

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN AGROINDUSTRIAS**



**TEMA:**

**APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA EN LA ELABORACIÓN DE  
BRIQUETAS COMO ESTRATEGIA PARA LA SOSTENIBILIDAD  
ENERGÉTICA**

**PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA EN INGENIERÍA EN AGROINDUSTRIAS**

**AUTORA:**

**EMILY PATRICIA AGUIRRE MOLINA**

**DIRECTOR:**

**Ing. JIMMY NUÑEZ PEREZ. MSc**

**Ibarra – Ecuador**

**2025**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN**  
**CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN**  
**AGROINDUSTRIAS**

**“Aprovechamiento del bagazo de caña en la elaboración de briquetas como estrategia para la sostenibilidad energética”**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener Título de:

**INGENIERA EN AGROINDUSTRIAS**

APROBADO:

Ing. Jimmy Núñez Pérez. MSc

**DIRECTOR**



Firmado electrónicamente por:  
**JIMMY NUNEZ PEREZ**  
Validar únicamente con FirmaEC

---

**FIRMA**

Ing. Juan Carlos García Montoya, PhD

**MIEMBRO TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
**JUAN CARLOS GARCIA**  
**MONTOYA**  
Validar únicamente con FirmaEC

---

**FIRMA**

Dr.C. Marco Vinicio Lara Fiallos, PhD

**MIEMBRO TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
**MARCO VINICIO LARA**  
**FIALLOS**  
Validar únicamente con FirmaEC

---

**FIRMA**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

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

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

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

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003564802		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Aguirre Molina Emily Patricia		
<b>DIRECCIÓN:</b>	La Esperanza, Manuel Freire Larrea y Av. Atahualpa		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:epaguirrem@utn.edu.ec">epaguirrem@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	20514097	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0961282668

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Aprovechamiento Del Bagazo De Caña En La Elaboración De Briquetas Como Estrategia Para La Sostenibilidad Energética
<b>AUTORA:</b>	Emily Patricia Aguirre Molina
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	30/07/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniera en Agroindustrias
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Jimmy Nuñez Perez

## 2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 30 días del mes de julio del 2025

LA AUTORA

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature appears to read "Emily A." with a long horizontal stroke extending to the right.

Emily Patricia Aguirre Molina

C.I.: 1003564802

ACEPTACIÓN

# CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 28 de julio de 2025

Ing. Jimmy Núñez Pérez, MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte, en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



Firmado electrónicamente por:  
**JIMMY NUNEZ PEREZ**  
Validar únicamente con FirmaEC

---

Ing. Jimmy Núñez Pérez, MSc

C.C: 1756606339

## **APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR**

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “**APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA EN LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS COMO ESTRATEGIA PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA**” elaborado por Aguirre Molina Emily Patricia previo a la obtención del título del Ingeniera en Agroindustria, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte.



Firmado electrónicamente por:  
**JIMMY NUNEZ PEREZ**  
Validar únicamente con FirmaEC

---

Ing. Jimmy Núñez Pérez, MSc

C.C: 1756606339



Firmado electrónicamente por:  
**JUAN CARLOS GARCIA  
MONTAYA**  
Validar únicamente con FirmaEC

---

Ing. Juan Carlos García Montoya, PhD

C.C: 1002279535

## 2. PRESENTACIÓN

Yo, EMILY PATRICIA AGUIRRE MOLINA como autora de la Tesis Titulada **“APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA EN LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS COMO ESTRATEGIA PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA”**, me hago responsable de los resultados, discusión, conclusiones y demás parte de la investigación; y pongo este documento como fuente de apoyo para consultas dirigidas a todos los estudiantes.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a todas las personas que han contribuido en la realización de esta tesis, asimismo a todas las personas que me han apoyado durante toda la elaboración. A mi director de tesis, Ing. Jimmy, por su guía, apoyo y paciencia. A mi asesor, Ing. Juan Carlos por sus valiosas sugerencias y comentarios. A mis compañeros y amigos: John, Mateo, Raquel, Taty, Yomi y Wendy por su apoyo y comentarios. A mi familia. Ma, Pa, Paulina, Debora, Juanca , Armando y Emma por su amor, comprensión y apoyo. A Aarón por apoyarme en todo, por acompañarme, guiarme, aconsejarme y tenerme paciencia, no dejándome rendir nunca. A mis gatas que me acompañaban en las malas noches.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi Familia, a mis padres Elza y Pablo por su esfuerzo, sacrificio y dedicación para que yo pueda ser quien soy y lograr mis metas, le dedico a mi pequeña sobrina Emma para que algún día se vuelva una mujer muy exitosa. Y a mi pareja Aarón por su amor y comprensión.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO .....	viii
DEDICATORIA .....	ix
ÍNDICE DE GRAFICAS .....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
CAPÍTULO I .....	16
INTRODUCCIÓN .....	16
Antecedentes .....	16
Planteamiento del problema.....	17
Justificación .....	19
Pregunta directriz .....	19
Objetivos .....	20
Objetivo general. ....	20
Objetivos específicos.....	20
Hipótesis .....	20
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO .....	21
Caña de azúcar .....	21
Características de la Caña de Azúcar .....	21

Variedades Comerciales .....	21
Bagazo de caña de azúcar .....	22
Proceso de obtención de bagazo de caña .....	22
Composición química.....	23
Problemas ambientales .....	24
Gestión de residuos .....	24
Aprovechamiento de residuos .....	24
Economía Circular.....	24
Sostenibilidad energética.....	24
Briquetas .....	25
Definición.....	25
Tipos de briquetas .....	25
Diferentes procesos de producción de briquetas.....	26
Aglutinantes .....	26
Distintos aglutinantes usados en la elaboración de briquetas .....	27
Propiedades de las briquetas .....	28
Propiedades Mecánicas .....	28
Propiedades Energéticas.....	28
Ventajas de las briquetas a partir de residuos agroindustriales.....	29
Aplicación en la industria .....	29
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>31</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>

Localización Del Sitio Experimental .....	31
Obtención De La Materia Prima .....	31
Descripción del experimento .....	32
Análisis de las Propiedades Fisicoquímicas del Bagazo .....	32
Determinación de las condiciones del proceso para elaboración de briquetas a base de caña de azúcar. ....	34
Evaluación de características mecánicas y energéticas .....	36
CAPÍTULO IV .....	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	38
Propiedades Fisicoquímicas del Bagazo .....	38
Determinación de las condiciones del proceso para elaboración de briquetas a base de caña de azúcar. ....	39
Preparación de la materia prima.....	39
Preparación de las muestras .....	40
Evaluación de características mecánicas y energéticas .....	41
CAPÍTULO V .....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	47
Conclusiones .....	47
Recomendaciones .....	47
REFERENCIAS .....	48
ANEXOS .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero del Norte.....	31
<b>Figura 2</b> Porcentaje de cenizas en las muestras de briquetas obtenidas: .....	42
<b>Figura 3</b> Densidad de las briquetas obtenidas .....	43
<b>Figura 4</b> Poder calórico de las briquetas obtenidas .....	45
<b>Figura 5</b> Resistencia a la compresión de las briquetas obtenidas.....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Características de la caña de azúcar .....	21
<b>Tabla 2</b> Tipos de briquetas.....	25
<b>Tabla 3</b> Ventajas de las briquetas a partir de residuos agroindustriales .....	29
<b>Tabla 4</b> Tratamientos y porcentaje de aglutinante en base al tamaño de partícula.....	35
<b>Tabla 5</b> Resultados de Propiedades Fisicoquímicas del Bagazo .....	38

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Análisis de la varianza para Cenizas.....	58
<b>Anexo B.</b> Análisis de la varianza para densidad .....	59
<b>Anexo C.</b> Análisis de la varianza para poder calórico .....	60
<b>Anexo D.</b> Análisis de la varianza para resistencia a la compresión .....	61
<b>Anexo E.</b> Muestras pesadas bagazo .....	62
<b>Anexo F.</b> Prueba de Fibra del bagazo .....	63
<b>Anexo G.</b> Secado de bagazo .....	64
<b>Anexo H.</b> Preparación del aglutinante .....	65
<b>Anexo I.</b> Mezclado del bagazo con el aglutinante .....	66
<b>Anexo J.</b> Secado de la muestra .....	67
<b>Anexo K.</b> Prueba de resistencia a la compresión .....	68
<b>Anexo L.</b> Resultados poder calórico de la muestra.....	69

## RESUMEN

El bagazo de caña de azúcar es un residuo agroindustrial que debido a su inadecuada gestión, representa un problema en el sector azucarero. El uso de este residuo como combustible en la fabricación de briquetas es una alternativa que maximiza su aprovechamiento. Esta investigación busca obtener briquetas a partir del bagazo, como una alternativa sostenible para el aprovechamiento de residuos agroindustriales. En primer lugar, se realizó una caracterización fisicoquímica de la materia prima (humedad, cenizas y fibra), y se diseñaron nueve tratamientos experimentales con tres réplicas cada uno, combinando el tamaño de partícula (1 mm, 2 mm y 3 mm) y el porcentaje de aglutinante de almidón de yuca (15%, 20% y 25%). El bagazo fue sometido a secado, triturado, tamizado, mezclado, prensado y secado hasta obtener las briquetas, las cuales fueron evaluadas en cuanto a densidad, contenido de ceniza, poder calórico y resistencia a la compresión. Los resultados mostraron que el bagazo tiene propiedades adecuadas como materia prima (25% humedad, 1.79% cenizas y 52.19% fibra). Se evaluaron las características mecánicas y energéticas de las briquetas obtenidas, encontrando que el tratamiento T8 (2 mm y 25%) presentó el mayor poder calórico (20.76 MJ/kg), mientras que el tratamiento T3 (3 mm y 15%) generó la menor cantidad de cenizas (1.9%). No se encontraron diferencias significativas registradas en la densidad. El tratamiento T1 (1 mm y 15%) fue el tratamiento con la mayor resistencia a la compresión (22.64 kPa). Estos resultados confirman que el bagazo de caña de azúcar es una alternativa factible y eficiente para la producción de briquetas, aportando a la sostenibilidad energética y a la reducción de residuos en la industria azucarera.

*Palabras Clave:* Residuos agroindustriales, bagazo de caña de azúcar, briquetas, biocombustible.

