



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Medicina Veterinaria

Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para uso en la alimentación animal

Trabajo de Integración Curricular previo
a la obtención del título de Médica
Veterinaria

AUTORA:

Saida Tatiana Sarmiento Gallegos

DIRECTORA:

Dra. Martha Esther Reyes Coronel., Mgtr.

Loja – Ecuador

2024



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Reyes Coronel Martha Esther**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para uso en la alimentación animal**, perteneciente al estudiante **SAIDA TATIANA SARMIENTO GALLEGOS**, con cédula de identidad N° **1150024279**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 1 de Marzo de 2024



MARTHA ESTHER REYES
CORONEL

F) _____
DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-000616

1/1
Educamos para **Transformar**

Autoría

Yo, **Saida Tatiana Sarmiento Gallegos**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1150034379

Fecha: 31/ Mayo/ 2024

Correo electrónico: saida.sarmiento@unl.edu.ec

Teléfono: 0989206508

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Saida Tatiana Sarmiento Gallegos**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña (*Saccharum officinarum*) para uso en la alimentación animal**, como requisito para optar por el título de **Médica veterinaria**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los treinta y uno días del mes de mayo de dos mil veinticuatro.

Firma:



Autora: Saida Tatiana Sarmiento Gallegos

Cédula: 1150024279

Dirección: Menfis Paraíso

Correo electrónico: saida.sarmiento@unl.edu.ec

Teléfono: 098206508

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Directora del Trabajo de Integración Curricular: Dra. Martha Esther Reyes Coronel, Mgr.

Dedicatoria

Quiero dedicar este Trabajo de Integración Curricular con todo mi amor a mis padres Jenny y Edwin, que por su sacrificio, esfuerzo y apoyo incondicional e logrado culminar mis estudios. Sin ustedes, esto no sería posible.

A mis hermanos menores, Mishel y Edwin, que son el regalo más valioso que Dios me ha dado y que en el día a día con su presencia y cariño me impulsan a salir adelante.

A mis mejores amigas, Josselyn, Liliana y Lourdes, por sus palabras de aliento y comprensión, que nuestra amistad perdure por muchos años más.

A mi familia en general y a todas aquellas personas que durante estos años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Saida Tatiana Sarmiento Gallegos

Agradecimiento

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, por la fuerza, la sabiduría y la perseverancia que me ha brindado a lo largo de mi preparación profesional.

A la Universidad Nacional de Loja, por abrirme las puertas del conocimiento a esta hermosa carrera, por desempeñar un papel importante en mi desarrollo profesional, y brindarme el entorno propicio para llevar a cabo esta investigación.

A mi directora del Trabajo de Integración Curricular, Dra. Martha Esther Reyes Coronel, Mgtr., por su paciencia y orientación; sus comentarios y sugerencias me han permitido culminar con éxito este trabajo de investigación. A la Ing. Beatriz Guerrero, por compartir sus conocimientos y guiarme durante todo el proceso práctico de este Trabajo de Integración Curricular. Agradezco sinceramente el tiempo y la energía que han invertido en mí.

A mis queridos padres y hermanos, por su apoyo, amor y sacrificio, han sido la fuerza impulsadora en cada logro que he alcanzado. Gracias por acompañarme en este duro camino y ser mi fuente de inspiración y mayor motivación.

A mis mejores amigas, por su comprensión y complicidad, por estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles, motivándome y celebrando mis triunfos. También quiero expresar mi gratitud a mis amigos de universidad, Alejandra, Karla, Camila y Eduardo, y aquellas personas que han contribuido de cierta manera a este Trabajo de Integración Curricular. Gracias a todos por formar parte de esta etapa de mi vida y hacerla más significativa y memorable.

Saida Tatiana Sarmiento Gallegos

Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Índice de anexos.....	xi
1. Título.....	1
2. Resumen	2
Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico.....	6
4.1. Caña de Azúcar.....	6
4.1.1. Producción de Caña de Azúcar.....	6
4.1.2. Variedades de Caña de Azúcar	8
4.2. Bagazo de Caña de Azúcar	9
4.2.1. Proceso de Producción de Bagazo de Caña	10
4.3. Propiedades Nutricionales del Bagazo de caña.....	10
4.3.1. Propiedades Físicas del Bagazo de Caña.....	11
4.3.2. Propiedades Químicas del Bagazo de Caña	12
4.3.3. Composición Química del Bagazo de Caña.....	12
4.4. Usos del Bagazo de Caña de Azúcar	16
4.5. Inclusión del Bagazo de Caña en la Alimentación animal	16
4.5.1. Cuyes	16
4.5.2. Bovinos	17
4.5.3. Porcinos	17
4.6. Limitaciones del Bagazo de Caña en la Alimentación Animal.....	17
4.7. Estudios similares a nivel Internacional y Nacional.....	17
5. Metodología.....	19
5.1. Área de Estudio.....	19
5.2. Procedimiento	20
5.2.1. Enfoque metodológico.....	20
5.2.2. Diseño de la investigación	21
5.2.3. Tamaño de la muestra y tipo de muestreo.....	21
5.2.4. Técnicas.....	21
5.2.5. Variables de estudio	21
5.2.6. Análisis de Laboratorio.....	22

5.2.7.	<i>Procesamiento y Análisis de Resultados</i>	29
5.2.8.	<i>Consideraciones Éticas</i>	29
6.	Resultados	30
6.1.	Caracterización del Bagazo de Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	30
6.2.	Parámetros Físicos y Químicos del Bagazo de Caña de Azúcar	31
6.3.	Caracterización Física del Bagazo de Malta de Cebada	31
6.3.1.	<i>Capacidad de Retención de Agua</i>	31
6.3.2.	<i>Densidad aparente</i>	31
6.3.3.	<i>Humedad</i>	32
6.3.4.	<i>pH</i>	33
6.3.5.	<i>Acidez</i>	33
6.3.6.	<i>Materia Seca</i>	34
6.3.7.	<i>Cenizas</i>	34
6.3.8.	<i>Proteína Cruda</i>	35
6.3.9.	<i>Extracto Etéreo</i>	35
6.3.10.	<i>Fibra Cruda</i>	36
6.3.11.	<i>Fibra Detergente Neutra</i>	36
6.3.12.	<i>Fibra Detergente Ácida</i>	37
6.3.13.	<i>Lignina Detergente Ácida</i>	37
7.	Discusión	38
8.	Conclusiones	43
9.	Recomendaciones	44
10.	Bibliografía	45
11.	Anexos.	54

Índice de tablas

Tabla 1.	<i>Composición química general de la caña de azúcar en base seca</i>	6
Tabla 2.	<i>Humedad del bagazo de caña de azúcar</i>	11
Tabla 3.	<i>pH del bagazo de caña de azúcar</i>	12
Tabla 4.	<i>Materia seca del bagazo de caña de azúcar</i>	12
Tabla 5.	<i>Cenizas del bagazo de caña de azúcar</i>	13
Tabla 6.	<i>Proteína cruda del bagazo de caña de azúcar</i>	13
Tabla 7.	<i>Extracto Etéreo del bagazo de caña de azúcar</i>	14
Tabla 8.	<i>Fibra cruda del bagazo de caña de azúcar</i>	14
Tabla 9.	<i>Fibra Detergente Neutra del bagazo de caña de azúcar</i>	15
Tabla 10.	<i>Fibra Detergente Ácida del bagazo de caña de azúcar</i>	15
Tabla 11.	<i>Lignina Detergente Ácida del bagazo de caña de azúcar</i>	16
Tabla 12.	<i>Composición fisicoquímica del bagazo obtenido mediante procesamiento artesanal e industrial</i>	17
Tabla 13.	<i>Análisis físicoquímica del bagazo de caña de azúcar</i>	21
Tabla 14.	<i>Caracterización física del bagazo de caña de azúcar en base seca</i>	30
Tabla 15.	<i>Caracterización química del bagazo de caña de azúcar en base seca</i>	30
Tabla 16.	<i>Análisis de varianza de las propiedades físicas del bagazo de caña de azúcar</i>	58
Tabla 17.	<i>Análisis de varianza de los parámetros químicos del bagazo de la caña de azúcar</i>	58

Índice de figuras

Figura 1. Ingenio Monterrey Azucarera Lojana C.A. (MALCA).	20
Figura 2. Molienda Artesanal La Era.	20
Figura 3. Capacidad de retención de agua del bagazo de caña de azúcar.	31
Figura 4. Densidad aparente del bagazo de caña de azúcar.	32
Figura 5. Contenido de humedad del bagazo de caña de azúcar.	32
Figura 6. pH del bagazo de caña de azúcar.	33
Figura 7. Acidez del bagazo de caña de azúcar.	33
Figura 8. Contenido de materia seca del bagazo de caña de azúcar.	34
Figura 9. Contenido de cenizas del bagazo de caña de azúcar.	34
Figura 10. Contenido de proteína cruda del bagazo de caña de azúcar.	35
Figura 11. Contenido de extracto etéreo del bagazo de caña de azúcar.	35
Figura 12. Contenido de fibra cruda del bagazo de caña de azúcar.	36
Figura 13. Contenido de fibra detergente neutra del bagazo de caña de azúcar.	36
Figura 14. Contenido de fibra detergente ácida del bagazo de caña de azúcar.	37
Figura 15. Contenido de lignina detergente ácida del bagazo de caña de azúcar.	37

Índice de anexos

Anexo 1.	Muestra del bagazo de caña de azúcar obtenido del proceso industrial.....	54
Anexo 2.	Muestra del bagazo de caña de azúcar obtenido del procesamiento artesanal.....	54
Anexo 3.	Análisis de Acidez y pH	54
Anexo 4.	Equipo de centrifugación para la determinación de capacidad de retención de agua.....	55
Anexo 5.	Proceso de determinación de materia seca.....	55
Anexo 6.	Proceso de determinación de materia seca del bagazo de caña de azúcar en base seca.....	55
Anexo 7.	Destilador Kjeldahl para la determinación de proteína cruda.....	56
Anexo 8.	Mufla para la determinación de ceniza	56
Anexo 9.	Equipo Soxhlet para la determinación de extracto etéreo.....	56
Anexo 10.	Equipo ANKOM 200 Fiber Analyzer para la determinación de fibra cruda, fibra detergente neutra y fibra detergente ácida.....	57
Anexo 11.	Equipo ANKOM Daisy ^{II} para la determinación de lignina ácida detergente.....	57
Anexo 12.	Certificación de traducción de inglés.....	59

1. Título

Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)
para uso en la alimentación animal.

2. Resumen

El principal objetivo de la presente investigación fue realizar la caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma industrial y artesanal en el cantón Catamayo, de la provincia de Loja, para determinar su potencial uso en la alimentación animal. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado y se tomaron muestras (1 kg) de residuos de bagazo de caña de azúcar obtenidas de la industria azucarera y panelera (artesanal). Se determinaron las propiedades físicas (capacidad de retención de agua, densidad aparente y humedad) del bagazo y se valoró la composición química de las muestras en base seca, mediante análisis bromatológico (pH, acidez, materia seca, cenizas, proteína y extracto etéreo); además, se realizó el análisis de fibra: fibra cruda (FC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina detergente ácida (ADL). Se detectó diferencia estadística significativa en todos los parámetros analizados excepto en acidez y cenizas. Los datos de cada una de las variables en estudio se procesaron en el programa estadístico InfoStat. Los resultados obtenidos mostraron un valor nutricional aceptable, siendo el bagazo artesanal superior al industrial en cuanto a propiedades físicas, contenido químico (materia seca, cenizas, proteína cruda y extracto etéreo) y fibra, por lo que, este subproducto puede ser considerado como una alternativa viable para la alimentación animal, especialmente de rumiantes.

Palabras clave: *Bagazo de caña, caracterización fisicoquímica, industrial, artesanal, residuos, nutrición animal.*

Abstract

The main objective of this research was to carry out the physicochemical characterization of sugar cane bagasse obtained in an industrial and artisanal way in the canton of Catamayo, Loja province. The investigation focused on determining the potential application of this bagasse as a component of animal feed. A completely randomized design was used. One-kilogram samples of sugarcane bagasse were collected from both the panelera (artisanal) and conventional sugarcane industry. The physical properties (water holding capacity, bulk density, and moisture) of the bagasse were determined. The chemical composition of the samples was evaluated on a dry basis, by bromatological analysis (pH, acidity, dry matter, ash, protein, and ethereal extract), and fiber analysis: crude fiber (CF), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and acid detergent lignin (ADL). Following data collection, all variables under investigation were statistically analyzed using the InfoStat software. A significant statistical difference was detected in all analyzed parameters except for acidity and ash. The results obtained indicated acceptable nutritional value for both bagasse samples. However, artisanal bagasse exhibited superior physical properties, chemical content (including dry matter, ash, crude protein and ethereal extract) and fiber content, suggesting that this by-product could be considered a viable alternative for animal feed, especially for ruminants.

Keywords: *Sugarcane bagasse, physicochemical characterization, industrial, artisanal, residues, animal nutrition.*

3. Introducción

La alimentación representa alrededor del 70% de los costos de producción pecuaria. Los altos precios de las materias primas comúnmente utilizadas en la alimentación animal, como el maíz, la soya, y el trigo (Núñez, 2017), repercuten directamente sobre el incremento de los gastos operativos en la ganadería, afectando la rentabilidad y ocasionando problemas en la formulación de las dietas (Aimacaña, 2021). En estas condiciones, pequeños y medianos productores se han visto obligados a buscar alternativas de alimentación que sean de bajo costo, buena disponibilidad y alto valor nutritivo. Dentro de estas alternativas, están los residuos agroindustriales de la caña de azúcar, arroz, cacao (Riera et al, 2018), cebada, naranja, plátano (Vargas Y Pérez, 2018), etc., que no se utilizan de manera óptima en la alimentación animal.

La caña de azúcar es uno de los cultivos de gran importancia a nivel mundial, con una producción anual de aproximadamente 724,725 millones de toneladas métricas (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos & Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura [OCDE – FAO], 2023), representando una de las principales actividades económicas de varios países al ser una planta versátil y capaz de adaptarse a diferentes condiciones climáticas (Lagos & Casto, 2019). En Ecuador, existen alrededor de 130,389 hectáreas de cultivo de caña de azúcar, de las cuales, alrededor de 85.000 son destinadas a la producción de azúcar y las restantes para la producción de panela y otros derivados (Asociación de Bancos Privados del Ecuador [ASOBANCA], 2022). La provincia de Loja ocupa el tercer lugar como productor nacional de caña de azúcar, siendo el cantón Catamayo el de mayor aportación, con el 95% a nivel provincial, representando un área de cultivo de 19.35 km² (Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] Catamayo, 2023).

La caña de azúcar se procesa de diferentes formas, ya sea a través de métodos artesanales o industriales; ambos procedimientos generan residuos como cenizas, rastrojos y bagazo (Resano et al, 2022). Las empresas agroindustriales nacionales, entre las cuales se encuentra la industria azucarera, generan alrededor de 2,2 millones de toneladas anuales de residuos, que inciden directamente sobre el medioambiente (Aguilar et al, 2022).

El sector artesanal, por cada tonelada de panela producida genera una tonelada de subproductos. Por el contrario, en el sector industrial, por cada 1000 kg de azúcar elaborada, se obtienen entre 30 a 65 toneladas de residuos, de los cuales solo el 17% es aprovechado en algún uso secundario (Romero, 2022).

De esos residuos de la industria de la caña, el bagazo es utilizado como combustible para la producción de energía en las calderas de las industrias, en la manufactura de papel, como, aditivos de alimentos (Aguilar, 2011), o es desechado al ambiente (Resano et al, 2022).

Como consecuencia de ello, constituye un grave problema para las agroindustrias, ya que genera contaminación ambiental (en el agua, suelo y aire), y aparición de plagas y enfermedades, que impactan directamente en la salud de la población (Manterola & Cerda, 2017; Resano et al, 2022).

