



Caracterización por métodos físico químicos un pienso alimenticio compuesto por la lenteja de agua (*Lemna minor*) con el bagazo de caña de azúcar y melaza como compactante y fuente de energía, producto de los desechos agroindustriales del Ingenio Azucarero del Norte para comparar con un pienso comercial

Moreta Yandún, Jonny Eduardo

Departamento de Ciencias de la Vida y Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología

Naranjo Gaybor, Sandra PhD.

28 de agosto del 2023

Reporte de verificación de contenido



Trabajo_de_Integracion_Curricular-1-...

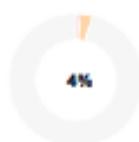
Scan details

Scan time:
August 25th, 2023 at 5:23 UTC

Total Pages:
63

Total Words:
15563

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	0.7%	115
Minor Changes	0.2%	25
Paraphrased	2.4%	380
Omitted Words	15.7%	2450

AI Content Detection



Text coverage
 AI text
 Human text

Nota: Colocar únicamente la página que indica el porcentaje de similitud de la herramienta contratada por la Universidad.

Firma:



Firmado digitalmente por:
SANDRA JUDITH
NARANJO GAYBOR

.....
Naranjo Gaybor Sandra PhD.

Director



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "Caracterización por métodos físico químicos un pienso alimenticio compuesto por la lenteja de agua (*Lemna minor*) con el bagazo de caña de azúcar y melaza como compactante y fuente de energía, producto de los desechos agroindustriales del Ingenio Azucarero del Norte para comparar con un pienso comercial" fue realizado por el señor Moreta Yandún, Jonny Eduardo, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 28 de agosto del 2023

Firma:



Naranjo Gaybor Sandra PhD.

C. C.: 1709384422



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura
Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Responsabilidad de Autoría

Yo, Moreta Yandún, Jonny Eduardo, con cédula de ciudadanía n°1003105101, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Caracterización por métodos físico químicos un pienso alimenticio compuesto por la lenteja de agua (*Lemna minor*) con el bagazo de caña de azúcar y melaza como compactante y fuente de energía, producto de los desechos agroindustriales del Ingenio Azucarero del Norte para comparar con un pienso comercial**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 28 de agosto del 2023

Firma

Moreta Yandún, Jonny Eduardo

C.C.: 1003105101



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Autorización de Publicación

Yo Moreta Yandún, Jonny Eduardo, con cédula de ciudadanía n°1003105101, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: Caracterización por métodos físico químicos un pienso alimenticio compuesto por la lenteja de agua (*Lemna minor*) con el bagazo de caña de azúcar y melaza como compactante y fuente de energía, producto de los desechos agroindustriales del Ingenio Azucarero del Norte para comparar con un pienso comercial, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 28 de agosto del 2023

Firma

Moreta Yandún, Jonny Eduardo

C.C.: 1003105101

Dedicatoria

A mis seres queridos, cuyo amor y apoyo han sido mi brújula en esta travesía. A mi madre Alba y mi padre Rolando, cuyo sacrificio y constante aliento han sido mi motor en cada paso. A mis hermanos Darwin y Richard, por estar siempre a mi lado, fortaleciendo mi camino con su respaldo incondicional. Cada logro obtenido es un testimonio de su confianza en mí y de la fuerza que me brindan. Esta dedicación es un sincero reconocimiento no solo a mi esfuerzo, sino también a la influencia transformadora que han tenido en mi vida.

Jonny

Agradecimiento

A mi familia, cuyo amor y apoyo incondicional han sido mi refugio constante. A mis padres, Alba y Rolando, por ser los faros que iluminan mi sendero, su amor, apoyo y sacrificio han sido mi mayor fuente de inspiración y motivación a lo largo de esta travesía académica. A mis queridos hermanos Darwin y Richard, por su constante apoyo y cariño a lo largo de mi trayectoria. Su presencia y preocupación genuina han sido una guía en momentos de dificultad y una fuente de alegría en los momentos de triunfo.

Agradezco a mi tutora, la Ing. Sandra Armijos, por su orientación en este proceso, sus valiosos aportes han sido cruciales en mi desarrollo académico.

Un reconocimiento especial a Fiorela, cuyo cariño y aliento han sido bálsamos en mis momentos de desafío. Tu presencia ha sido un motor fundamental en este último año.

A mis amigos, Genecys, Kassandra, Blanca, Gema, Briggith y Jessica, por brindarme risas, apoyo y compañía en cada etapa. Su amistad ha sido un tesoro inestimable.

La empresa IANCEM merece mi agradecimiento por abrirme las puertas para llevar a cabo esta investigación. Al Ing. Rubén Guzmán y al Ing. Fabricio Castillo, mi sincero reconocimiento por su orientación y colaboración.

Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi viaje, y es con profunda gratitud que les dedico este logro.

Jonny

Contenido

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Índice de tablas.....	13
Índice de figuras.....	15
Resumen	16
Abstract.....	17
Capítulo I	18
Introducción	18
Objetivos.....	22
Objetivo general	22
Objetivos específicos.....	22
Hipótesis	23
Diseño DBCA	23
Materias primas.....	23
Tipos de pienso.....	23

Capitulo II.....	24
Revisión Bibliográfica.....	24
Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta.....	24
Ganadería en el Ecuador	24
Pastos y forrajes en el Ecuador	26
Alimentación bovina	28
Clasificación de los forrajes	28
Elaboración de alimentos para ganado.....	30
Caña de azúcar	31
Residuos en la industria azucarera.....	32
Composición nutricional	34
Hidrolización de la caña de azúcar	34
<i>Lemna minor</i> (lentejilla de agua).....	36
Capitulo III.....	38
Metodología	38
Ubicación del área de investigación	38
Ubicación política.....	38
Ubicación Ecológica.....	38
Ubicación geográfica	38
Verificación de Equipos y Reactivos.	39
Recolección de <i>Lemna minor</i>	40