## ABSTRACT

Sugarcane bagasse is an agro-industrial waste product that, due to inadequate management, represents a problem in the sugar sector. The use of this waste as fuel in the manufacture of briquettes is an alternative that maximizes its utilization. This research seeks to obtain briquettes from bagasse as a sustainable alternative for the utilization of agro-industrial waste. First, a physicochemical characterization of the raw material (moisture, ash, and fiber) was performed, and nine experimental treatments were designed with three replicates each, combining particle size (1 mm, 2 mm, and 3 mm) and the percentage of cassava starch binder (15%, 20%, and 25%). The bagasse was dried, crushed, sieved, mixed, pressed, and dried to obtain the briquettes, which were evaluated for density, ash content, calorific value, and compressive strength. The results showed that bagasse has suitable properties as a raw material (25% moisture, 1.79% ash, and 52.19% fiber). The mechanical and energy characteristics of the briquettes obtained were evaluated, finding that treatment T8 (2 mm and 25%) had the highest calorific value (20.76 MJ/kg), while treatment T3 (3 mm and 15%) generated the lowest amount of ash (1.9%). No significant differences were found in density. Treatment T1 (1 mm and 15%) was the treatment with the highest compressive strength (22.64 kPa). These results confirm that sugarcane bagasse is a feasible and efficient alternative for briquette production, contributing to energy sustainability and waste reduction in the sugar industry.

*Keywords:* agro-industrial waste, sugarcane bagasse, briquetting, biofuel.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

De acuerdo con lo manifestado por Ajala (2021), existen diferentes opciones para la reutilización del residuo de la caña de azúcar, recalcando que la biomasa del bagazo tiene un gran potencial para satisfacer la demanda energética global, fomentando también la sostenibilidad ambiental y económica.

En este contexto, Ullah et al. (2023) indican que la utilización de biomasa forestal para la producción de briquetas es una alternativa como combustible para la gestión forestal sostenible. Tras analizar diferentes parámetros de calidad de la producción de estos biocombustibles, se demostró que los tamaños de partículas de biomasa influyen en la densidad de las mismas, aunque no afecta en el porcentaje de humedad. Obteniendo como resultados una humedad de briqueta del 12%, y una densidad de 1092 kg/m<sup>3</sup>, también mostraron una durabilidad >95%, lo que garantiza su manejo sostenible.

Asimismo, un estudio realizado en Perú acerca de las propiedades fisicoquímicas del bagazo de caña de azúcar, tanto fresco como almacenado, evaluó el porcentaje de humedad, cenizas y fibra cruda. En la muestra de bagazo almacenado se obtuvieron valores de 39.09%, 10.09% y 37.71% respectivamente; mientras que en la muestra de bagazo fresco se obtuvo: 44.42%, 12.43% y 37.04% (Resano et al., 2022).

Por otro lado, Aliah et al., (2023) se evaluó el tamaño de partícula de las cáscaras de arroz y café en la fabricación de briquetas utilizando la celulosa, hemicelulosa y lignina presentes en las mismas como aglutinantes, demostrando que el mayor poder calorífico de 17.422 MJ/kg se obtuvo en la muestra tamizada con un tamaño de partícula de malla 60 (0.25 mm).

En el estudio realizado por Pang et al., (2019) se menciona que el tamaño de las partículas es un factor importante que afecta las propiedades físicas y mecánicas. Se realizaron pruebas de compresión uniaxial y triaxial para evaluar las propiedades mecánicas de las probetas de briquetas. Los resultados mostraron que entre menor sea el tamaño de partícula, aumentaran las propiedades de las briquetas, como la resistencia a la compresión uniaxial, el módulo elástico y el módulo de deformación de las briquetas. Las propiedades mecánicas la densidad y resistencia de las briquetas son propiedades dependientes principalmente de la fuerza de acoplamiento que existente entre las partículas y cuanto más pequeñas sean estas, mayor será la fuerza mecánica de engrane.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La industria azucarera genera una serie de sub productos o residuos agroindustriales tales como melaza, cachaza y bagazo de caña. Este último es el residuo fibroso más relevante en la industria puesto que puede ser utilizado como fuente de energía para alimentar el mismo proceso de producción de azúcar ayudando como combustible para el caldero en los ingenios azucareros (Rivera de Catillo, 1980). En el año 2020, esta industria procesó a nivel mundial más de 1800 millones de toneladas de caña de azúcar (García-Culqui et al., 2023). De este total, se estima que por cada tonelada de caña procesada se generan aproximadamente 320 kg de bagazo (Ajala et al., 2021).

Sin embargo, según García-Culqui et al. (2023) estos residuos generados en las diversas etapas de producción de azúcar son un problema en la industria azucarera debido a que, en numerosas industrias, estos subproductos no reciben una disposición adecuada, desperdiciando así su potencial. La falta de aprovechamiento adecuado del bagazo en los ingenios tiene varios impactos negativos entre ellos la acumulación del mismo presenta múltiples problemas ambientales, indica Cury et al. (2017) cuando un residuo tiene un

mal manejo se convierte en contaminante de los recursos naturales entre ellos: el suelo, agua y aire.

Por otro lado, durante el almacenamiento y la descomposición del bagazo, como indica (Verdezoto et al., 2021a) ha ocasionado que sirva como hospedero de plagas y enfermedades, esto ha afectado a cultivos cercanos, la salud y a la vez contaminado el ambiente. Explica Aguilar-Rivera N (2011) quien manifiesta que es debido a los hongos y reacciones químicas que se dan durante su descomposición que oscurecen las fibras, así como la degradación de componentes celulósicos. También la acumulación y descomposición anaeróbica del bagazo de caña de azúcar puede contribuir significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente de metano, lo que a su vez incrementa el efecto invernadero y el calentamiento global. (Verdezoto et al., 2021b)

Además, la falta de aprovechamiento de este subproducto lleva a la pérdida de oportunidades económicas al no utilizar el bagazo de caña de azúcar como materia prima para producir papel, tableros, biocombustibles, entre otros. Este residuo puede utilizarse para la elaboración de compost, lo que reduce la necesidad de fertilizantes químicos (Mendoza Rossano et al., 2023). Por otro lado, Manals et al., (2015) menciona que puede ser empleado en la generación de biocombustibles como bioetanol, biodiésel y biogás, lo que contribuye a la reducción del uso de combustibles fósiles, la mitigación del cambio climático y la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. El bagazo también puede ser aprovechado en la producción de alimentos para animales y en la fabricación de ladrillos, bloques u otros productos con valor agregado. (Bautista Montes et al., 2018)

### **1.3 Justificación**

Para abordar de manera efectiva el problema que trae consigo los residuos agroindustriales, es de suma importancia realizar la implementación de diferentes estrategias para su reducción, reutilización y disposición responsable (Zanovelli Nalevaiko et al., 2021). Además, la correcta gestión de los subproductos es fundamental para la mitigación de los impactos ambientales y de la seguridad que esta conlleva, así como de promover la sostenibilidad en los diferentes campos de la industria (Novillo, 2022), como lo es en la industria azucarera con el control del bagazo de caña. Esta solución implica adoptar enfoques alineados con los principios de economía circular de protección ambiental, permitiendo de este modo lograr un uso eficiente de los recursos y con una menor huella ambiental gracias a su reducción y buen manejo, trayendo beneficios tanto para la comunidad como para la empresa, como lo es la reducción de focos de contaminación, las nuevas posibilidades de empleo generadas por este campo (Vargas et al, 2018).

Una de las mejores estrategias para el manejo de los residuos agroindustriales es desarrollo de briquetas, que representan un valor agregado para el bagazo de caña. Las briquetas son biocombustibles que se elaboran en base a residuos forestales y agroindustriales, como el bagazo de caña (De Conti et al., 2022). Además, incluyen un alto poder calorífico, facilidad de encendido, baja humedad y alta densidad, por lo cual son ideales para la calefacción, cocina y uso industrial. Asimismo, las briquetas son una fuente bioenergética renovable y ecológica, ya que se fabrican con residuos que de otra manera serían desechados, reduciendo así la cantidad de residuos que se generan y se eliminan (Ullah et al., 2023).

### **1.4 Pregunta directriz**

¿La composición del bagazo de caña influye en la calidad de una briqueta?

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general.**

Obtener briquetas a partir del bagazo de caña de azúcar, como una alternativa sostenible para el aprovechamiento de residuos agroindustriales.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Analizar las propiedades fisicoquímicas del bagazo de caña disponible y su uso como materia prima para la fabricación de briquetas.
- Determinar las condiciones del proceso para elaboración de briquetas a base de caña de azúcar.
- Evaluar las características mecánicas y energéticas de las briquetas obtenidas.

## **1.6 Hipótesis**

La composición del bagazo de caña influye en la calidad de una briqueta.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Bagazo de caña

##### 2.1.1. Caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) es una gramínea tropical cuyo tallo almacena entre 12% y 16% de sacarosa, sintetizada por fotosíntesis. Esta planta aporta aproximadamente el 70% del azúcar producido a nivel mundial, siendo el 30 % restante derivado de la remolacha azucarera. Además del azúcar, la caña genera subproductos como melaza, empleada en la producción de alcohol y bebidas fermentadas, y bagazo, utilizado en la cogeneración de energía, producción de papel y aglomerados. También se aprovechan las hojas y tallos como forraje para el ganado (Olalla Mercadé, 2008).

##### 2.1.2. Características de la Caña de Azúcar

**Tabla 1**

*Características de la caña de azúcar*

Característica	Descripción
<b>Familia y género</b>	Poaceae (gramíneas), género <i>Saccharum</i>
<b>Origen</b>	Sudeste asiático; introducida en Europa en el siglo IX y en América en el siglo XV
<b>Cultivo en España</b>	Principalmente en Málaga, Granada y las Islas Canarias; ~2,200 ha cultivadas
<b>Tipo de cultivo</b>	Plurianual, con cortes cada 12 meses y duración promedio de 5 años en campo
<b>Tallo</b>	Macizo, de 2 a 5 metros de longitud y 5 a 6 cm de diámetro
<b>Sistema radicular</b>	Rizóma subterráneo fuerte; permite propagación vegetativa por tallos o rizomas

*Nota.* Adaptado de (Olalla Mercadé, 2008).