Aunque existe información disponible respecto a las propiedades y aplicaciones del bagazo de caña obtenido de forma industrial, son pocos los estudios que se centran en el bagazo de caña producido artesanalmente. Además, es escasa la información sobre su composición nutricional, particularmente en lo que respecta las variedades de caña: PR 61-632 (Puerto Rico) y RD 75-11 (República Dominicana), que son las que se cultivan en el cantón Catamayo.

Por ello, la presente investigación pretende proporcionar información fundamental sobre las propiedades fisicoquímicas del bagazo de caña de azúcar obtenido tanto de forma industrial como artesanal en el cantón Catamayo de la provincia de Loja. Este residuo se plantea como una alternativa factible en la alimentación animal, que puede contribuir a reducir los costos de producción, sin afectar la productividad, y de esta forma, beneficiar a pequeños y medianos productores de la zona. Además, puede aportar la solución del problema de los desechos agroindustriales a nivel nacional.

La investigación se desarrolló planteándose como objetivo general: “Realizar la caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma industrial y artesanal en el cantón Catamayo para determinar su potencial uso en la alimentación animal” y como objetivos específicos los siguientes:

- Determinar las propiedades físicas del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial en el cantón Catamayo.
- Evaluar las propiedades químicas del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial en el cantón Catamayo.

4. Marco Teórico

4.1. Caña de Azúcar

Es una planta herbácea, de tallo leñoso, perteneciente al género *Saccharum* de la familia *Gramineae* y es originaria de la Melanesia y Nueva Guinea. Posee tallos que alcanzan alrededor de los 3 a 6 m de altura y 2 a 5 cm de diámetro (Verdezoto, 2021). Las partes que constituyen la planta dependen de aspectos como la edad, las condiciones ambientales, el manejo, a la variedad, etc. (Lagos et al, 2022).

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), representa una de las principales actividades económicas de varios países de mundo, por ser una planta versátil, resistente y capaz de adaptarse a las diferentes condiciones climáticas (Lagos & Castro 2019). Crece especialmente en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, requiriendo una temperatura promedio entre 27% a 33% para su crecimiento y desarrollo. Además, hace uso intensivo del recurso hídrico, requiriendo aproximadamente de 1200 a 1500 mm anuales, así como, de luz solar constante que permite potenciar el proceso de macollamiento de la planta (OCDE – FAO, 2023; Ortiz et al, 2022).

Por otro lado, la caña de azúcar presenta características específicas en cuanto a su composición química, posee un alto contenido de porciones de pared celular, es rica en carbohidratos y una fuente energética excepcional, sin embargo, su contenido de proteínas y minerales es bajo (Aguirre et al, 2010). En la Tabla 1 se muestra los datos proporcionados por varios autores sobre la composición química de la caña de azúcar.

Tabla 1.

Composición química general de la caña de azúcar, en base seca

Parámetro	%	Autores
Materia seca	22,6 – 32,6	
Proteína Bruta	1,4 – 3,2	(Cavali et al, 2010; Souza et al,
FDN	45,3 – 78,3	2015; Salazar et al, 2017)
FDA	26,8 – 47,1	

4.1.1. Producción de Caña de Azúcar

La caña de azúcar tiene una historia que se remonta a más de cuatrocientos años, siendo uno de los cultivos más antiguos y conocidos desde antes que Cristóbal Colón la introdujera, en su segundo viaje, al Nuevo Mundo. Dada sus propiedades, su uso ha sido medicinal, ritual y

para alimentación. Por su gran capacidad de adaptación al medio ambiente, las plantas han existido desde épocas remotas. No obstante, ha sido difícil determinar su origen debido a las migraciones a las que ha sido sometida. Algunos investigadores plantean que se cultivó por primera vez en el sudeste asiático y luego fue introducida a zonas cálidas como Egipto, México, Colombia, España y Brasil, regiones idóneas para que la planta realice la fotosíntesis por los rayos solares que llegan directamente a la superficie de la tierra y por la presencia de precipitaciones que fluctúan de una región a otra, permitiendo su producción y reproducción (Campo, 2023).

La producción de caña de azúcar ha experimentado diversas tendencias de desarrollo a lo largo del tiempo. Originalmente se la utilizaba como fuente de sacarosa. El jugo obtenido de la trituración de la caña se ha convertido en materia prima para la producción de azúcar y otros derivados, posicionándose como un cultivo de gran importancia económica. Este desarrollo ha resultado en cambios en los métodos de cultivo, variedades de caña, edad, madures y procesamiento, que afectan directamente en la calidad del producto terminado (Álvarez & Matamoros, 2018).

4.1.1.1. Producción de Caña de Azúcar a Nivel Mundial.

La caña de azúcar es uno de los cultivos más importantes en las regiones tropicales y subtropicales, siendo de gran relevancia a nivel mundial. Se cultiva en aproximadamente 130 países y su alta producción requiere el uso de maquinaria pesada en las labores de cosecha y transporte; sin embargo, los gastos de operaciones e insumos variarán de acuerdo con el tipo de manejo que se esté llevando a la cabo (Convencional, orgánico y alternativo), debido a las actividades que desempeñan cada uno de ellos (Aguilar et al, 2016; Ibarra et al, 2018).

En el año 2023, el cultivo de caña de azúcar tuvo una producción de 724,725 millones de toneladas métricas (OCDE- FAO, 2023). Dicha producción se concentra principalmente en el continente americano con el 51% de la producción total, seguido por Asia con el 41,6%, África con el 5% y Oceanía con el 1,7%, siendo Brasil, India, Tailandia, Pakistán y China, los principales países que lideran la producción de caña de azúcar (Khalid et al, 2024).

4.1.1.2. Producción de Caña de Azúcar a Nivel Nacional.

En Ecuador, la producción de caña de azúcar data de inicios del siglo XX y representa una actividad importante en la economía de varias regiones del país por su capacidad de generación de empleo directo. Se cultiva en los trópicos y subtrópicos del Ecuador, principalmente en las provincias del Guayas, Cañar, Carchi, Imbabura, Morona Santiago, Loja

y Los Ríos, registrándose alrededor de 141, 031 hectáreas destinadas a su cultivo con una producción anual de 8,113,293 toneladas métricas. El 20% del área total sembrada está destinada a la elaboración de panela, mientras que el 80% es utilizada para la producción de azúcar y alcohol etílico. La mayor cantidad de superficie sembrada de caña de azúcar pertenece a grandes productores, mientras que el resto pertenece a medianos y pequeños productores (Iñiguez et al, 2018; Marín et al, 2018; Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2022).

4.1.1.3. Producción de Caña de Azúcar a Nivel Local.

La provincia de Loja es una de las mayores productoras de caña de azúcar a nivel nacional, precedida de las provincias del Guayas, Imbabura y Carchi. Se estima que la provincia de Loja tiene alrededor de 3,153 hectáreas dedicadas a este cultivo, con una producción anual de 218,141 toneladas métricas (INEC, 2022). El cantón Catamayo representa el 3,45% en el sistema de producción agrícola, en la que se destaca el cultivo de caña de azúcar, con un área de 19.35 km² que se encuentra en gran parte en la cabecera del cantón, siendo Monterrey Azucarera Lojana, la empresa con mayor extensión de suelos destinados al cultivo de caña (GAD Catamayo, 2023).

4.1.2. Variedades de Caña de Azúcar

En Ecuador, actualmente se cultivan las siguientes variedades de caña: Cenicaña Colombiana (CC 85—92), Ragnar, ECU-01 y EC-02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 (Centro de Investigación de la caña de Azúcar del Ecuador [CINCAE], 2020). Sin embargo, debido a las ineficiencias que presentaban en su rendimiento de producción, los cañicultores del cantón Catamayo (excepto el 2% de la población), utilizan las variedades Puerto Rico, Venezuela y República Dominicana, que son especies que han sido importadas, germinadas y reproducidas por el Ingenio Monterrey Azucarero Lojano C.A., obteniendo una producción entre 140-180 Ton/ha (Bravo, 2014; Quezada, 2017).

A continuación, se describen las características de dos de las variedades que se cultivan en el cantón Catamayo de la provincia de Loja y cuyo subproducto, el bagazo, es motivo del presente estudio.

4.1.2.1.PR 61-632 (Puerto Rico).

Esta variedad tiene su origen en Puerto Rico. Los tallos son largos, rectos y cilíndricos, tienen un color verde púrpura cuando no está expuesto al sol, de diámetro grueso de 26 a 28 mm, con entrenudos largos y ligeramente curvos. Sus hojas son cortas y angostas,

poseen un verde natural, pero se torna amarillento en la medida que envejecen. Tiene una excelente germinación con un crecimiento vigoroso y erecto, aunque lento en las primeras etapas de desarrollo y poseen un buen macollamiento, entre 10 a 14 tallos por cepa. La variedad es resistente a las enfermedades como el mosaico, la escaldadura de la hoja y la roya; pero, su tallo y hojas, son susceptibles al pulgón amarillo, que inyecta toxinas dentro de los tejidos vegetales como resultado de su alimentación, causando retraso en el desarrollo de la planta, y cambio de color y el secado de las hojas. Esta variedad tiene un buen comportamiento en suelos regularmente drenados y u y ácidos (CINCAE, 2020; Insuasty et al, 2003; Ranjel et al, 2003).

4.1.2.2.RD 75-11 (República Dominicana)

Esta variedad tiene su origen en República Dominicana. Los tallos son largos y curvos, tienen un color amarillo verdoso cuando no está expuesto a la luz solar y amarillento cuando lo está, de diámetro grueso de 30 mm con entrenudos largos y cilíndricos. Sus hojas son largas y estrechas con la punta doblada. Tiene una germinación muy buena que puede llegar hasta un 80%, con un crecimiento vigoroso y un macollamiento de 10 a 12 tallos por cepa. La variedad es resistente a las enfermedades como el mosaico, la escaldadura de la hoja y la roya; sin embargo, su tallo es medianamente susceptible al raquitismo de la caña soca, mientras que sus hojas son muy susceptibles al pulgón amarillo. Esta variedad es muy estable en su proceso de maduración y tiene un buen comportamiento en suelos que no presentan exceso de humedad (Itsuasty et al, 2003; Ranjel et al 2003).

4.2. Bagazo de Caña de Azúcar

El bagazo de caña está disponible de forma abundante y tiene un bajo costo, ya que constituye un subproducto de la industria azucarera. Este material consiste en el residuo sólido que se obtiene después de la extracción del jugo de la caña de azúcar, representando el 30% del peso de la fibra vegetal y está formado por dos partes conocidas como la fibra y el meollo. Este residuo agroindustrial se considera uno de los subproductos más valiosos generados de la producción cañera, debido a su alto contenido de fibra (45%) y valor energético, sin embargo, posee un bajo contenido de proteína (1 – 3%) y minerales (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña en Guatemala [CENGICANA], 2014; Lagos & Castro, 2019; Llivicura, 2020; Lozano & Rojas, 2019).

4.2.1. Proceso de Producción de Bagazo de Caña

El bagazo se puede obtener mediante dos procesos: artesanal e industrial. Por tanto, las propiedades fisicoquímicas del bagazo pueden variar dependiendo del proceso utilizado (Resano et al, 2022).

4.2.1.1. Proceso Artesanal.

Mediante este proceso se obtienen productos derivados de la caña como: bocadillos, chancaca, panela y aguardiente. Para realizar este proceso se utiliza un trapiche de hierro y se da lugar a la molienda de la caña para obtener el jugo y el bagazo aparte, este último denominado “*bagazo verde*” (Chávez et al, 2022; Resano et al, 2022).

4.2.1.2. Proceso Industrial

Industrialmente, se obtienen productos como el azúcar y el etanol. Este proceso es más técnico y automatizado, la caña de azúcar es desfibrada a través de unas cuchillas y exprimida por molinos equipados por turbinas de alta presión. Estos molinos hacen pasar la caña entre tres o cuatro masas de acero triturando los tallos; Finalmente, la caña pasa por un difusor para extraer completamente el jugo y dejar el bagazo aparte. Para mejorar la extracción del jugo, se agrega agua caliente para facilitar el proceso, luego el jugo resultante es tamizado reteniendo el sólido fibroso llamado bagazo, que retornará a los molinos para repetir el proceso y extraer la mayor cantidad de jugo posible (ASOBANCA, 2022; Bravo, 2014; Resano et al 2022).

4.3. Propiedades Nutricionales del Bagazo de Caña

El bagazo de caña de azúcar nutricionalmente está constituido por un 38,4% de celulosa, 23,2% de hemicelulosa y un 25% de lignina, por lo que es considerado como un material lignocelulósico rico en fibra y esta representa alrededor del 90% del bagazo (Zea, 2019). Además, su superficie está compuesta por grupos funcionales polares como hidroxilos, fenoles, carboxilos entre otros (Cascaret et al, 2020). La celulosa está compuesta por unidades de glucosa y forma parte de los tejidos que dan sostén a la pared celular de las plantas. La hemicelulosa en cambio recubre la superficie de las fibras de la celulosa y la lignina adhiere la celulosa y hemicelulosa, aportando rigidez a la planta (Resano et al, 2022).

4.3.1. *Propiedades Físicas del Bagazo de Caña.*

4.3.1.1. **Humedad**

En general, la humedad del bagazo puede variar entre el 50 y el 60%, dependiendo del método de producción y almacenamiento (Paucar & Robalino, 2009). Resano et al (2022), señalan que un menor contenido de humedad puede ayudar a evitar la proliferación de microorganismos que podrían dañar el subproducto.

A continuación, se detalla los datos de humedad que fueron recopilados de algunos autores (Tabla 2).

Tabla 2. *Humedad del bagazo de caña de azúcar*

Autor	%	
Resano et al (2022)	57,66 ^a	43,94 – 44,42 ^b
Díaz (2008)	46,52 ^a	49,36 – 53,26 ^b

^aProceso artesanal

^bProceso industrial

4.3.1.2. **Densidad aparente**

Según Martínez et al (2014), la densidad aparente es la cantidad de masa que se ocupa en un determinado volumen. Por otro lado, Pulido et al (2017) menciona que, el bagazo de caña de azúcar tiene una densidad aparente de 143,6 (kg/m³).

4.3.1.3. **Capacidad de Retención de Agua**

La capacidad de retención de agua se calcula en relación entre la masa del agua y la masa seca del vehículo después de remojar por 24 horas. El valor de la retención de agua indica las propiedades hidrofílicas de los materiales. Según Sita et al (2016), la retención de agua del bagazo de caña fue de 4,80 ± 0,44 g/g. El material con mayor capacidad para retener el agua, indica una mayor capacidad para absorber agua. De acuerdo con Gil & Espinosa (2019), el bagazo de caña de azúcar puede retener una cantidad significativa de agua, lo que lo hace útil para su uso en la agricultura, especialmente en zonas áridas o con escasez de agua.

4.3.2. *Propiedades Químicas del Bagazo de Caña*

4.3.2.1. pH

Osorio (2012), define al pH como una propiedad química que indica “*el nivel de acidez o alcalinidad de una solución acuosa*”. A continuación, se detallan los datos de pH obtenidos de los autores (Tabla 3).

Tabla 3. *pH del bagazo de caña de azúcar*

Autor	%
García et al (2011)	5,80
Zara et al (2017)	6,65

4.3.2.2. Acidez

La Real Academia Española [RAE] (2022), define a la acidez como un “*exceso de iones de hidrógeno en una disolución acuosa*”.

4.3.3. *Composición Química del Bagazo de Caña*

4.3.3.1. Materia Seca (MS)

Se define como la parte que queda de un alimento cuando se le ha extraído el agua mediante un secado forzado hecho en condiciones de laboratorio (Escobar et al, 2020; Jácome et al, 2023). A continuación, se detalla los datos de materia seca proporcionados por los autores (Tabla 4).