	10
Lavado y desinfección de Lemna minor	40
Secado de Lemna minor	41
Recolección del bagazo de caña de azúcar	41
Proceso de hidrólisis con óxido de calcio	42
Secado del bagazo de caña de azúcar hidrolizado	43
Elaboración del pienso alimenticio	43
Materiales.....	45
Determinación de Azúcares reductores con HPLC	45
Determinación de cenizas.....	45
Determinación de Grasa	46
Determinación de Fibra.....	46
Determinación de Proteína	47
Métodos	48
Determinación de Azúcares reductores con HPLC	48
Determinación de cenizas.....	49
Determinación de Grasa	50
Determinación de Fibra.....	51
Determinación de Proteína (Kjeldahl).....	52
Diseño Experimental.....	54
Diseño experimental sobre las características fisicoquímico de las materias primas para la elaboración del pienso.....	54
Tratamientos del experimento.....	54

Tipo de diseño para la caracterización fisicoquímica de las materias primas para la elaboración del pienso	54
Análisis estadístico	55
Análisis funcional	55
Capitulo IV	56
Resultados y discusión	56
De las características fisicoquímicas de las materias primas utilizadas en la elaboración del pienso.....	56
Análisis de varianza para la variable materia orgánica (MO).....	56
Análisis de varianza para la variable humedad	58
Análisis de varianza para la variable ceniza.....	59
Análisis de varianza para la variable pH	60
Análisis de varianza para la variable muestra seca.....	61
Análisis de varianza para la variable grasas	63
Análisis de varianza para la variable fibra	64
Análisis de varianza para la variable proteína	65
Prueba de significancia de Tukey $p < 0,05$ para los tratamientos.....	66
De las características fisicoquímicas de los piensos alimenticios	69
Determinación de los azúcares en las materias primas y el pienso elaborado.....	72
Capítulo VI.....	77
Conclusiones	77

De las características fisicoquímicas de las materias primas utilizadas en la elaboración del pienso.....	77
Comparación de las características fisicoquímicas del pienso alimenticio y el pienso comercial.....	77
Determinación de los azúcares reductores en las materias primas y el pienso elaborado.....	78
Recomendaciones	79
Bibliografía.....	80

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Existencia de ganado vacuno, vacas ordeñadas y producción de leche, según la región, 2022 (En unidades y Litros).....</i>	25
Tabla 2. <i>Taxonomía de la caña de azúcar</i>	31
Tabla 3. <i>Formulación del pienso.....</i>	44
Tabla 4. <i>Equipos, reactivos, materiales e insumos utilizados para medir azúcares reductores.....</i>	45
Tabla 5. <i>Equipos, reactivos, materiales e insumos utilizados para determinar cenizas.....</i>	45
Tabla 6. <i>Equipos, reactivos, materiales e insumos utilizados para determinar grasa.....</i>	46
Tabla 7. <i>Equipos, reactivos, materiales e insumos utilizados para determinar fibra.....</i>	46
Tabla 8. <i>Equipos, reactivos, materiales e insumos utilizados para determinar proteína.....</i>	47
Tabla 9. <i>Tratamientos a comparar en las características fisicoquímicas de las materias primas</i>	54
Tabla 10. <i>Estructura del diseño experimental</i>	54
Tabla 11. <i>Esquema de análisis de varianza (ANOVA) DBCA para el estudio de las características fisicoquímicas de las materias primas para la elaboración del pienso</i>	55
Tabla 12. <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable MO.....</i>	56
Tabla 13. <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable humedad.....</i>	58
Tabla 14. <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable ceniza</i>	59
Tabla 15. <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable pH.....</i>	60
Tabla 16. <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable muestra seca</i>	61
Tabla 17. <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable grasas.....</i>	63
Tabla 18. <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable fibra.....</i>	64
Tabla 19. <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable proteína.....</i>	65
Tabla 20. <i>Resultados del análisis de Tukey $p < 0,05$ para los tratamientos en las variables de estudio.....</i>	66
Tabla 21. <i>Características fisicoquímicas del pienso elaborado y el pienso comercial</i>	70

Tabla 22. *Resultados de la identificación de azúcares en el bagazo hidrolizado*73

Tabla 23. *Resultados de la identificación de azúcares en el bagazo hidrolizado*74

Tabla 24. *Resultados de la identificación de azúcares en el pienso alimenticio*76

Índice de figuras

Figura 1. <i>Superficie, según categoría de uso del suelo (En hectáreas y porcentaje)</i>	27
Figura 2. <i>Ubicación geográfica del lugar de experimentación</i>	39
Figura 3. <i>Características fisicoquímicas de las materias primas</i>	67
Figura 4. <i>Pienso elaborado</i>	69
Figura 5. <i>Análisis de azúcares en el bagazo hidrolizado</i>	73
Figura 6. <i>Análisis de azúcares en la Lemna minor</i>	74
Figura 7. <i>Análisis de azúcares en el pienso alimenticio</i>	75