##### 2.1.3. Variedades Comerciales

Existen numerosas variedades de caña a nivel mundial. En España, la más cultivada ha sido la NC0310 (más del 80% de la superficie), aunque su uso ha disminuido por su vulnerabilidad al virus del mosaico. También se utilizan CP 44-101 y CP 65-357, originarias de Florida.

En México, destacan variedades nacionales como MEX 69-290 y MEX 79-431, así como extranjeras como CP 72-2086 y SP 70-1284, por su alta productividad y adaptación (Rangel-Estrada et al., 2016).

## **2.2. Bagazo de caña de azúcar**

El bagazo de caña de azúcar es el material fibroso que queda como subproducto después de que el jugo de la caña ha sido extraído mediante molienda o difusión en los ingenios azucareros. Este residuo equivale al 30% de la biomasa total de la caña de azúcar y está formado principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina (García-Culqui et al., 2023).

### **2.2.1. Proceso de obtención de bagazo de caña**

El bagazo de caña de azúcar es el residuo fibroso excedente de la extracción del jugo de la caña. El procedimiento de obtención del bagazo se realiza en varias etapas, que dependen según el tipo de producción (Resano et al., 2022c). A continuación, se describen detalladamente las etapas involucradas en este proceso, junto con referencias de artículos científicos relevantes (Ajala et al., 2021).

#### *Molienda de la Caña de Azúcar.*

La caña desfibrada pasa por un tándem de seis molinos, cada uno equipado con cuatro mazas ranuradas que, mediante presión hidráulica, extraen el jugo. Estas mazas operan con turbinas de vapor a 250 psi y sistemas que reducen su velocidad de 3600 a 6–7 rpm. El residuo sólido, denominado bagazo, se dirige a las calderas para su uso como

biomasa, generando vapor que se reutiliza en procesos industriales como evaporación, cocción, refinación y destilación (Zamora et al., 2016).

#### *Extracción del Jugo.*

Una vez que la caña ha sido molida, el jugo se extrae y se almacena en tanques para su posterior procesamiento. El jugo extraído tiene un pH entre 5.4 y 5.5 y se somete a sulfitación con dióxido de azufre para reducir impurezas y ajustar su pH a 4.5–4.8. Luego, se neutraliza con cal, elevando el pH a 7.2–7.5, y se calienta a más de 100 °C para clarificarlo. Los sólidos separados, llamados cachaza, se filtran para recuperar azúcar y se usan como abono orgánico. El jugo clarificado pasa a evaporación para continuar su procesamiento (Zamora et al., 2016).

Este jugo es rico en sacarosa y se somete a varios procesos, como evaporación y fermentación, para la producción de azúcar y etanol. El bagazo, que es el residuo fibroso, queda separado y representa entre el 26% y el 29% del peso de la caña molida (Aguilar-Rivera N, 2011)

#### **2.2.2. Composición química**

El bagazo de caña es el residuo fibroso que queda tras la extracción del jugo durante la producción de azúcar y alcohol. Está compuesto principalmente por celulosa (38.4%), hemicelulosa (23.2%) y lignina (25%), lo que lo convierte en una biomasa lignocelulósica apta para aplicaciones energéticas (Olalla Mercadé, 2008).

#### *Relevancia en la industria azucarera*

El bagazo de caña de azúcar es un subproducto abundante y de bajo costo que se genera en grandes cantidades en los ingenios azucareros y tiene una gran relevancia debido a el autoabastecimiento energético. A continuación, se detallan algunas de las principales aplicaciones y usos del bagazo en la industria azucarera, respaldados por artículos científicos (García-Culqui et al., 2023).

### **2.3. Problemas ambientales**

La acumulación del bagazo de caña sin un manejo adecuado puede convertirse en un foco de contaminación de suelos, agua y aire, además de generar emisiones de gases de efecto invernadero como metano debido a la descomposición anaeróbica del residuo (Verdezoto et al., 2021a). Asimismo, puede actuar como reservorio de plagas y enfermedades, afectando cultivos cercanos y la salud humana (Aguilar-Rivera et al., 2017).

#### **2.3.1. Gestión de residuos**

La inadecuada gestión del bagazo de caña puede llevar a la contaminación del suelo, agua y aire. En algunas regiones, el bagazo se acumula en grandes cantidades sin un destino apropiado, lo que genera problemas de disposición final (Broche. Mm H et al., 2022).

#### **2.3.2. Aprovechamiento de residuos**

El bagazo de caña es fuente de subproductos como: biocombustibles sólidos, papel, tableros aglomerados, compost o alimento animal, agregando valor económico a la cadena productiva y reduciendo la carga ambiental (Mendoza et al., 2013).

#### **2.3.3. Economía Circular**

Aprovechar el bagazo de caña como materia prima promueve a la una economía circular. Esto implica desarrollar estrategias para reutilizar y reciclar el bagazo en diversos usos industriales (Bautista Montes et al., 2018).

#### **2.3.4. Sostenibilidad energética**

El uso del bagazo como biocombustible para la generación de energía en los ingenios azucareros mejora la sostenibilidad energética del sector y reduce la dependencia de combustibles fósiles.

De acuerdo a Pokhrel et al., (2014) se ha demostrado que el bagazo puede satisfacer más del 60% de los requerimientos energéticos de un ingenio azucarero, dependiendo de la eficiencia del caldero. Para contribuir a la sostenibilidad de la industria azucarera es crucial la adecuada gestión y aprovechamiento del bagazo (Moreno Mora et al., 2012).

## 2.4. Briquetas

Las briquetas son un biocombustible sólido que ofrecen alta densidad energética, bajo contenido de humedad y facilidad de transporte (Huaman et al., 2021).

### 2.4.1. Definición

Las briquetas son bloques compactos de material combustible que se elaboran mediante la compresión de residuos agroindustriales, como el bagazo de caña de azúcar, de forma que facilita su transporte y almacenamiento. Este tipo de biocombustible se usa especialmente en calderas, estufas y hornos para la generación de energía térmica (Huaman et al., 2021).

### 2.4.2. Tipos de briquetas

Existen diferentes tipos de briquetas, que se clasifican principalmente según el material de origen y el proceso de fabricación:

**Tabla 2**

*Tipos de briquetas*

<b>Tipo de briqueta</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Poder calorífico (MJ/kg)</b>	<b>Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Bagazo de caña</b>	4.45-5.0	4.33-5.32	0.91	19.75-23.40	2.5-5.47 <sup>a</sup>
<b>Madera (serrín)</b>	2.6-9.3	1.75-10.47	0.32-0.71	5.95-6.91	6.6-18.2 <sup>b</sup>
<b>Biomasa mixta</b>	4.2-5.1	7.6-7.9	0.55-0.59	19.90-20.36	25.7-37.3 <sup>c</sup>

<b>Carbón vegetal (residuos agrícolas)</b>	5.3–6.9	11.5–21.4	0.43–0.43	32.4 <sup>d</sup>	—
--	---------	-----------	-----------	-------------------	---

*Nota.*; <sup>a</sup>Muarif et al., (2024); <sup>b</sup>Masyrroh et al., (2022); <sup>c</sup>P. Sreedev et al., (2023); <sup>d</sup>Muazu & Stegemann, (2017).

## 2.5. Diferentes procesos de producción de briquetas

La producción de briquetas a partir de bagazo de caña de azúcar según Mekonen et al. (2024) implica varios pasos, que pueden variar según la tecnología utilizada. Los procesos más comunes incluyen:

- *Recolección y Preparación del Material:* Se recolecta el bagazo de caña para posteriormente secarlo así disminuir su contenido de humedad.
- *Trituración:* El bagazo seco se tritura para reducir su tamaño y así facilitar la compactación.
- *Compactación:* Se aplica presión al material triturado para formar los bloques, este proceso puede variar según el tipo de prensa utilizada (pistón, rodillo).
- *Secado (opcional):* Para mejorar su durabilidad y reducir su humedad en algunos casos se requiere un secado adicional.
- *Enfriamiento y Almacenamiento:* Es importante que las briquetas se enfríen antes de ser almacenadas en un lugar adecuado para mantener la calidad del mismo.

## 2.6. Aglutinantes

Los aglutinantes son materiales que se agregan a la biomasa para mejorar la cohesión y resistencia de las briquetas durante el proceso de compactación y en su posterior uso como combustible. Existen diversos tipos de aglutinantes que se pueden

utilizar en la fabricación de briquetas, tanto de origen natural como sintético (Siahdashti et al., 2022).

### **2.6.1. Distintos aglutinantes usados en la elaboración de briquetas**

#### *Aglutinantes Naturales.*

- Almidón: Puede provenir de diferentes fuentes como el maíz, la yuca, la papa o el arroz, esta mejora la unión de las partículas y la resistencia mecánica de las briquetas (Yadeta et al., 2024).

- Melaza: Es un subproducto de la industria azucarera, también utilizado como aglutinante en la producción de briquetas, la cual proporciona una alta adhesión y contribuye a conservar la forma de las briquetas (Utcharyajit et al., 2019).

- Lignosulfonatos: Los lignosulfonatos son subproductos de la industria de pulpa y papel. Actúan como aglutinantes y mejoran la resistencia de las briquetas (Chipangura et al., 2024).

- Estiércol animal: El estiércol de animales como el ganado o las aves de corral puede utilizarse como aglutinante natural en la producción de briquetas, además, es un material de bajo costo (Yadeta et al., 2024).

#### *Aglutinantes Sintéticos.*

- Asfalto o brea: El asfalto o la brea se utilizan como aglutinantes en la producción industrial de briquetas a partir de carbón o coque pulverizado (Ugwu, 2013).

- Resinas sintéticas: Algunas resinas sintéticas, se han utilizado como aglutinantes en la fabricación de briquetas ya que aporta una buena resistencia (Chipangura et al., 2024).

## 2.7. Propiedades de las briquetas

Las briquetas poseen propiedades mecánicas y energéticas que son fundamentales para su rendimiento y aplicación en la industria lo que las hacen atractivas como biocombustibles.

