar. En pocas palabras, cuanto más volátil sea, más volátil producirá un determinado tipo de carbón cuando este se queme.
- f) **Cenizas.** - La determinación de la cantidad de cenizas se basa en la medición del residuo obtenido por calcinación en un horno de mufla a una temperatura de 600 °C.

3.9.3. FASE 3: REALIZAR UN ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS BRIQUETAS DEL MEJOR TRATAMIENTO.

Para esta fase se utilizó la metodología de Balerazo y Vences (2021), en donde se tuvo en cuenta el análisis de costos unitarios directos e indirectos (APUS) por equipo, mano de obra, materiales, transporte, etc. Se utilizó una matriz en la que se dividieron los recursos y medios necesarios para los siguientes parámetros:

Costo Directo

- a) **Equipos:** Se describió el equipo requerido para la producción de briquetas.
- b) **Mano de obra:** Son aquellos recursos humanos, los cuales fueron de necesidad para la fabricación de las briquetas.
- c) **Materiales:** Se planteó la información de los materiales que fueron necesarios para la producción de briquetas.
- d) **Transporte:** Entre ellos, se tiene en cuenta el transporte de materias primas necesarias para la producción de briquetas.

Costo Indirecto

- a) **Materiales de oficina:** Consiste en los materiales utilizados para recopilar los datos, como lápices y papel de notas.

Resultados

- a) **Total, de costos directos:** Derivado del monto de los costos que afectan directamente la producción de desgrasantes briquetas ($a_1+a_2+a_3+a_4$)

$$COSTO DIRECTO = MATERIA PRIMA DIRECTA + MANO DE OBRA DIRECTA + EQUIPOS + TRANSPORTE$$

- b) **Total, de costos indirectos:** Se determinó aplicando el monto de los costos que indirectamente afectan la producción de briquetas

- c) **Costo Total:** - Se determinó mediante la suma de costo directo más el costo indirecto (A+B)

$$COSTO\ TOTAL = COSTO\ DIRECTO + COSTO\ INDIRECTO$$

Teniendo esto se sacó el costo unitario en donde:

$$COSTO\ UNITARIO = \frac{COSTO\ TOTAL}{UNIDADES\ PRODUCIDAS}$$

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE LOS RESIDUOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA SU APROVECHAMIENTO COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO.

En una reunión con el presidente de la Asociación de Agricultores Comunitarios de El Caucho, se constató que unos 10 agricultores cultivan principalmente la caña de azúcar. Las comunidades estudiadas fueron georreferenciadas, información procesada en la aplicación Handy GPS, y también con el software de información geográfica Arcgis versión 10.4.1 y datos en formato shapefile (SHP), los cuales fueron proporcionados por la Jefatura de Gestión Ambiental, Áridos y Pétreos del GAD del cantón Junín. El Cantón Junín tiene una superficie total de 24600 hectáreas, con una superficie de siembra de caña de azúcar de 743,2 ha (Herrera, 2007).

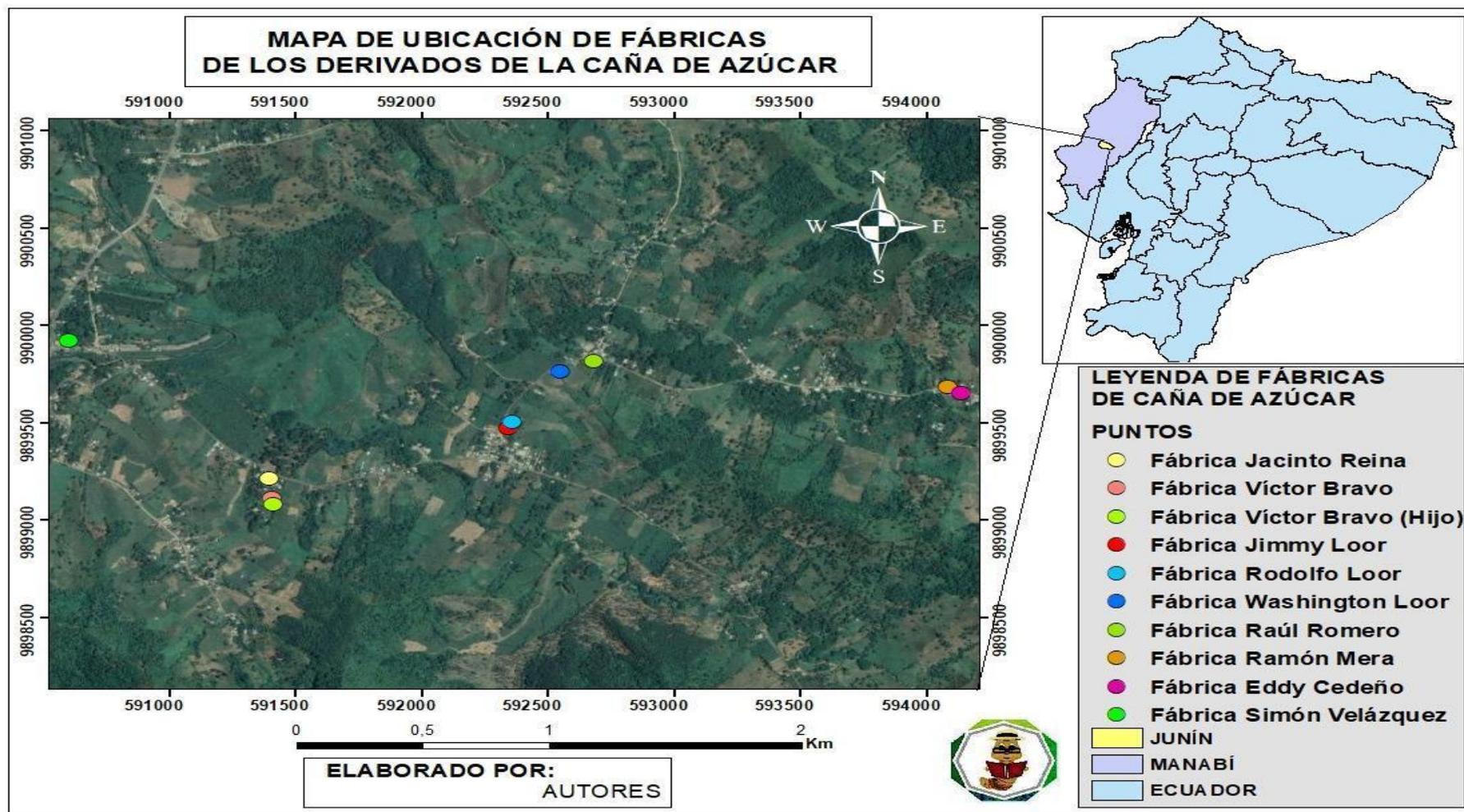
Para conocer el estado de los residuos de la caña de azúcar, la directiva de la Asociación de Agricultores de la asociación convocó a una reunión, a la que asistieron de 5 a 10 agricultores, en donde se les aplicó una entrevista. Según López y Fachelli (2017), la entrevista debe ser estructurada o estandarizada, la cual debe aplicarse a situaciones de entrevista estrictamente determinadas en las que a cada participante se le hacen las mismas preguntas y en el mismo orden; incluso los comentarios de apertura y cierre se presentan de la misma manera. De acuerdo al cuadro 4.1, se identificaron 10 fábricas con un total de 45,64 hectáreas de cultivo de caña de azúcar.

Cuadro 4.1. Cuadro de datos de información de las fábricas de caña hecha a los dueños de las fábricas.

Fábricas	Nombre del Productor	Edad	Instrucción	Ubicación	Coordenadas UTM		Número de Trabajadores	Superficie (ha) Cultivo	Producción (kg/ha)	Producción (q) sub	Periodo de Obtención
					NORTE	SUR					
1	Jacinto Reina	60	Primaria	Agua Fría	9899211	591393	3	5 ha	800 kg	20 q	Jul-Dic
2	Víctor Bravo	60	Primaria	Agua Fría	9899110	591403	3	1 ha	100 kg	240 q	Ago-Ene
3	Víctor Bravo (Hijo)	36	Primaria	Agua Fría	9899078	591408	3	1 ha	100 kg	240 q	Ago-Ene
4	Jimmy Loor	50	Secundaria	Agua Fría	9899471	592341	3	1,28 ha	35 kg	480 q	Jul-Dic
5	Rodolfo Loor	40	Secundaria	Agua Fría	9899501	592358	1	3,2 ha	600 kg	500 q	Ago-Dic
6	Washington Loor	77	Primaria	Agua Fría	9899763	592547	1	0,96 ha	100 kg	300 q	Ago-Ene
7	Raúl Romero	44	Primaria	Agua Fría	9899813	592679	3	1 ha	90 kg	300 q	Todo el año
8	Ramón Mera	58	Secundaria	Agua Fría	9899680	594080	2	7,20 ha	2400 kg	960 q	Todo el año
9	Eddy Cedeño	47	Secundaria	Agua Fría	9899652	594135	4	10 ha	3200 kg	96 q	Todo el año
10	Simón Velázquez	68	Primaria	Agua Fría	9899919	590597	8	15 ha	5000 kg	200 q	Jul-Dic

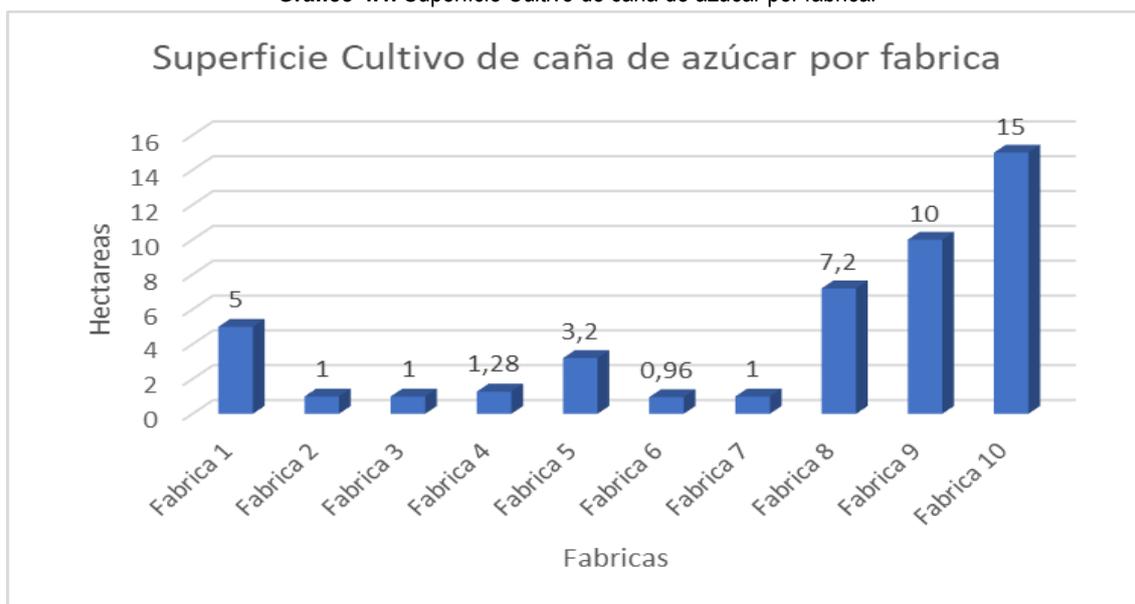
Fuente: Autores

Figura 4. Mapa de Ubicación de Fábricas de caña de azúcar de la Comunidad El Caucho.



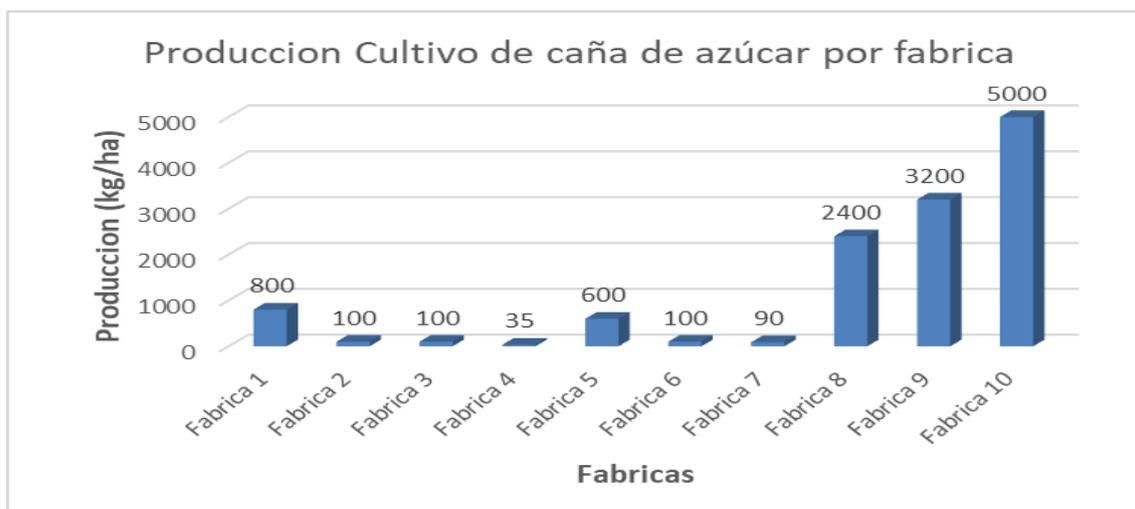
De los datos obtenidos de las entrevistas, se puede afirmar que, de 10 propietarios de fábricas de caña de azúcar, 8 tienen entre 40 y 70 años, y uno está por debajo de este rango, como es el caso del propietario 3, mientras que el propietario 6 está excede del rango de valores. Además, 4 de los 10 propietarios han asistido a la escuela secundaria, mientras que los 6 restantes sólo han asistido a la escuela primaria.