Resumen

En la provincia de Imbabura la empresa IANCEM es la mayor agroindustria de la zona norte. Durante el 2021 el Ingenio mantuvo una producción de molienda de 360.000 toneladas de caña, que generaron desechos lignocelulósicos de consideración, el cual puede ser muy variable dependiendo de las condiciones de operación y de las oportunidades de mercado, pero también puede considerarse un pasivo ambiental si no es vendido, tratado o industrializado. El bagazo de caña de azúcar se utiliza para combustión en calderas, que generan vapor y electricidad (biocombustible renovable). Sin embargo, no todo el bagazo de caña, ingresa al caldero, quedando un sobrante, que depende de la eficiencia del caldero, consumo en fábrica, fibra de la caña, temporada climática, puede ser usado este recurso sobrante como materia prima para briquetas, tableros, material de soporte para fermentación sólida, con la finalidad de proteinizar el bagazo sea mediante célula única (SCP), proteína producida en células microbianas, o la adición de proteínas de origen vegetal (soya, alfalfa) o de origen acuático (algas, lentejilla) lo que le da un valor agregado para alimento de rumiantes. Se conoce que la lenteja de agua (*Lemna minor*) ha sido utilizada como suplemento alimenticio ya que tiene una fuente rica y sostenible de proteína, con un alto potencial para su uso en la alimentación animal, (acuícola, ganadero). En el proyecto se busca obtener un ensilaje compuesto por el desecho agroindustrial de la caña de azúcar (bagazo) que será sometido a un proceso de hidrólisis, para ser mezclado con *L. minor* (presente en las aguas de tratamiento del ingenio), con este tratamiento se espera obtener un pienso alimenticio de mejor calidad proteica en comparación con productos comerciales similares y de esta forma aprovechar de manera sustentable el desecho agroindustrial añadiéndole un valor agregado al utilizarlo como alimento para el ganado bovino.

Palabras clave: Bagazo, *L. minor*, pienso alimenticio, desecho agroindustrial

Abstract

In the province of Imbabura, the company IANCEM is the largest agro-industry in the northern region. During 2021, the mill maintained a sugarcane milling production of 360,000 tons, generating significant lignocellulosic waste, which can vary greatly depending on operational conditions and market opportunities, but can also be considered an environmental liability if not sold, treated, or industrialized. Sugarcane bagasse is used for combustion in boilers, which produce steam and electricity (renewable biofuel). However, not all sugarcane bagasse enters the boiler; there remains excess, which depends on boiler efficiency, factory consumption, cane fiber, and climatic conditions. This surplus resource can be used as raw material for briquettes, panels, support material for solid-state fermentation, with the aim of proteinizing bagasse through single-cell protein (SCP), protein produced in microbial cells, or the addition of plant-based proteins (soy, alfalfa) or aquatic proteins (algae, duckweed), adding value for ruminant feed. It is known that duckweed (*Lemna minor*) has been used as a dietary supplement due to its rich and sustainable protein source, with high potential for use in animal (aquaculture, livestock) feed. The project aims to obtain silage composed of agro-industrial sugarcane waste (bagasse) that will undergo a hydrolysis process, to be mixed with *L. minor* (present in the treatment waters of the mill), previously dried. With this treatment, it is expected to obtain a feed of better protein quality compared to similar commercial products, thus sustainably utilizing agro-industrial waste by adding value through its use as cattle feed.

Key words: Bagasse, *L. minor*, feed, agro-industrial waste

Capítulo I

Introducción

En la producción agroindustrial, la generación de desechos representa un desafío ambiental y económico de gran envergadura. Se estima que millones de toneladas de residuos agroindustriales son producidos anualmente, sin aprovechar su potencial como recursos alimentarios para el ganado, lo que representa una oportunidad perdida tanto en términos de sostenibilidad como de rentabilidad.

En Ecuador, el ámbito agrícola se reconoce como uno de los pilares fundamentales de la economía. Esto no solo se debe a su contribución económica, sino también a su papel crucial en garantizar la seguridad alimentaria a nivel nacional (Monteros Guerrero, Sumba Lusero, & Salvador Sarauz, 2014). En el ámbito agrícola, los cultivos perennes ocupan aproximadamente el 26,4 % de la extensión total dedicada a la actividad agropecuaria. Entre los cultivos más destacados en términos de volumen de producción, ordenados de mayor a menor, se encuentran la caña de azúcar, el banano y la palma africana. Durante el año 2022, se cultivaron 113.148 hectáreas de caña de azúcar destinada a la producción de azúcar, reflejando una disminución del 13,2 % en comparación con los resultados obtenidos en el año 2021 (INEC, 2023).

De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Ganadería en el año 2022, la caña de azúcar se cultiva principalmente en las provincias de Guayas, representando el 88% de la producción total, seguido por Imbabura-Carchi con un 6%, Loja con un 4% y Cañar con un 2%. La Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua del año 2021 señala que se destinaron 130.677 hectáreas del territorio ecuatoriano al cultivo de caña de azúcar. La cosecha de caña en Ecuador se concentra principalmente entre los meses de junio y diciembre, siendo durante este periodo cuando se recolecta aproximadamente el 88% de la producción total. Durante el período comprendido entre 2021 y 2022, el país alcanzó una cosecha de

6'460.032 toneladas de caña de azúcar, generando una producción de azúcar equivalente a 10,48 millones de sacos de 50 kilogramos (524 mil toneladas métricas). Esta producción se traduce en un ingreso significativo para el sector, estimado en USD\$ 204.783.014, 40 (MAG, 2022).

Según lo mencionado por (Riera, Maldonado, & Palma, 2018), en la industria agroindustrial de Ecuador, se estima que cada año se generan aproximadamente 2200 millones de kilogramos de desechos. Entre los más notables se encuentran los restos de caña de azúcar y los grupos de frutos de palma aceitera, que provienen de los complejos azucareros y las empresas de extracción de aceite, respectivamente. Estos subproductos exhiben principalmente una composición lignocelulósica o con un contenido significativo de almidón, siendo distintivos por su elevado contenido de azúcares. Con base en investigaciones previas, se ha determinado que estos residuos podrían ser sometidos a diversos métodos físicos, químicos o biotecnológicos para la producción de productos biotecnológicos con potencial industrial.