### 2.7.1. Propiedades Mecánicas

- *Resistencia a la Compresión:* Mide la capacidad de las briquetas para soportar cargas sin deformarse y es crucial para el transporte y almacenamiento.
- *Durabilidad:* Indica la capacidad para resistir el desgaste y la fragmentación durante el manejo. Las briquetas bien compactadas y con un contenido adecuado de aglutinantes tienden a ser más duraderas (Utchariyajit et al., 2019).
- *Densidad:* Influye en su poder calorífico y en la eficiencia de la combustión. Una alta densidad generalmente muestra un mayor rendimiento energético (Granado et al., 2023).

### 2.7.2. Propiedades Energéticas

- *Poder Calorífico:* Es un indicador fundamental de su eficiencia como combustible. Un poder calorífico más alto significa que se libera más energía durante la combustión.
- *Contenido de Humedad:* Es crucial para su rendimiento energético, el contenido de humedad menor al 8% es ideal, debido a que un exceso de humedad puede disminuir el poder calorífico y la eficiencia de la combustión (Kartika et al., 2024).
- *Contenido de Cenizas:* Un valor menor al 10% es recomendable, ya que reduce la acumulación de residuos durante la combustión, lo que las hace competitivas en comparación con otros combustibles (P. Sreedev et al., 2023).

## 2.8. Ventajas de las briquetas a partir de residuos agroindustriales

Las briquetas ofrecen múltiples ventajas en comparación con otros combustibles tradicionales:

**Tabla 3**

*Ventajas de las briquetas a partir de residuos agroindustriales*

<b>Ventaja</b>	<b>Descripción</b>	<b>Impacto directo</b>
<b>Sostenibilidad</b>	Uso de residuos como bagazo de caña, cáscaras, aserrín, etc., que reduce la cantidad de desechos agroindustriales y evita su quema o descomposición.	Reducción de residuos, menor presión sobre bosques y uso eficiente de biomasa. <sup>a</sup>
<b>Reducción de emisiones</b>	Las briquetas producen menos CO <sub>2</sub> y partículas que la leña y el carbón vegetal.	Mejora de la calidad del aire y menor impacto en la salud y el clima. <sup>b</sup>
<b>Eficiencia energética</b>	Su bajo contenido de humedad y alta densidad aumentan el poder calorífico por unidad de masa.	Menor cantidad de combustible necesaria para igual rendimiento térmico. <sup>c</sup>
<b>Facilidad de manejo</b>	Son compactas, uniformes, limpias y fáciles de almacenar y transportar.	Ahorro en logística y almacenamiento; mayor comodidad en el uso diario. <sup>d</sup>
<b>Costos reducidos</b>	Materia prima de bajo costo o gratuita (residuos agrícolas); equipos de producción accesibles a pequeña escala.	Alternativa económica para comunidades rurales e industrias pequeñas. <sup>e</sup>

*Nota.* <sup>a</sup> Bot et al., (2023); <sup>b</sup> P. Sreedev et al., (2023); <sup>c</sup> Kartika et al., 2024; <sup>d</sup> Muarif et al., (2024); <sup>e</sup> Rivera López et al., (2020).

## 2.9. Aplicación en la industria

Las briquetas tienen diferentes aplicaciones en la industria según Kalak, (2023) , destacándose en:

- *Generación de Energía:* Para disminuir la dependencia de combustibles fósiles se usa en calderas industriales para la producción de vapor y electricidad, contribuyendo a la sostenibilidad del sector energético.

- *Industria Alimentaria:* Algunas personas prefieren el uso de briquetas en hornos y parrillas para la cocción de alimentos, ofreciendo una alternativa más limpia.
- *Construcción:* Las briquetas también pueden ser utilizadas como material de construcción, proporcionando una opción sostenible para la fabricación de bloques y otros productos.
- *Biocombustibles:* Las briquetas de bagazo de caña de azúcar se están explorando como una fuente de biocombustibles, contribuyendo a la diversificación de la matriz energética.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo, se presenta de manera detallada la metodología usada en la investigación, desglosando de forma ordenada el cumplimiento de cada objetivo planteado.

#### 3.1. Localización Del Sitio Experimental

La ejecución del experimento se llevó a cabo en una micro empresa “Agroindustrias San Gerónimo” (17N 47243 826969 a 1956 m.s.n.m.) en la parroquia urbana de la Dolorosa de Priorato, en el barrio Pimán.

#### 3.2. Obtención De La Materia Prima

El bagazo de caña de azúcar se obtuvo del Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta (17N 823085 53044 a 1600 m.s.n.m) ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, Parroquia Ambuquí.

#### Figura 1

*Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero del Norte*



*Nota.* Fuente: Google Maps (2025)

### 3.3. Descripción del experimento

#### 3.3.1. Análisis de las Propiedades Físicoquímicas del Bagazo

Para evaluar el potencial del bagazo de caña como materia prima para la elaboración de briquetas, se realizaron pruebas de humedad, cenizas y fibra. Las muestras fueron tomadas de IANCEM de la molienda del mismo día. Por otro lado, los análisis se llevaron a cabo por triplicado tres días posteriores a la toma de la muestra. Estos análisis se desarrollaron en el Campus San Vicente de Paul de los laboratorios de análisis físico químico de la Universidad Técnica del Norte (UTN) (17N 821293 38390 a 2215 m.s.n.m).

- **Humedad**

Para realizar este análisis por triplicado, en primer lugar, los crisoles se sometieron a un secado inicial durante 15 minutos a 105 °C, seguido de un enfriamiento en un desecador por otros 15 minutos, con el objetivo de asegurar la precisión de los análisis. Posteriormente, se tomaron tres muestras de bagazo de caña, cada una con un peso de 2 gramos ( $P_0$ ), las cuales fueron colocadas en los crisoles previamente preparados. Luego se colocaron en el horno por 24 horas a 105 °C. Transcurrido el tiempo se pesaron los crisoles con las muestras ( $P$ ) para finalmente aplicar la ecuación (1) y así obtener el porcentaje de humedad del bagazo, según la normativa NTE INEN 1160 (INEN, 2012).

#### **Porcentaje de humedad.**

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{P - P_0}{P_0} * 100 \quad (1)$$

Donde:

- $P_0$  es el peso inicial de la muestra.
- $P$  es el peso final de la muestra.

- **Cenizas**

Con el fin de conocer el porcentaje de humedad de este residuo, se realizó la misma preparación de los crisoles que se utilizó para el análisis de humedad; de igual

manera se pesaron 2 gramos de la muestra en el crisol ( $m_2$ ). A continuación, las muestras se trasladaron a una mufla, donde se incineraron a 500 °C durante 5 horas. Finalmente, se pesaron las cenizas obtenidas ( $m_1$ ) y se aplicó en la ecuación (2) para calcular el porcentaje de cenizas, según la normativa NTE INEN 0520 (INEN, 2012).

### Porcentaje de cenizas

$$Cenizas (\%) = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100 \quad (2)$$

Donde:

- $m_1$  es la masa del crisol vacío.
- $m_2$  es el peso del crisol con la muestra.
- $m_3$  es el peso del crisol con las cenizas.

- **Fibra**

Para determinar el porcentaje de fibra por triplicado se utilizó el equipo Fibertec, se inició pesando 1 gramo de la muestra en cada crisol ( $W_0$ ), en una gradilla se colocaron los crisoles para posteriormente fijarlos en el equipo. Se preparó y calentó a 90 °C ácido sulfúrico y se añadió 150 ml por la parte superior del refrigerante, añadiendo 2 gotas de n-Octanol para prevenir la formación de espuma durante el calentamiento. Se activó el equipo y, se mantuvo una ebullición leve por 30 minutos. Luego, se filtraron los residuos y se lavaron tres veces con agua destilada caliente.

A continuación, se agregaron 150 ml de hidróxido de sodio precalentado a 90 °C, se añadieron nuevamente gotas de n-octanol y se mantuvo la ebullición durante otros 30 minutos. Posteriormente, se filtró y se lavó tres veces más con agua destilada caliente. Luego, los crisoles se retiraron y se secaron en el secador a 100 °C durante tres horas. Pasado ese tiempo, se pesaron ( $W_1$ ) y luego se llevaron a incinerar en la mufla a 500 °C durante tres horas. Después de enfriar, se volvió a pesar ( $W_2$ ) y se remplazaron los datos

en la ecuación (3) para obtener el porcentaje de fibra del bagazo, según la normativa NTE INEN 522 (INEN, 2013).

### **Porcentaje de Fibra**

$$Fibra\ cruda\ (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_0} * 100 \quad (3)$$

Donde:

- $W_0$  peso de la muestra.
- $W_1$  peso de los crisoles.
- $W_2$  peso de la muestra después del secado.

### **3.3.2. Determinación de las condiciones del proceso para elaboración de briquetas a base de caña de azúcar.**

Para determinar las condiciones del proceso de fabricación de briquetas, se estableció un protocolo específico que permite identificar los requisitos necesarios para cada etapa del proceso.

Una vez obtenido el bagazo de caña de IANCEM, se procedió a secar utilizando el método de bandejas en el equipo FTPA2000-PH40. La humedad inicial del bagazo se midió con un medidor de humedad de granos OMEGA, obteniendo un promedio de 25 %. Posteriormente, se colocó 0.5 kg de bagazo en cada bandeja y se sometieron a un tratamiento térmico a 60 °C por un tiempo aproximado de 60 minutos, logrando una humedad final cercana al 0%.

Una vez reducida la humedad de la materia prima fueron triturados en un triturador de biomasa PULVERISETTE 15 utilizando mallas de tamaños 1 mm, 2 mm y 3 mm para obtener los tamaños deseados.

Se colocaron un aproximado de 2kg de cada tamaño de partícula en fundas transparentes que se sellaron para evitar humedad, se preparó el aglutinante en relación

70-30 entre almidón de yuca y agua. Se realizaron los siguientes tratamientos para la mezcla, los cuales se describen en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Tratamientos y porcentaje de aglutinante en base al tamaño de partícula*

<b>Tratamiento</b>	<b>Aglutinante (%)</b>	<b>Tamaño de Partícula (mm)</b>
T1	15	1
T2	15	2
T3	15	3
T4	20	1
T5	20	2
T6	20	3
T7	25	1
T8	25	2
T9	25	3

El proceso de preparación de las muestras se realizó bajo condiciones controladas, manteniendo un contenido de humedad entre el 10% y el 15%, lo que es crítico para asegurar una adecuada compactación del material. Durante esta etapa, el bagazo de caña de azúcar fue sometido a una alta presión en la matriz de la peletizadora, donde con ayuda del aglutinante se unieron eficazmente, formando pellets densos y homogéneos de 5 mm de diámetro y 20 mm de largo.