Gráfico 4.1. Superficie Cultivo de caña de azúcar por fábrica.



Fuente: Autores

El gráfico 4.1 presenta las hectáreas o superficie en donde los propietarios cultivan la caña de azúcar, siendo las fábricas 9 y 10 las que mayores hectáreas poseen, sobre todo la fábrica 10. De acuerdo a la Federación Nacional de Azucareros, FENAZUCAR, Ecuador tiene más de 110.000 hectáreas de caña de azúcar, de las cuales 80.000 a 85.000 hectáreas son destinadas a la producción de azúcar y el resto a etanol y otros derivados, como lo es la panela (Navarrete et al, 2022).

Gráfico 4.2. Producción Cultivo de caña de azúcar por fábrica.

Fuente: Autores

El gráfico 4.2, muestra la producción de caña de azúcar que se cultivan en estos lugares, todo esto con una unidad de kg/ha. En la tabla se puede verificar, que las fábricas 8, 9 y 10, son las que más cultivos de caña de azúcar producen en el año, debido al máximo de hectáreas que posee cada una de ellas.

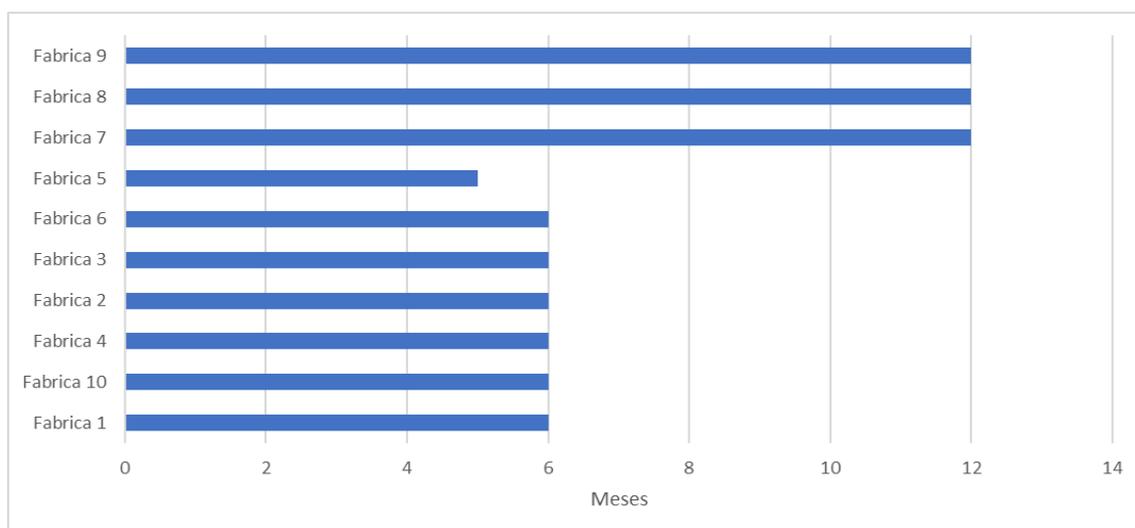
Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2022), de 2021 a 2022 se cosechó en el país 6.460.032 toneladas de caña de azúcar, y se llegó a un aproximado de 10,48 millones de sacos de azúcar de 50 kg (524.000 toneladas) de azúcar. Cabe destacar que, en el 2021, donde se produjo la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, se dio a conocer que en el Ecuador hay cultivos de hasta 130.677 hectáreas.

Gráfico 4.3. Producción de subproducto por fábrica.

Fuente: Autores

El gráfico 4.3, muestra la producción del subproducto de la caña de azúcar, en donde hubo diferentes subproductos como el bagazo, cogollo y cachaza, todo esto dado en unidad de quintales. Cabe destacar que el mayor subproducto que generan estas fábricas fue el bagazo, dándonos a conocer que la fábrica 8 es la que mayor cantidad de bagazo genera a partir de la caña de azúcar. El bagazo, que constituye el 30% de la paja verde molida, es el residuo fibroso de la molienda, se obtiene al 50% de humedad, lo que significa que de cada hectárea cosechada se pueden obtener 13,5 toneladas de bagazo al año, lo que equivale a 2,7 toneladas de carbón estándar (equivalente a una tonelada de combustible: 37,5 MJ/Kg) (Verdezoto et al, 2021).

Gráfico 4.4. Periodo de obtención del bagazo.



Fuente: Autores

El gráfico 4.4 muestra el periodo de obtención del bagazo de caña de azúcar, en el que se puede ver que la mayoría de fábricas tienen un periodo de 5 o 6 meses para obtener el bagazo que se recolecta después de que este haya extraído todo el jugo azucarado que contiene la caña de azúcar, como es el caso de las fábricas 1, 4 y 10 siendo de julio a diciembre, las fábricas 2, 3 y 6 de agosto a enero, y la fábrica 5 de agosto a diciembre. Pero existen tres fábricas como la 7, 8 y 9, las cuales extraen el bagazo todo el año, siendo así que no existe periodo para aquellos trabajadores de aquellas fábricas. El almacenamiento del bagazo, según Aguilar (2018) durante la zafra, se hace cuando sea necesario y para el uso en operaciones continuas durante un año en la industria de pulpa y papel.

El almacenamiento es la conservación del bagazo por un período de tiempo determinado para su uso en un momento determinado sin cambios de calidad que impidan su uso en un momento posterior (Aguilar, 2019).

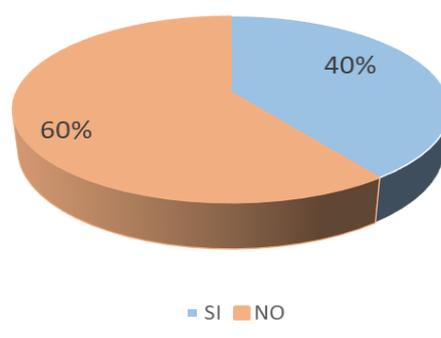
Se presentó una base de datos hechos en Excel con otros datos personales hechos al propietario de cada fábrica y a sus trabajadores. Las preguntas respectivas se basaron en el uso del subproducto de la caña de azúcar que es el bagazo, sobre su uso, destino final, comercio, etc.

1.- ¿Usted recolecta el subproducto de la caña de azúcar?

El 60% de los encuestados respondieron de manera negativa en respecto a lo que es la recolección de subproducto de caña de azúcar, mientras que el 40% respondieron que sí ante la interrogante (gráfico 4.5).

Por esto, Montes (2020) menciona que desde actividades básicas del día a día como la preparación o consumo de alimentos, generar residuos se ha vuelto una costumbre en nuestra vida cotidiana, por lo que estos residuos necesitan ser gestionados o no según su uso potencial. Pero estas gestiones no suelen realizarse, debido a que estos procesos de recolección no cuentan con recursos para poder llevar a cabo estos proyectos, los cuales pueden mejorar una infraestructura para fábricas agrícolas y rellenos sanitarios (Correal et al, 2021). En el caso de los sectores agrícolas, aquí se realizan la mayor generación de residuos por medio de maquinarias, no existe recolección ya que estos residuos van directamente a la quema para producir energía (FAO, 2018).

Gráfico 4.5. Porcentaje de recolección de subproducto de caña de azúcar.



Fuente: Autores

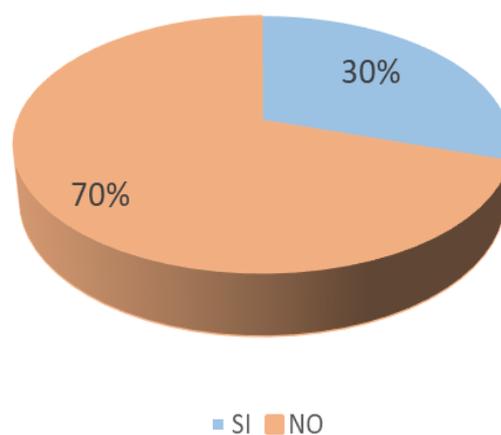
2.- En que caso de que, si se recolecte, ¿se somete a algún tipo de tratamiento de conservación?

En el gráfico 4.6 se muestra que el 30% de los encuestados respondieron que, si hacen tratamientos de conservación del subproducto al recolectarla, mientras que el 70% no aplican ningún tipo de tratamiento.

Esto es debido a que la mayoría de trabajadores y propietarios de las fábricas, carecen de conocimiento sobre métodos de como conservar estos residuos; mientras que los que respondieron sí, aplican para método de secado o para usarlo como biocombustible en las hornillas.

Aunque en la mayor parte de fábricas de caña de azúcar alrededor del mundo, procesar caña se vuelve una actividad temporal para los trabajadores, ya que ellos almacenan bagazo cuando es época de zafra, y dado esto se la utilizará para operaciones en donde se le dan un tratamiento para fabricación de papel, pero para esto ellos guardan el bagazo durante un tiempo para poder emplearlo en esto (Aguilar, 2018).

Gráfico 4.6. Porcentaje de tratamiento de conservación de los residuos.



Fuente: Autores

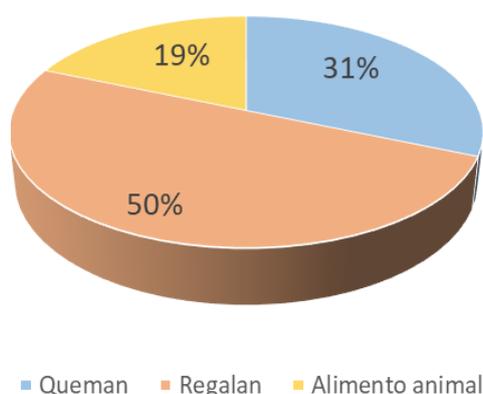
3.- ¿Cuál es el destino final del subproducto?

El 50% de los trabajadores, según se muestra en el gráfico 4.7, deciden regalar el bagazo como destino final, siendo este el método más fácil para ellos; mientras que el 31% aplican a la quema del subproducto, y por último el 19% deciden utilizar el bagazo para alimento de ganado, de cerdos, etc.

Cabe destacar que mucha de las fábricas encuestadas aplica más de 1 uso, ya sean 2 o 3, ya que muchos de ellos la usan para hornillas que sirven para obtener biocombustible sólido, otros los prefieren regalar a personas para el campo, ya que usan este bagazo como cama para lodazales; así mismo algunas de las fábricas poseen ganado donde ellos trabajan siendo alimento para ellos.

Como se ha mencionado anteriormente, el bagazo es un residuo utilizado como materia prima para la fabricación de papel, debido al alto contenido de fibra que este contiene, por lo que en muchos países se está dejando de quemar este residuo para la realización de este producto, o también como lo menciona Lazo (2022) sirve como combustible para turbinas. Así mismo, el bagazo contiene un 80% de fibra neutro detergente y 30% de proteínas, lo cual es un valor nutricional muy bueno, y esto ayuda en reducir la ingestión de los animales quien la consume, y en el caso del ganado, no afecta en la producción de leche que ellas realizan, sino más bien les ayuda a producir más (Gonzales, 2020).

Gráfico 4.7. Porcentaje de destino final del subproducto.



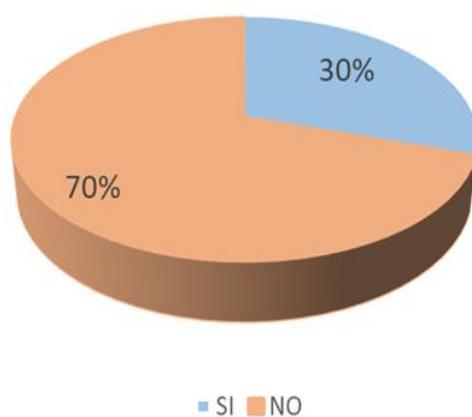
Fuente: Autores

4.- ¿Usted hace un intercambio de residuos de bagazo con otras personas?

El gráfico 4.8 muestra el porcentaje de intercambio que hacen los trabajadores de fábricas de caña de azúcar con otras personas. El 70% de los trabajadores no realizan intercambios de bagazo, mientras que el 30% afirman que si lo hacen. Cabe aclarar que este tipo de intercambio en el país, se le llama “trueque”, y esto consiste en dar bagazo a personas que lo necesitan, ya sea para alimento de ganado, como también para hacer camas en los suelos lodosos de los campos. A cambio de esto, estos trabajadores reciben productos, que en la mayoría son alimenticios como, por ejemplo: queso, leche, frutas, embutidos, granos, etc.

En Ecuador, el “Trueque” o también “Cambeo”, se considera una actividad ancestral, en la que intervino la relación (reciprocidad, intercambio, racionalidad) entre los pueblos andinos, que se manifestó en el intercambio de productos completamente sin dinero. Además de que esta tradición es incorporada como una actividad en la lista representativa del PCI (Patrimonio Cultural Inmaterial) mediante el Acuerdo Ministerial N°137 (Ministerio de Cultura y Patrimonio, 2018).