Tabla 4. *Materia seca del bagazo de caña de azúcar*

Autor	%
Vera et al (2021)	- 33,35 – 35,46 ^b -
Vera (2022)	- 53,25 ^b -
Chandler et al (2012)	- - 94,81 ^c
Lagos & Castro (2019)	- - 98 ^c
Moldavia et al (2020)	- - 95,5 ^c
Costales et al (2015)	- - 48,31 ^c

^a Proceso artesanal

^b Proceso industrial

^c Datos generales

4.3.3.2. Cenizas (CNZ)

Las cenizas “*son el residuo inorgánico que queda al incinerar la materia orgánica*” (Márquez, 2024). A continuación, se detalla los datos de cenizas obtenidos por los autores (Tabla 5).

Tabla 5. Cenizas del bagazo de caña de azúcar

Autor		%
Lagos & Castro (2019)	-	2,3 ^b
Vera (2022)	-	6,62 ^b
Vera et al (2021)	-	2,48-2,6 ^b
Moldavia et al (2020)	-	5,94 ^b
Resano et al (2022)	2,14 ^a	

^a Proceso artesanal

^b Proceso industrial

^c Datos generales

4.3.3.3. Proteína Cruda (PC)

También conocida como proteína bruta, se define como “*el contenido de nitrógeno total que tiene un alimento*” (Elizondo, 2020). A continuación, se detallan datos de proteína cruda obtenidos de diferentes autores (Tabla 6).

Tabla 6. Proteína cruda del bagazo de caña de azúcar

Autor		%
Vera (2022)	-	3,25 – 3,67 ^b
Vera et al (2021)	-	2,42 - 2,61 ^b
Moldavia et al (2020)	-	2,63 ^b
Chandler et al (2012)	-	- 1,75 ^c
Aguirre et al (2010)	-	1,50 ^c

^a Proceso artesanal

^b Proceso industrial

^c Datos generales

4.3.3.4. Extracto Etéreo (EE)

También conocido como grasa, se define como un “grupo de compuestos insolubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos” (Márquez, 2014). A continuación, se detallan algunos datos de extracto etéreo obtenidos de diferentes autores (Tabla 7).

Tabla 7. Extracto Etéreo del bagazo de caña de azúcar

Autor		%	
Vera (2022)	-	1,62 ^b	
Vera et al (2021)	-	1,31 -140 ^b	
Moldavia et al (2020)	-	0,80 ^b	
Costales et al (2014)	-	-	2,26 ^c

^a Proceso artesanal

^b Proceso industrial

^c Datos generales

4.3.3.5. Fibra Cruda (FC)

Se define como las “sustancias orgánicas que no se disuelven tras hidrólisis sucesivas en medios ácidos y alcalinos” (García et al, 2008). A continuación, se detallan datos de fibra cruda obtenidos de varios autores (Tabla 8).

Tabla 8. Fibra cruda del bagazo de caña de azúcar

Autor	%
Vera (2022)	35,77
Vera et al (2021)	29,22 – 34,62

4.3.3.6. Fibra Detergente Neutra (FDN)

La fibra detergente neutra es la “pared celular total de un alimento, compuesta por celulosa, lignina y hemicelulosa” (Analytics Beyond Measure, 2018). A continuación, se muestran datos de fibra detergente neutra recopilados por algunos autores (Tabla 9).

Tabla 9. Fibra Detergente Neutra del bagazo de caña de azúcar

Autor		%	
Vera et al (2021)	-	68,03 – 69,88 ^b	-
Vera (2022)	-	64,60 ^b	-
Lagos & Castro (2019)	-	-	44,8 ^c
Moldavia et al (2020)	-	-	86,2 ^c
Resano et al (2022)	56,11 ^a	-	-
Aguirre et al (2010)	-	-	44,78 ^c

^aProceso artesanal^bProceso industrial^cDatos generales**4.3.3.7. Fibra Detergente Ácida (FDA)**

La fibra detergente ácida se define como “*la porción de pared celular de un alimento, compuesto de celulosa y lignina*” (Analytics Beyond Measure, 2018). A continuación, se muestran datos de fibra detergente ácida de algunos autores (Tabla 10).

Tabla 10. Fibra Detergente Ácida del bagazo de caña de azúcar

Autor		%	
Vera et al (2021)	-	36,44 – 38,72 ^b	-
Vera (2022)	-	37,36 ^b	-
Lagos & Castro (2019)	-	-	35,2 ^c
Moldavia et al (2020)	-	-	62,9 ^c
Resano et al (2022)	35,50 ^a	-	-
Aguirre et al (2010)	-	-	35,31 ^c

^aProceso artesanal^bProceso industrial^cDatos generales**4.3.3.8. Lignina Detergente Ácida (ADL)**

La lignina detergente ácida es la “*fracción de lignina de la FDA*” (Analytics Beyond Measure, 2018). A continuación, se muestran datos de lignina detergente ácida de algunos autores (Tabla 11).

Tabla 11. Lignina Detergente Ácida del bagazo de caña de azúcar

Autor		%	
Vera et al (2021)	-	5,24-7,8 ^b	-
Vera (2022)	-	6,26 ^b	-
Resano et al (2022)	5,70 ^a		

^a Proceso artesanal

^b Proceso industrial

^c Datos generales

4.4. Usos del Bagazo de Caña de Azúcar

El bagazo de caña posee un alto contenido de fibra permitiendo que sea utilizado como materia prima para la producción de energía eléctrica, elaboración de paneles, abonos orgánicos, biocombustibles, compost, bioproductos farmacéuticos y aditivos alimenticios. Además, sirve como material de cama en la producción avícola y porcina (Jácome et al, 2023; Zea et al, 2019). Asimismo, este residuo está constituido por fibra, sólidos no solubles, sólidos solubles y agua, la parte de la fibra es portadora de elementos estructurales que son útiles para la industria del papel (Aguilar, 2011).

4.5. Inclusión del Bagazo de Caña en la Alimentación animal

Este subproducto tiene un gran potencial en la agroindustria por su contenido de fibra y valor energético. Estas características, lo hacen apto para su utilización en la alimentación del ganado bovino, caprino y ovino, en especial en épocas de sequía, mejorando la producción de leche y carne (Jácome et al, 2023). Sin embargo, por su alto contenido de fibra, presenta una baja digestibilidad del 25%; por lo que, su inclusión en las dietas no debe ser mayor del 10%, ya que al ser incorporado directamente en las dietas provocan una sensación de llenado (Lagos & Castro, 2019).

4.5.1. Cuyes

De acuerdo con Castro (2017), en la dieta para cuyes, la inclusión de caña de azúcar puede ser hasta el 50%, de manera similar recomiendan la inclusión de hasta el 20% de harina de bagazo de caña en la fase de crecimiento y engorde para conseguir un mayor incremento de peso.

4.5.2. Bovinos

En los bovinos, el bagazo puede formar parte de las dietas en un 20-30%. Por otro lado, se puede utilizar al 15% en dietas completas para terneros, alcanzando ganancias de peso adecuadas sin afectar el comportamiento del animal (Ulloa, 2005). De acuerdo con Castaño et al (2012), los bovinos en fase de ceba alimentados con bagazo de caña enriquecido con el hongo *Pleurotus ostreatus*, obtuvieron mayores ganancias de peso.

4.5.3. Porcinos

Silva et al (2022) mencionan que, la inclusión de hasta 30g/kg de lignocelulosa purificada (LNC) suministrada por el bagazo de caña de azúcar en dietas de lechones destetados, mejoró la salud intestinal mediante la inhibición de la proliferación de bacterias dañinas como *Clostridium perfringens* y la expansión de los productores de butirato, sin comprometer el rendimiento del crecimiento.

4.6. Limitaciones del Bagazo de Caña en la Alimentación Animal

El bagazo de caña de azúcar, al tener un bajo contenido de proteína cruda, constituye un limitante para su utilización como ingrediente único en la alimentación animal; sin embargo, puede ser utilizado como suplemento en distintas raciones, aportando un gran valor energético (Jácome et al, 2023).

De acuerdo con Lagos & Castro (2019), para el empleo del bagazo de caña en la alimentación animal se deben incorporar procedimientos como el uso de bacterias ácido-lácticas y tratamientos con álcalis que permitan mejorar su aplicación. Así mismo, Jácome et al (2023), mencionan que el bagazo de caña requiere de un pretratamiento con compuestos químicos para que la hemicelulosa sea parcialmente solubilizada y que sea digerible para el animal. Este método consiste en picar el bagazo de caña y combinarlo con soluciones deslignificantes diluidas en agua, para posteriormente agregarle quelatos y microorganismos benéficos.

4.7. Estudios similares a nivel Internacional y Nacional

En Piura-Perú, Resano et al (2022), realizó una caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de industrial y artesanal, reportando los siguientes resultados (Tabla 12)

Tabla 12. Composición fisicoquímica del bagazo obtenido mediante procesamiento artesanal e industrial

Proceso	H	CNZ	FC	FDA	FDN	LDA
Industrial	39,09	10,09	37,71	52,65	80,57	9,14

Artesanal	57,66	2,14	-	35,50	56,11	5,70
-----------	-------	------	---	-------	-------	------

Por otro lado, a nivel nacional, Vera et al, (2021), determinaron las características nutricionales del bagazo de dos variedades de residuos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*): CC 8592 y ECU-01, obteniendo los siguientes resultados:

- En CC 8592: proteína (2,42%), grasa (1,40%), ceniza (2,48%), fibra (34,62%), materia seca (33,35%), fibra detergente neutra (68,03%), fibra detergente ácida (36,44%) y lignina detergente ácida (7,10%).
- En ECU-01: proteína (2,61%), grasa (1,31%), ceniza (2,60%), fibra cruda (29,22%), materia seca (25,46%), fibra detergente neutra (69,88%), fibra detergente ácida (38,72%) y lignina detergente ácida (7,80%).

Vera (2022), realizó una caracterización química y degradabilidad *in situ* de residuos orgánicos para la alimentación de bovinos, en las que evaluó dos variedades de residuos de caña de azúcar: CC 8592 y ECU-01, reportando los siguientes resultados:

- En CC 8592: proteína (3,25%), grasa (1,56%), ceniza (7,07%), fibra (36,54%), materia seca (50,91%), fibra detergente neutra (63,49%), fibra detergente ácida (36,12%) y lignina detergente ácida (5,59%).
- En ECU-01: proteína (3,67%), grasa (1,67%), ceniza (6,17%), fibra cruda (35,01%), materia seca (55,58%), fibra detergente neutra (65,71%), fibra detergente ácida (38,60%) y lignina detergente ácida (6,94%).

5. Metodología

5.1. Área de Estudio

La presente investigación se llevó a cabo mediante la recolección de muestras de bagazo de caña fresco producido tanto en un establecimiento industrial como en un artesanal. Ambos establecimientos están ubicados en el cantón Catamayo, provincia de Loja, en específico, en las parroquias Catamayo y El Tambo, respectivamente.

Los establecimientos que se incluyeron en el estudio son los siguientes:

- Ingenio Monterrey Azucarera Lojana C.A. (MALCA), ubicado en la parroquia de Catamayo.
- Molienda Artesanal “La Era”, ubicada en la parroquia El Tambo.

La ciudad de Catamayo se encuentra ubicada al sur del Ecuador, en altitud media de 1.270 m.s.n.m, entre las latitudes 03°59'11.5" S y 79°21'0". Posee una superficie aproximada de 649 km² y presenta una temperatura que oscila entre los 20 y 25 °C.

La parroquia de Catamayo se encuentra ubicada al oeste de la ciudad de Loja. Se extiende de Norte a Sur, desde la Cordillera de los Andes en el Villonaco, hasta la confluencia de los ríos Catamayo y Guayabal; y, desde la Cordillera de Hatillo con Monterrey, Chucadell y Molletingo, hasta la quebrada Indiucho. Comprende una superficie aproximada de 146.20 km².

La parroquia El Tambo se encuentra ubicada a 50 km de la ciudad de Loja, en el centro de la Provincia de Loja, a una altitud 2.800 m.s.n.m, en las coordenadas angulares 04°01'32 y 04°02'44 de la latitud Sur a 79°11'18 y 79°12'38. Tiene una superficie aproximada de 21.7 km² y presenta una temperatura que varía entre los 18 y 20 °C.

La fase de laboratorio de la presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Bromatología y en el de Análisis Químico de la Universidad Nacional de Loja.



Figura 1. Ingenio Monterrey Azucarera Lojana C.A. (MALCA), cantón Catamayo de la provincia de Loja (*Google Earth, 2023*).



Figura 2. Molienda Artesanal La Era, cantón Catamayo de la provincia de Loja (*Google Earth, 2023*).

5.2. Procedimiento

5.2.1. Enfoque metodológico

Se realizó un estudio con enfoque cuantitativo en el que se evaluó los parámetros físicos-químicos del bagazo de caña de azúcar obtenido mediante procesamiento artesanal e industrial.

5.2.2. *Diseño de la investigación*

El diseño de investigación fue completamente aleatorizado de un solo factor: el bagazo de caña obtenido de forma industrial y artesanal.

5.2.3. *Tamaño de la muestra y tipo de muestreo*

La unidad muestral de bagazo de caña de azúcar artesanal fue obtenida después de la etapa de molido en el trapiche, mientras que la unidad muestral de bagazo de caña industrial se recolectó después de la etapa de lavado, picado, desfibrado y molido. Se seleccionaron un total de 6 muestras, compuestas por tres muestras de bagazo obtenido de forma artesanal y tres de forma industrial. Estas fueron recolectadas en tres intervalos de tiempo (día 1, día 7 y día 15), realizando tres repeticiones y obteniendo de esta manera un tamaño muestral de 18 muestras. El tipo de muestreo que se utilizó fue no probabilístico (por conveniencia).

5.2.4. *Técnicas*

El proceso de muestreo se llevó a cabo mediante la recolección, en intervalos de una semana, de 1 kg de bagazo de caña de azúcar, tanto procedentes de la fábrica artesanal como de la industrial. Las muestras, en total de 6, fueron almacenadas en bolsas plásticas de cierre hermético, identificadas y conservadas bajo refrigeración (5°C) hasta el momento de su análisis.

Se realizó un análisis físico - químico para determinar: capacidad de retención de líquido, humedad, densidad aparente, acidez, pH, proteína, extracto etéreo, fibra cruda, fibra detergente neutra, fibra ácida detergente, materia seca y ceniza.

5.2.5. *Variables de estudio*

En la tabla 13, se observan los análisis físicos-químicos del bagazo de caña de azúcar que se realizaron en la presente investigación.

Tabla 13. Análisis físico - química del bagazo de caña de azúcar

Análisis fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar		
Propiedades físicas	Propiedades químicas	Composición química
Capacidad de retención de agua	pH	Materia seca
Densidad aparente	Acidez	Ceniza

Humedad

Proteína cruda

Extracto etéreo

Fibra cruda

Fibra detergente neutra (FDN)

Fibra ácida detergente (FDA)

Lignina ácida detergente (LDA)

5.2.6. Análisis de Laboratorio

5.2.6.1. Análisis de las Propiedades Físicas del Bagazo de Caña de Azúcar

El análisis de las propiedades físicas permitió describir el comportamiento físico del bagazo de caña de azúcar.

5.2.6.1.1. Capacidad de Retención de Agua

Para determinar la capacidad de retención de agua se empleó la metodología de Wang & Toews, (2011).