Para llevar a cabo cada tratamiento se pesaron 100 g de bagazo. En cuanto al aglutinante, las cantidades correspondientes a cada porcentaje son: 17.65 g que son el 15%, 25 g que representan el 20%, y 34 g con el 25%. Posteriormente, tras mezclar cada tratamiento, se colocaron en la peletizadora. Una vez obtenidos los pellets se dejaron secar al sol por un aproximado de una hora. Este proceso se repitió dos veces más, obteniendo un total de 27 unidades experimentales. Por último, se empacaron en bolsas de papel para luego almacenarlas hasta realizar los análisis correspondientes.

### 3.3.3. Evaluación de características mecánicas y energéticas

Para corroborar la calidad de las briquetas, así como definir cuál fue el mejor tratamiento fue importante realizar las siguientes pruebas:

- **Ceniza:**

Para determinar el porcentaje de cenizas en las briquetas, se utilizó el mismo procedimiento que se realizó anteriormente con el análisis de cenizas del bagazo, así como se usó la misma Ecuación (2).

- **Densidad:**

Para realizar el análisis de densidad de las briquetas, se pesaron 10 gramos de la muestra ( $m$ ) utilizando una balanza analítica para obtener su masa exacta. Seguidamente, se sumergieron las briquetas en 100 ml agua para determinar su volumen desplazado, utilizando una probeta. El volumen desplazado se registró como  $V$ . La densidad ( $D$ ) se calculó utilizando la ecuación 4, según la Norma ISO 1183 (ISO, 2019).

#### **Densidad**

$$Densidad = \frac{m}{V} \quad (4)$$

Donde:

- $m$  masa de la briqueeta.
- $V$  volumen desplazado por la briqueeta.

- **Poder Calórico:**

Para realizar el análisis del poder calorífico de las briquetas, se utilizó un calorímetro isoperibólico LECO AC 500. Este equipo permite medir de manera precisa la energía liberada durante la combustión de las muestras. Se pesó una cantidad específica de briqueeta (1 g) y se colocó en la cámara de combustión del calorímetro, que previamente se había llenado con oxígeno a una presión adecuada. Durante la combustión, el

calorímetro registró un aumento de temperatura lo que mostró una curva que indicó la variación térmica.

Finalmente, se tomó los datos mostrados en el equipo (MJ/kg). Este valor proporciona información sobre la eficiencia energética de las briquetas, siendo fundamental para evaluar su viabilidad como biocombustible (Bajcar et al., 2023).

- **Resistencia a la compresión:**

Para evaluar la resistencia a la compresión de las briquetas, se utilizó un texturómetro. Se colocaron tres briquetas en el equipo y se aplicó una carga axial creciente hasta que cada briqueta fallara. Se registró la carga máxima soportada por cada briqueta antes del colapso (F). La resistencia a la compresión (RC) se calculó con la ecuación (5).

**Resistencia a la compresión**

$$\text{Resistencia a la Compresion} = \frac{F}{A} \quad (5)$$

*Nota. Adaptado de (Kabaş et al., 2022)*

Donde:

- $F$  es la carga máxima soportada.
- $A$  es el área de sección transversal de la briqueta.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo, se presentan los resultados obtenidos en relación a los objetivos específicos planteados y en base a la metodología anteriormente descrita. Además, se llevará a cabo una discusión de estos resultados con hallazgos previos de otros autores.

#### 4.1. Propiedades Fisicoquímicas del Bagazo

Para la estandarización de la materia prima, se analizaron las variables de humedad, cenizas y fibra, para tener como punto de partida en la elaboración de las briquetas. Los resultados se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Resultados de Propiedades Fisicoquímicas del Bagazo*

<b>Muestra</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Cenizas* (%)</b>	<b>Fibra* (%)</b>
<b>Bagazo de caña de IANCEM</b>	25±0.99	1.79±0.28	52.19±0.14

*Nota.* \*Estas muestras fueron obtenidas en base a materia seca

El contenido de humedad obtenido se encuentra dentro del valor promedio analizado por otros investigadores, así como Resano et al., (2022), el cual analizó varias muestras de bagazo obteniendo como valor mínimo 37.8% y como valor máximo 57.6%. De igual forma, resalta que la variación de valores se debe al tipo de procesamiento y almacenamiento. Por otro lado, Mekonen et al., (2024) menciona que el bagazo de caña sin tratamiento previo tiene un contenido de humedad del 40 % al 50 %. En comparación de otras materias primas para briquetas como podemos observar en otros estudios: la cáscara de arroz (10%-15%), el aserrín (20%-30%) y los residuos agrícolas (15%-25%) (Olugbade et al., 2019).

El porcentaje de cenizas obtenido fue de 1.8% lo que indica un resultado favorable, ya que demuestra que esta materia prima genera pocos residuos sólidos después

de la combustión. Este valor es similar con lo reportado por Mendoza et al., (2013), donde encontraron que el bagazo de caña de azúcar tiene un contenido de cenizas que oscila entre 1.5% y 4%, lo cual varía según el proceso de combustión y las condiciones de calcinación. Asimismo, Resano et al., (2022) reportaron valores que varían entre 1.2% y 2.5%, lo que refuerza la consistencia de los resultados obtenidos en este estudio.

El alto contenido de fibra del bagazo de caña de azúcar (52.2%) es un indicador positivo para la elaboración de briquetas, ya que contribuye a la densidad y resistencia mecánica del producto final. Este resultado es consistente con lo reportado por (Rangel et al., 2016), quienes encontraron que el bagazo de caña de azúcar tiene un contenido de fibra cercano al 50%, lo que lo hace ideal para la producción de briquetas densas y duraderas. Además, estudios como el de Zewdie & Ali, (2021) destacan que la fibra en el bagazo, combinada con un aglutinante como el almidón de yuca, puede mejorar la cohesión y la estabilidad de las briquetas durante la combustión.

#### **4.2. Determinación de las condiciones del proceso para elaboración de briquetas a base de caña de azúcar.**

La determinación de las condiciones idóneas para la elaboración de briquetas toma un enfoque en la preparación de la materia prima y el proceso de pelletizado, donde se encontraron sinergias y divergencias con estudios previos.

##### **4.2.1 Preparación de la materia prima**

La preparación de la materia prima para la elaboración de briquetas es un paso importante, ya que esto influye directamente en la calidad del producto final.

- **Secado**

Para determinar el tiempo de secado se partió de la humedad inicial del 25% y se midió el valor del material cada 30 minutos. En la primera medición, se registró una humedad de 15%. En la segunda medición, se obtuvo un valor de  $\pm 0$  %. Por lo cual se

determinó que el tiempo correcto de secado es de 60 minutos a una temperatura de 60 °C, de acuerdo con parámetros sugeridos por estudios previos sobre el secado del bagazo de caña (Soares et al., 2020).

Estos resultados garantizan las condiciones ideales para su compactación. Una humedad residual cercana al 0% es recomendado para evitar problemas durante el proceso de la formación de briquetas débiles o con baja cohesión estructural. Estos datos coinciden con la investigación realizada por Manals et al., (2015), quienes encontraron que mantener una humedad entre 0% - 5% mejora notablemente la calidad mecánica y energética de las briquetas.

- **Tamizado**

En estos resultados se observó que tamizado del bagazo tuvo una relación directa con las propiedades mecánicas y energéticas de las briquetas obtenidas, ya que un tamaño de partícula homogéneo favoreció a la compactación final, esto mostró una mayor densidad y resistencia mecánica. Así como muestra Aliah et al., (2023) en su estudio indicando que la determinación del tamaño de partícula mediante tamices es crucial para el control de calidad en productos derivados de la caña de azúcar.

Asimismo, el uso de tamaños definidos (1 mm, 2 mm y 3 mm) mostró una eficiencia directa en la eficiencia del proceso de compactación. Se comprobó que las partículas más finas favorecen aglomeración del material y teniendo una alta densidad y bajo producción de residuos. Los valores fueron semejantes a los reportados por Setter et al., (2021) donde se demostró que menor tamaño de partícula mejora las propiedades mecánicas y energéticas de las briquetas.

#### **4.2.2 Preparación de las muestras**

Los resultados obtenidos durante la preparación de las muestras demuestran que mantener un contenido de humedad entre el 10% y 15% y el uso de almidón como

aglutinante natural, fue fundamental para lograr una compactación eficiente. Bajo estas condiciones, se obtuvo una buena cohesión entre las partículas, lo que resultó en briquetas densas y uniformes.

Estos hallazgos coinciden con estudios previos que destacan la importancia de controlar la humedad y aplicar presión suficiente durante el proceso de compactación. Por ejemplo, Silva et al., (2020) reporta resultados similares, indicando que condiciones de humedad controlada permite obtener briquetas de buena calidad. Al igual que, Verdezoto et al., (2021) comprueba que las briquetas de bagazo correctamente procesadas superan los 16 KJ/kg de poder calórico.

En comparación con estudios realizados por Adeleke et al., (2023) revela que los parámetros utilizados favorecen en las prácticas de la industria. Así como se ha encontrado que conservar un rango de humedad adecuado y aplicar presión durante el proceso de prensado son factores fundamentales para que la calidad del producto esté garantizada.