Gráfico 4.8. Porcentaje de intercambio de residuo de bagazo a personas.



Fuente: Autores

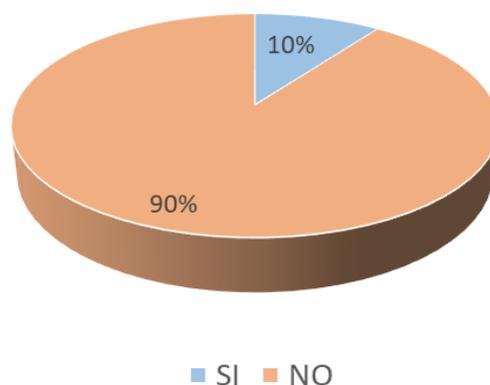
5.- ¿Recibe usted algún incentivo por parte del estado o alguna entidad ya sea pública o privada para el manejo de cultivo de caña?

El 91% de los trabajadores encuestados, dieron a conocer que no reciben ningún incentivo o dinero por parte del estado para el manejo de sus cultivos de caña, mientras que sólo un 9% de los trabajadores restantes sí lo reciben (gráfico 4.9).

Cabe destacar que la mayoría de fábricas no reciben incentivos del estado, ya que su propia fábrica y cultivos van corriendo por cuenta propia, así como también para sus ganados y animales. En toda esta comunidad donde hay fábricas de panela, aguardiente, así como también a todo nivel de Manabí no reciben ningún dinero por parte del estado.

Actualmente estos incentivos se priorizan con base en diagnósticos participativos y consentimiento libre e informado, permitiendo así a las asociaciones de beneficiarios mejorar sus medios de vida. Como socios, las comunidades locales tienen el compromiso de transformar sus sistemas agroalimentarios en respuesta al medio ambiente, además de que estos productores tienen una cercanía con el Gobierno, ya que por ellos siguen desarrollando un mejor sistema agrícola sostenible (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2022).

Gráfico 4.9. Porcentaje sobre incentivo de los trabajadores para manejo de cultivo de caña.



Fuente: Autores

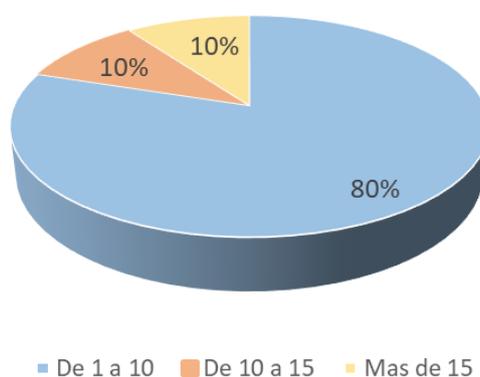
6.- ¿Cuál cree usted que sería la cantidad de bagazo de caña de azúcar que se genera por cada parada que realiza?

El 80% de los trabajadores manifestaron que recolectan por cada parada o arranque una cantidad de bagazo de 1 a 10 quintales, mientras que un 10% recolecta una cantidad de 10 a 15 quintales, y por último el 10% restante recolecta más de 15 quintales de bagazo de caña de azúcar (gráfico 4.10).

Cabe mencionar que las famosas “paradas” de estas fábricas de caña de azúcar se conocen por los litros de aguardiente que recolectan, que por lo general llenan un tanque con aguardiente. Hay que destacar que la mayoría de fábricas de esta comunidad solo recolectan de menos de 10 quintales de bagazo, entonces dependiendo de cuantos tanques de aguardiente sacan diariamente, sabremos cuánta cantidad de bagazo se recolecta por cada parada.

Zambrano (2021) destaca que Ecuador tiene una gran diversidad de aguardiente típicos de todas las culturas, su producción se ha convertido en la actividad de sustento más importante para muchas familias, y juegan un papel protagónico en la economía nacional a través de empresas familiares. Aunque debido a las ventas informales, conduce a una competencia desleal, baja visibilidad y expansión, y siguen los problemas de marketing (Macias, 2020).

Gráfico 4.10. Porcentaje de cantidad de bagazo por parada.



Fuente: Autores

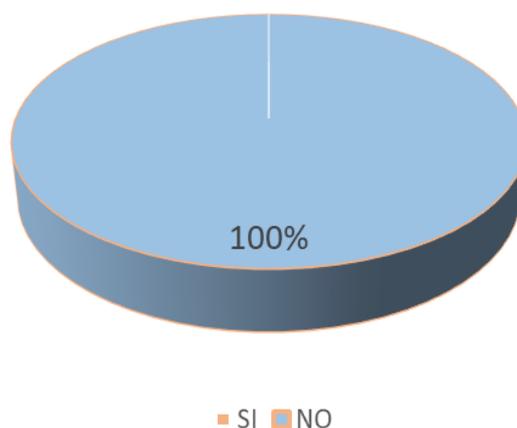
7.- ¿Conoce usted alguna alternativa para aprovechar este residuo?

En el gráfico 4.11 se observa el porcentaje sobre alguna alternativa que le dan los trabajadores al bagazo, en donde todas las fábricas encuestadas dieron una respuesta negativa ante la pregunta.

Como hemos mencionado, esto es debido a que los trabajadores no poseen el conocimiento y la información sobre este residuo, y tampoco cuentan con capacitaciones, y no reciben ningún tipo de incentivo para motivarlos a adoptar y desarrollar nuevos productos.

Aunque hay que destacar que la mayoría de fábricas azucareras solo usan la alternativa que es el abono orgánico, ya que, mediante eso, el bagazo les resulta fácil para mejorar la nutrición del suelo y tener una buena producción, lo cual les resulta muy viable el uso de este residuo, ya que como no cuentan con alguien quien les comercialice este producto, entonces va por mejor camino con este aprovechamiento (Ávila, 2021).

Gráfico 4.11, Porcentaje de alternativa de aprovechamiento del bagazo.



Fuente: Autores

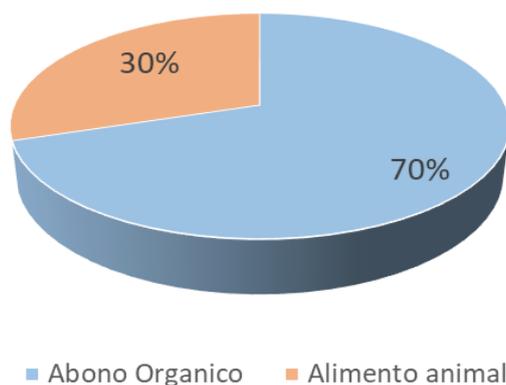
8.- ¿Cuál de estas opciones preferiría emplear el bagazo de caña de azúcar?

El 70% de los trabajadores encuestados, respondieron que prefieren usar el bagazo para alimento de ganado, mientras que el 30% lo prefiere usar para abono orgánico (gráfico 4.12).

Como lo menciona Salgado (2020) que, desde una perspectiva agrícola, los métodos de manejo de residuos orgánicos incluyen el compostaje y el vermicompostaje, que producen abonos de muy buena calidad que contienen altos niveles de materia orgánica y otros elementos asimilables y amigables con las plantas.

Así mismo este autor menciona que en la ganadería, los residuos agrícolas se utilizan como fuente de alimento, especialmente para los rumiantes, ya que la mayoría de estos residuos son lo suficientemente nutritivos para que los animales coman. Esto puede reducir el costo de producción de alimentos para animales y, por lo tanto, aumentar significativamente la rentabilidad (Jácome et al, 2023).

Gráfico 4.12. Porcentaje de uso del bagazo de caña de azúcar.



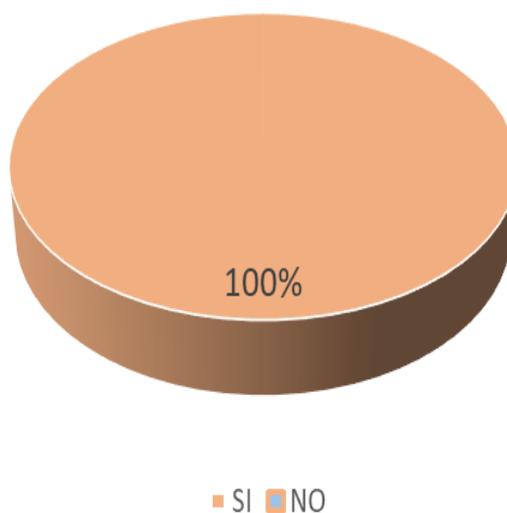
Fuente: Autores

9.- ¿Conoce usted si el mercado es apropiado para comercializar estos subproductos?

En el gráfico 4.13 se observa el porcentaje en donde se le preguntaron a los encuestados si hubiera posibilidad de comercializar el bagazo al mercado externo, por lo que el 100% afirmaron que sí.

El manejo, evaluación y aprovechamiento adecuado de los residuos agrícolas en las comunidades contribuirá a una mejor calidad de vida, principalmente a través de los co-beneficios económicos derivados de la apertura de nuevos mercados sostenibles. En cuanto a la caña de azúcar, es una gran inversión que se puede hacer porque podemos encontrar una amplia gama de productos en azúcar, panela, etanol, y sobre bagazo, ya que por esto habrá una expectativa en el sector para fines de producción para el mercado interno y exportación (Paucar, 2018).

Gráfico 4.13. Porcentaje de comercializar el bagazo en el mercado.



Fuente: Autores

4.2. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO A BASE DE LOS RESIDUOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR QUE GENERE MAYOR PODER CALORÍFICO PARA SU APROVECHAMIENTO.

4.2.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LOS RESIDUOS

Dicho proceso fue realizado en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, precisamente en el Laboratorio Químico (Anexo 13).

Cuadro 4.2. Porcentaje de humedad del bagazo de caña de azúcar.

Residuo de bagazo	Porcentaje inicial de Humedad%	Porcentaje Final de Humedad %
Cascarilla (Afuera)	76,63	4,37
Pulpa (Adentro)	92,99	3,68

Fuente: Autores

De acuerdo al cuadro 4.2, se establecen los porcentajes de humedad de los residuos de bagazo de caña de azúcar, en donde se determinaron los tratamientos T_1 (cascarilla) y T_2 (pulpa), dándonos un resultado de 4,37 para T_1 , y 3,68 para T_2 , siendo estos aptos para seguir con el proceso de elaboración de las briquetas, cumpliendo así con lo establecido en el capítulo III. Aunque hay diferencia en autores como Mariaga, et al (2017), el cual sugiere un 12% de humedad para fabricar briquetas, debido a que un alto contenido de humedad afecta significativamente la producción de poder calorífico.

4.2.2. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES A MEDIR

Cabe destacar que las primeras cuatro variables (humedad, materiales volátiles, cenizas y poder calorífico) fueron realizadas en el laboratorio de biomasa del Instituto de Investigación Geológico y Energético de la ciudad de Quito (Anexo 13 y 15).

4.2.2.1. HUMEDAD

Para esta variable, se estableció el valor según lo indica la ecuación 3.1, en donde se presentan los siguientes resultados de los tratamientos, en donde T_2 resultó con un porcentaje mayor, debido a que se empleó pulpa de bagazo, ya que esta al poseer mayor humedad, se da una mejor continuidad a su abastecimiento (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2018).

Cuadro 4.3. Porcentaje de humedad de las briquetas.

Tratamientos	Humedad %
T ₁	8,93
T ₂	9,61
T ₃	9,18

Fuente: Autores

En el cuadro 4.4 correspondiente al análisis de varianza de humedad, donde se observa que el valor P es menor a 0.05, lo que quiere decir que hay una diferencia significativa en los tratamientos con el 95% de confianza, así como Macias (2017) comprobó que también hubo diferencia significativa en sus tratamientos con bagazo de caña de azúcar, como es el caso de Jaramillo (2017), donde obtuvo 0.05 en P, debido a que usaron como almidón de yuca.

Cuadro 4.4. ANOVA para el porcentaje de Humedad.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor P
Tratamientos	0,7222889	2	0,361144	92,601	0,000
Error	0,02340	6	0,003900		
Total	0,7456889	8			

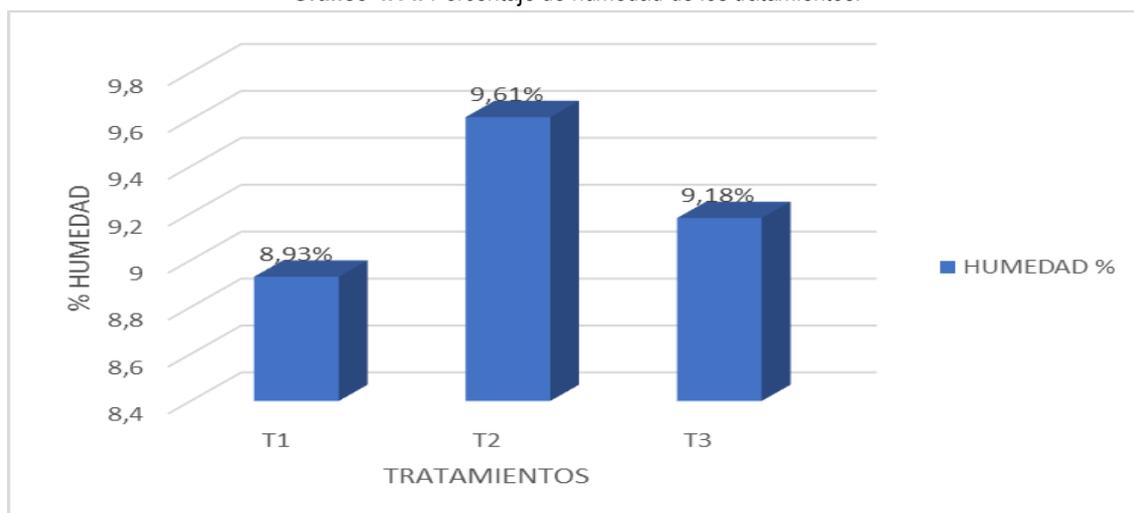
Fuente: Autores

Cuadro 4.5. Prueba Tukey de Humedad.