En primer lugar, se pesó 1 gramo de muestra seca y molida en un tubo cónico de 50 mL; A continuación, se añadió 30 mL de agua destilada y se agitó rápidamente, dejando reposar las muestras por 18 horas. Pasado este tiempo, se centrifugó las muestras a 3000 rpm durante 20 minutos y se decantó el sobrante. Finalmente, se invirtieron los tubos cuidadosamente durante 10 minutos para permitir que el precipitado escurriera antes de registrar el peso final. Para el cálculo de la capacidad de retención de agua se utilizó la siguiente fórmula:

$$WRC \text{ (g/g)} = \frac{\text{Peso del residuo fresco} - \text{peso del residuo seco}}{\text{Peso del residuo seco}}$$

5.2.6.1.2. Densidad Aparente

Para determinar la densidad aparente, se utilizó la metodología de Atáres (2015).

En primer lugar, se pesó una probeta de vidrio de 100 mL vacía a la cual se le añadieron 10 gramos de muestra. Probeta y muestra fueron pesados en una balanza de precisión. A continuación, se procedió a compactar la muestra y se midió el volumen. Se aplicó la siguiente fórmula para estimar la densidad aparente:

$$P_{aparente} = \frac{m_{(probeta+muestra)} - m_{probeta}}{V_{aparente}}$$

5.2.6.1.3. Humedad

Para determinar la humedad, se empleó el protocolo (930.15) de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2016). Para ello, primero se mezcló y homogenizó la muestra, luego se pesó una funda vacía, se añadió 100 g de muestra y se pesó el resultado (funda + muestra). Luego, se procedió a colocar las muestras en la estufa a una temperatura de 65 °C por 48 horas. Finalmente, se sacó las muestras de la estufa dejándolas enfriar por 15 minutos y se procedió a realizar el pesaje final. Para calcular la humedad se empleó la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{\text{Peso de muestra de agua evaporada}}{\text{Peso de la muestra humedad}} \times 100$$

5.2.6.2. Análisis de las Propiedades Químicas del Bagazo de Caña de Azúcar

El análisis de los parámetros químicos permitió evaluar las alteraciones que presentó el bagazo de caña de azúcar.

5.2.6.2.1. pH

Para el análisis de pH se empleó el protocolo (981.12) de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2016).

Para determinar el pH, primero se pesó el matraz Erlenmeyer vacío, luego se añadió 50 gramos de muestra y se añadió 250 ml de agua destilada. Finalmente, se colocó papel aluminio en las boquillas de los matraces. Una vez finalizado esto, se aseguró la boquilla del matraz con papel aluminio y se lo colocó sobre una plancha de calor hasta que alcance el punto de ebullición y se lo mantuvo constante durante 30 minutos a temperatura más baja. Después, se bajó el matraz de la plancha y se dejó a temperatura ambiente por unos minutos hasta que se enfrió y se procedió a filtrar el líquido resultante y a colocarlo en un balón volumétrico. Seguidamente se añadió agua destilada y se aforo a 200 ml (industrial) y a 250 ml (artesanal), para luego colocar el líquido en un vaso de precipitación y homogeneizar con un agitador para finalmente medir el pH de la muestra con un pH-metro.

5.2.6.2.2. Acidez

Para el análisis de acidez se empleó el protocolo (942.15) de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2016).

Luego de medir el pH, se utilizó la solución obtenida para medir la acidez con ayuda de una bureta que contenía 50 mL de NaOH y se procedió a titular hasta alcanzar un pH aproximado entre 8.1 – 8.5

5.2.6.3. Análisis de la Composición Química del Bagazo de Caña de Azúcar

El análisis de la composición química permitió determinar los compuestos y nutrientes presentes en el bagazo de caña de azúcar.

5.2.6.3.1. Materia Seca (MS)

En primer lugar, se pesó el crisol vacío y luego se añadió 2 g de muestra. Una vez pasado el crisol con la muestra, se lo colocó en la estufa a 103 ± 2 °C durante 24 horas. Al día siguiente se retiró de la estufa colocándolo en un desecador para que se enfríe a temperatura ambiente, para finalmente pesarlo de nuevo. Para determinar materia seca se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%MS = 100 - \%H$$
$$\%MS = \frac{\text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso muestra antes del secado}} \times 100$$

H = humedad de la muestra.

5.2.6.3.2. Cenizas (CNZ)

Para determinar las cenizas (C) se empleó la normativa (923.03) de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2016).

Primero, se pesó los crisoles vacíos en una balanza analítica y se le añadió 2 gramos de muestra; seguidamente, se colocó los crisoles en una mufla a 600 °C durante 4 horas. Después se dejó enfriar en el desecador para finalmente pesar el resultado. Para calcular las cenizas se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%Cenizas = \frac{\text{Peso del crisol} - \text{peso crisol cenizas}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.2.6.3.3. Proteína Cruda (PC)

Para determinar proteína cruda se empleó el método (2001.11) de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2016).

En primer lugar, se pesó un papel libre nitrógeno, sobre el cual se colocó 0.70 g de muestra de bagazo. El papel y la muestra fueron colocados dentro de un tubo Kjeldahl de 300 mL. A continuación, se agregó una tableta catalizadora y 13 mL de H₂SO₄ concentrado. En un matraz de Erlenmeyer se preparó una solución con 60 mL de H₃BO₃ al 4% pH 4,65 que incluyó una

mezcla de los indicadores rojo de metilo y verde de bromocresol. Seguidamente, se colocó a la salida del refrigerante cuidando el extremo de este quede sumergido en la solución ácida. El equipo fue agregando la cantidad necesaria de solución de NaOH 30%, la cual reaccionó con el sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. El indicador viró a azul cuando empezó a destilarse el NH_3 por arrastre en corriente de vapor. La destilación finalizó cuando alcanzó un volumen de aproximadamente 200 mL en el matraz de Erlenmeyer colector. Posteriormente, el destilado se tituló con solución valorada de H_2SO_4 al 0,2 N hasta que se logró el viraje. Para todo el ensayo se realizó un blanco de reactivos.

Para calcular la proteína cruda, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%Proteína\ total = (V_{muestra} - V_{blanco}) \times N_{ácido} \times 1.4 \frac{F}{G_{muestra}}$$

$V_{muestra}$ = ml de ácido gastado en la valoración de la muestra.

V_{blanco} = ml de ácido gastado en la valoración del blanco.

$N_{ácido}$ = Normalidad del ácido sulfúrico.

0.014 = peso del meq de nitrógeno, en g

F = factor de conversión de nitrógeno a proteína (6.25).

$G_{muestras}$ = peso en g de la muestra.

5.2.6.3.4. Extracto Etéreo (EE)

Para determinar extracto etéreo se empleó el método (203.06) de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2016).

En primer lugar, se pesó el papel filtro y se añadió 4 g de muestra, posteriormente, se introdujo la muestra en los dedales de celulosa sellándolos con algodón. A continuación, se pesó un balón y se añadieron 200 mL de éter de petróleo. Luego se ensambló el equipo, conectando el balón con el sifón, y este con el condensador. Se encendió el extractor de grasa y se abrió el flujo de agua del condensador.

Después de iniciar la extracción, se verificó el rango de reflujo apropiado. A continuación, se retiró los dedales y se destiló la mayor cantidad de solvente posible hasta alcanzar la sequedad aparente. Luego, se retiró los balones de extracción de grasa y se colocaron en la Sorbona para finalizar la evaporación del solvente a baja temperatura hasta alcanzar la sequedad aparente. Posteriormente, colocaron los balones en la estufa a 130 °C durante 60

minutos para eliminar los restos del solvente y la humedad residual existente. Finalmente, se llevaron los balones con grasa al desecador, se los dejó enfriar a temperatura ambiente y se los pesó. Para calcular la composición de la grasa se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%Grasa = \frac{\text{peso del matraz con grasa} - \text{peso del matraz vacío}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.2.6.3.5. Fibra Cruda (FC)

Para determinar la fibra cruda se empleó el método (962.09) de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2016). El procedimiento ejecutado fue el que se detalla a continuación:

- 1) Se procedió a pesar las bolsas de filtro vacías para análisis de fibra, luego, se añadió 0,5 g de muestra en cada una de ellas y se sellaron térmicamente. A continuación, las bolsas con la muestra fueron colocadas en las bandejas del equipo Ankom 200 Fiber Analyzer.
- 2) Posteriormente, se agregaron, 2000 mL de ácido sulfúrico al 0,255 N, y 3-5 gotas de n-octanol en el recipiente interno del equipo. Se encendió el equipo y se mantuvo la ebullición por 30 minutos.
- 3) Una vez terminado este proceso, se abrió la válvula de escape para descargar la solución caliente y seguidamente se añadió al recipiente 2000 mL de agua destilada por tres ocasiones o hasta que el residuo tuvo un pH neutro.
- 4) Luego, se añadieron 2000 mL de NaOH al 0,313 N y 3-5 gotas de n-octanol en el recipiente interno del equipo. Se encendió el equipo y se mantuvo la ebullición por 30 minutos. Una vez terminado este proceso, se abrió la válvula de escape para descargar la solución caliente; seguidamente se añadió al recipiente 2000 mL de agua destilada por tres ocasiones o hasta que el residuo tuvo un pH neutro.
- 5) Luego, con la ayuda de una pinza, se sacaron las bolsas de las bandejas y se las sumergió en 25 mL de acetona grado analítico, por tres ocasiones.
- 6) Se dejaron secar las bolsas en estufa a 105 °C hasta obtener un peso constante; seguidamente, se las colocó en un desecador y se las pesó una vez enfriadas.
- 7) Finalmente, las bolsas fueron colocadas en crisoles y llevadas a mufla a 650 °C por 4 horas. Una vez que se enfriaron, se pesó el resultante.

5.2.6.3.6. Fibra Detergente Neutra (FDN)

Para determinar la fibra detergente neutra se empleó el método (2002.04) de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2016), siguiendo estos pasos:

- 1) Se pesaron las bolsas de filtro vacías, se añadió 0,5 g de muestra de bagazo y se sellaron térmicamente;
- 2) En el recipiente interno del equipo Ankom 200 Fiber Analyzer, se añadieron, 2000 mL de solución detergente neutro a temperatura ambiente, con 20 g de sulfito de sodio y 3 gotas de n-octanol. Se encendió el equipo y se calentó durante 60 minutos, desde el momento en que alcanzó el punto de ebullición.
- 3) Una vez terminado este proceso, se abrió la válvula de escape para descargar la solución caliente y se procedió añadir 2000 mL de agua destilada para lavar las bolsas y el interior del equipo. Este procedimiento se repitió por tres ocasiones o hasta que el residuo tuvo un pH neutro.
- 4) Luego, utilizando una pinza, se sacaron las bolsas de la bandeja y se las sumergió en 25 mL de acetona grado analítico por tres ocasiones. A continuación, se dejó secar las bolsas en la estufa a 105 °C hasta que se obtuvo un peso constante.
- 5) Se dejó enfriar las bolsas de filtro en un desecador. Finalmente, se pesaron las bolsas y se realizó el cálculo de resultados, mediante la siguiente fórmula.

$$\%FDN = \frac{(\text{peso del crisol} + \text{peso del residuo}) - \text{peso del crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.2.6.3.7. Fibra Detergente Ácida (FDA)

Para determinar la fibra detergente ácida se empleó el método (973.18) de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2016). El procedimiento consistió en lo siguiente:

- 1) Se inició colocando el residuo (bolsas de filtro con muestra), obtenido del análisis de Fibra detergente neutra (FDN), en las bandejas del equipo Ankom 200 Fiber Analyzer.
- 2) En el recipiente interno del equipo se agregaron 2000 mL de solución detergente ácida a temperatura ambiente. Se encendió el equipo y se calentó durante 30 minutos, a partir del momento en que alcanzó el punto de ebullición.
- 3) Una vez terminado este proceso, se abrió la válvula de escape para descargar la solución caliente y se procedió añadir 2000 mL de agua destilada para lavar las bolsas y el interior del equipo por tres ocasiones o hasta que el residuo tuvo un pH neutro.

- 4) Luego, y utilizando una pinza, se sacaron las bolsas de la bandeja y se las sumergió en 25 mL de acetona grado analítico por tres ocasiones. A continuación, se dejó secar las bolsas en la estufa a 105 °C hasta que se tuvo un peso constante.
- 5) Se colocó las bolsas en un desecador; una vez se enfriaron, se las pesó y se realizó el cálculo de resultados con la siguiente fórmula:

$$\%FDA = \frac{(\text{peso del crisol} + \text{peso del residuo}) - \text{peso del crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.2.6.3.8. Lignina Detergente Ácida (ADL)

Para determinar la lignina ácida detergente se empleó el método (973.18) de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2016). El procedimiento ejecutado fue el que se detalla a continuación:

- 1) Se emplearon los residuos (bolsas de filtro con muestra) resultantes del análisis de la Fibra Detergente Ácida (FDA).
- 2) Esos residuos fueron introducidos en los recipientes para análisis de digestión, a la que se agregaron 25 mL de ácido sulfúrico al 72% a temperatura ambiente.
- 3) Seguidamente, se colocaron los recipientes en un incubador del equipo Ankom Daisy II, que se mantuvo en constante rotación, durante 3 horas.
- 4) Una vez terminado el proceso, con la ayuda de una pinza, se sacaron las bolsas de los recipientes y se lavaron con 2000 mL de agua destilada, por tres ocasiones o hasta que el residuo tuvo un pH neutro.
- 5) Se sumergieron las bolsas en 25 mL de acetona grado analítico, por tres ocasiones.
- 6) Se dejaron secar las bolsas en la estufa a 105 °C hasta que se obtuvo un peso constante; luego, se las colocó en un desecador y se pesaron, una vez enfriadas.
- 7) Finalmente, las bolsas fueron colocadas en crisoles y llevadas a mufla a 650 °C por 4 horas y una vez enfriadas, se pesó el resultante. El porcentaje de ADL se calculó con la siguiente fórmula:

$$\%LDA = \frac{(\text{peso del crisol} + \text{peso del residuo}) - \text{peso del crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.2.7. Procesamiento y Análisis de Resultados

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante un diseño completamente aleatorizado. Para la comparación de medias, se utilizó la prueba de Tukey con el programa estadístico InfoStat (Versión 2020). Los p-valores <0.05 fueron considerados como significativos.

Los resultados de cada una de las variables en estudio se organizaron en tablas estadísticas para facilitar su interpretación.

5.2.8. Consideraciones Éticas

La presente investigación es de tipo observacional en la que se utilizó un subproducto de la industria azucarera para su caracterización, sin involucrar la manipulación o intervención directa con animales.

6. Resultados

6.1. Caracterización del Bagazo de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)

El presente trabajo de investigación tuvo la finalidad de aportar información sobre la composición físico - química del bagazo de caña de azúcar (residuo agroindustrial) obtenido de forma artesanal (BCA) e industrial (BCI). Las propiedades físicas que se evaluaron fueron: capacidad de retención de agua (g de agua absorbida/g de fibra), densidad aparente (kg/m^3) y humedad (%). Los resultados se presentan en la Tabla 14. Las propiedades químicas determinadas fueron: pH y acidez; Los parámetros químicos que se evaluaron fueron: materia seca, ceniza, proteína cruda, fibra cruda, fibra detergente neutra (FDN), fibra ácida detergente (FDA), lignina detergente ácida (ADL), tal como se detalla en la Tabla 15. Cada uno de los parámetros antes mencionados fueron expresados en porcentaje.