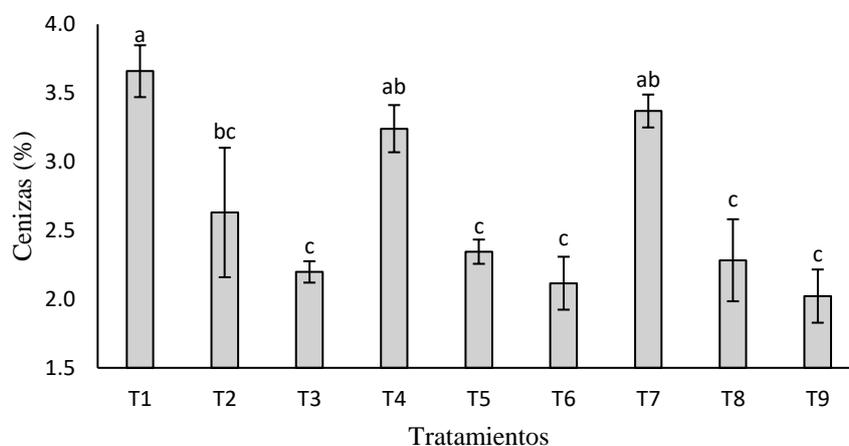
#### **4.3. Evaluación de características mecánicas y energéticas**

- **Cenizas**

El porcentaje promedio de cenizas en las briquetas fue de 2.6%, con un coeficiente de variación (CV) del 11.44%, lo que indica una variabilidad moderada en los datos. Los tratamientos mostraron medias de porcentaje de cenizas que variaron entre 1.9% (T3) y 3.6% (T1). El tamaño efectivo de celda fue de 3 observaciones por tratamiento, y el error estándar de la media se calculó en 0.1%. (Anexo A)

## Figura 2

*Porcentaje de cenizas en las muestras de briquetas obtenidas:*



*Nota.* Las letras diferentes sobre las barras indican diferentes estadísticas significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey.

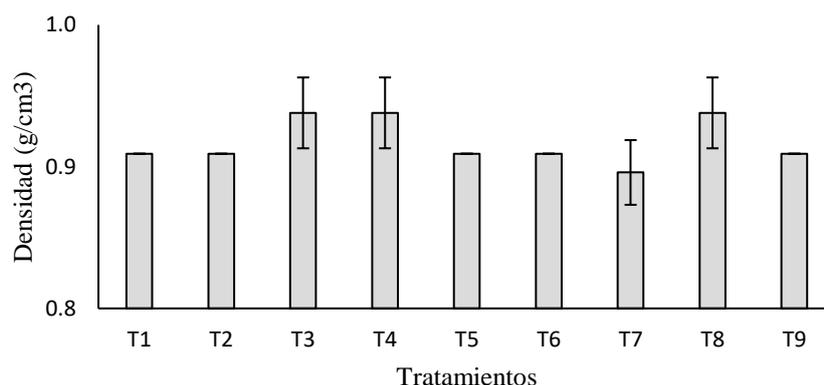
El porcentaje de cenizas en las briquetas elaboradas con bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca varió entre 1.9% y 3.6%, con un promedio de 2.6%, lo que es consistente con estudios previos como el de Mekonen et al., (2024), quienes reportaron valores entre 2.5% y 3.8% para briquetas de bagazo, y Muazu & Stegemann, (2017), quienes encontraron un rango de 1.5% a 4%. En relación con otras materias primas, el contenido de cenizas obtenido es notoriamente más bajo que el de la cáscara de arroz, el cual puede llegar hasta 20% (Rodríguez et al., 2017), y semejante al del aserrín, que tuvo resultados entre 1% y 3% (Resano et al., 2022d). Además, en comparación con los datos obtenidos en residuos agrícolas (entre 2% y 5%) según Pang et al., (2019) y en la cáscara de café (entre 2% a 4%), de acuerdo con Oyelaran (2015). Esta similitud evidencia que el bagazo de caña de azúcar es una materia prima adecuada para la producción de briquetas con bajo contenido de cenizas, lo que las hace más limpias y eficientes en comparación con otras biomásas.

- **Densidad**

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas en la densidad de las briquetas ( $p=0.0280$ ). La densidad promedio de las briquetas fue de  $0.9173 \text{ g/cm}^3$ , con un coeficiente de variación (CV) del 1.78%, lo que indica una baja variabilidad en los datos. Los tratamientos presentaron densidades que variaron entre  $0.8959 \text{ g/cm}^3$  (T7) y  $0.9380 \text{ g/cm}^3$  (T3, T4 y T8), siendo estos últimos los que mostraron los valores más altos. El error estándar de la media fue de  $9.418 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ , y el error estándar de la diferencia entre dos medias fue de  $0.0133 \text{ g/cm}^3$ . (Anexo B).

**Figura 3**

*Densidad de las briquetas obtenidas*



*Nota.* Las barras representan el promedio  $\pm$  error estándar de la densidad ( $\text{g/cm}^3$ ) para cada tratamiento.

Los resultados de densidad obtenidos en este estudio se encuentran dentro del rango reportado en la literatura para briquetas de biomasa. Como en el estudio realizado por Mibulo et al., (2023) donde mencionan que la densidad de briquetas fabricadas con residuos agrícolas suele ser entre  $0.8 \text{ g/cm}^3$  y  $1.2 \text{ g/cm}^3$ , lo que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación (entre  $0.8 \text{ g/cm}^3$  y  $0.9 \text{ g/cm}^3$ ). También, Mekonen et al., (2024) evidenciaron densidades de briquetas de bagazo de caña de azúcar no mayores a  $1.0 \text{ g/cm}^3$ , lo que es consistente con estos hallazgos. En comparación con otros materiales,

como la cáscara de arroz, que puede tener densidades más bajas (entre 0.7 g/cm<sup>3</sup> y 0.9 g/cm<sup>3</sup>) como lo reporta Gill et al., (2017), el bagazo de caña de azúcar se presenta como una opción más densa y resistente.

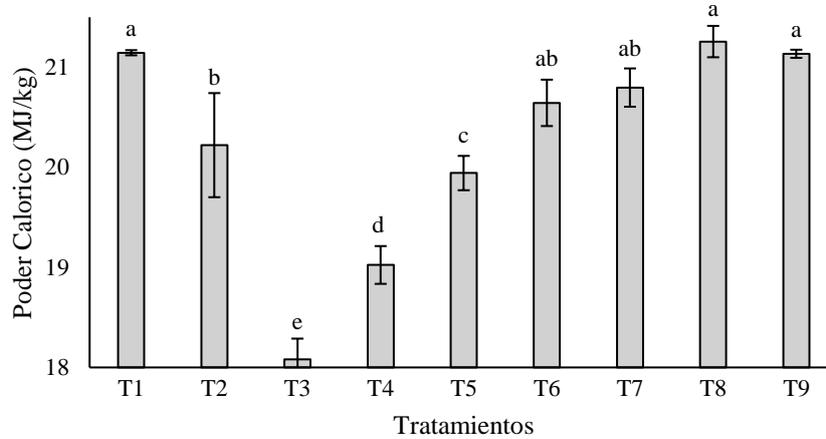
Estos resultados muestran que tanto el tamaño de partícula como el porcentaje de aglutinante influyen en la densidad de las briquetas. Los tratamientos con mayores valores de densidad (0.94 g/cm<sup>3</sup>) fueron T3 (3 mm, 15%), T4 (1mm, 20%) y T8 (2 mm, 25%), reflejan que no existe una tendencia lineal única, pero si una interacción entre ambas variables. Lo cual sugiere una relación inversa complementaria entre tamaño de partícula y el porcentaje de aglutinante. Esta interacción evidencia que no es solo una variable la que determina el rendimiento, sino la combinación adecuada de ambas, lo cual concuerda con estudios previos que destacan la importancia del balance entre tamaño de partícula y el agente aglutinante en la calidad de las briquetas (Mekonen et al., 2024).

- **Poder Calórico**

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias altamente significativas en el poder calorífico (p=0.0000) (Anexo C). El valor promedio de poder calorífico en las briquetas fue de 19.750 MJ/kg, con un coeficiente de variación (CV) del 1.19%, lo que muestra una menor variabilidad en los datos. El tratamiento con poder calorífico más bajo fue T3 (17.581 MJ/kg) y por el contrario T8 tuvo el valor más alto (20.757 MJ/kg).

**Figura 4**

*Poder calórico de las briquetas obtenidas*



*Nota.* Las letras diferentes sobre las barras indican diferentes estadísticas significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey.

En términos generales, los resultados mostraron que un tamaño de partícula intermedio (2 mm) proporciona un equilibrio favorable en la combustión. Por lo contrario, los tratamientos con partículas más gruesas (3 mm) registraron valores más bajos, como fue el caso de T3 (17.43 MJ/kg). Esto coincide con lo reportado por Mekonen et al., (2024) donde observaron que partículas más finas y un porcentaje de aglutinante de 15% utilizando melaza y estiércol optimizaban el rendimiento energético, los tratamientos para maximizar el poder calorífico y mejorar su desempeño energético.

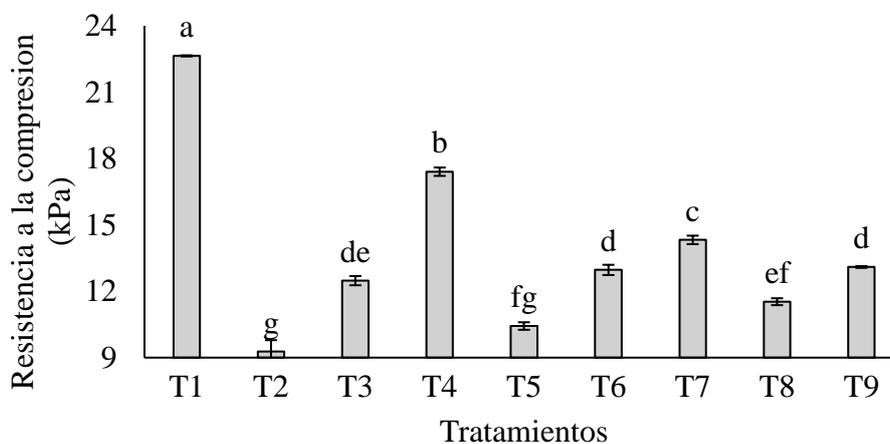
Asimismo, Afra et al., (2021) obtuvieron valores entre 19.85 MJ/kg y 29 MJ/kg, destacando la influencia del tipo de aglutinante a utilizar en la eficiencia energética. Por otro lado, observaron que el uso de microalgas como aglutinante incrementó notablemente el poder calórico, alcanzando hasta 25 MJ/kg. En conjunto, estos estudios respaldan la influencia que tiene la relación entre el tamaño de partícula y el aglutinante.

- **Resistencia a la Compresión**

El análisis de la varianza (Anova) se encontraron diferencias significativas en la resistencia a la compresión ( $p < 0.0001$ ). El tratamiento que alcanzó un mayor valor fue el T1 (22.64 kPa), por otro lado, el valor más bajo fue T2 (9.27 kPa). El resto de los tratamientos obtuvo un valor intermedio, afirmando una notable variabilidad entre ellos. (Anexo D).