	T ₁	T ₃	T ₂
T ₂	0,69	0,43	0,00
T ₃	0,26	0,00	
T ₁	0,00		
Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión	
T ₁ -T ₂	-0,69	Significativa	
T ₁ -T ₃	-0,26	Significativa	
T ₂ -T ₃	0,43	Significativa	

Fuente: Autores

En el cuadro 4.5 referente a la prueba de Tukey, se muestra que hay diferencia significativa para todos los tratamientos. Huamán & Ramírez (2021) en su investigación que realizó de briquetas con residuos agrícolas generados, identificaron que de los 5 tratamientos donde usaron diferentes tipos de aglutinantes, solo uno salió con un mayor porcentaje de humedad de 13,30%, debido a que usaron gel de sábila para este tratamiento, ya que este producto sirve como aglutinante para presencia de polisacáridos, así como también sirve como floculante para sistema de tratamiento de agua, y por ello presentan diferentes porcentajes de humedad.

Gráfico 4.14. Porcentaje de humedad de los tratamientos.

Fuente: Autores

En el gráfico 4.14 se muestra el resultado de los porcentajes de humedad de cada uno de los tratamientos, en donde se puede ver que el tratamiento con menor humedad fue el T₁ (cascarilla de bagazo) con porcentaje de 8,93%, mientras que el tratamiento con un porcentaje mayor de 9,61% fue el T₂ (pulpa de bagazo), por lo que quiere decir que la pulpa es capaz de recolectar mayor humedad a diferencia de los otros, ya que hay que destacar que todos los tratamientos fueron tratados a una misma temperatura al momento del proceso, por lo que los valores de cada uno cumplen con lo que indica Mendoza et al (2020), de que el valor mínimo para poder realizar estas briquetas deben ser de al menos 12% de humedad.

4.2.2.2. MATERIAL VOLÁTIL

El valor promedio del porcentaje de material volátil, se presentan a continuación con los resultados que fueron obtenidos por cada tratamiento, donde se comprueba que T₁ fue el tratamiento que tuvo mayor material volátil, ya que se usó cascarilla de bagazo, lo cual lo vuelve una fibra biodegradable y usado también para compostaje (Miraflores, 2023).

Cuadro 4.6. Porcentaje de material volátil de las briquetas.

Tratamientos	Material Volátil %
T ₁	82,99
T ₂	82,15
T ₃	82,91

Fuente: Autores

En el cuadro 4.7, se observa el análisis de varianza donde el valor P resulta ser menor al 95% de confianza que es 0.05, por lo que los tratamientos de bagazo de caña de azúcar difieren entre sí, debido a que el material volátil es mayor cuando disminuye la ceniza, coincidiendo con Tonny (2018), el cual indica que ambas variables están relacionadas con el potencial energético del subproducto.

Cuadro 4.7. ANOVA para el porcentaje de Material Volátil.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	Valor P
Tratamientos	1,3110222	2	0,655511	10,008	0,012
Error	0,39300	6	0,065500		
Total	1,7040222	8			

Fuente: Autores

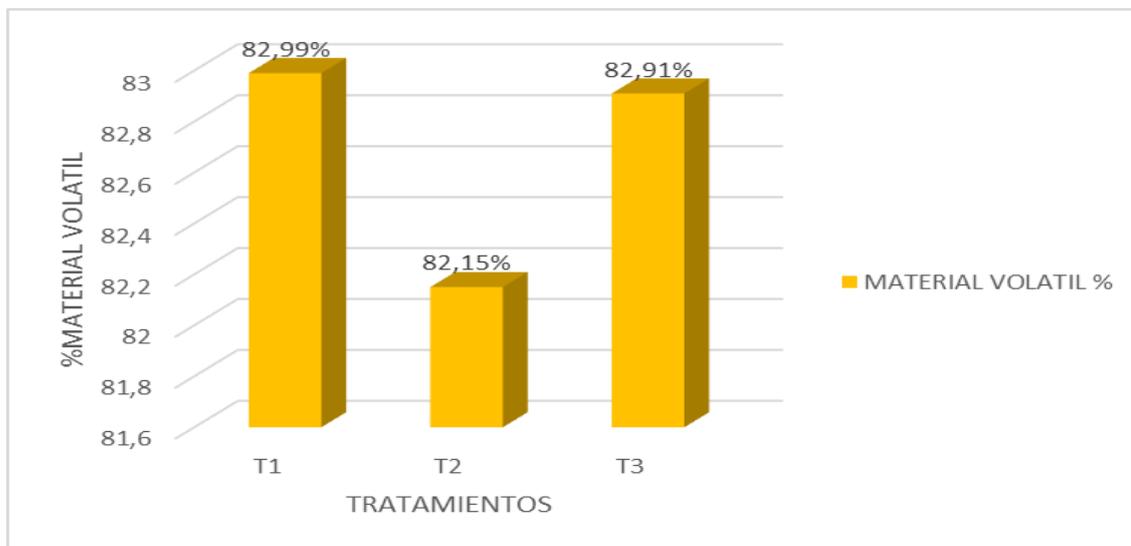
Cuadro 4.8. Prueba Tukey de Material Volátil.

	T ₂	T ₃	T ₁
T ₁	0,85	0,08	0,00
T ₃	0,77	0,00	
T ₂	0,00		

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
T ₁ -T ₂	0,85	Significativa
T ₁ -T ₃	0,08	No significativa
T ₂ -T ₃	-0,77	Significativa

Fuente: Autores

En el cuadro 4.8 se muestran las diferencias estimadas por cada tratamiento realizado en la prueba de Tukey, en donde no hay diferencia significativa entre T₁ y T₃, por lo que el valor no difiere entre sí. Todo esto es porque los porcentajes de material volátil son altos, tal y como Ramírez (2021) en su investigación de briquetas elaboradas con madera frondosa, demostraron que el material volátil tiene porcentajes de 79 a 88%, ya que esta tiene una relación para la temperatura como para la presión utilizada en la concentración.

Gráfico 4.15. Porcentaje de Material Volátil de los tratamientos.

Fuente: Autores

En el gráfico 4.15 se presenta el porcentaje de material volátil de los tratamientos, donde se puede denotar que T_1 y T_3 tienen el mismo mayor contenido de material volátil con 82,99 y 82,91%, siendo el que tiene menor contenido T_2 con 82,15%, debido a que estos valores mayores disminuyen en contenido de cenizas, y además que si estos valores fueron bajos, dificultaría al momento de encenderlas, aunque podría tener una combustión buena, ya que al ser mayores produce humo y libera energía (Montelongo et al, 2020).

4.2.2.3. CENIZAS

En el cuadro 4.9, se detalla a continuación la variable ceniza, se puede observar que los valores fueron muy bajos que las otras variables, y se puede ver que T_2 posee el mayor porcentaje de cenizas, ya que su resultado es similar a los que indica Aguilar (2017) el cual manifiesta que se empleó pulpa de bagazo, un material con fibra de gran potencial y que nos brinda mayor poder energético.

Cuadro 4.9. Porcentaje de la variable Cenizas.

Tratamientos	Cenizas %
T_1	2,30
T_2	3,17
T_3	2,65

Fuente: Autores

El valor P del análisis de varianza presentado en el cuadro 4.10, se muestra que es menor a 0.05, lo que demuestra que hubo diferencia significativa en todos los tratamientos. Por su parte, Bermeo (2019) comprobó en sus resultados de ANOVA que su Valor P excedió de los 0.05% que estaba permitido, siendo 5,14 su resultado, por lo que no hubo diferencia significativa en sus tratamientos.

Cuadro 4.10. ANOVA para la variable Cenizas.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	Valor P
Tratamientos	1,1509556	2	0,575478	60,933	0,000
Error	0,05667	6	0,009444		
Total	1,2076222	8			

Fuente: Autores

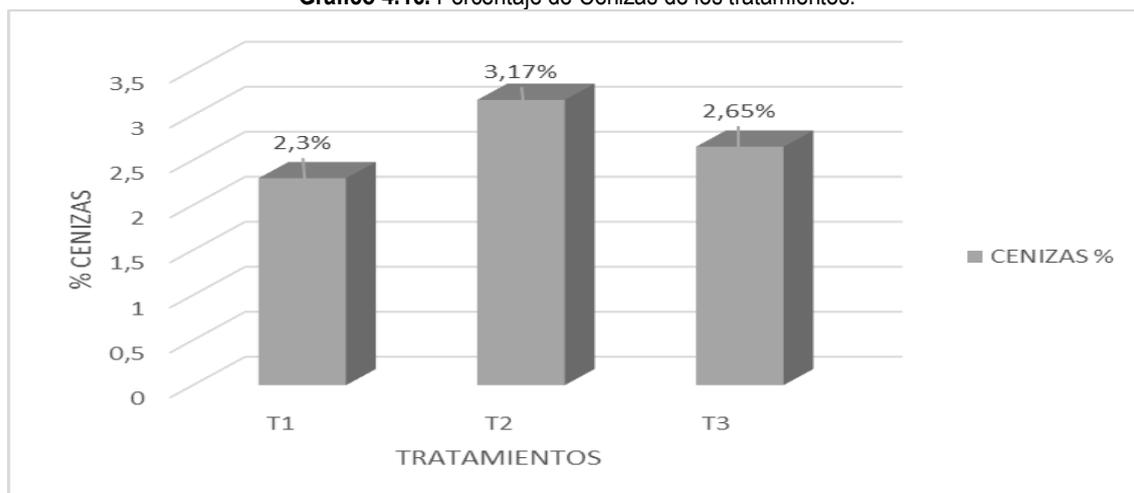
Cuadro 4.11. Prueba Tukey de Cenizas.

Tratamientos	T ₁	T ₃	T ₂
T ₂	0,87	0,52	0,00
T ₃	0,35	0,00	
T ₁	0,00		

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
T ₁ -T ₂	-0,87	Significativa
T ₁ -T ₃	-0,35	Significativa
T ₂ -T ₃	0,52	Significativa

Fuente: Autores

En la prueba Tukey presentada en el cuadro 4.11, se muestra que todos los tratamientos tienen una diferencia significativa de acuerdo al nivel de confianza de 95%, entonces todos los tratamientos T₁, T₂ y T₃ difieren entre sí. La NTC-2060, donde dice que el porcentaje de ceniza no debe sobrepasar del 30%, caso contrario no tendría material volátil para su transpiración, dado que en la investigación de sus porcentajes no fueron significativos, aunque llegó a un 13% de cenizas, cumpliendo así con lo establecido por Alarcón (2017).

Gráfico 4.16. Porcentaje de Cenizas de los tratamientos.

Fuente: Autores

En el gráfico 4.16 se presenta el porcentaje de cenizas de las briquetas por los tratamientos, en donde se observa que el T1 tuvo menor contenido de ceniza con un valor de 2,30%. No obstante, los valores de contenido de cenizas van tomados de la mano con las variables de humedad y material volátil, ya que, al tener valores mayores de ceniza, entonces, esta disminuiría.

Por lo tanto, esto cumple con la NTC-2060, en donde estos valores son menores de 30% lo cual estas permitido en la normativa. Macias (2018) en su investigación indica que el contenido de cenizas depende de la propia fuente de biomasa, donde la cantidad de cenizas aumenta, por lo que el biocombustible es perjudicial en la combustión, porque tiende a la formación de escoria en la caldera.

4.2.2.4. PODER CALORÍFICO

El cuadro 4.12 se ilustra los porcentajes de poder calorífico realizado en las briquetas de caña de azúcar, donde el tratamiento que resultó con mayor poder calorífico fue T₁, realizado con cascarilla de bagazo, debido a que estudios realizados por Assureira (2022), expresan que la cáscara de bagazo tiene mejores propiedades en la combustión.

Cuadro 4.12. Porcentajes de la variable Poder Calorífico.

Tratamientos	Poder calorífico MJ/kg
T ₁	18,34
T ₂	18,01
T ₃	18,28

Fuente: Autores

En el análisis de varianza que se detalla en el cuadro 4.13, el valor P es menor que 0.05%, donde existe una diferencia significativa. Cartagena et al (2023) indicaron que hubo una diferencia significativa en los tratamientos que hicieron con carbón vegetal, debido a que se mostró un potencial energético significativo, con briquetas de al menos un 16% de poder calorífico.