Como lo menciona (Aguilar Novillo, Enriquez Estrella, & Uvidia Cabadiana, 2022) el manejo inadecuado de los residuos generados por las empresas agroalimentarias tiene un impacto directo en el equilibrio medioambiental, ya que su quema o disposición en vertederos al aire libre y terrenos sin uso provoca una grave contaminación del suelo, el agua y otros entornos naturales. Estos efectos negativos afectan principalmente la flora y fauna de estos espacios y, en consecuencia, repercuten en la salud y economía social. Es importante destacar que, debido a las características físicas, químicas y biológicas de los residuos agroindustriales, estos presentan un gran potencial aprovechable para diversas aplicaciones.

En el contexto actual, la búsqueda de alternativas sostenibles y económicamente viables en la industria alimentaria se ha convertido en una prioridad global. El crecimiento de la población y la demanda de alimentos han llevado a la necesidad de desarrollar nuevas fuentes

de nutrientes y aprovechar los recursos disponibles de manera eficiente. En este sentido, los desechos agroindustriales representan una valiosa oportunidad para la obtención de productos alimenticios con alto valor nutricional.

En Ecuador, el incremento de la industria florícola ha resultado en una disminución significativa de las áreas de cultivo forrajero, que son esenciales para satisfacer las necesidades alimenticias de animales rumiantes. Esta situación ha generado dificultades para los ganaderos, quienes se enfrentan al desafío de estabular a sus bovinos. Para cubrir los requerimientos nutricionales de estas especies, los ganaderos deben adquirir una variedad de alimentos balanceados y suplementos para que varíen su dieta (La hora, 2003).

La ganadería en Ecuador se basa principalmente en el pastoreo, donde los pastos desempeñan un papel fundamental como fuente económica y nutricional para el ganado. Estos pastos proporcionan todos los nutrientes necesarios para un óptimo desarrollo animal y, en consecuencia, cualquier mejora en la tecnología de producción tendrá un impacto directo en la producción de carne, leche o lana. Además, los animales criados en sistemas de pastoreo tienden a ser más saludables en comparación con aquellos en confinamiento (Leon E, Bonifaz Garcia, & Gutierrez Leon, 2018).

En el ámbito de la industria relacionada con la caña de azúcar, se logran obtener una variedad de recursos iniciales y productos secundarios debido al proceso de conversión hacia productos como panela o azúcar. Sin embargo, en la mayoría de los países dedicados a este cultivo, surgen ciertos problemas tecnológicos relacionados principalmente con el desperdicio y subutilización del bagazo, la cachaza y la cachaza deshidratada. Afortunadamente, varios estudios se han centrado en demostrar cómo estos subproductos pueden ser aprovechados en la alimentación animal, especialmente de rumiantes, mediante diversas tecnologías que permiten mejorar la calidad y disponibilidad de los recursos (Burbano E & Rincon E, 2019).

La presente investigación se centra en la caracterización por métodos físicos y químicos un pienso alimenticio compuesto por la lenteja de agua (*Lemna minor*), el bagazo de caña de azúcar y la melaza como compactante y fuente de energía. Estos ingredientes, derivados de los desechos agroindustriales generados por el Ingenio Azucarero del Norte, ofrecen una opción prometedora para la obtención de un pienso alternativo, comparándolo con un pienso comercial ampliamente utilizado.

La lenteja de agua (*Lemna minor*) es una planta acuática flotante que se ha destacado por su alto contenido de proteínas, minerales y vitaminas, lo que la convierte en una excelente fuente de nutrientes (Tache Rocha, 2020). Por otro lado, el bagazo de caña de azúcar y la melaza, subproductos de la industria azucarera, contienen componentes energéticos que podrían contribuir a la formulación de un pienso balanceado.

Objetivos

Objetivo general

- Caracterizar por métodos físicos químicos un pienso alimenticio compuesto por la lenteja de agua (*Lemna minor*) con el bagazo de caña de azúcar y melaza como compactante y fuente de energía, producto de los desechos agroindustriales del Ingenio Azucarero del Norte para comparar con pienso comercial.

Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas de las materias primas (bagazo y lenteja de agua) empleadas para la elaboración del pienso alimenticio.
- Estandarizar un pienso alimenticio competitivo a partir del bagazo de caña de azúcar con *Lemna minor*, que pueda ser utilizado como alimento para ganado.
- Comparar el pienso alimenticio con un pienso comercial, mediante diversos análisis para evaluar las características fisicoquímicas de interés del alimento.

Hipótesis

Diseño DBCA

Materias primas

Ho: No existe diferencia significativa en las características fisicoquímicas entre las materias primas (bagazo y lenteja de agua) empleadas para la elaboración del pienso alimenticio.

Ha: Existe diferencia significativa en las características fisicoquímicas entre las materias primas (bagazo y lenteja de agua) empleadas para la elaboración del pienso alimenticio.

Tipos de pienso

Ho: No existe diferencia significativa en las características fisicoquímicas entre los diferentes piensos

Ha: Existe diferencia significativa en las características fisicoquímicas entre los diferentes piensos

Capítulo II

Revisión Bibliográfica

Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta

Los antecedentes históricos del Ingenio Azucarero del Norte se remontan a 1964, cuando fue concebido como una solución para la producción de tierras en la provincia de Imbabura, para luego establecerse formalmente como IANCEM en 1986. Esta empresa se dedica a la fabricación de azúcar blanca y morena, así como a la obtención de subproductos y productos intermedios como melaza, bagazo, cachaza, ceniza, mieles y jugos clarificados (Castillo Avilez, 2022). Hasta el año 2021, el ingenio alcanza una producción de molienda de 360 millones de toneladas de caña, lo que genera aproximadamente un 40% de desechos de material lignocelulósico. Este excedente de residuos plantea un desafío en la gestión de los desechos industriales. La relevancia del Ingenio Azucarero del Norte se refleja en su posición como la principal agroindustria en las provincias de Imbabura y Carchi, con una notable influencia en la economía local, sustentando el sustento de alrededor de 2.500 familias. Además, su producción representa aproximadamente el 7% del total del azúcar producido en el país (Castillo Avilez, 2022).