**Figura 5**

*Resistencia a la compresión de las briquetas obtenidas*



*Nota.* Las letras diferentes sobre las barras indican diferentes estadísticas significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey.

Estos hallazgos coinciden con lo mencionado por Mekonen et al., (2024), quienes señalaron que el uso de partículas finas (~0.77 mm) y aglutinantes en dimensiones apropiadas (~15%) asegura la calidad física de las briquetas, incrementando la densidad y la resistencia mecánica. Por el contrario, Inuma et al., (2023) lograron resistencias de hasta 6.47 MPa utilizando aglutinantes compuestos (arcilla y papel). Este valor es significativamente mayor a los de la presente investigación, lo que plantea que el método de compactación y el tipo de aglutinante tienen un impacto clave en la resistencia.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- El bagazo de caña analizado presenta propiedades fisicoquímicas favorables para el uso como materia prima en la elaboración de briquetas, lo que contribuye al aprovechamiento eficiente de residuos agroindustriales.

- Se logró encontrar un tamaño de partícula, porcentaje de aglutinante que garantiza la combinación, cohesiones fundamentales para garantizar la calidad de las briquetas, brindando una alternativa de uso y reducción de impacto ambiental.

- Las briquetas elaboradas presentaron un poder calórico promedio de 19.75 MJ/kg, bajo porcentaje de cenizas (2.6%) y densidad (0.91 g/cm<sup>3</sup>), lo que confirma su viabilidad como biocombustible sólido sostenible y competitivo frente a otros residuos agroindustriales.

#### 5.2. Recomendaciones

- Evaluar otros aglutinantes que pueden ser obtenidos de los residuos agroindustriales y así lograr reducir aún más su impacto ambiental.

- Optimizar su desempeño y ampliar su aplicabilidad como fuente energética renovable.

## REFERENCIAS

- Adeleke, A. A., Nzerem, P., Salihu, A., Anosike-Francis, E. N., Olosho, A. I., Obasesam, E. E., Abubakar, S. S., Yerima, D. J., & Jakada, K. (2023). A Review on Biomass Briquettes as Alternative and Renewable Fuels. *2023 2nd International Conference on Multidisciplinary Engineering and Applied Science, ICMEAS 2023*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICMEAS58693.2023.10429785>
- Afra, E., Abyaz, A., & Saraeyan, A. (2021). The production of bagasse biofuel briquettes and the evaluation of natural binders (LNFC, NFC, and lignin) effects on their technical parameters. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123543. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123543>
- Agam, M., Mulyawan, R., Fikri, A., Yulisda, D., Sutarma, D., Rukmana, I. R., & Kasyir Pane, A. (2024). Analysis of Briquettes Characteristics Made of Oil Palm Frond Waste and Sugarcane Bagasse with. *Proceedings MICoMS, 2024*, 1–7. <https://doi.org/10.29103/micoms.v4.2024>
- Aguilar-Rivera N. (2011a). Effect of Storing of Sugar Cane Bagasse on Physical Properties from Cellulose for Paper. *Ingeniería Investigación y Tecnología, 1*, 189–197.
- Aguilar-Rivera N. (2011b). Effect of Storing of Sugar Cane Bagasse on Physical Properties from Cellulose for Paper. *Ingeniería Investigación y Tecnología, 1*, 189–197.
- Aguilar-Rivera, N., Debernardi-Vázquez, T. J., & Herrera-Paz, H. D. (2017). SUBPRODUCTOS, COPRODUCTOS Y DERIVADOS DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA. *AGRO Productividad, 10(11)*, 13–20.
- Ajala, E. O., Ighalo, J. O., Ajala, M. A., Adeniyi, A. G., & Ayanshola, A. M. (2021). Sugarcane bagasse: a biomass sufficiently applied for improving global energy,

environment and economic sustainability. En *Bioresources and Bioprocessing* (Vol. 8, Número 1, pp. 1–25). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00440-z>

Aliah, H., Winarti, I., Iman, R. N., Setiawan, A., Safarina, R., & Sawitri, A. (2023). Influence of Sieve Size on Calorific Value and Proximate Properties of Bio-Briquette Composites. *Journal of Ecological Engineering*, 24(7), 25–34. <https://doi.org/10.12911/22998993/163309>

Asociación Española de Normalización. (2021). *Biocombustibles sólidos Especificaciones y clases de combustibles. Parte 7: Clases de briquetas de origen no leñoso (ISO 17225-7:2021)*.

Bajcar, M., Zardzewiały, M., Saletnik, B., Zaguła, G., Puchalski, C., & Gorzelany, J. (2023). Torrefaction as a Way to Remove Chlorine and Improve the Energy Properties of Plant Biomass. *Energies*, 16(21), 1–10. <https://doi.org/10.3390/en16217365>

Bautista Montes, L., Castillo Ruiz, O., Acosta González, R. I., Garza Cano, E., & Rodríguez Castillejos, G. C. (2018). Aprovechamiento de bagazo de caña de azúcar para obtención de furfural. *Inventio*, 14(34), 39–43. <https://doi.org/10.30973/inventio/2018.14.34/5>

Bot, B. V., Axaopoulos, P. J., Sosso, O. T., Sakellariou, E. I., & Tamba, J. G. (2023). Economic analysis of biomass briquettes made from coconut shells, rattan waste, banana peels and sugarcane bagasse in households cooking. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 14(2), 179–187. <https://doi.org/10.1007/s40095-022-00508-2>

Broche. Mm H, Rico, I. L. R., & Alea Martínez, Y. R. (2022). Caracterización de residuos agroindustriales y su aplicación en la remoción de azul de metileno de

soluciones acuosas por adsorción. *Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry*, 79, 467–473.

<https://doi.org/10.55815/408294>

Chipangura, W., Masauli, B., Mungwari, C. P., Nyamunda, B. C., Madziwa, T. N.,

Nyathi, L., Tom, H. T., & Chigondo, M. (2024). Fabrication of briquettes from charcoal fines using tannin formaldehyde resin as a binder. *European Journal of Sustainable Development Research*, 8(1), 1–9.

<https://doi.org/10.29333/ejosdr/14125>

Cury R, K., Aguas M, Y., Martinez M, A., Olivero V, R., & Chams Ch, L. (2017).

Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S1), 122–132.

<https://doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.530>

De Conti, A. C., Granado, M. P. P., Padilla, E. R. D., Nakashima, G. T., De Conti, C., &

Yamaji, F. M. (2022). Binderless Briquetting of Mixed Cassava Rhizome,

Sugarcane Bagasse, and Sugarcane Straw for Producing Solid Biofuel with High Durability. *Bioenergy Research*, 15(1), 507–516. [https://doi.org/10.1007/s12155-](https://doi.org/10.1007/s12155-021-10300-5)

[021-10300-5](https://doi.org/10.1007/s12155-021-10300-5)

García-Culqui, R., Jácome-Pilco, C., Guevara-Narváez, Lady, & Moreta-Guangasi, T.

(2023a). Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como residuo importante para la agroindustria. *593 Digital Publisher CEIT*, 8(3),

134–148. <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.3.1661>

García-Culqui, R., Jácome-Pilco, C., Guevara-Narváez, Lady, & Moreta-Guangasi, T.

(2023b). Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)

como residuo importante para la agroindustria. *593 Digital Publisher CEIT*, 8(3),

134–148. <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.3.1661>

- Gill, N., Dogra, R., & Dogra, B. (2017). Influencia del contenido de humedad, el tamaño de las partículas y la proporción de aglutinantes en la calidad y la economía de las briquetas de paja de arroz. *Bioenergy Research*, *11*(1), 54–68.  
<https://doi.org/10.1007/s12155-017-9877-9>
- Granado, M. P. P., Gadelha, A. M. T., Rodrigues, D. S., Antonio, G. C., & De Conti, A. C. (2023). Effect of torrefaction on the properties of briquettes produced from agricultural waste. *Bioresource Technology Reports*, *21*, 101340.  
<https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2023.101340>
- Huaman, H., Ramirez, M., & Surichaqui, R. (2021). *Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche*. Universidad Continental.
- Inuma, F. M., Mohammed, J., & Bawa, M. A. (2023). Production and Optimization of Briquettes from Sugarcane Bagasse using Blends of Waste Paper and Clay as Binders. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, *27*(3), 571–577. <https://doi.org/10.4314/jasem.v27i3.22>
- Kabaş, Ö., Ünal, İ., Sözer, S., Selvi, K. C., & Ungureanu, N. (2022). Quality Assessment of Biofuel Briquettes Obtained from Greenhouse Waste Using a Mobile Prototype Briquetting Machine with PTO Drive. *Energies*, *15*(22), 1–14.  
<https://doi.org/10.3390/en15228371>
- Kalak, T. (2023). Potential Use of Industrial Biomass Waste as a Sustainable Energy Source in the Future. En *Energies* (Vol. 16, Número 4, pp. 1–25). MDPI.  
<https://doi.org/10.3390/en16041783>
- Kartika, S., Anisyah, Parmin, L. T., & Andi, A. S. (2024). Variations of Coconut Shell, Rice Husk, and Bagasse as an Alternative of Briquettes Materials. *Jurnal ILMU DASAR*, *25*, 6. <https://doi.org/https://doi.org/10.19184/jid.v25i1.33864>

- Manals, E., Penedo, M., & Salas, D. (2015a). Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal. *RTQ online*, 35(2).
- Manals, E., Penedo, M., & Salas, D. (2015b). Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal. *Tecnología Química*, 35, 179–192.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543787003>
- Masyruroh, A., Rahmawati, I., Banten Jaya, U., Syekh Nawawi Al Bantani, J., Banten, S., Kunci, K., Alternatif, E., & Kayu, S. (2022). PEMBUATAN BRIKET ARANG DARI SERBUK KAYU SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF. *ABDIKARYA*, 4, 95–102.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.47080/abdikarya.v4i1.1881>
- Mekonen, A. G., Berhe, G. G., Desta, M. B., Belete, F. A., & Gebremariam, A. F. (2024). Production and characterization of briquettes from sugarcane bagasse of Wonji Sugar Factory, Oromia, Ethiopia. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 13(1), 27–43. <https://doi.org/10.1007/s40243-023-00248-1>
- Mendoza, J., Cruz, J., & Herrera, L. (2013). Determinación de parámetros físicos y químicos de digeridos de bagazo de agave (*Agave angustifolia* Haw.) obtenidos con pacas biodigestoras. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(2), 1–18. <https://doi.org/10.5154/r.rchsagt.2023.03.10>
- Mendoza Rossano, J. A., Cruz Hernández, J., & Herrera Pérez, L. (2023). Determinación de parámetros físicos y químicos de digeridos de bagazo de agave (*Agave angustifolia* Haw.) obtenidos con pacas biodigestoras. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(2). <https://doi.org/10.5154/r.rchsagt.2023.03.10>
- Mibulo, T., Nsubuga, D., Kabenge, I., & Wydra, K. D. (2023). Characterization of briquettes developed from banana peels, pineapple peels and water hyacinth.