Cuadro 4.13. ANOVA del Poder Calorífico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	Valor P
Tratamientos	0,1868222	2	0,093411	7,671	0,022
Error	0,07307	6	0,012178		
Total	0,2598889	8			

Fuente: Autores

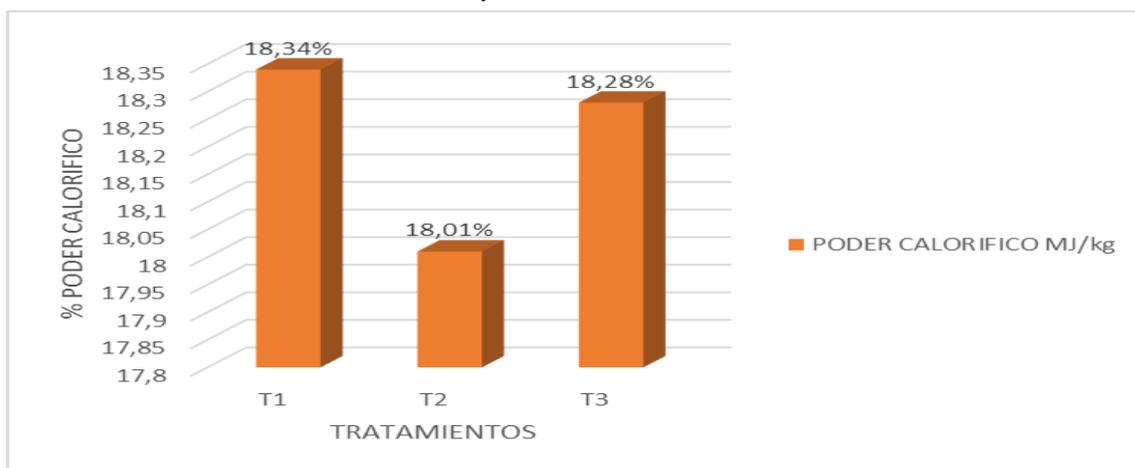
Cuadro 4.14. Prueba Tukey del Poder Calorífico.

	T ₂	T ₃	T ₁
T ₁	0,33	0,06	0,00
T ₃	0,27	0,00	
T ₂	0,00		

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
T ₁ -T ₂	0,33	Significativa
T ₁ -T ₃	0,06	No significativa
T ₂ -T ₃	-0,27	No significativa

Fuente: Autores

En el cuadro 4.14 se puede detallar en la prueba de Tukey que no existe diferencia significativa entre los tratamientos: T₁ con T₃, y T₂ con T₃. Ordoñez (2017) en la correlación de su investigación donde fabricaron briquetas con bagazo, en cuanto al poder calorífico resultó una diferencia significativa con tratamientos de cascarilla debido a que su porcentaje fue de 6716,9 cal/g.

Gráfico 4.17. Porcentaje del Poder Calorífico de los tratamientos.

Fuente: Autores

Con respecto al gráfico 4.17, se puede denotar que T₁ (cascarilla de bagazo) es el tratamiento que presenta mayor poder calorífico con 18,34 MJ/kg, ya que al ser de cascarilla se obtiene un mejor rendimiento en masa y en calor, igualmente también reduce emisiones de humo y de material particulado en el ambiente (Mera, 2017). Sin embargo, este valor de T₃ supera el valor mínimo que sugiere la NTC-2060, donde sugiere que el valor permitido para poder calorífico sea de 12,50 MJ/kg, por lo que este tratamiento no es aceptable por esta norma.

4.2.2.5. RESISTENCIA DE COMPRESIÓN

Para poder obtener los resultados de esta variable, se trasladaron las muestras hacia los laboratorios de suelos de la ciudad MORA de Portoviejo (Anexo 14), donde cada briqueta paso una máquina de tracción-compresión, para poder saber cuánto tiempo duraban en la máquina y cuan compacta resultaba cada una (Vera, 2020). De acuerdo a la ecuación 3.2 se obtienen:

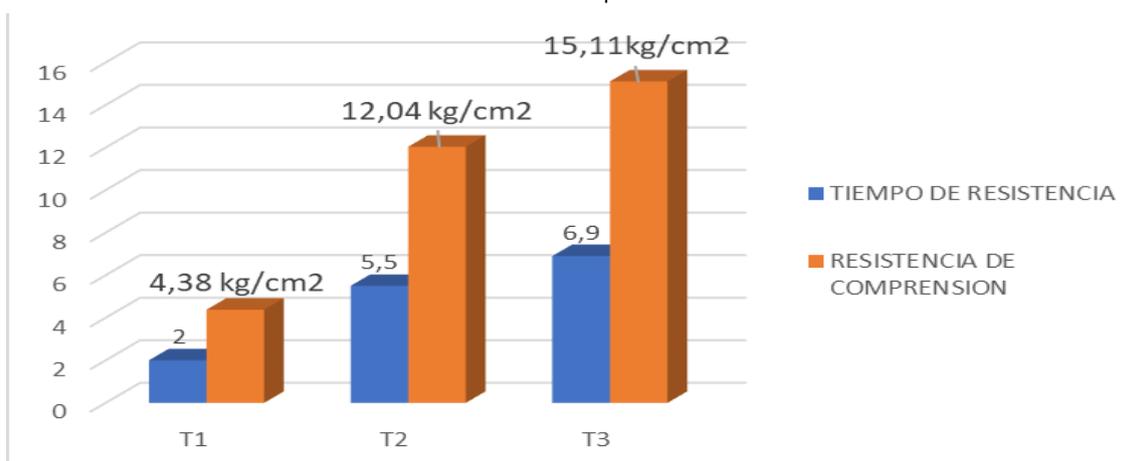
Cuadro 4.15. Resultados de Resistencia de compresión de las briquetas.

Tratamientos	Tiempo de duración	Resistencia de compresión (kg/cm ²)
T ₁	2,0	4,38
T ₂	5,5	12,04
T ₃	6,9	15,11

Fuente: Autores

Según la tabla 4.15 se muestran que los tratamientos que resistieron más tiempo en la máquina fueron T₂ y T₃ (pulpa y mixta), debido a que la pulpa tiene un buen potencial de fibra, lo que hace que esta se mantenga resistente para cualquier trabajo experimental, caso contrario a lo que le paso al T₁, que resistió menos tiempo que las otras, debido a que la briqueta fue hecha a base cascarilla de bagazo, lo que la hizo más vulnerable (Arévalo, 2018).

Gráfico 4.18. Resistencia de Compresión de los tratamientos.



Fuente: Autores

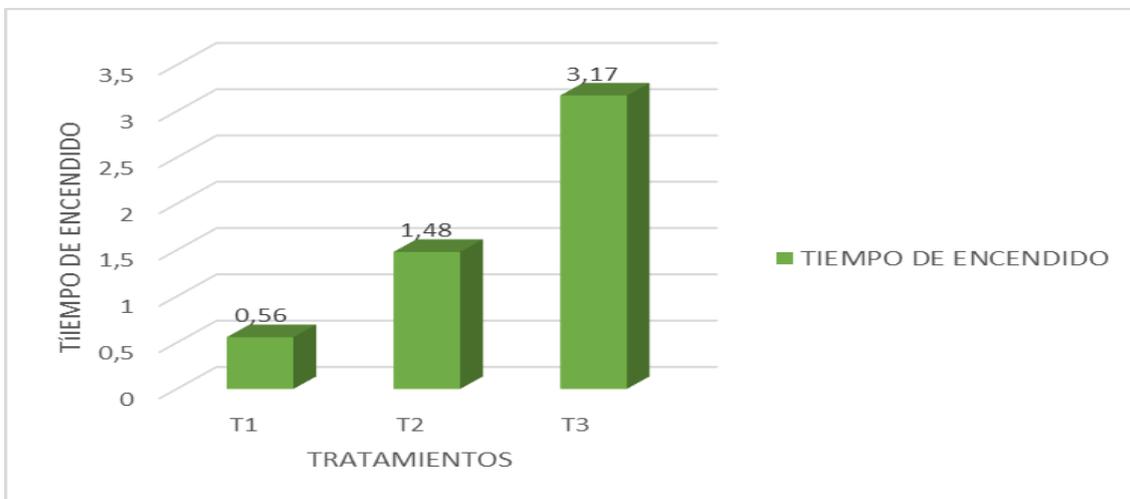
De igual manera en el gráfico 4.18, el T₃ obtuvo una mayor resistencia de compresión, compuesto por cascarilla y pulpa, cuyo valor es de 15,11 kg/cm². Murcia y González (2020) en su investigación, obtuvieron una mayor compresibilidad de aquellas briquetas con mayor porcentaje de almidón de yuca, obteniéndose los mayores datos para las briquetas 10 y 5, y con fuerzas 801,87 N y 797,19 N, ambas con 20% de contenido de almidón.

4.2.2.6. TIEMPO DE ENCENDIDO

Para poder saber el tiempo de encendido se procedió a seguir la metodología empleada por León (2021), donde se realizó una molienda de la briqueta por cada tratamiento, teniendo así 1,5 gramos de cada una. El análisis de encendido se realizó en el laboratorio de Química Ambiental y de Suelos de la ESPAM MFL (Anexo 16). Después de esto, se le agregó a cada muestra una mínima cantidad de alcohol de unos 0.5 ml, dicho esto se encendió cada tratamiento con palillos de fósforos, y con un cronómetro se contabilizó el tiempo en que cada muestra

se combustiona (Mendoza et al, 2020). Pasado el tiempo estos fueron los resultados:

Gráfico 4.19. Tiempo de encendido de los tratamientos.



Fuente: Autores

De acuerdo al gráfico 4.19, se puede ver que el T₃ fue el que duró más tiempo que los otros tratamientos con una duración de 3 minutos y 17 segundos, ya que T₁ solo duró 56 segundos y T₂ duró 1 minutos y 48 segundos. Cabe destacar que al momento de encender las muestras (sin el alcohol) al tener contacto el fuego con la briquea, esta se apagaba rápido, por lo que se recurrió a ponerle 0,5 ml de alcohol para cada tratamiento, logrado así que se encendiera y se combustione. Rivera y Flores (2019) aclaran que esto es debido a que el alcohol o etanol comienza a arder como una llama paila, incluso cuando esta se mezcla con una misma cantidad de agua, poder disminuir su volumen. Entonces es por eso que la cerilla de los fósforos da lugar al calor a que el alcohol sufra una combustión generando dióxido de carbono (Osés, 2021).

Cuadro 4.16. Generalidades de los tratamientos y sus variables a medir.

Variables	Unidad	T₁	T₂	T₃	NTC-2060	Cumplimiento
Humedad	%	8,93	9,61	9,18	2,5	No cumple
Material volátil	%	82,99	82,15	82,91	15	No cumple
Cenizas	%	2,30	3,17	2,65	30	Cumple
Poder calorífico	MJ/kg	18,34	18,01	18,28	12,50	Cumple
Resistencia de compresión	de Kg/cm ²	4,38	12,04	15,11	80	Cumple
Tiempo encendido	de min	0,56	1,48	3,17		----

Fuente: Autores

En el cuadro 4.16, se muestran las variedades que nos indica la normativa NTC-2060, para su cumplimiento, donde los parámetros de humedad y material volátil no cumplen con lo establecido. Sin embargo, el T₃ tuvo una mayor resistencia de compresión y mayor tiempo de combustión, por lo que podemos comprobar que T₃, el cual es elaborado de la combinación de pulpa y cascarilla de bagazo, es el tratamiento que genera mayor poder calorífico en las briquetas.

4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS BRIQUETAS DEL MEJOR TRATAMIENTO COMO APORTE EN LA ECONOMÍA CIRCULAR

A continuación, se realizó el análisis económico en donde se muestran los precios unitarios, con el fin de poder obtener un costo de unidad por cada briqueta. Para poder realizar dicho análisis, se tomó en cuenta el método de Balerazo y Vences (2021), en donde se tomarán en cuenta los costos directos (los cuales son empleados para la realización de las briquetas, entre los que constan: materia prima, equipos, mano de obra y transporte), los costos indirectos (los cuales están dentro de un periodo de tiempo específico, como por ejemplo materiales de oficina), y por último el costo total que es la sumatoria de ambos costos.

Para realizar los costos directos, se tomaron en cuenta los equipos que se utilizaron, para estos fueron valorados en los siguientes precios: se usó una estufa con 0,42\$ de tarifa por cada hora que se usaba, también un horno valorado en 0,40\$ por hora, una balanza analítica de 0,001\$, además también de un molino de mano con costo de 0,02\$. Cabe aclarar que el rendimiento en el que se usó estos equipos, la estimación se realizó en función del tiempo invertido en la fabricación de las briquetas, que fue de 15 días y 2 horas.

Para la mano de obra, se necesitó de la ayuda de un experto en laboratorio, el cual fue de orientación de cómo darle usos a los diferentes equipos de laboratorio que fueron necesarios, el cual fue un valor de 0,12\$, debido a que estos laboratoristas ganan 0,10\$ por cada 4 horas.