Ganadería en el Ecuador

El ámbito agropecuario en el país desempeña una función sumamente relevante en vista de su contribución al Producto Interno Bruto (PIB). Según cifras oficiales proporcionadas por el Banco Central para el año 2021, el sector aportó un 8,2% al PIB. Además de esto, el sector asume un papel estratégico en el panorama global de la seguridad alimentaria, al contribuir con aproximadamente una quinta parte de la producción total de bienes y servicios en la nación (INEC, 2023).

Durante el año 2022, se registró una cantidad de 3,9 millones de cabezas de ganado vacuno, 0,9 millones de porcinos, 552,0 miles de ovinos, 33,0 miles de asnales, 155,0 miles de

caballares, 62,0 miles de mulares y 24,0 miles de caprinos. En relación al año anterior, se observó un decrecimiento del 5,1% en el ganado vacuno en el 2022. El análisis regional muestra que la región Sierra concentra un 53,0% del total nacional de cabezas de ganado, seguida por la Costa con un 38,5% y la Amazonía con un 8,5%. Los datos de la tabla 1 reflejan que la producción de leche en la región Sierra alcanza los 4,4 millones de litros, lo que representa el 79,5% del total, seguida por la Costa con un 16,3% y la Amazonía con un 4,2% (INEC, 2023). Respecto al promedio de litros de leche producidos por vaca, la región Sierra destaca con un rendimiento de 8,0 litros por vaca, gracias a la presencia de ganado lechero y la disponibilidad de pastos naturales y cultivados para su alimentación. La Amazonía ocupa el segundo puesto con 5,3 litros por vaca, mientras que la Costa se ubica en el tercer lugar con 4,0 litros por vaca (INEC, 2023).

Tabla 1.

Existencia de ganado vacuno, vacas ordeñadas y producción de leche, según la región, 2022
(En unidades y Litros).

Región	Número de cabezas	Numero de vacas ordeñadas	Producción de leche
Nacional	3.861.711	815.065	5.502.787
Sierra	2.046.190	545.149	4.371.040
Costa	1.488.274	226.251	900.319
Amazonia	327.247	43.664	231.428

Nota. Tomado de (INEC, 2023).

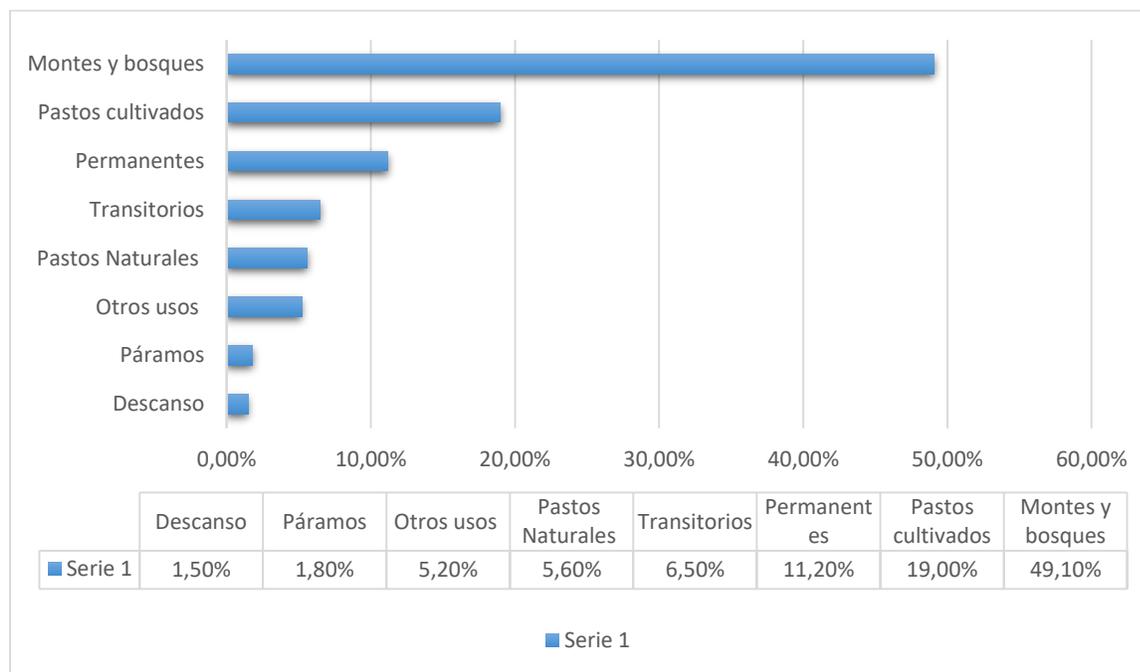
Pastos y forrajes en el Ecuador

Los pastizales se desarrollan en áreas donde los cultivos se ven limitados por factores como humedad, fertilidad, pH o por su ubicación lejana a centros urbanos. Según la FAO (2018), se estima que aproximadamente el 26% de la superficie terrestre global y el 70% de la superficie agrícola mundial están cubiertos por praderas. Estos pastizales desempeñan un papel fundamental, ya que proveen subsistencia a más de 800 millones de personas, sirven como fuente vital de alimentación para el ganado y actúan como hábitat para la flora y fauna silvestres. Además, los pastizales ofrecen beneficios adicionales, como la protección del medio ambiente, el almacenamiento de carbono y agua, y la conservación in situ de recursos fitogenéticos. El aumento acelerado de la población, junto con los efectos del cambio climático, ha intensificado la presión sobre los pastizales en todo el mundo, especialmente en ambientes áridos y semiáridos. Esta situación plantea desafíos significativos para la preservación y el manejo sostenible de estos ecosistemas (Leon E, Bonifaz Garcia, & Gutierrez Leon, 2018).