Tabla 14. Caracterización física del bagazo de caña de azúcar en base seca

Análisis	BCI	BCA	C.V.	p-valor
Capacidad de retención de agua (g/g)	5,95	7,09	1,96	0,0004
Densidad aparente (kg/m^3)	138,69	139,44	0,06	0,0005
Humedad (%)	57,87	42,36	2,88	0,0002

CV= Coeficiente de variación, P- valor = Tabla F

Tabla 15. Caracterización química del bagazo de caña de azúcar en base seca

Análisis	BCI	BCA	C.V.	p-valor
pH	5,24	5,40	0,82	0,0093
Acidez (%)	0,05	0,16	65,98	0,1237
Materia seca (%)	42,13	57,64	2,89	0,0002
Cenizas (%)	2,15	2,41	6,63	0,1029
Proteína cruda (%)	1,05	2,00	3,89	<0,0001
Extracto etéreo (%)	0,41	0,66	6,76	0,0010
Fibra cruda (%)	45,74	29,49	6,54	0,0013
Fibra detergente neutra (FDN), %	83,54	61,80	2,26	0,0001
Fibra ácida detergente (FDA), %	55,48	36,12	4,79	0,0004
Lignina ácida detergente (ADL), %	7,80	5,79	1,98	0,0001

CV= Coeficiente de variación, P- valor = Tabla F

6.2. Parámetros Físicos y Químicos del Bagazo de Caña de Azúcar

El análisis de varianza ADEVA mostró un resultado estadísticamente significativo ($p \leq 0,05$) en los parámetros físicos y químicos de las muestras analizadas, exceptuando los parámetros de acidez y cenizas, que no mostraron significancia estadística.

6.3. Caracterización Física del Bagazo de Malta de Cebada

6.3.1. Capacidad de Retención de Agua

En la figura 3, se puede observar que, el bagazo de caña obtenido de forma artesanal tiene una mayor capacidad para retener agua con 7,31 g/g, comparado al bagazo de caña obtenido de forma industrial con 6,26 g/g.

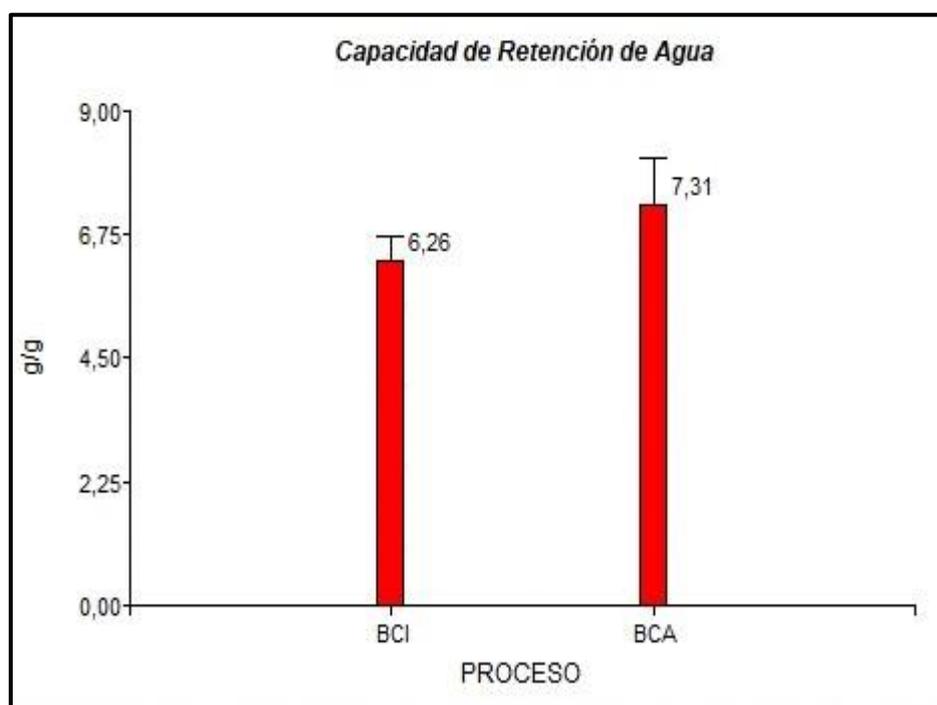


Figura 3. Capacidad de retención de agua del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.2. Densidad aparente

En la figura 4, se observa que la densidad aparente del bagazo de caña artesanal es mayor ($139,44 \text{ kg/m}^3$) a la del obtenido de forma industrial ($138,69 \text{ kg/m}^3$).

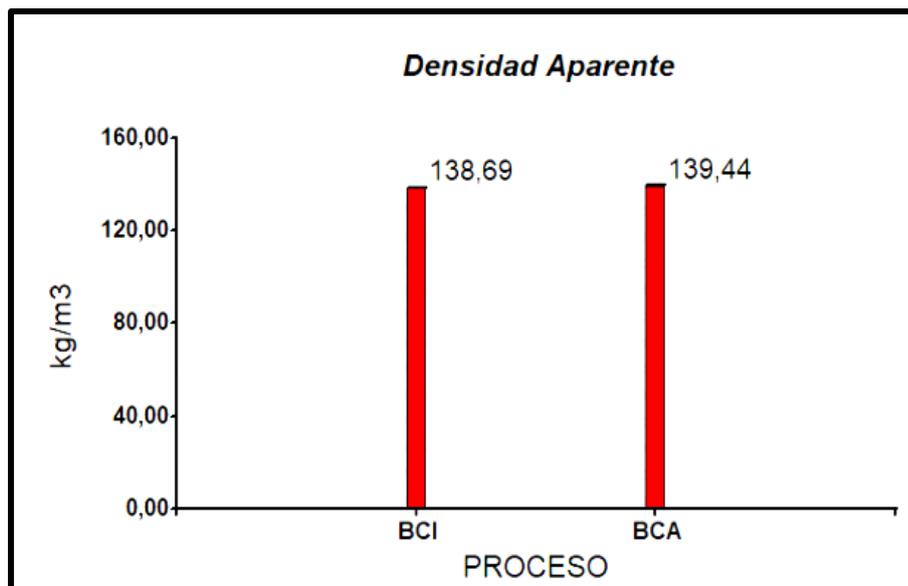


Figura 4. Densidad aparente del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.3. Humedad

La figura 5, muestra que la humedad es más elevada en el bagazo de caña industrial, alcanzando un 57,87%. En contraste, la humedad del bagazo de caña artesanal fue del 42,36%.

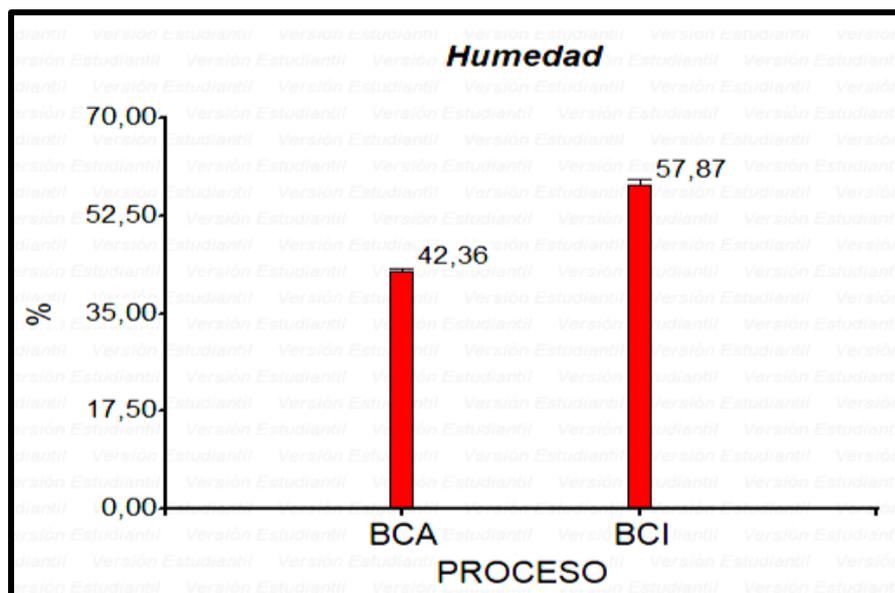


Figura 5. Contenido de humedad del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.4. pH

El pH (Figura 6) del bagazo de caña obtenido de forma artesanal es superior al del bagazo de caña producido industrialmente con el 5,40 % y el 5,24 %, respectivamente

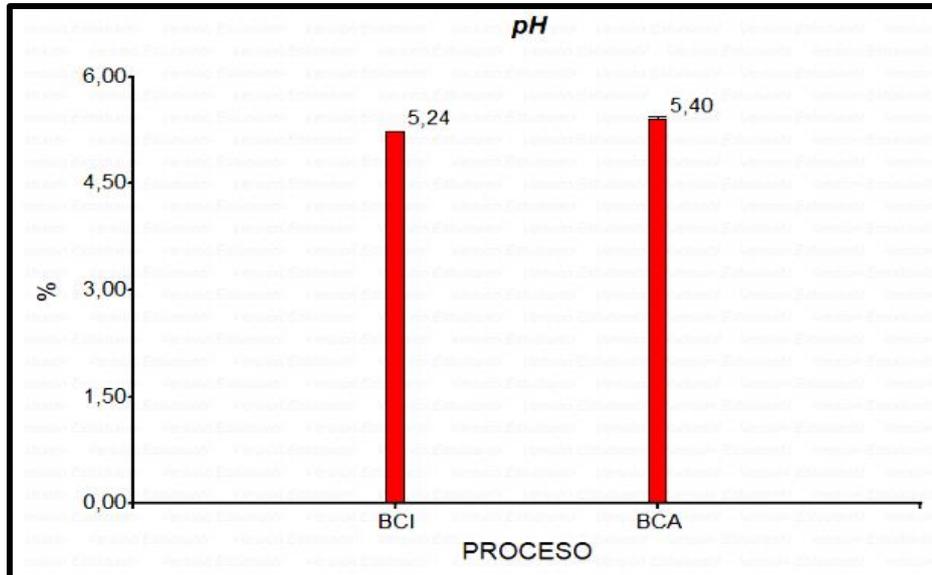


Figura 6. pH del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.5. Acidez

En la figura 7, a pesar de no existir diferencias estadísticas entre los dos procesos, se muestra que el porcentaje de acidez es mayor en el bagazo artesanal con el 0,16%, mientras que, el bagazo industrial tiene un valor de 0,05 % del ácido aconítico, calculado gramos equivalentes de ácido aconítico/100 g de muestra.

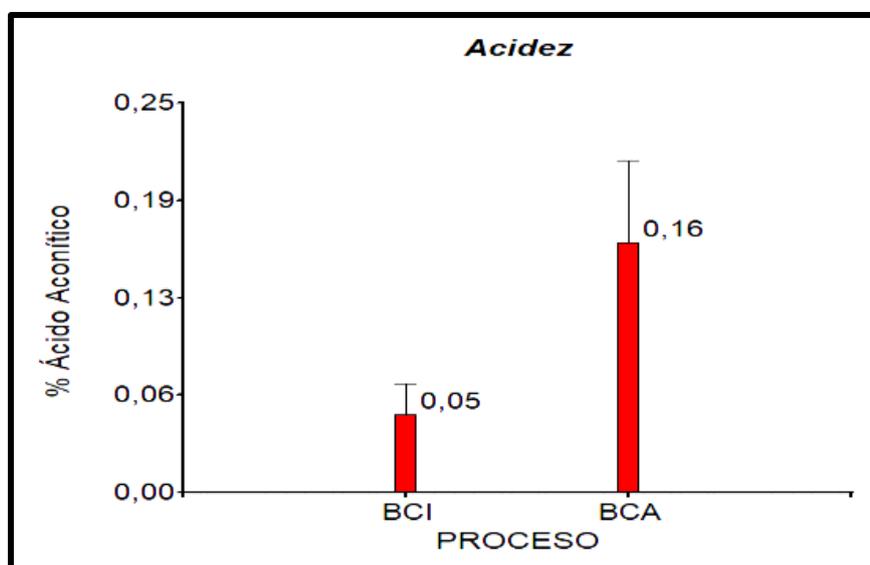


Figura 7. Acidez del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.6. *Materia Seca*

En cuanto a materia seca (Figura 8), el bagazo de caña obtenido de forma industrial registró un valor de 42,13%, mientras que, el bagazo obtenido de forma artesanal, de 57,64%.

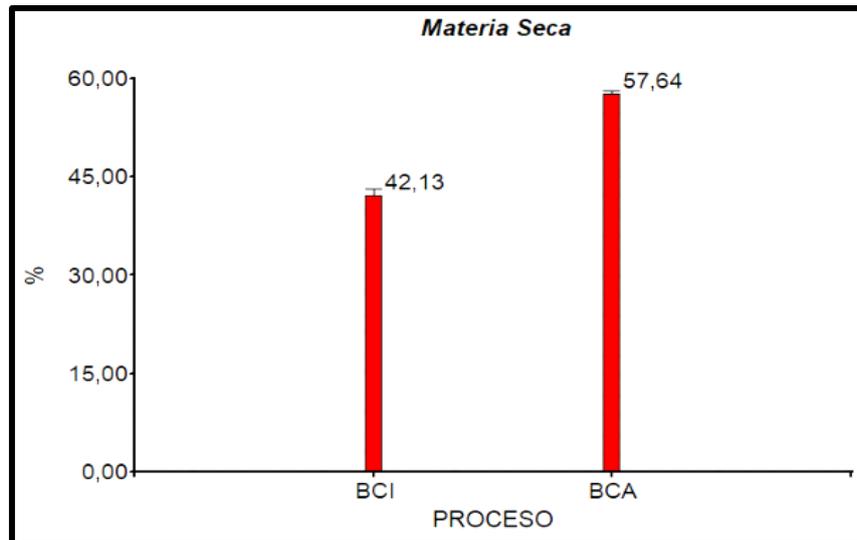


Figura 8. Contenido de materia seca del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.7. *Cenizas*

En la Figura 9, se observa que, a pesar de que no existe diferencias estadísticas entre los dos procesos de obtención de bagazo de caña, el bagazo obtenido de forma artesanal (2,41%) tiene un mayor porcentaje de cenizas que el bagazo de caña industrial (2,15%).

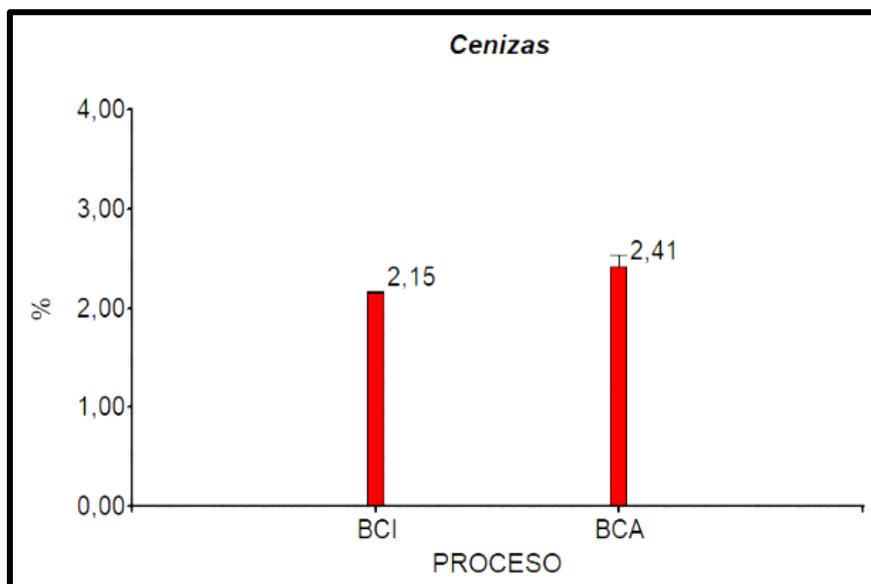


Figura 9. Contenido de cenizas del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.8. Proteína Cruda

El contenido de proteína cruda (Figura 10), es mayor en el bagazo de caña artesanal (2 %) mientras que, es menor en el bagazo de caña obtenido de forma industrial (1,05 %).