Entre los materiales que se utilizaron tenemos el bagazo de caña de azúcar, el cual está compuesto de cascarilla y pulpa, y aunque no cuestan nada, el valor mínimo es de \$0,003 por, lo cual se tiene en cuenta al considerar el transporte utilizado para movilizar estos residuos. El producto de almidón de yuca se vende actualmente a 1\$ la libra, para lo que el valor utilizado en el análisis de costos es de 0,002 dólares el gramo. En lo que respecta al agua, se tuvo en cuenta a lo que indica que Orellana (2017), en donde dice que los valores que proporcionan las empresas proveedoras de servicio, varían de entre 0,35\$ a 0,48\$, por lo que

sí entonces, si se consume de 15 a 25 metros cúbicos, la tarifa aumenta por lo que se estimó un valor de 0,0001\$ por cada mililitro de agua.

A continuación, en el cuadro 4.17, se muestra la siguiente matriz en donde se analizaron los siguientes precios unitarios que fueron mencionados anteriormente:

Cuadro 4.17. Matriz de Análisis de Precios Unitarios por briqueta.

MATRIZ DE ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad (a)	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
Estufa	0,2	0,42	0,08	11	0,92
Horno	0,2	0,4	0,08	11	0,88
Balanza analítica	0,2	0,001	0,00	11	0,00
Molino manual	0,2	0,02	0,00	11	0,04
SUBTOTAL					1,85
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Hora trabajo	Costo hora	Rendimiento	Costo
Laboratorista	0,1	4,01	0,40	0,3	0,12
SUBTOTAL					0,12
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Bagazo de caña	g	50	0,003	0,15	
Almidón de yuca	g	20	0,002	0,04	
Agua	ml	120	0,0001	0,012	
SUBTOTAL					0,20
TOTAL, COSTO DIRECTO					2,17
INDIRECTOS 10%					0,22
VALOR OFERTADO					2,39

Fuente: Autores

Cuadro 4.18. Precio de venta por kg de cada briqueta.

Análisis de precio de venta de 1 kg de briquetas	
Materia prima	1,76
Mano de obra	0,12
Costos indirectos	0,22
Unidades producidas	1
Costo por kg de producción	2,39
Gastos de producción	1,85
Total, de unidades producidas	1
Gastos unitarios de producción	1,85
Margen de Utilidad	15%
Precio de venta	\$3,87

Fuente: Autores

De acuerdo al cuadro 4.18, se obtiene como valor de precio estimado de 2,39\$ por producir un kg de briqueta, pero también nos damos cuenta que el precio del valor de aquel es 3,87\$ (gráfico 4.18). Dichos valores superan a otros que Tóala (2018) en su investigación indica que actualmente el precio de cada briqueta de 1kg, cuesta alrededor de 1\$, siendo así que esta pueda ingresar al mercado y ganar aceptación, mientras que otras briquetas realizadas por ejemplo por cascarilla de arroz tendrán precios de 0.85\$ por cada kg.

Guzmán et al (2020) indican que actualmente existe muy poca oferta de briquetas en el mercado, como se observa en el estudio, al punto que muchas personas desconocen qué son las briquetas, por lo que la demanda de briquetas es relativa y relativa, debido a que esta situación se basa en ofertas, ya que sin oferta no hay demanda. La oferta también depende de la capacidad de producción desarrollada según la infraestructura y la maquinaria usada en el proceso, pues es un proyecto que tiene como objetivo ingresar al mercado, y por eso que la producción de briquetas en el primer año es de apenas unos 450.000 kg (Ochoa, 2021).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los trabajadores de las fábricas de caña de azúcar de la comunidad El Caucho, tienen un manejo inadecuado en la disposición final de los residuos del cultivo de caña de azúcar, en su mayoría optan por la quema a cielo abierto, o también como alternativas emergentes es la alimentación de ganado vacuno.
- El tratamiento que presentó y generó un mejor poder calorífico fue el T₃ que corresponde a la combinación de cascarilla con pulpa de bagazo, con un valor de 18,28 MJ/kg, por lo que cumple con la norma NTC-2060, además posee resistencia de compresión de 15,11 kg/cm² y un tiempo de encendido de 3 minutos, por lo que sí se cumplió con una de las hipótesis.
- Para el análisis económico, se estimó que el valor por cada kg de briqueta fue de 3,87\$. Hay que considerar que esto es favorable para el mercado, debido a que el bagazo es un buen componente para la elaboración de las briquetas, y dando así un aporte para la reducción del CO₂, para así mejorar las oportunidades en diversas áreas de la sociedad, que pueden ayudar a reducir la deforestación, preservar los bosques del área, mejorar la calidad del aire, proteger los recursos hídricos y la salud humana.

5.2. RECOMENDACIONES

- Informar el uso de la caña de azúcar y la producción de otros desechos agrícolas a la población, para poder así ayudar a reducir la fuerte presión en los bosques naturales donde extraen leña para crear combustible de energía para la producción, principalmente en las zonas rurales.
- Durante el proceso de fabricación de las briquetas, evitar áreas húmedas y oscuras, ya que este ambiente puede causar contaminación microbiana, lo que aumenta el tiempo de preparación del producto.

- Experimente con diferentes materias primas como periódicos, cáscaras de arroz, caña guadua, cáscara de coco etc. para determinar si aumenta el poder calorífico final de las briquetas.
- Al momento de colocar las briquetas al horno, se sugiere que la temperatura este de 135°C, para que así las briquetas estén en condiciones óptimas, para poder realizar la prueba de resistencia y ver cuál tratamiento tiene mejor durabilidad y dureza.
- Analizar las emisiones gaseosas de CO₂, SO_x, y compuestos orgánicos volátiles, a la mezcla óptima para comprender la cantidad de contaminantes liberados durante la combustión del bagazo.
- Utilizar briquetas de bagazo de caña de azúcar, ya que resultan muy efectivas para la cocina, la salud pública y el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, N. (2017). *Desarrollo de un proceso de briqueteado y secado para la producción de plomo metálico a partir de residuos plomados de baterías de plomo-ácido [Tesis de grado, Universidad de Chile]*. Repositorio Institucional.
- AgroSpray. (02 de marzo de 2022). *Top 3 de cultivos energéticos para biocombustibles más demandados*. Obtenido de <https://agrospray.com.ar/>
- Aguiar, S., & Enríquez, M. y. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *Axioma* (27), pp. 5-11.
- Aguilar, A., & Pérez, J. A. (2017). Nuevos paradigmas en la cosecha de la caña para el uso sustentable de toda la biomasa en las bioeléctricas. Parte I. *ICIDCA*, 50(3), pp. 3-8.
- Aguilar, N. (2017). Pulpa de bagazo de caña con alto índice de fibra larga. *Scielo*, 39(2).
- Aguilar, N. (2018). Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. *Scielo*, 12(2).
- Aguilar, N. (2019). Pulpa de bagazo de caña con alto índice de fibra larga. *Scielo*, 39(2).
- Alarcón, S. (2017). *Elaboración de briquetas a partir de desechos de tallos de rosas y papel reciclado [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]*. Repositorio Institucional.
- Andrade, Y. y. (2017). *Incidencia de los residuos, en la calidad ambiental del entorno del centro de acopio de cacao "Fortaleza del Valle", Quiroga*. Repositorio Institucional.
- AQUAE Fundación. (20 de octubre de 2021). *¿Qué es la biomasa?* Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/>

- Arévalo, J. M. (2018). *Diseño de un sistema integrado para la producción de briquetas de biomasa a partir del aprovechamiento de la cascarilla de arroz en el distrito de San Hilarión, San Martín [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]*. Repositorio Institucional.
- Arzola, N. y. (2017). Estudio del comportamiento del bagazo de caña de azúcar sometido a corte. *Scielo*, 82(191), pp. 171-175.
- Assureira, E. y. (2022). Transformación de las hojas de caña de azúcar en biocarbón para su uso como combustible y agente reductor en procesos de reducción directa de minerales de hierro. *Scielo*, 33(3).
- Ávila, J. (2021). *Aprovechamiento de residuos de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y generación de ingresos de los productores, cantón 24 de mayo [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]*. Repositorio Institucional.
- Barba, M. (2020). *Propuesta de implementación de una línea de producción para la elaboración de briquetas de carbón a partir del bagazo, residuo generado de la caña de azúcar [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]*. Repositorio Institucional.
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria. (27 de septiembre de 2022). *¿Qué es la biomasa? El aprovechamiento de lo orgánico*. Obtenido de <https://www.bbva.com/>
- Bastidas, C. (2019). *Determinación del poder calorífico y tiempo de combustión de cuatro prototipos de briquetas [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]*. Repositorio Institucional.
- Beltrón, I., & Palacios, H. y. (2019). Evaluación energética de biocombustibles sólidos elaborados a partir de mezclas de biomasa lignocelulósica. *Revista RIEMAT*, 4(2), pp. 33-38.
- Berastegui, C., Mendoza, J., Ortega, J. P., & González, Y. y. (2017). Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de tusa de maíz,

bioaglomerante de yuca y carbón mineral del departamento de Córdoba. *SciELO*, 25(4), pp. 643-653.

Bermeo, C. (2019). *Determinación del tiempo de secado a temperatura ambiente para la elaboración y caracterización de las briquetas de carbón ecológico a base de la tusa de maíz, Piura* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional.

Bustamante, V., Carrillo, A., Prieto, J. A., & Corral, J. J. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. *SciELO*, 7(38).

Caballero, A., & Riva, O. y. (2016). *La Gestión de Residuos Municipales*. MIC.

Calderón, L. A. (2021). *Revisión Sistemática: Sobre las Briquetas de Diferentes Tipos de Biomasa, 2021* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional.

Cáliz, Á. y. (2020). *Los desafíos de la transformación productiva en América Latina*. Friedrich-Ebert-Stiftung.

Cantú, R. (2019). *Energía, Economía y Medio Ambiente: Una mirada desde la sostenibilidad y el humanismo* [Tesis de grado, Universidad de Navarra]. Repositorio Institucional.

Cárdenas, J. (2020). *Influencia de la floración de la caña de azúcar (Saccharum Spp.) en el acorchamiento y peso de los tallos en dos zonas productoras* [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio Institucional.

Cartagena, R., Rivera, H., Velázquez, P., & Falcón, R. y. (2023). Evaluación del nivel de emisiones y poder calorífico en briquetas de residuos del olivar. *Ingeniería Energética*, 44(2), pp. 1-8.

Castillo, A. (24 de agosto de 2021). *Propiedades de la caña de azúcar que tienes que conocer*. Obtenido de Food & Wine: <https://foodandwineespanol.com/>

- Cobeña, J. y. (2016). *Caracterización Físicoquímica del jugo de cinco variedades de caña de azúcar (Saccharum officinarum) en la hacienda El Jardín [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López"]*. Repositorio Institucional.
- Aragón, P. (01 de abril de 2016). *Tipos de Biomasa*. Obtenido de <https://combustiblesaragon.es/>
- Correal, M., & Rihm, A. y. (20 de mayo de 2021). *De desechos a recursos: gestión de residuos sólidos para el desarrollo*. Obtenido de BID Mejorando Vidas: De desechos a recursos: gestión de residuos sólidos para el desarrollo
- Cruz, F. y. (2020). *Diseño de una máquina para la fabricación de briquetas de posos de café [Tesis de grado, Fundación Universidad de América]*. Repositorio Institucional.
- Cunurana, M. (2018). *Evaluación de briquetas obtenidas a partir de residuos de Poda del olivo y Orujo de aceituna como fuente de energía alternativa [Tesis de grado, Universidad Privada de Tacna]*. Repositorio Institucional.
- Debernardi, H., & Ortiz, H. y. (2017). Energía disponible a partir de biomasa de residuos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agro Productividad*, 9(7), pp. 68-73.
- De Gregorio, M. (21 de febrero de 2023). *¿Cómo se obtiene energía de la biomasa? Conoce el proceso*. Obtenido de Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA): <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad>
- Delgado, C., Navarrete, J., & Noles Patricio y Hernández, N. (2020). Caracterización energética y bioeconómica de las briquetas elaboradas con biomasa residual del cultivo de maíz en Ecuador. *Redieluz*, 10(2), pp. 76-86. Recuperado a partir de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/redieluz/article/view/35521>
- Díaz, I., Díaz, A., Rodríguez, A., & Álvarez, A. y. (2019). Briquetas energéticas con aserrín y corteza de pino. *Redalyc*, 41(1).

- Elizalde, M. F. (2016). *Mejoramiento de la rentabilidad con diversificación de subproductos de la caña de azúcar, en Chaguarpamba, Loja* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Institucional.
- Espíritu, K. (2021). *Producción de briquetas vegetales utilizando el aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) para su uso como combustible sólido* [Tesis de grado, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia]. Repositorio Institucional.
- FAO. (2018). *Residuos Agrícolas y Residuos Ganaderos*. Obtenido de <https://www.fao.org/>
- Fernández, V. (14 de enero de 2021). *La caña de azúcar, una pequeña historia*. Obtenido de Escola Vins i Destil.lats: <https://www.escoladist.com/>
- Franquesa, M. (08 de mayo de 2016). *Todo lo que debes saber sobre los cultivos energéticos*. Obtenido de Agroptima: <https://www.agroptima.com/>
- García, J. L., Hidalgo, A., Alonso, M. C., & Luxan, M. P. (2016). Caracterización de residuos procedentes de los procesos de combustión de biomasa. Viabilidad de uso como materiales de construcción. 16, pp. 946-949.
- García, M. (2015). *Diseño de proceso y de planta piloto para fabricación de Briquetas de Aserrín* [Tesis de grado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional.
- Generación Verde. (13 de noviembre de 2019). *Briquetas Ecológicas: Alternativas sostenibles al carbón y la leña*. Obtenido de <https://generacionverde.com/>
- Goldoni, C. (14 de febrero de 2019). *La biomasa como fuente de energía renovable*. Obtenido de Melfosur: <https://www.melfosur.es/>
- Gómez, A., & Sánchez, O. y. (2022). Procesos de Transformación: Perspectiva de Aprovechamiento para los Residuos de la Agroindustria del Plátano. *Scielo*, 16(1).