Las distintas clasificaciones basadas en su propósito incluyen: cultivos perennes, cultivos temporales, áreas en reposo, períodos de descanso, pastos que han sido cultivados, pastos de origen natural, zonas de montaña y arboledas, páramos y otros tipos de utilización. Los productos que estudia la ESPAC corresponden principalmente a los cultivos permanentes, transitorios y pastos cultivados, lo cuales se describen a continuación, en el año 2022 la superficie total nacional fue de 12.2 millones de hectáreas, presentando una leve disminución del 1,0 % respecto a la superficie total del año anterior (INEC, 2023).

Figura 1.

Superficie, según categoría de uso del suelo (En hectáreas y porcentaje).



Nota. Tomado de (INEC, 2023).

En el periodo 2022, el área destinada a cultivos permanentes fue de 1.366.080 hectáreas, presentado una disminución del 4,0 % con relación al año anterior. La región Costa concentra la mayor superficie con un 72,5 %, seguida de la Sierra con 17,5 % y la Amazonía con el 10,0 %. En cuanto a los cultivos transitorios, en la tabla 2, se puede observar que la superficie en el 2022 fue de 794.344 hectáreas, presentando una disminución del 5,7 % con relación al 2021. La región Costa cuenta con el 70,9 % de la superficie total, seguida de la Sierra con el 25,6 % y la Amazonía con el 3,5 %. En el año 2022, los campos que han sido sometidos a cultivo abarcan un total de 2.321.624 hectáreas en todo el país, revelando un descenso del 2,3% en comparación con el año precedente. La región Costa concentra el 48,2 %, la Sierra el 35,3 % y la Amazonía el 16,5 %. La superficie con pastos naturales ocupa

686.315 hectáreas (Figura 1), presentando un aumento del 6,2 %, con relación al 2021. La región Sierra representa el 72,8 %, la Costa el 21,5 % y la Amazonía el 5,7 % (INEC, 2023).

Alimentación bovina

Basándose en información proporcionada por la Cámara de Agricultura de la Primera Zona, con referencia al Proyecto Sistema de Integración Centroamericana SICA, se identifican los alimentos dominantes empleados en la nutrición del ganado bovino en Ecuador. Estos alimentos comprenden pastos, representando un 93,3%, ensilaje con un 1,5%, heno con un 0,7%, banano con un 1%, alimentos balanceados con un 0,2%, y otros tipos de alimento con un 3,4% (Leon E, Bonifaz Garcia, & Gutierrez Leon, 2018).

En la producción ganadera, la pastura cultivada se destaca como una herramienta esencial para su manipulación y control. Es fundamental que la alimentación de los animales herbívoros se base principalmente en pastos y forrajes, ya que constituyen la fuente de alimento más económica y principal. La combinación de gramíneas y leguminosas en la dieta proporciona un alimento completo y equilibrado para el ganado. Es importante evitar que los herbívoros compitan por alimentos con el ser humano y, en la medida de lo posible, se debe evitar el uso excesivo de granos (maíz, trigo, cebada, oleaginosas) en la ganadería, ya que son más costosos. Los granos deben ser utilizados de manera estratégica, dándole preferencia a los subproductos. El enfoque en el aprovechamiento de pastizales permite generar alimentos de origen animal reconocidos como más saludables, lo que contribuye a una producción ganadera sostenible y en armonía con el medio ambiente (Leon E, Bonifaz Garcia, & Gutierrez Leon, 2018).

Clasificación de los forrajes

a) Según su presentación:

- Pasto en estado fresco: pasto recién cortado, tal como se encuentra en el campo.

- Forraje seco: material deshidratado o en estado seco, generalmente restos de cosechas como pajas o rastrojos (86-88% materia seca).
- Forraje conservado: sometido a un proceso de conservación, como ensilado, deshidratado (convertido en heno) o en una combinación de ambos (henolaje) (82-84% materia seca para el heno, 50-60% materia seca para el henolaje).

b) Por su volumen:

- Forraje de gran volumen: considerable cantidad de biomasa, en su mayoría fibroso, incluyendo ejemplos como maíz forrajero, king grass, heno y ensilaje.
- Forraje concentrado: alta concentración de nutrientes en una cantidad reducida de volumen (menos del 18% de fibra bruta). Esta categoría puede subdividirse en concentrados energéticos (menos del 20% de proteína bruta), como cebada, maíz, sorgo, trigo, avena y los subproductos derivados de su procesamiento industrial (afrechos, moyuelo, etc.). Concentrados proteicos (más de 20% de proteína bruta) harina de alfalfa, tortas de fabricación de aceites (maní, soya, girasol, algodón) (Leon E, Bonifaz Garcia, & Gutierrez Leon, 2018).

La ganadería debe ser gestionada como una empresa con enfoque en la eficiencia y rentabilidad, lo que implica que el ganadero debe optimizar el uso de recursos disponibles a bajo costo relativo. Es esencial llevar a cabo un monitoreo constante de la oferta de pastos, el costo de la alimentación y la suplementación (Leon E, Bonifaz Garcia, & Gutierrez Leon, 2018).