*Energy, Sustainability and Society*, 13(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s13705-023-00414-3>

Moreno Mora, J., Pozo García, C. P., & Nájera, F. (2012). Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en la fabricación de bloques ecológicos para mampostería liviana. En *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.

Muazu, R. I., & Stegemann, J. A. (2017). BIOSOLIDS AND MICROALGAE AS ALTERNATIVE BINDERS FOR BIOMASS FUEL BRIQUETTING. *Fuel*, 194, 339–347. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2017.01.019>

Olalla Mercadé, L. (2008). La caña de azúcar: UN VIAJE, UNA HISTORIA, UN RECUERDO. *Péndulo: Revista de Ingeniería y Humanidades*, 19, 76–93.

Olugbade, T., Ojo, O., & Mohammed, T. (2019). Influence of Binders on Combustion Properties of Biomass Briquettes: A Recent Review. *BioEnergy Research*, 12. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09973-w>

Oyelaran, O. A. (2015). Evaluación del potencial bioenergético del compuesto de desechos de cáscara de maní y bagazo de caña de azúcar. *Revista de Ingeniería KKU*, 42(4), 306–310. <https://doi.org/10.14456/kkuenj.2015.36>

P. Sreedev, M. Madhava, & Rao, p. v. k. jagannadha. (2023). EVALUATING THE BIO-ENERGY POTENTIAL OF SUGARCANE BIOMASS BRIQUETTES. *Pollution Research*, 42(01), 59–65. <https://doi.org/10.53550/pr.2023.v42i01.010>

Pang, L., Yang, Y., Wu, L., Wang, F., & Meng, H. (2019). Effect of particle sizes on the physical and mechanical properties of briquettes. *Energies*, 12(19), 1–16. <https://doi.org/10.3390/en12193618>

Pokhrel, S., Rajbamshi, S., Bhattarai, S., & Bhusal, Y. (2014). Prospects of Bagasse Cogeneration in Sugar Industries of Nepal Sajjan Pokhrel: Prospects of Bagasse Cogeneration in Sugar Industries of Nepal Prospects of Bagasse Cogeneration in

Sugar Industries of Nepal. *Rentech Symposium Compendium*, 4.

<https://www.researchgate.net/publication/321807727>

Rangel, E., Hernandez, E., & Hrenandez, M. (2016). MICROPROPAGACIÓN DE ARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR CULTIVADAS EN MÉXICO. *Revista fitotecnica mexicana*, 39, 225–231.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802016000300225](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000300225)

Rangel-Estrada, S. E., Hernández-Meneses, E., & Hernández-Arenas, M. (2016).

Micropropagación de variedades de caña de azúcar cultivadas en México.

*Revista Fitotecnica Mexicana*, 39(3). <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.3.225-231>

Resano, D., Guillen, O. W., Ubillús, F. D. R., & Barranzuela, J. L. (2022a).

Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Información tecnológica*, 33(2), 247–258.

<https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000200247>

Resano, D., Guillen, O. W., Ubillús, F. D. R., & Barranzuela, J. L. (2022b).

Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Información tecnológica*, 33(2), 247–258.

<https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000200247>

Resano, D., Guillen, O. W., Ubillús, F. D. R., & Barranzuela, J. L. (2022c).

Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Información tecnológica*, 33(2), 247–258.

<https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000200247>

Rivera de Catillo, A. (1980). SUBPRODUCTOS Y DERIVADOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA (Ponencia). *Ciencia y sociedad*, 5, 225–241.

- Rivera López, H. A., Flores Ampie, D. J., & Reyes Aguilera, E. A. (2019). *Propiedades energéticas de briquetas de aserrín de pino, durante la combustión*. UNAN.
- Rodriguez, W. D. M., Evangelista, A. W., Sette, C. R., Júnior, J. A., & da Silva, M. F. (2017). Producción de briquetas con residuos de cáscara de piñón manso (*Jatropha curcas*) y bagazo de caña de azúcar. *Bosque*, 38(3), 527–533.  
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000300010>
- Setter, C., Ataíde, C. H., Mendes, R. F., & de Oliveira, T. J. P. (2021). Influence of particle size on the physico-mechanical and energy properties of briquettes produced with coffee husks. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 8215–8223. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11124-0>
- Siahdashti, M. S., Talaipour, M., Khademi, H., & Baziar, B. (2022). Investigando el efecto de la lignina sobre los efectos negativos del proceso de tostación en la producción de briquetas a partir de bagazo. *Revista científica de investigación científica de la madera y el papel en Irán*, 37, 360–346.  
<https://doi.org/10.22092/ijwpr.2022.359635.1725>
- Silva, B. R. S., Nascimento, M., Marques, L. G., & Prado, M. M. (2020). Experimental investigation of the performance of a spouted bed dryer for biomass: Drying kinetics and energy evaluation. *Defect and Diffusion Forum*, 399, 208–217.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.399.208>
- Soares, I. F., Santos, J. F. N., Lima, M. A. de, Pinto, L. Í. F., Borges, J. M., & Silva, R. A. da. (2020). Análise dos parâmetros físico-químicos e de composição centesimal da farinha do bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Research, Society and Development*, 9(7), e773974689.  
<https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4689>

- Ugwu, K. (2013). Evaluation of Binders in the Production of Briquettes from Empty Fruit Bunches of *Elais Guinensis*. *International Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2(4), 176–179. <https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20130204.17>
- Ullah, S., Noor, R. S., Sanaullah, & Gang, T. (2023). Analysis of biofuel (briquette) production from forest biomass: a socioeconomic incentive towards deforestation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(3), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01311-5>
- Utchariyajit, K., Panprasert, V., Chayawat, L., Jungthanasombat, W., Janprom, P., & Choatchuang, M. (2019). Physical properties and calorific value of briquettes produced from Palmyra palm waste with molasses binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 639(1), 1–5. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/639/1/012046>
- Vargas, Y., & Perez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Verdezoto, L., Parco, F., Jácome, C., Katan, W., & Mora, A. (2021a). ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE LA BIOMASA DE LA CAÑA DE AZÚCAR. *Revista de Investigación Talentos*, 8(1), 9–26. <https://doi.org/10.33789/talentos.8.1.140>
- Verdezoto, L., Parco, F., Jácome, C., Katan, W., & Mora, A. (2021b). ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE LA BIOMASA DE LA CAÑA DE AZÚCAR. *Revista de Investigación Talentos*, 8(1). <https://doi.org/10.33789/talentos.8.1.140>
- Yadeta, G., Bekalu, Y., Tsegaye, M., Tantu, T., Haile, F., Genene, D., & Alemu, T. (2024). Synthesis and Characterization of Briquette from Carbonized Pinus Patula Saw Dust as Alternative Energy Source. *Indonesian Journal of Innovation*

*and Applied Sciences (IJIAS)*, 4(1), 55–63.

<https://doi.org/10.47540/ijias.v4i1.1332>

Zamora, G., Gutiérrez, C., Mistretta, G., Peralta, F., Golato, M., Ruiz, M., & Paz, D.

(2016). *Determinación del contenido de humedad del bagazo de caña de azúcar por medio de microondas.*

Zanovelli Nalevaiko, J., Cremonez, P. A., & Gustavo Teleken, J. (2021). UTILIZAÇÃO

DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE

BRIQUETES. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 15(1), 1–26.

<https://doi.org/10.18011/bioeng2021v15n1p1-26>

Zewdie, D. T., & Ali, A. Y. (2021). Utilization of sugarcane factories' wastes as

inexpensive source of nutrients and CO<sub>2</sub> for microalgal biomass production:

process coupling and potential evaluation. *SN Applied Sciences*, 3(3).

<https://doi.org/10.1007/s42452-021-04311-2>

## ANEXOS

### Anexo A. Análisis de la varianza para Cenizas

<b>Fuentes de variación</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	10.00	8	1.25	13.93	<0.0001
<b>Tratamiento</b>	10.00	8	1.25	13.93	<0.0001
<b>Error</b>	1.62	18	0.09		
<b>Total</b>	11.62	26			

**Anexo B.** *Análisis de la varianza para densidad*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	0.01	8	7.8e-04	2.92	0.0280
<b>Tratamiento</b>	0.01	8	7.8e-4	2.92	0.0280
<b>Error</b>	4.8e-03	18	2.7e-04		
<b>Total</b>	0.01	26			

**Anexo C. Análisis de la varianza para poder calórico**

<b>Fuentes de variación</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	28.06	8	3.51	63.67	<0.0001
<b>Tratamiento</b>	28.06	8	3.51	63.67	<0.0001
<b>Error</b>	0.99	18	0.06		
<b>Total</b>	29.05	26			

**Anexo D. Análisis de la varianza para resistencia a la compresión**

<b>Fuentes de variación</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	405.09	8	50.64	284.12	<0.0001
<b>Tratamiento</b>	405.09	8	50.64	284.12	<0.0001
<b>Error</b>	3.21	18	0.18		
<b>Total</b>	408.30	26			

**Anexo E. Muestras pesadas bagazo**



**Anexo F. Prueba de Fibra del bagazo**



**Anexo G. Secado de bagazo**



**Anexo H. Preparación del aglutinante**



**Anexo I. Mezclado del bagazo con el aglutinante**



**Anexo J. Secado de la muestra**



**Anexo K. Prueba de resistencia a la compresión**



**Anexo L. Resultados poder calórico de la muestra**