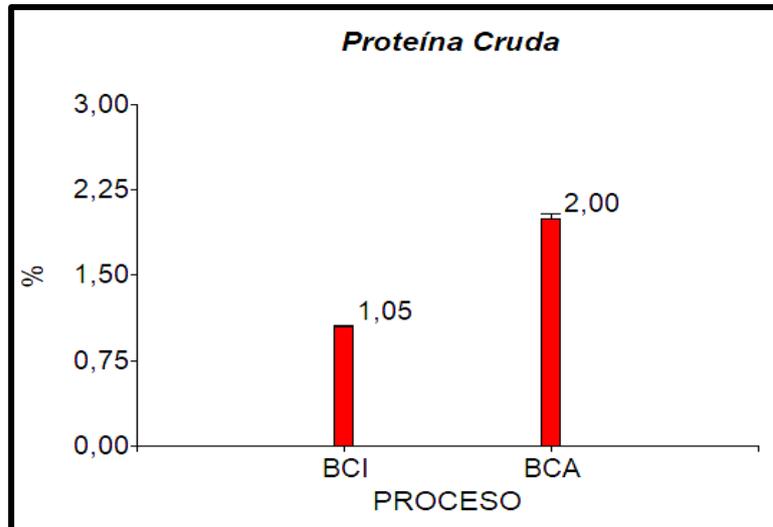


Figura 10. Contenido de proteína cruda del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.9. Extracto Etéreo

En la figura 11, se observa que, el bagazo de caña obtenido de forma artesanal mostró un mayor porcentaje de extracto etéreo (0,66%), en comparación con el bagazo de caña obtenido de forma industrial (0,41%).

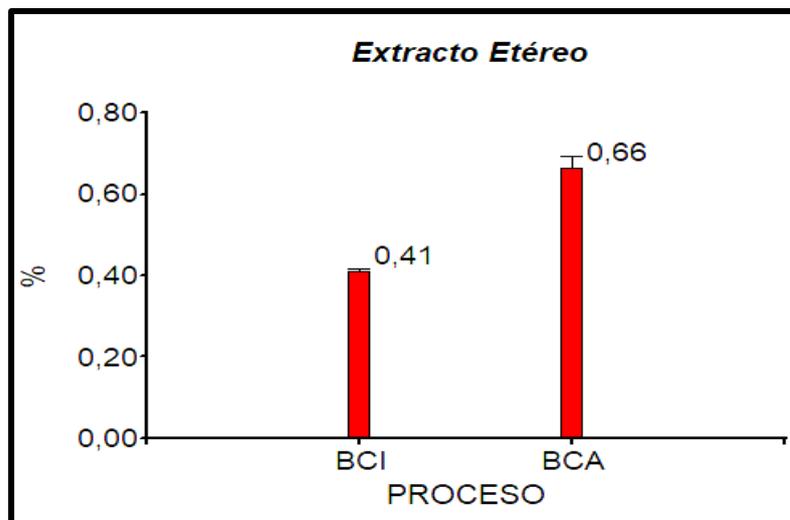


Figura 11. Contenido de extracto etéreo del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.10. Fibra Cruda

La figura 12, muestra que, el bagazo industrial tiene mayor contenido de fibra cruda con el 45,74%, mientras que el bagazo artesanal tiene un valor de 29,49%.

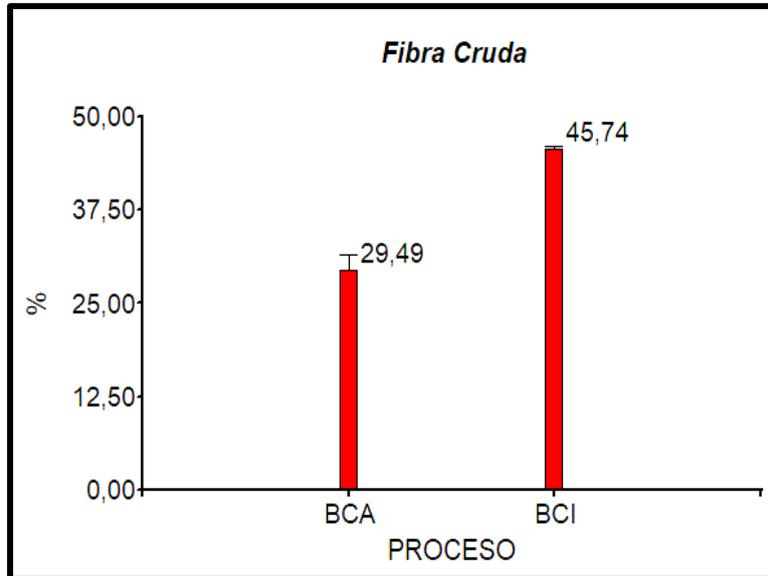


Figura 12. Contenido de fibra cruda del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.11. Fibra Detergente Neutra

En la figura 13, se evidencia que el bagazo de caña obtenido industrialmente tiene mayor contenido de fibra detergente neutra (83,54%), que el bagazo de caña artesanal con el 61,80%.

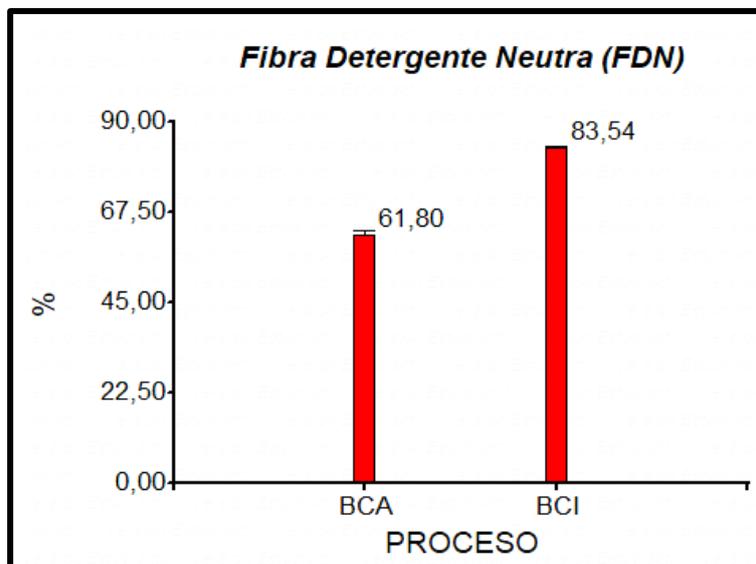


Figura 13. Contenido de fibra detergente neutra del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.12. Fibra Detergente Ácida

En cuanto a fibra detergente ácida (Figura 14), se registró un mayor porcentaje del 55,48% en el bagazo de caña industrial, que en el bagazo de caña obtenido artesanalmente (36,12).

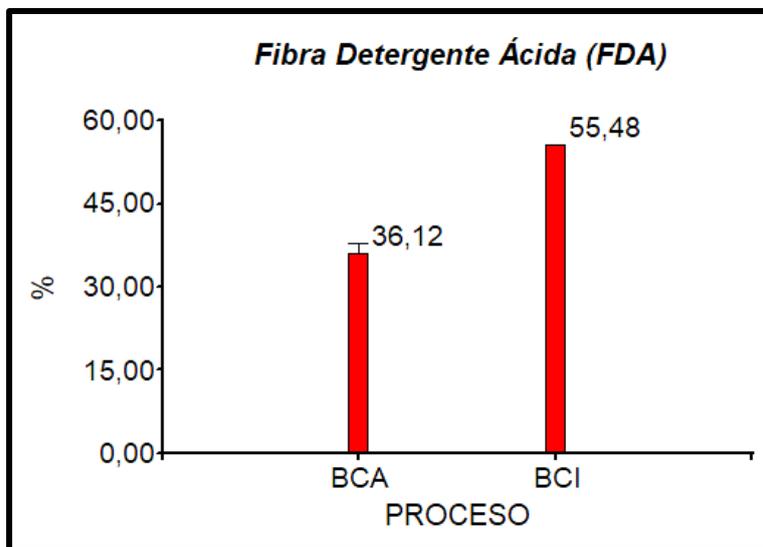


Figura 14. Contenido de fibra detergente ácida del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

6.3.13. Lignina Detergente Ácida

La Figura 15, muestra que el porcentaje de lignina detergente ácida es mayor en el bagazo de caña obtenido industrialmente (7,80%), en comparación con el bagazo de caña artesanal (5,79).

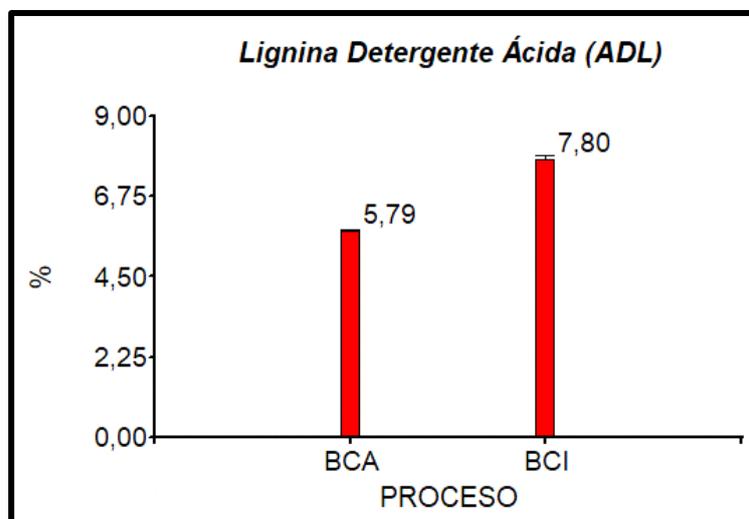


Figura 15. Contenido de lignina detergente ácida del bagazo de caña de azúcar obtenido de forma artesanal e industrial.

7. Discusión

En el presente estudio se analizó el bagazo de caña de azúcar, obtenido de forma artesanal e industrial. En ambos casos, las muestras analizadas estuvieron compuestas por una mezcla de las variedades de caña: PR 61-632 (Puerto Rico) y RD 75-11 (República Dominicana) recogidas en las plantas de procesamiento.

La caracterización de los residuos (bagazo) de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) se efectuó conforme a los métodos de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC) para la determinación de humedad, pH, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, FDN, FDA y ADL.

Los resultados obtenidos de la caracterización física cuanto a la capacidad de retención de agua fueron superiores a los obtenidos por Sita et al (2016), quienes reportaron un valor de $4,80 \pm 0,44$ g/g, mientras que, los valores obtenidos en la presente investigación fueron de 6,26 g/g en el bagazo industrial y 7,31 g/g en el bagazo artesanal. Esta propiedad física depende de factores claves como: el tamaño y número de las partículas, y el tipo de fibra, ya sea soluble e insoluble (Arroyo, 2008; Chimborazo, 2011; Llivicura, 2020). Además, influye en la propiedad reológica (viscosidad), textura y sinéresis del alimento. Una alta capacidad de retención de agua mejora la firmeza (textura) e inhibe la sinéresis, siendo el bagazo artesanal el más conveniente ya que puede ayudar a mantener su viscosidad y textura originales, evitando la pérdida de agua y concentración de los ingredientes, y manteniendo una textura más uniforme y consistente (Alarcón, 2013; Kieserling et al, 2019).

En cuanto a los resultados de humedad, se obtuvieron valores de 42,36% para el bagazo artesanal y 57,87% para el bagazo industrial. Estos hallazgos difieren con los encontrados con Resano et al (2022), cuyo estudio consistió en la caracterización física química del bagazo de caña industrial y artesanal. Los autores reportaron una composición de 44,42% y 57,66% respectivamente. En contraste, en el estudio realizado por Díaz (2008), se encontró un valor de 46,52% en el bagazo artesanal y 53,26% en el bagazo industrial. El contenido de humedad depende de la velocidad y eficiencia de la molienda (Díaz, 2008). Cabe señalar que, un menor contenido de humedad contribuye a evitar la proliferación de microorganismos que podrían dañar la materia prima, por lo tanto, es más conveniente el bagazo artesanal que contiene menor porcentaje de humedad, pues es menos propenso a la descomposición a causa de microorganismos al tener menor disponibilidad de agua (Arévalo, 2017; Clayton et al, 2012).

La densidad aparente del bagazo de caña producido en ambos procesos fue de: 138,69 kg/m³ (industrial) y 139,44 (artesanal) kg/m³. Estos valores son inferiores a los reportados por

Pulido et al (2017), en cuyo estudio el bagazo de caña tuvo una densidad de 143,6 kg/m³. El bagazo no constituye un material homogéneo y la densidad aparente se ve influenciada por la porosidad, el volumen de las partículas y el grado de compactación. Además, una mayor densidad aparente de los materiales facilita su manipulación y transporte ya que requiere de menor espacio para su almacenamiento (Guevara, 2014; Pulido et al, 2017; Roca et al, 2009).

Los resultados de pH oscilaron entre 5,24 (industrial) y 5,40 (artesanal) y fueron similares con los reportados en el estudio de García et al (2011), quienes obtuvieron un valor de 5,8. En contraste, en el estudio realizado por Zara et al (2017) se encontró un valor un valor de 6,65. El pH del bagazo puede variar dependiendo del manejo y tratamiento del cultivo, la madurez de la planta o a la producción de ácidos orgánicos, resultado de la acción en los azúcares residuales. Además, valores de pH que oscilan entre 6 a 8,5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de las poblaciones microbianas, provocando el deterioro de la materia prima (García et al, 2011; Valiño et al, 2002).

Con respecto a los resultados de acidez, se obtuvieron valores de 0,05% y 0,16%, expresado en equivalentes de ácido aconítico por cada 100 gramos de muestra para bagazo de caña industrial y bagazo artesanal respectivamente. Estos valores fueron inferiores a los reportados por Cabrera et al (2024), quienes reportaron un rango entre el $0,22 \pm 0,00\%$ y el $0,37 \pm 0,00\%$. En el estudio de Cabrera et al (2024) se analizó el bagazo de caña en polvo, a diferencia de la presente investigación en la que se utilizó el bagazo sin ningún tipo de alteración. El grado de acidez del subproducto dependerá de la variedad y estado de maduración. Un nivel alto y pH bajo favorecen la conservación del material, impidiendo el deterioro por microorganismos (González et al, 2016).

Los valores de materia seca del bagazo de caña producido artesanalmente (57,64%) y de forma industrial (42,13%), superan significativamente a los obtenidos por Vera et al (2021) cuyo valor varió entre 33,35-35,56%. En el estudio de Vera y colaboradores, se realizó el análisis químico de los residuos de caña de azúcar de la variedad CC 8592 y ECU-01. Esto se compara con la presente investigación en la que se analizó muestras de una mezcla de las variedades: PR 61-632 (Puerto Rico) y RD 75-11 (República Dominicana). Es necesario mencionar que el porcentaje de materia seca dependerá del estado fenológico, contenido de humedad y conservación del alimento (Demagnet, 2020). Además, un elevado contenido de materia seca favorece al proceso de digestión, facilitando la acción de las enzimas digestivas y permitiendo la descomposición del alimento y asimilación de los nutrientes (Gómez et al, 2018; López et al, 2016). Dietas con valores de materia seca menores al 40%, pueden dificultar la acción de las enzimas digestivas y reducir la absorción de nutrientes en el tracto gastrointestinal,

así como, provocar una menor ingesta de agua por parte de los animales, aumentando el riesgo de deshidratación (Elizondo, 2018; Meléndez, 2018).

El contenido de cenizas del bagazo de caña artesanal (2,41%) fue superior al del estudio de Resano et al (2022), quienes reportaron un 2,14%. Por otro lado, el contenido de este componente del bagazo de caña producido industrialmente (2,15%) fue inferior al obtenido por Vera et al (2021), quienes informaron un rango de entre el 2,48 y el 2,6%. En el estudio de Vera et al (2021) se analizó el bagazo de la variedad CC 8592 y ECU-01, a diferencia de la presente investigación en la que se usó la mezcla de la caña de PR 61-632 (Puerto Rico) y RD 75-11 (República Dominicana). El alto contenido de cenizas es conveniente ya que proporciona minerales y otros elementos esenciales para regular el metabolismo, desarrollo y rendimiento de los animales (Gómez et al, 2018; Valdés et al, 2022).