En el año 2017, se registraron costos diferenciados entre el kilogramo de materia seca de pasto, que fue de \$0.05-0.06, y el kilogramo de materia seca del balanceado, que alcanzó los \$0.51 (considerando un saco de 40 kg a \$20.50 y descontando un 10% de humedad, el kilogramo de materia seca se calcula en \$0.57). Esto refleja una relación de precios entre el pasto y el balanceado de 1:10, siendo el balanceado diez veces más costoso que el pasto. Si

evaluamos el precio del balanceado en comparación con el precio de la leche, observamos lo siguiente: al suministrar 1 kg de balanceado por cada 3 litros de leche (relación 1:3), el costo del balanceado por litro de leche es de \$0.19 ($0.57/3$). Desde un punto de vista económico, el uso del balanceado se justifica cuando el precio de la leche se encuentra por encima de los \$0.30, siguiendo el criterio aceptado por los especialistas de que en alimentación se puede gastar hasta el 60% del ingreso por leche (Leon E, Bonifaz Garcia, & Gutierrez Leon, 2018).

En las regiones de la costa y el oriente, donde se requiere la suplementación, deben tenerse en cuenta diversas variables, como el bajo contenido de proteína y alta fibra en los pastos tropicales, así como las limitaciones medioambientales como el calor (Leon E, Bonifaz Garcia, & Gutierrez Leon, 2018).

Elaboración de alimentos para ganado

La producción de balanceados es una parte clave en diversas cadenas productivas, como la ganadería, la avicultura, la acuicultura, entre otras. Esta industria mantiene una estrecha interrelación con los sectores agrícolas primario, que proporciona la materia prima proveniente de la naturaleza, y secundario, que ofrece productos semi elaborados o totalmente elaborados. Gran parte de los insumos utilizados en la elaboración de estos alimentos provienen de dichos sectores (ProEcuador, 2018).

Los dos principales insumos empleados en esta industria son el maíz duro y los granos de soya. Según datos de la Encuesta Global sobre Alimento Balanceado en el 2017, en Ecuador se contabilizan aproximadamente 351 empresas dedicadas a la producción de alimentos balanceados. Entre las asociaciones más prominentes en este sector se encuentran la Asociación Ecuatoriana de Fabricantes de Alimentos Balanceados para Animales (AFABA) y la Asociación de Productores de Alimentos Balanceados (APROBAL) (ProEcuador, 2018).

Caña de azúcar

La *Saccharum officinarum* L., más comúnmente conocida como caña de azúcar, representa uno de los cultivos de mayor significado económico a nivel global y se encuentra presente en 101 países. Alrededor del 70 % del consumo mundial de azúcar proviene de la caña de azúcar, y su producción es al menos cinco veces superior a la de la remolacha azucarera. Brasil se destaca como el principal productor de caña de azúcar, logrando una cosecha de 680,900,000 toneladas en el año 2010 (Zambrano, 2015).

Tabla 2.

Taxonomía de la caña de azúcar

Reino	<i>Eucariota</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Poaceae</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Subfamilia	<i>Panicoideae</i>
Tribu	<i>Andropogoneae</i>
Subtribu	<i>Saccharinae</i>
Género	<i>Saccharum</i>

Nota. Tomado de (Zambrano, 2015).

Alrededor del 85 % de la producción total de azúcar en el país es abastecida por los ingenios San Carlos, La Troncal y Valdez, mientras que el restante 15 % proviene de los

ingenios Isabel María, IANCEM y Monterrey. Estos dos últimos se encuentran ubicados en las provincias de Imbabura y Loja (Zambrano, 2015).

Residuos en la industria azucarera

En las instalaciones de producción de azúcar, se generan subproductos que actualmente tienen una relevancia significativa, ya que permiten una diversificación de los ingenios azucareros con ventajas tanto económicas como sociales (Aramayo Lucana, 2019).

En el proceso de extracción del jugo de la caña de azúcar, se obtiene un residuo fibroso conocido como bagazo. Este bagazo es ampliamente utilizado como combustible para la producción de azúcar, así como en la obtención de furfural, producción de alcohol y proteínas para la alimentación animal. También se emplea en la producción de papel y como material para la fabricación de madera artificial. Por otro lado, la melaza es una miel que se obtiene del lavado de los granos de azúcar. Esta melaza tiene diversas aplicaciones, como la producción de levadura panadera, la obtención de ron y su uso como alimento para animales, además de su conversión en alcohol. Los residuos de la cosecha, conocidos como barbojo, se generan a partir del despaje y descogollamiento de la caña. Estos residuos tienen un papel importante como alimento para el ganado y como fuente de productos hidrolíticos, que sirven como fuente energética. Finalmente, la cachaza es otro subproducto que resulta del proceso de filtración de los jugos. Esta cachaza tiene múltiples usos, como fertilizante para campos de caña, materia prima para la obtención de cera y policosanol, y como alimento para animales (Aramayo Lucana, 2019).

La utilización del bagazo para la generación de energía eléctrica, permite al ingenio no sólo eliminar un residuo que tiene que acumularse constantemente, sino que al mismo tiempo le permite generar un producto que puede ser comercializado, además de la autosostenibilidad eléctrica del ingenio (Aramayo Lucana, 2019).

El potencial de aprovechamiento de subproductos derivados de la caña de azúcar es significativo, ya que por cada tonelada de panela producida se obtiene una cantidad equivalente de subproductos. Estos subproductos pueden ser transformados en materias primas para la elaboración de suplementos destinados a la alimentación animal. Dichos suplementos pueden ser suministrados de diversas formas, como ensilajes, harinas o bloques nutricionales. De esta manera, se optimiza el uso de los subproductos de la caña, proporcionando una fuente valiosa de nutrientes para el ganado y favoreciendo la sostenibilidad del proceso de producción (Burbano E & Rincon E, 2019).

Los subproductos derivados de la caña de azúcar presentan un alto contenido de fibra, así como una concentración elevada de sacarosa y otros azúcares solubles (CENGICAÑA, 2014). Sin embargo, suelen tener bajos niveles de proteína y minerales. Para mejorar la disponibilidad y digestibilidad de los nutrientes, muchos de estos subproductos han sido sometidos a tratamientos físicos, químicos y biológicos (Pachón, Tovar, Urbina, & Martínez, 2005). Además, se han enriquecido con fuentes de nitrógeno no proteico (como la urea) o con fuentes de proteína verdadera (Burbano E & Rincon E, 2019).