- González, Á. y. (2018). *Aprovechamiento de los residuos provenientes de las industrias madereras y del almidón extraído de yuca por vía seca, para la elaboración de combustible sólido [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio Institucional.
- Gómez, I. y. (04 de noviembre de 2017). *Evaluación de cultivares de la caña de azúcar con alto potencial en la producción de biomasa para uso como combustible en los ingenios*. Obtenido de <https://www.atamexico.com.mx/>
- Gonzales, M. y. (septiembre de 2020). *Bagazo de caña de azúcar como fuente de fibra alternativa a la paja de cereal*. Obtenido de Dellait: <https://dellait.com/>
- González, E. (2018). *Caracterización y densificación de la biomasa forestal (aserrín y corteza de Pinus Caribaea Morelet var Caribaea) en la fabricación de briquetas en la Empresa Agro Forestal (EAF) Macurije [Tesis de grado, Universidad de Pinar del Rio "Hermanos Saiz"]*. Repositorio Institucional.
- González, E. (2020). *¿Qué son las briquetas?* Obtenido de CEUPE: <https://www.ceupe.com/>
- Guzmán, N., Huallpa, K., & Pineda, R. y. (2020). *Estudio de Pre-Factibilidad para la elaboración de briquetas ecológicas de carbón a partir cáscara de cacao [Tesis de grado, Universidad San Ignacio de Loyola]*. Repositorio Institucional.
- Herguedas, A. I., Taranco, C., & Rodríguez, E. y. (2012). *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. ITAGRA.CT.
- Hernández, F., Valencia, A., & Toledo, J. y. (2017). *El sector cañero en Nayarit desde una perspectiva organizacional y ambiental*. Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso.
- Hidalgo, X. (2017). *La humedad en la biomasa: herramientas de medida y control*. Obtenido de <https://www.energetica21.com/>

- Hoyos, C., & González, Y. y. (2019). Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de la mezcla de dos biomásas residuales, un aglomerante a base de yuca y carbón mineral, propios del departamento de Córdoba. *Scielo*, 27(3), pp. 454-464.
- Huamán, H., & Ramírez, M. y. (2021). *Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja - 2021 [Tesis de grado, Universidad Continental de Huancayo]*. Repositorio Institucional.
- Huerta, E. y. (2020). *Diseño de un Prototipo de envase Biodegradable a partir de la Fibra de Agave [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]*. Repositorio Institucional.
- Jácome, C., Roxana, G., & Guevara, L. y. (2023). Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como residuo importante para la agroindustria. *Digital Publisher*, 8(3), pp. 132-148.
- Jaramillo, J. (2017). *Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en la fabricación de prototipos de tableros aglomerados en la Provincia de Pastaza [Tesis de grado, Universidad Estatal Amazónica]*. Repositorio Institucional.
- Jorge, M., Yahir, G., Oviedo, M., & Pedroza, Á. y. (2020). Fabricación de biocombustibles sólidos densificados (briquetas) a base de serrín de acacia y estiércol de bovinos en el departamento de Córdoba. *Revista Chilena de Ingeniería*, 28(3), pp. 448-460.
- Jurado, J. (19 de mayo de 2021). *Transformando los residuos forestales en biocombustibles*. Obtenido de Universidad Autónoma de Occidente: <https://www.uao.edu.co/>
- Lagos, E. y. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes¹. *Redalyc*, 30(3), pp. 917-934.
- Lara, C. (10 de febrero de 2022). *El origen de la caña de azúcar*. Obtenido de Esto es azúcar: <https://estoesazucar.com/>

- Lazo Torres, H. (2022). *El bagazo como fuente de energía y como materia prima para productos industriales [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú]*. Repositorio Institucional.
- León, A. y. (2021). Elaboración de Briquetas a partir de Subproductos de Palma Africana (*Elaeis guineensis* J) y Arroz (*Oryza sativa* L). *Scielo*, 48(2), pp. 65-70.
- León, R., & Bonifaz, N. y. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador*. Abya-Yala.
- López, C. y. (2021). *Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en la producción de pulpa para la elaboración de sorbetes [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]*. Repositorio Institucional.
- López, E. y. (2017). *Diseño y Análisis de experimentos: Fundamentos y aplicaciones de la agronomía*. CETE.
- López, I. (2021). *Evaluación de la biomasa residual agrícola de los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum*) como recurso energético renovable en la Provincia de Tungurahua [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]*. Repositorio Institucional.
- López, J. (2016). *La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela. Caso: Nordeste del departamento de Antioquia [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. UNAD]*. Repositorio Institucional.
- López, J. D., Cajina, C. E., Ramírez, J., Reyes, E., & Olivas, N. y. (2016). Evaluación de los parámetros físicos y químicos de las briquetas obtenidas con la máquina briquetadora construida en FAREMEstelí. *Ciencias Ambientales* (16), pp. 3-14.
- López, P. y. (2017). *Metodología de la investigación social cuantitativa*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Lorena. (24 de noviembre de 2017). *Tipos de biomasa*. Obtenido de <https://www.certicalia.com/>

- Macias, J. (2017). *Biocombustible sólido a partir de residuos que generan los procesos agroindustriales del sector El Empalme*. Repositorio Institucional.
- Macias, J. (2018). *Evaluación de briquetas como biocombustible sólido a partir de residuos que generan los procesos agroindustriales en el sector El Empalme [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]*. Repositorio Institucional.
- Macias, M. A. (2020). *Plan de negocios para la fábrica de aguardiente artesanal Garcianos, del sitio Mendoza, cantón Junín [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]*. Repositorio Institucional.
- Maldonado, Y. (03 de marzo de 2021). *10 características de la energía de biomasa*. Obtenido de GeologiaWeb: <https://geologiaweb.com/>
- Mariaga, W., Evangelista, A., Sette, C., & Alves, J. y. (2017). Producción de briquetas con residuos de cáscara de piñón manso (*Jatropha curcas*) y bagazo de caña de azúcar. *Scielo*, 38(3).
- Martin, F. (2019). *Pellets y Briquetas*. ECOLOGIA.
- Mellizo, A. (2021). *Revisión de los sistemas sostenibles de cosecha verde o cruda de caña de azúcar en el departamento del Valle del Cauca [Tesis de grado, Fundación Universidad de América]*. Repositorio Institucional.
- Mendoza, J., González, Y., Doria, M., & Pedroza, Á. y. (2020). Fabricación de biocombustibles sólidos densificados (briquetas) a base de serrín de acacia y estiércol de bovinos en el departamento de Córdoba. *Scielo*, 28(3).
- Mera, M. y. (2017). 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* (15), pp. 35-41.

- Mesa, M. (2018). *Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar con el fin de generar nuevos usos [Tesis de grado, Instituto Tecnológico Metropolitano]*. Repositorio Institucional.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (20 de junio de 2020). *Ecuador promueve la generación de bioenergía a través del aprovechamiento de residuos orgánicos e industriales*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2022). *Luego de siete años aumenta el precio de la tonelada de caña de azúcar*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/>
- Ministerio de Cultura y Patrimonio. (17 de enero de 2018). *El 'Trueque o Cambeo' de Pimampiro fue reconocido como patrimonio cultural inmaterial del Ecuador*. Obtenido de <https://www.culturaypatrimonio.gob.ec/>
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (08 de octubre de 2018). *Utilizan residuo de la industria cervecera para la fabricación de ladrillos*. Obtenido de <https://www.dicyt.com/>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (30 de noviembre de 2022). *460 agricultores de Pichincha recibieron incentivos para impulsar una producción sostenible*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Miraflores, R. (12 de febrero de 2023). *Subproductos y Derivados de la Caña*. Obtenido de Procaña: <https://procana.org/>
- Modrego. (23 de febrero de 2022). *¿Qué son las briquetas de madera?* Obtenido de ModregoHogar: <https://www.modregohogar.com/>
- Montalvan, S. (2022). *Elaboración de briquetas a partir de los desechos orgánicos de los restaurantes de la ciudad de Guayaquil 2022-2023 utilizando el diseño factorial [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]*. Repositorio Institucional.

- Montelongo, C., Herrera, J., Ortiz, I., Ríos, J., & Rosales, R. y. (2020). Caracterización energética del carbón vegetal producido en el Norte-Centro de México. *Redalyc*, 26(2).
- Murcia, D. y. (2020). *Desarrollo de briquetas de borra de café y un aglomerante a diferentes composiciones porcentuales para ser utilizadas como combustible sólido alternativo [Tesis de grado, Fundación Universidad de América]*. Repositorio Institucional.
- Nogales, S. (2017). *Reducción de las emisiones asociadas a la combustión y pirolisis de biomasa mediante diversos métodos [Tesis doctoral, Universidad de Extremadura]*. Repositorio Institucional.
- Nogales, S., Miranda, M. T., Román, S., Montero, I., & Arranz, J. I. (2016). Técnicas destinadas a la reducción de emisiones en el aprovechamiento energético de biomasa. *Dyna*, 90(2), pp. 130-142.
- Ochoa, E. (2021). *Propuesta de fabricación de briquetas a partir de bagazo de caña para la sustitución de madera como combustible doméstico [Tesis de grado, Universidad del Valle de Guatemala]*. Repositorio Institucional.
- Ondarse, D. (15 de Julio de 2021). *Biomasa*. Obtenido de <https://concepto.de/>
- Ordoñez, O. (2017). *Evaluación de la influencia de la formulación de combustibles sólidos densificados de aserrín de pino blanco (Pinus pseudostrobus Lindl), reciclado de carbón activado y almidón de yuca (Manihot esculenta) [Tesis de grado, Universidad San Carlos Guatemala]*. Repositorio Institucional.
- Orellana, C. (07 de mayo de 2017). *Hasta \$ 0,48 cuesta el m3 de agua en el país*. Obtenido de El Telégrafo: <https://www.eltelegrafo.com.ec/>
- Osés, A. (08 de febrero de 2021). *Riesgos en el uso del alcohol sanitizante*. Obtenido de LinkedIn: <https://es.linkedin.com/>
- Paucar, J. y. (2018). *Modelo estratégico para la industrialización de la caña de azúcar en el Ecuador [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]*. Repositorio Institucional.

- Quisphe, J., & Valle, L. y. (2020). Evaluación financiera de los pequeños productores de caña de azúcar en el Sur del Ecuador. *Axioma* (23), pp. 61-67.
- Ramírez, L. (18 de abril de 2021). *¿Conoces qué es el material particulado o polvo que circula en Bogotá?* Obtenido de BOGOTA: <https://bogota.gov.co/>
- Ramírez, M. (2021). *Evaluación de las propiedades físicas y químicas de briquetas elaboradas con biomasa generada en el proceso de transformación primaria de la madera en diferentes regiones de México [Tesis de grado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo].* Repositorio Institucional.
- Resano, D., Guillen, O., & Ubillús, F. y. (2022). Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Scielo*, 33(2).
- Riera, M. y. (2018). La obtención de biomasa a partir de subproductos agrícolas, como las briquetas, es una alternativa para abordar y solucionar diversos problemas ambientales; como un recurso renovable barato y respetuoso con el medio ambiente, especialmente para las personas. *Redalyc*, 13(3), pp. 69-78.
- Riera, M. A., & Maldonada, S. y. (2018). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), pp. 227-247.
- Rivera, H. y. (2019). *Propiedades Energéticas de briquetas, a base de aserrín de pino durante la combustión, Estelí, Nicaragua Periodo 2018-2019 [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua].* Repositorio Institucional.
- Rodríguez, A. (23 de Julio de 2020). *¿Qué es la Biomasa y cómo funciona?* Obtenido de Calor y Frio: <https://www.caloryfrio.com/>

- Rojas, K. (13 de octubre de 2016). *Aprovechamiento del bagazo de caña en Briquetas*. Obtenido de <https://es.scribd.com/>
- Ropero, S. (03 de junio de 2020). *Energía biomasa: ventajas y desventajas*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/>
- Salgado, G. (2020). *Valorización energética de residuos agrícolas: cáscara de plátano, cascarilla de arroz y bagazo de caña mediante procesos de biodigestión y combustión [Tesis de grado, Universidad Politécnica Nacional]*. Repositorio Institucional.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (10 de marzo de 2020). *La caña de azúcar es el cultivo agrícola más importante del planeta. Y en nuestro país es una importante fuente de ingreso desde la época Colonial*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/>
- Servicio de Información y Noticias Científicas. (03 de abril de 2022). *Los países del mundo que acumulan más residuos peligrosos*. Obtenido de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.com.es/>
- TECPA. (12 de agosto de 2022). *Todo lo que necesitas saber de biomasa*. Obtenido de <https://www.tecpa.es/>
- Terrones, A. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante en el sector Barraza, Trujillo -2018 [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio Institucional.
- Tóala, B. (2022). *Caracterización de residuos sólidos generados por la actividad comercial en locales de comida localizados en Sauces 6, Guayaquil [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]*. Repositorio Institucional.
- Tóala, E. (2018). *Estudio de factibilidad para la construcción de una fábrica de briquetas de carbón utilizando tamo de arroz localizada en la Provincia del Guayas [Tesis de grado, Universidad Técnica Salesiana]*. Repositorio Institucional.