Los valores de proteína cruda del bagazo de caña artesanal (2%) y el bagazo de caña industrial (1,05%) fueron inferiores a los obtenidos por Vera et al (2021) quienes informaron un rango entre el 2,42 y el 2,61%, de muestras de las variedades CC 8592 y ECU-01, respectivamente. De igual forma, el contenido de proteína fue menor, en el caso del bagazo de caña industrial, en comparación con el estudio de Aguirre et al (2010), quienes registraron un valor de 1,50%. La proteína es un importante componente de los alimentos ya que proporcionan aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo de los tejidos corporales, músculos y órganos. Además, realizan funciones metabólicas y reguladoras como la asimilación de nutrientes, regulación de vitaminas y minerales, etc. (González et al, 2007). El contenido de proteína de los residuos analizados en la presente investigación es bajo, por lo que se podría considerar la adición de proteínas hidrolizadas o enriquecimientos con hongos que permitan aumentar el contenido proteico (Aguirre & Muñoz, 2015; Pattacini, et al 2013; Valdés et al, 2022).

En cuanto a la composición de extracto etéreo, los valores encontrados en esta investigación 0,66% y de 0,41% del bagazo de caña obtenido artesanal e industrialmente, en su orden, fueron inferiores a los datos reportados por Moldavia et al (2020), quienes reportaron un contenido de 0,80%. Los niveles altos de extracto etéreo sirven como fuente de energía, proporcionando el doble de calorías que los carbohidratos. Así mismo, es necesario para la absorción de vitaminas liposolubles, la regulación de la temperatura corporal de los animales; además, contribuye a mejorar la palatabilidad de los alimentos (Cataño et al, 2012; Garcidueñas & Martínez, 2018) y, por tanto, el consumo por parte de los animales.

Con respecto al contenido de fibra cruda, el bagazo de caña artesanal presentó un valor de 29,49% que se encuentra dentro del rango reportado por Vera et al (2021) el cual fluctúa entre el 20,22% y el 34,62%. En cambio, el contenido de fibra del bagazo de caña industrial, 45,74%, fue superior al estudio antes citado. Desde el punto de vista nutricional, la fibra puede traer beneficios en la dieta de los animales herbívoros, ya que promueve la salud digestiva al estimular el proceso de la rumia y la motilidad intestinal, permitiendo prevenir problemas como la acidosis ruminal; además, permite mejorar la absorción de nutrientes (Garcidueñas & Martínez, 2018; Gutiérrez et al, 2011; Hernández et al, 2023).

La fibra detergente neutra determinada en la investigación fue de 61,80% para el bagazo de caña artesanal y del 83,54% para el industrial; En el primer caso, el valor promedio es más bajo al reportado por Vera et al (2021) quienes determinaron un rango que varió entre el 68,03 y el 69,88%. Para el caso del bagazo obtenido industrialmente, los valores son notablemente superiores, tanto para el artesanal, como para el reportado por los autores citados anteriormente. Es importante destacar que Vera y colaboradores analizaron el bagazo de otras variedades de caña de azúcar. La fibra detergente neutra es un indicador clave de la fibra estructural de los alimentos; cumple funciones importantes estimulando la masticación y la secreción de saliva, así como la actividad microbiana en el tracto digestivo de los animales, especialmente en rumiantes como bovinos y ovinos. En las dietas de los bovinos el nivel de FDN recomendado oscila entre el 25 y el 33%, lo que ayuda a promover el crecimiento de los microorganismos ruminales (Bargo, 2018, Mendoza & Ricalde, 2016).

Los resultados de fibra detergente ácida del bagazo de caña artesanal fueron ligeramente inferiores (36,12%) a los datos descritos por Vera et al (2021) quienes informaron un contenido que fluctuó entre el 36,44 y el 38,72%. Sin embargo, fueron superiores en el caso del bagazo de caña industrial, con el 55,48%. Cabe mencionar que, los autores mencionados anteriormente, evaluaron el residuo de otras variedades de caña. Altos niveles de fibra retardan la degradación de fibra en el rumen, disminuyendo la digestión y absorción de nutrientes. En bovinos los niveles mínimos de FDA recomendados oscilan entre el 17 y el 21%, lo que asegura el funcionamiento normal del rumen (Barahona & Sánchez, 2005).

En cuanto a lignina detergente ácida, los resultados obtenidos en la investigación fueron similares a los obtenidos por Vera et al (2021) cuyos hallazgos arrojaron un valor que varió entre el 5,24 y el 7,8%. El bagazo de caña artesanal tuvo un contenido de 5,79%, mientras que, el obtenido industrialmente registró un valor de 7,80%. Estos valores se asemejan a los encontrados por Resano et al (2022), del 5,70%, valor que se aproxima al bagazo de caña artesanal del presente trabajo de investigación. Es necesario realizar el análisis de lignina

detergente ácida en los alimentos ya que la presencia de un alto contenido de ADL interfiere negativamente en la degradación microbiana de la fibra en el rumen, afectando la digestibilidad y disponibilidad de nutrientes, afectando el rendimiento y producción de los animales (Barahona & Sánchez, 2005).

8. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, se pueden plantear las siguientes conclusiones:

- El bagazo de caña artesanal tiene mejores propiedades físicas que el obtenido industrialmente, con una capacidad de retención de agua del 7,09 g/g, densidad aparente del 139,44 kg/m³ y humedad del 42,36%.
- Con respecto a la composición química, el bagazo artesanal tiene mayor contenido de materia seca, cenizas, proteína cruda y extracto etéreo que el industrial. Además, en comparación al industrial, tiene mejores niveles de fibra cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácida y lignina detergente.
- La caracterización físico - químico realizada al bagazo de caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) obtenido de forma industrial y artesanal, demostró que ese subproducto presenta potencial como alimento animal, debido a que mostró un valor nutricional aceptable, especialmente en su contenido de fibra, pudiendo ser incluido particularmente en la dieta de los rumiantes.

9. Recomendaciones

- Realizar nuevas investigaciones incluyendo el bagazo de caña artesanal e industrial en las dietas de los animales, especialmente en rumiantes, con el fin de evaluar la digestibilidad y palatabilidad del material.
- Realizar nuevos estudios más específicos con respecto a las variedades de caña de PR 61-632 (Puerto Rico) y RD 75-11 (República Dominicana), para conocer mejor sus propiedades físicas y químicas, por separado.
- Continuar los estudios de caracterización tanto física como química del bagazo de caña para aumentar la precisión de los resultados.
- Realizar estudios sobre el enriquecimiento del bagazo de caña con el fin de aumentar su valor nutricional y mejorar el rendimiento y producción de los animales.

10. Bibliografía

- Aguilar, S., Enríquez, M., & Uvidia, H. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Científica de Investigación, Docencia y Proyección Social* (27), 5-11.
- Aguilar, A., Pérez, J. A., & Aguilar, D. (2016). Nuevos paradigmas en la cosecha de la caña para el uso sustentable de toda la biomasa en las bioeléctricas. Parte I. ICIDCA. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(3), 3-8.
- Aguilar, N. (2011). Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12(2), 189-197.
- Aguirre, J., Magaña, R., Martínez, S., Gómez, A., Ramírez, J., Barajas, R., Plascencia, A., Barcena, R., & García, D. (2010). Caracterización nutricional y uso de caña de azúcar y residuos transformados en dietas para ovinos. *Zootecnia Trop*, 28 (4): 489-497. <https://ve.scielo.org/pdf/zt/v28n4/art05.pdf>
- Aguirre, M., & Muñoz, L. (2015). Evaluación de dos niveles de proteína en dietas para juveniles de Sabaleta *Brycon Henni* (Eifenmann, 1913). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 2: 61-68.
- Aimacaña, D. (2021). *Utilización de 2 niveles de inclusión de salvado de trigo (Triticum spp) en sustitución del maíz en dieta para pollos de engorde*. Recuperado de: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7899/1/PC-002066.pdf>
- Alarcón, M., López, J., & Restrepo, D. (2013). Caracterización de la Funcionalidad Tecnológica de una Fuente Rica en Fibra Dietaria Obtenida a partir de Cáscara de Plátano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 66(1), 6959-6968.
- Álvarez, L. & Matamoros, Y. (2018). *Propuesta para mejorar la inocuidad del jugo de caña de azúcar obtenido por método artesanal envasado y almacenado a temperatura de refrigeración*.
- AOAC (2023) Métodos oficiales de análisis. 22.^a edición. Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, Gaithersburg, MD, EE. UU.
- Arroyo, Y., Carrasco, M., Bueno, A., Cardeña, R., & Luízar, C. (2008). Obtención y caracterización fisicoquímica y funcional de las fibras dietéticas del Níspero común (*Mespilus germanica*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(4), 269-281.
- Asociación de Bancos Privados del Ecuador (ASOBANCA). (2022). *Guía de producción de azúcar*. Recuperado de: <https://asobanca.org.ec/wp-content/uploads/2022/12/8.-Guia-Produccion-de-azucar.pdf>

- Barahona, R., & Sánchez, S. (2005). Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 6(1), 69-82.
- Bargo, F. (2018). *Suplementación en el pastoreo: Conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo*. Recuperado de: <https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/catedras/bargo.pdf>
- Bravo, N. (2014). *Análisis de costos en la labor de fertilización en el sostenimiento del cultivo de caña de azúcar en el Ingenio Monterrey*. Recuperado de: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/13935/1/TFG_FBS%20FINAL.pdf
- Cabrera, A., Velásquez, M., & Muñoz, J. (2024). *Characterization of the physicochemical, bromatological properties, and antioxidant activity of powdered sugarcane bagasse*. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 41(2).
- Campo, D. (2023). La caña de azúcar: de edulcorante a carburante y sus impactos como monocultivo en Candelaria (1930 – 2010). Sillares. *Revista de Estudios Históricos*. 2 (4), 174 – 210.
- Cascaret, D., Rodríguez, J., Ricardo, C., Quesada, O., & Bahín, L. (2020). Utilización de bagazo de caña de azúcar natural y tratado químicamente, como material adsorbente para Cu²⁺. *Revista Cubana de Química*, 32(2), 331-344.
- Castro, G. (2017). *Efecto de la caña de azúcar en dietas para cuyes en la etapa de crecimiento, engorde, gestación y lactancia*. Recuperado de: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7292/1/13235.pdf>
- Cataño, N., Goyes, P., Albarracín, L., & López, F. (2012). Uso del bagazo enriquecido con el hongo *Pleurotus ostreatus*, en dietas para bovinos estabulados en ceba. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y agroindustrial*, 10 (2): 23 – 33.
- Cavali, J., Gomes, S., Valadares, E., Santos, G., Pinto, M., Oliveira, M., & Huback, J. (2010). Bromatological and microbiological characteristics of sugarcane silages treated with calcium oxide. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(7). <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000700002>
- Centro de Investigación de la caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE). (2020). *Publicaciones de Variedades*. Recuperado de: <https://cincae.org/publicaciones-de-variedades/>
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña en Guatemala (CENGICANÑA). (2014). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Recuperado de: <https://cengicana.org/files/20170103101309141.pdf>

- Costales, R., Saenz, T., & Cabello, A. (2015). Ingeniería aplicada a la producción de alimento formulado vía bagazo hidrolizado. Un caso de estudio. *Revista Centro Azúcar*, 42.
- Chandler, C., Villalobos, N., González, E., Arenas, E., Mármol, Z., Ríos, J., & Aiello, C. (2012). Hidrólisis ácida diluida en dos etapas de bagazo de caña de azúcar para la producción de azúcares fermentables. *MULTICIENCIAS*, 12 (3): 245-253.
- Chávez, R., Heras, J., & Echeverría, C. (2022). Producción de panela en el Cantón Atahualpa, Ecuador. Un acercamiento al cumplimiento de la tributación. *SUMMA. Revista disciplinaria en ciencias económicas y sociales*, 4 (2): 1-10. <https://doi.org/10.47666/summa.4.2.10>
- Chimborazo, M. (2011). *Efecto de Escaldado y Molienda en las Capacidades de Absorción y Retención de Agua en la fibra Dietética de Naranja (Citrus sinensis)*. Recuperado de: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/837/1/AL457%20Ref.%203350.pdf>
- Del Río, M. (2018). *Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar con el fin de generar nuevos usos*. Recuperado de: https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/5666/MariaAlejandra_DeRíoCalle_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Demagnet, R. (2020). *Producción y Consumo de Materia Seca*. Recuperado de: https://praderasypasturas.com/rolando/01.-Catedras/01.-Praderas_y_Pasturas/2020/02.-Produccion_y_Consumo_de_Materia_Seca.pdf
- Díaz, R. (2008). *Caracterización energética del bagazo de caña de azúcar del Ingenio Valdez, Ecuador*. Recuperado de: <https://www.lippel.com.br/dados/download/16-07-2014-15-41caracterizacion-del-bagazo-de-cana-de-azucar.pdf>
- Elizondo, J. (2018). Consumo de materia seca proveniente de diferentes especies forrajeras en cabras en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 12(2): 41-54.
- Elizondo, J. (2020). Estimación del suministro de proteína metabolizable en una ración para ganado de leche. *Nutrición Animal Tropical*, 14(2): 85-100. DOI: 10.15517/nat.v14i2.44256
- Escobar, P., Etcheverría, P., Vial, M., Daza, J. (2020). *Concepto de materia seca y su uso: guía práctica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Informativo N° 119*. Recuperado de: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/3982/Informativo%20INIA%20N%C2%B0%20119?sequence=1&isAllowed=y>

- García, O., Infante, R., & Rivera, C. (2008). Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 21(1), 25-30.
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522008000100005
- García, R., Rios, E., Martínez, A., Ramos, F., Cruz, J., & Cuevas, M. (2011). Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(1), 31-39.
- Garcidueñas, N., & Martínez, R. (2018) Consumo voluntario y digestibilidad aparente de materia seca de forrajes acuapónicos de hidrófitas en conejos. *Ciencias Agropecuarias*, 4(1).
- Gil, S., & Espinosa, A. (2019). Evaluación de la potencia de un molino de martillos al procesar bagazo de caña de azúcar. *Revista Ciencia Agrícola*. 36(1), 93–108.
<https://doi.org/10.22267/rcia.193601.101>
- Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Catamayo. (2023). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Catamayo*. Recuperado de:
https://catamayo.gob.ec/wp-content/uploads/PDOT_PUGS/PDOT-2019-2023.pdf
- Gómez, A., Govea, A., Cruz, A., De la Cruz, E., Chay, A., Plascencia, A., Jiménez, G., Nahed, J., Villegas, Y., Huerta, M., Brito, H., Martínez, R., & Hernández, A. (2018). Uso de enzimas fibrolíticas con ensilado de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) para la engorda de toretes en pastoreo. *Agro Productividad*. 11(5): 39-45.
- González, L., Téllez, A., Sampetro, J., & Nájera, H. (2007). Las proteínas en la nutrición. *Medigraphic Artemisa*, 8(2).
- González, M., Segui, R., Mogni, S., & Rubio, R. (2016). *Condiciones de acidez-pH de silaje destinado a la alimentación de rumiantes*. Recuperado de:
<https://ridaa.unicen.edu.ar:8443/server/api/core/bitstreams/082cf62b-3ee6-460e-b6dc-35adc95bed84/content>
- Guevara, J. (2014). *Modelo computacional de la combustión del bagazo de caña en una cámara de combustión tipo Ward-Cimpa de una hornilla panelera*. Recuperado de:
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/bc8a642b-05dc-4f37-b61d-fd91d68dd16e/content>
- Gutiérrez, O., Ramírez, B., & Cairo, J. (2011). Consumo y digestibilidad de materia seca en búfalas de río (*Bubalus bubalis*) en pastoreo en la empresa pecuaria "La Bayamesa", provincia Granma, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(3), 281-283.

- Hernández, G, Hernández, M., Sol, A., Rosales, F., & Hernández, G. (2023). Importancia forrajera y nutricional de *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 9(17), 2140–2152.
- Ibarra, C., Mancilla, O., Guevara, R., Hernández, O., Palomera, C., Chulim, A., Huerta, J., Ortega, H., Olguin, J., & González, J. (2018). Rentabilidad de la caña de azúcar con manejo orgánico y convencional. *IDESIA (Chile)*, 16 (3).
- Instuasty, O., Manrique, R., & Palacio, O. (2003). *Catálogo de variedades de caña para la producción de panela en la Hoya del Río Suárez*. Colombia: Barbosa Santander.
- Iñiguez, A., Valle, L., González, M., & Ochoa, W. (2018). Análisis de la rentabilidad de la producción de caña de azúcar y sus derivados. Caso productores rurales de la parroquia de Malacatos –Loja, Ecuador. *Revista Amazónica y Ciencia y Tecnología*, 7 (2): 65-76.
- Jácome, C., García, R., Guevara, L., & Moreta, T., (2023). Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como residuo importante para la agroindustria. 593 *Digital Publisher CEIT*, 8(3): 134-148
- Khalid, M., Alveera, R., Venkatachalam, H., & Subrahmanya, K. (2024). Sugarcane bagasse-based biochar and its potential applications: a review. *Emergent Materials*, 7: 133-161.
- Kieserling, K., Tuyet, M., Drusch, S., & Schallow, S. (2019). Impacto f pectin-rich Orange fibre on gel characteristics and sensory properties in lactic acid fermented yogurt. *Food Hydrocolloids*, 94: 152-163.
- Lagos, E., & Castro, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 30 (3): 917-934.
- Lagos, E., & Castro, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 30 (3): 917-934.
- Lagos, E., Cardona, J., & Castro, E. (2022). *Subproductos de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.): usos en alimentación animal y producción de compost*. Colombia: Agrosavia.
- López, H., Chongo, B., La O-León, O., Guerra, J., Luna, M., Castro, S., & López, L. (2016). Digestibilidad *in situ* de rastrojo de maíz tratado con enzimas fibrolíticas. *Revista Ciencia y Agricultura*, 14(1): 31-37.
- Lozano, L., & Rojas, E. (2019). *Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar*. Recuperado de: <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5731/Paneles%20termoaislantes%20de%20fibras%20de%20bagazo%20de%20la%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Llivicura, F. (2020). *Extracción de fibra dietética a partir de bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L) para la elaboración de hojuelas*. Recuperado de: <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/888/1/T.%20AGROIN.%20B.%20UEA.%20%202125.pdf>
- Manterola, H., & Cerda, D. (2017). *Uso de residuos agroindustriales en la alimentación de rumiantes y métodos para mejorar su eficiencia de uso*. Recuperado de: https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/153-Uso_residuos_agroindustriales.pdf
- Marín, F., Moreno, M., Farías, A., Villegas, F., Rodríguez, J., & Van den Berg, M. (2018). *Modelación de la caña de azúcar en Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización*, EUR 29018 ES, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo. Doi:10.2760/247719, JRC110325.
- Meléndez, P. (2018). *Diez factores que afectan el consumo de materia seca en las vacas lecheras*. Recuperado de: <https://ganaderiasos.com/wp-content/uploads/2019/08/DIEZ-FACTORES-QUE-AFECTAN-EL-CONSUMO-DE-MATERIA-SECA-EN-LAS-VACAS-LECHERAS-.pdf>
- Mendoza, G., & Ricalde, R. (2016). *Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano (2da edición)*. Casa abierta al tiempo. Universidad Autónoma Metropolitana. <https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/Bovinos.pdf>
- Moldavia, M., Ghorbani., Rafiee, H., & Beauchemin, K. (2020). Substitution of wheat straw with sugarcane bagasse in low-forage diets fed to mid-lactation dairy cows: Milk production, digestibility, and chewing behavior. *Revista de ciencia láctea*, 103(9): 8034-8047.
- Núñez, O. (2017). Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 4(2), 93-94.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura OCDE – FAO. (2023). *Sugar*. Recuperado de: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/5e5f2f53-en/index.html?itemId=/content/component/5e5f2f53-en>
- Ortiz, M., Pernía, B., Mosquera, A., Gallardo, A., & Landivar, J. (2022). El cadmio y su efecto en el crecimiento de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*). *Revista Científica y Tecnológica UPSE*. 9 (2).

- Osorio, N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4).
<https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- Parsi, J., Godio, L., Miazzi, R., Maffioli, Echeverría, A., & Provencal, P. (2001). *Valoración nutritiva de los alimentos y formulación de dietas*. Recuperado de:
https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/16-valoracion_nutritiva_de_los_alimentos.pdf
- Pattacini, S., Scoles, G., & Braun, R. (2013). Digestibilidad aparente de nutrientes en cerdos alimentados con dietas compuestas por diferentes niveles de fitasas obtenidas de *Aspergillus oryzae*. *Revista Argentina de producción animal*, 32(2): 107 - 115
- Paucar, J., & Robalino, J. (2009). *Modelo estratégico para la industrialización de la caña de azúcar en el Ecuador*. Recuperado de:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8489/3/CD-2144.pdf>
- Pérez, A., Baltá, J., & Aragon, J. (2021). Evaluación técnico-económica del proceso de producción de glutamato monosódico por la ruta fermentativa utilizando bagazo de caña de azúcar. *Revista EIA*, 18(36): 1-20
- Pulido, G., Risso, M., Rearte, M., & Abdelhamid, S. (2017). Peletizado de residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar en Argentina. Recuperado de:
<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/peletizadoResiduoAgricultoCanaAzucar.pdf>
- Quezada, M. (2017). *Estudio de la cadena de valor de la caña de azúcar. Caso Ingenio Monterrey, cantón Catamayo*. Recuperado de:
<https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/20815/1/Quezada%20Rios%2C%20Michelle%20Stephanie.pdf>
- Ramos, C., Quirós, V., & Rosales, L. (2022). Los residuos generados en la producción de la industria azucarera en los últimos 25 años. *Periodicidad: Semestral*, 8 (16).
- Ranjel, H., Viveros, C., Amaya, A., Gómez, L., Victoria, J., & Ángel, J. (2003). *Catálogo de variedades. Segunda Edición*. Colombia: Cenicaña.
- Resano, D., Guillen, O., Ubillús, F., & Barranzuela, J. (2022). Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Información tecnológica*, 33(2), 247-258.
- Riera, M., Maldonado, S., & Palma, R. (2018). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de Bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3): 227-246.

- Roca, G., Glauco, C., Olivares, E., & Barbosa, L. (2009). *Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: Características físicas*. Recuperado de: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v1/036.pdf>
- Romero, S. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoLógicas*, 25(54).
- Salazar, J., Trejo, L., Valdez, A., Senties, H., Rosas, M., Gallegos, J., Crosby, M., & Gómez, F. (2017). Caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la alimentación de rumiantes: Experiencias generadas con cañas forrajeras. *Agroproductividad*, 10(11): 70-75
- Sánchez, A., Romero, C., Araque, C., & Flores, R. (2005). Producción de materia seca *Leucaena leucocephala* a diferentes edades de corte y épocas del año bajo un sistema de riego artesanal. *Zootecnia Tropical*, 23(1): 39-47.
- Sierra, O. (2019). *Valor nutritivo y utilización de la caña de azúcar y sus subproductos en la alimentación animal*. Recuperado de: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/22259/21065_430.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Silva, Y., Vezzoni, V., Costa, A., Schinckel, A., & Thomaz, M. (2022). Effects of feeding diets containing increasing content of purified lignocellulose supplied by sugarcane bagasse to early-weaned pigs on growth performance and intestinal health. *Animal Feed Science and Technology*, 284. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115147>
- Sita, A; Wibowo, M; & Yopi, Y. (2016). Sugarcane Bagasse as a Carrier for the Immobilization of *Saccharomyces cerevisiae* in Bioethanol Production. *Makara Journal of Technology*, 20 (2).
- Solano, I., Aguilar, O., Domínguez, C., Ramírez, G., & Aguilar, O. (2020). Evaluación del rendimiento energético del bagazo de caña de un ingenio azucarero vs su aprovechamiento mediante gasificación. *Revistas RIC*, 6(1).
- Sousa, A., Nogueira, F., Spacek, B., Pedroso, R., Coutinho, A., Faturi, C., Pinto, R., & Silva, F. (2015). Production and chemical composition of three sugarcane cultivars grown under Af climate conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44(11): 384-389. <https://www.scielo.br/j/rbz/a/XhmKBVG8GN9YYcgWjr4Gpjc/?lang=en&format=pdf>
- Ulloa, E. (2005). *Comportamiento nutricional en terneros lactantes de 30 a 90 días con diferentes niveles de bagazo en el concentrado de inicio*. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2866/1/17T0732.pdf>

- Valdés, M., Londoño, L., Ortiz, S., Guevara, B. (2022). Prototipo de alimento deshidratado con base en harina auyama enriquecido con fuentes proteicas no convencionales. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1): 1-6.
- Valdivié, M., & Silva, M. (2015). Alimentación de cerdos con tallos de caña de azúcar, una reseña corta. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, 22 (2).
- Valiño, E., Elías, A., Torres, V., & Albelo, N. (2002). Estudio de la carga microbiana en el bagazo de caña de azúcar fresco como sustrato para la alimentación animal, mediante fermentaciones en estado sólido. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 36(4), 373-378.
- Vargas, Y., & Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1): 59-72.
- Vera, J. (2022). Caracterización química y degradabilidad in situ de residuos orgánicos del cantón La Troncal - Ecuador. *Revista Sinapsis*, 2(21). <https://revistas.itsup.edu.ec/index.php/sinapsis/article/view/580/1533>
- Vera, J., Medranda, T., Siguencia, J., Mendieta, R., & Pérez, M. (2021). Caracterización nutricional de los residuos orgánicos en la caña de azúcar del cantón La Troncal. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 25 (2). <http://portal.amelica.org/ameli/journal/441/4412286013/html/>
- Verdezoto, L., Parco, F., Jácome, C., Katan, W., & Mora, A. (2021). Energía renovable a partir de la biomasa de la caña de azúcar. *Revista de Investigación Talentos*, 8(1).
- Zara, J., Yegres, F., Vargas, N., Morales, S., Cubillan, L., Navas, P., & Márquez, M. (2017). Empleo de la Espectroscopia Infrarroja (FT-IR-ATR) como herramienta para la Caracterización del bagazo de caña proveniente de la Sierra Falconiana. *Química Viva*, 16(3), 17-24.
- Zea, C., Soledispa, X., Ayón, G., & Toala, M. (2019). El abono elaborado del bagazo de caña de azúcar como alternativa para la generación de ingresos para los habitantes del sitio San Carlos. *Polo del Conocimiento*. 4(16).

11. Anexos

Anexo 1. Muestra del bagazo de caña de azúcar obtenido del proceso industrial



Anexo 2. Muestra del bagazo de caña de azúcar obtenido del procesamiento artesanal



Anexo 3. Análisis de Acidez y pH



Anexo 4. Equipo de centrifugación para la determinación de capacidad de retención de agua



Anexo 5. Proceso de determinación de materia seca



Anexo 6. Proceso de determinación de materia seca del bagazo de caña de azúcar en base seca



Anexo 7. Destilador Kjeldahl para la determinación de proteína cruda



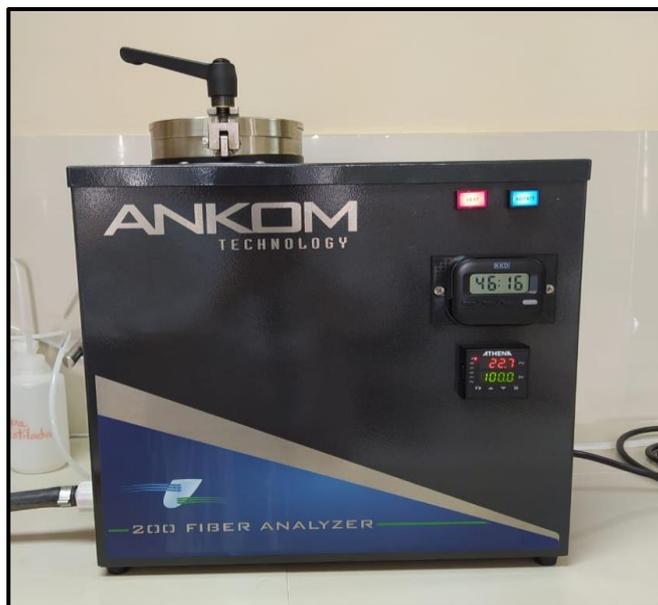
Anexo 8. Mufla para la determinación de ceniza



Anexo 9. Equipo Soxhlet para la determinación de extracto etéreo



Anexo 10. Equipo ANKOM 200 Fiber Analyzer para la determinación de fibra cruda, fibra detergente neutra y fibra detergente ácida



Anexo 11. Equipo ANKOM Daisy II para la determinación de lignina ácida detergente



Tabla 16. *Análisis de varianza de las propiedades físicas del bagazo de caña de azúcar*

Análisis de Varianza de las propiedades físicas							
Parámetros evaluados	SC	gl	CM	F	Error	C.V.	p-valor
% Capacidad de retención de agua	1,94	1	1,94	119,14	0,07	1,96	0,0004
Densidad aparente kg/m ³	0,83	1	0,83	103,17	0,03	0,06	0,0005
% Humedad	360,53	1	350,63	173,22	8,33	2,88	0,0002

SC = Suma de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = Cuadrados medios, F calc = F de Fisher, P- valor = Tabla F, CV= Coeficiente de variación

Tabla 17. *Análisis de varianza de los parámetros químicos del bagazo de la caña de azúcar*

Análisis de Varianza de los parámetros químicos							
Parámetros evaluados	SC	gl	CM	F	Error	C.V.	p-valor
pH	0,04	1	0,04	22,12	0,01	0,82	0,0093
% Acidez	0,02	1	0,02	3,78	0,02	65,98	0,1237
% Materia seca	360,53	1	360,53	173,22	8,33	2,89	0,0002
% Ceniza	0,10	1	0,10	4,44	0,09	6,63	0,1029
% Proteína cruda	1,34	1	1,34	382,26	0,01	3,89	<0,0001
% Extracto etéreo	0,10	1	0,10	73,11	0,01	6,76	0,0010
% Fibra cruda	395,93	1	395,93	65,51	24,17	6,54	0,0013
% Fibra detergente neutra (FDN)	709,16	1	709,16	263,49	10,77	2,26	0,0001
% Fibra ácida detergente (FDA)	562,60	1	562,60	117,03	19,23	4,79	0,0004
% Lignina ácida detergente (LDA)	6,08	1	6,08	335,62	0,07	1,98	0,0001

SC = Suma de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = Cuadrados medios, F calc = F de Fisher, P- valor = Tabla F, CV= Coeficiente de variación.

Anexo 12. Certificación de traducción de inglés

Lic. Paola Elizabeth Seraquive Valarezo.
DOCENTE Y TRADUCTORA DEL IDIOMA INGLÉS

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto, es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen de tesis “**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) PARA USO EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL**”, autoría de Saida Tatiana Sarmiento Gallegos con número de cédula de identidad **1150024279**, estudiante de la carrera de Medicina Veterinaria de la Facultad de Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifico en honor a la verdad y autorizo al interesado hacer uso del presente en lo que a sus intereses estime conveniente.

Loja, 21 de mayo del 2024.



Lic. Paola Elizabeth Seraquive Valarezo.
DOCENTE Y TRADUCTORA DEL IDIOMA INGLÉS
C.I. 1103536551
Número de registro SENESCYT: 1008-09-936161