- Tonny, C. (2018). *Caracterización de pellets con fines energéticos elaborados a partir de residuos forestales [Tesis de grado, Universidad de Costa Rica]*. Repositorio Institucional.
- Universidades, S. (13 de mayo de 2022). *¿Qué es la biomasa y cómo se obtiene energía?* Obtenido de <https://www.becas-santander.com/>
- Valenzuela, J. (2021). *Ventajas y desventajas en la obtención de energía a partir de biomasa natural y carbón mineral: Una revisión sistemática [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio Institucional.
- Valiente, A. (2017). *Elaboración de briquetas para aprovechamiento del residuo de arroz en beneficios del municipio de El Progreso, Jutiapa [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar]*. Repositorio Institucional.
- Vera, A. (20 de marzo de 2020). *Las máquinas de tracción: qué son y cómo funcionan*. Obtenido de Servosis: <https://www.servosis.com/>
- Verdezoto, L., Parco, F., Jácome, C., & Katan, W. y. (2021). Energía renovable a partir de la biomasa de la caña de azúcar. *Revista de Investigación Talentos*, 8(1), pp. 9-26.
- Yara. (2022). *Principios agronómicos en caña de azúcar*. Obtenido de <https://www.yara.com.ec/>
- Zambrano, N. (2021). *Caracterización química del aguardiente de caña artesanal elaborado en el cantón Cumandá [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]*. Repositorio Institucional.
- Zambrano, P. (2019). *Cultivo de caña de azúcar: manejo y su importancia*. Obtenido de Agrotendencia: <https://agrotendencia.tv/>

ANEXOS

Anexo 1. Entrevista y encuesta realizada a los trabajadores de fábricas de caña de azúcar de la comunidad El Caucho

Datos del productor:

Nombre del propietario:
Procedencia del productor:
Coordenadas UTM:
Número de trabajadores:

Datos del cultivo de Caña de Azúcar

- **Superficie**
- **Producción:**
- **¿Genera algún residuo de cosecha?**
 - SI
 - NO

Enumere y nombre todos subproductos generados por este cultivo

Subproducto, Bagazo de caña de azúcar

- Producción por hectárea y/o cuadra_____
- Fecha o periodo de obtención_____
- ¿Se recolecta el subproducto?
 - SI
 - NO
- En caso de que, si se recolecte, ¿se somete a algún tipo de tratamiento de conservación?
 - SI
 - NO
- **Uso final del subproducto (Especificar)**
 - Quema
 - Regalan
 - Alimentación animal
 - Otro, especifique_____

- **¿Estaría dispuesto a recibir una capacitación para el manejo de desechos sólidos?**
 - SI
 - NO

- **¿Recibe algún incentivo por parte del estado o alguna entidad ya sea pública o privada para el manejo del cultivo de caña?**
 - SI
 - NO

- **¿Cuál cree Ud. que sería la cantidad de bagazo de caña azúcar que se genera por cada" parada "que realiza?**
 - De 1 a 10 quintales
 - De 10 a 15 quintales
 - Más de 15 quintales

- **¿Conoce Ud. de alternativas para aprovechar este residuo?**
 - SI (Especificar)
 - NO

- **¿Elija usted en cuál de estas opciones preferiría emplear el bagazo de caña de azúcar?**
 - Abono orgánico
 - Alimento para ganado
 - Ninguno

- **¿Conoce Ud. si el mercado es apropiado para comercializar esos productos?**
 - SI
 - NO

Anexo 2. Reconocimiento del área de estudio



Anexo 3. Georreferenciación del área de estudio.



Anexo 4. Entrevista y Encuesta aplicada a los trabajadores de fábricas de caña de azúcar de la comunidad El Caucho.



Anexo 5. Recolección, limpieza y separación del bagazo



Anexo 6. Secado del bagazo



Anexo 7. Trituración y molido del bagazo



Anexo 8. Tamizaje del bagazo



Anexo 9. Mezclado de aglomerante

Anexo 9A. Peso del Almidón

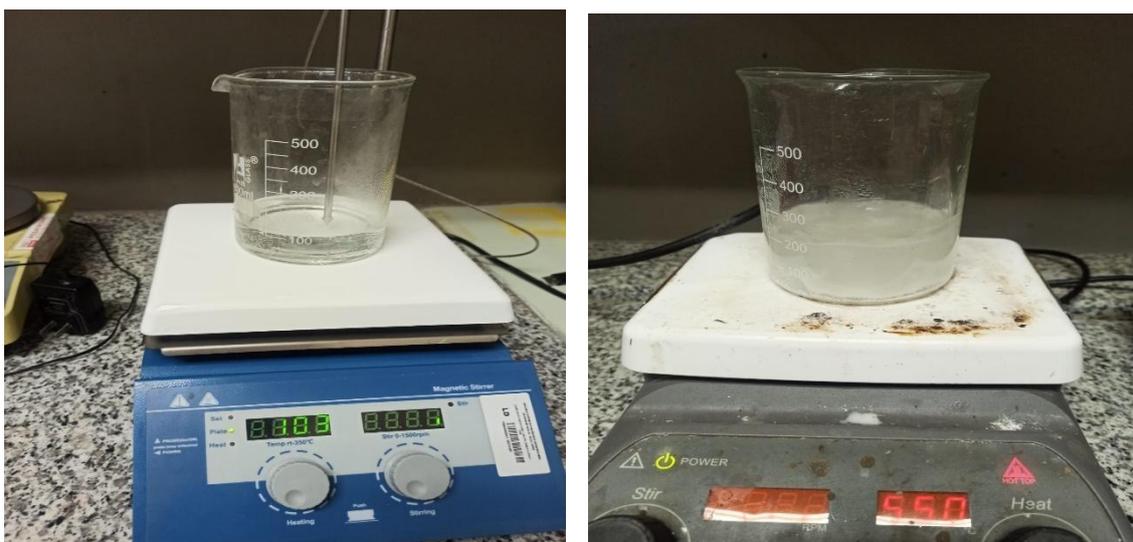
Anexo 9B. Mezcla del almidón y agua



Anexo 9C. Mezcla Homogénea del almidón con agua



Anexo 9D. Ebullición de los 120 ml de agua y agregado de la mezcla



Anexo 9E. Retirada y Enfriamiento del aglomerante



Anexo 10. Mezclado del aglomerante con el bagazo molido y briquetado.



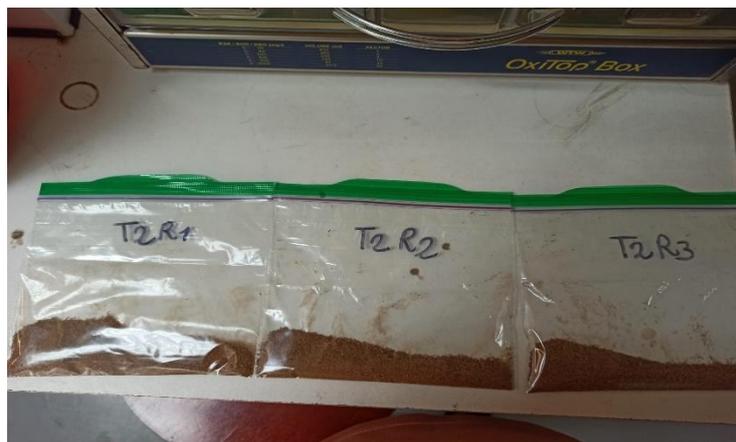
Anexo 11. Secado de las briquetas



Anexo 12. Cálculo de la Humedad de los tipos de residuo de bagazo.



Anexo 13. Muestras de bagazo para laboratorio de biomasa de Quito para realizar análisis de Humedad, Cenizas, Material volátil y Poder Calorífico.



Anexo 14. Prueba de resistencia de compresión de las briquetas.



Anexo 15. Resultados de pruebas de laboratorio de biomasa.



Instituto de Investigación
Geológica y Energética

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA Y ENERGÉTICA
LABORATORIO DE BIOMASA

Av. Giovanni Calles s/n y Av. Padre Luis Vaccari

REPORTE DE ENSAYOS N° LB-002-2023

SOLICITANTE	Carlos Ricardo Delgado Villaflorte / Ana Maria Looz ESPAM	FECHA DE RECEPCIÓN	2023-07-03
MUESTRA	Briquetas de caña de azúcar	FECHA DE INFORME	2023-08-02
NÚMERO	LB-146 a LB-154	ENVASE	Envase aprox. 28 g
ENSAYO REQUERIDO	Humedad, Poder Calórico Superior, Volátiles, Cenizas.	MUESTREO	Solicitante
DOCUMENTO	Solicitud No. 00MW-0DINNXX del 19 de junio de 2023		
TÉCNICO ASIGNADO	D. Cimilde, M. Romero, F. Flores, B. Rivilla		

RESULTADOS

MATRIZ DE ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO	MÍNIMO	MÁXIMO	RESULTADO
TIR1 (LB-146-2023)	Humedad, %	Método Interno por termobalanza	a	a	8,96
	Materia volátil, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18123:2016	a	a	83,23
	Cenizas, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18122:2016	a	a	2,42
	Poder calórico superior, MJ/kg bs	UNE- EN ISO 18125:2018	a	a	18,26
TIR2 (LB-147-2023)	Humedad, %	Método Interno por termobalanza	a	a	8,93
	Materia volátil, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18123:2016	a	a	82,88
	Cenizas, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18122:2016	a	a	2,14
	Poder calórico superior, MJ/kg bs	UNE- EN ISO 18125:2018	a	a	18,40
TIR3 (LB-148-2023)	Humedad, %	Método Interno por termobalanza	a	a	8,89
	Materia volátil, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18123:2016	a	a	82,87
	Cenizas, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18122:2016	a	a	2,34
	Poder calórico superior, MJ/kg bs	UNE- EN ISO 18125:2018	a	a	18,36
T2R1 (LB-149-2023)	Humedad, %	Método Interno por termobalanza	a	a	9,62
	Materia volátil, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18123:2016	a	a	82,16
	Cenizas, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18122:2016	a	a	3,10
	Poder calórico superior, MJ/kg bs	UNE- EN ISO 18125:2018	a	a	18,19
T2R2 (LB-150-2023)	Humedad, %	Método Interno por termobalanza	a	a	9,53
	Materia volátil, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18123:2016	a	a	81,83
	Cenizas, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18122:2016	a	a	3,19
	Poder calórico superior, MJ/kg bs	UNE- EN ISO 18125:2018	a	a	17,91
T2R3 (LB-151-2023)	Humedad, %	Método Interno por termobalanza	a	a	9,69
	Materia volátil, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18123:2016	a	a	82,45
	Cenizas, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18122:2016	a	a	3,22
	Poder calórico superior, MJ/kg bs	UNE- EN ISO 18125:2018	a	a	17,93
T3R1 (LB-152-2023)	Humedad, %	Método Interno por termobalanza	a	a	9,22
	Materia volátil, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18123:2016	a	a	82,85
	Cenizas, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18122:2016	a	a	2,64
	Poder calórico superior, MJ/kg bs	UNE- EN ISO 18125:2018	a	a	18,35
T3R2 (LB-153-2023)	Humedad, %	Método Interno por termobalanza	a	a	9,22
	Materia volátil, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18123:2016	a	a	83,18
	Cenizas, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18122:2016	a	a	2,71
	Poder calórico superior, MJ/kg bs	UNE- EN ISO 18125:2018	a	a	18,31
T3R3 (LB-154-2023)	Humedad, %	Método Interno por termobalanza	a	a	9,11
	Materia volátil, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18123:2016	a	a	82,71
	Cenizas, %(p/p) bs	UNE- EN ISO 18122:2016	a	a	2,59
	Poder calórico superior, MJ/kg bs	UNE- EN ISO 18125:2018	a	a	18,19

Los ensayos fueron realizados en base a la muestra receptada en el laboratorio y bajo los métodos mencionados.

a: El método utilizado no presenta valores de mínimo y máximo para estos ensayos

bs: Valores expresados en base seca



firmado electrónicamente por:
DANNY FABRICIO
SINCHE ARIAS

Danny Sinche
Responsable Técnico del Laboratorio

Anexo 17. Combustión de los tratamientos en prueba de tiempo de encendido



12:30 [signal] [wifi] [battery]

[alarm] [timer] [info] [share] [menu]

05:02.92
Tiempo actual

▶ 03	+ 01:28.65	03:17.06
▶ 02	+ 00:51.84	01:48.41
▶ 01	+ 00:56.57	00:56.57