Estudios sobre el rendimiento de animales alimentados con estos subproductos resultantes de la industrialización de la caña muestran nuevas perspectivas de investigación hacia sistemas de producción sostenibles y amigables con el medio ambiente (Burbano E & Rincon E, 2019). Actualmente, se reconoce que, al darles un valor agregado a estos subproductos, es posible reducir los costos de alimentación generados por la compra de materias primas que no se producen regionalmente y que compiten con la alimentación humana. La valorización de estos subproductos contribuye tanto a la eficiencia económica como a la sostenibilidad ambiental de la producción ganadera (Burbano E & Rincon E, 2019).

En la búsqueda de mejores estrategias para el manejo y utilización de la caña de azúcar, especialmente en la alimentación del ganado bovino, se ha reconocido su relevancia

como componente esencial en la dieta de los animales, lo que ha llevado a emplear variedades forrajeras específicas (Moreno, 2007). Sin embargo, para que pueda ser adecuadamente utilizada en la alimentación de rumiantes, es necesario tener un amplio conocimiento sobre ciertos aspectos deseables, como el tipo de variedad, la edad de corte y diversos indicadores de crecimiento, biométricas y composición química. Estos aspectos son fundamentales para la selección y evaluación de genotipos con características forrajeras óptimas. De esta manera, se busca maximizar el potencial nutritivo de la caña de azúcar y mejorar su contribución a la alimentación del ganado bovino de manera eficiente y sostenible (Burbano E & Rincon E, 2019).

Composición nutricional

La caña de azúcar se destaca por su riqueza en carbohidratos, lo que la convierte en una excelente fuente de energía. Sin embargo, su contenido de proteína es bajo y representa menos del 5% de su materia seca, pudiendo variar según el estado de madurez, la edad del cultivo, la variedad y las condiciones climáticas (Moreno, 2007). Además, esta planta presenta un desequilibrio mineral y baja digestibilidad, con una tasa de digestión aproximada del 20%. Estas características hacen que se clasifique como forraje de calidad regular, por lo que su suministro a los animales debe complementarse con fuentes adicionales de proteína y minerales para garantizar una dieta equilibrada y nutritiva (Juárez, J. Vilaboa, & Díaz., 2009).

Hidrolización de la caña de azúcar

La adopción generalizada de la caña de azúcar como una forma de forraje suplementario durante la sequía se basa en varias ventajas que la hacen una opción competitiva en comparación con otras fuentes de forraje. Diversas simulaciones de sistemas de producción animal han demostrado que la caña de azúcar es una alternativa interesante para reducir los costos de alimentación y maximizar los ingresos netos de la actividad ganadera (Mari & Nussion, 2004).

Además, existen varios puntos clave que respaldan el uso de la caña de azúcar en la alimentación de los rumiantes:

- Es una opción de manejo sencillo para el mantenimiento y la gestión del cultivo.
- Ofrece una producción máxima y un valor nutritivo adecuado durante el período de escasez de forraje.
- Mantiene su valor nutricional durante un largo período después de alcanzar la madurez.
- Existe una amplia tecnología desarrollada para su cultivo y mejoramiento genético, en gran parte debido a su uso en la producción de azúcar y alcohol.

En conjunto, estas ventajas hacen de la caña de azúcar una opción atractiva y efectiva como forraje suplementario durante la sequía y como parte de un enfoque sostenible para la producción ganadera (Mari & Nussion, 2004).

Se han desarrollado diferentes métodos de tratamiento hidrolítico para mejorar la composición química de residuos de paja y forrajes, con el objetivo de aumentar su digestibilidad y consumo por parte de los rumiantes. Estas estrategias de tratamiento involucran enfoques biológicos, físicos y químicos, cada uno con su nivel de eficiencia respectivo (Mari & Nussion, 2004).

En el tratamiento biológico, se utilizan hongos, bacterias o sus enzimas para descomponer la lignina presente en diferentes sustratos, incluyendo paja, bagazo e incluso caña de azúcar *in natura*. Algunos estudios han demostrado un aumento significativo en la digestibilidad al emplear mezclas biológicas de hongos y bacterias en el bagazo de caña de azúcar (VITTI, 1985). Sin embargo, en otros casos, se ha observado que este tipo de tratamiento no genera diferencias significativas en comparación con el bagazo sin tratamiento (D'ARCE, 1985).

El tratamiento físico implica el uso de alta presión de vapor durante un tiempo determinado, lo que produce modificaciones en la fracción de hemicelulosa y un aumento en el contenido de

compuestos fenólicos y carbohidratos solubles en el bagazo de caña de azúcar (BURGI, 1985).

La aplicación de este proceso requiere equipos específicos, como un autoclave y vapor a presión, lo que puede dificultar su uso directo por parte del productor (Mari & Nussion, 2004).

El tratamiento químico, por su parte, hace uso de agentes alcalinos, como hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, amoníaco anhidro y óxido de calcio, para mejorar la digestibilidad de forrajes con bajo valor nutricional, como el bagazo de caña de azúcar y la paja. Estos agentes solubilizan parcialmente la hemicelulosa, lo que aumenta la digestión de la celulosa y la hemicelulosa. Sin embargo, su uso debe ser cuidadoso, ya que pueden presentar efectos tóxicos y elevar el contenido de sodio en la dieta de los animales (Mari & Nussion, 2004).

***Lemna minor* (lentejilla de agua)**

Las lemnáceas son una familia de plantas vasculares que flotan libremente sobre la superficie del agua y se encuentran distribuidas en todo el mundo. Dentro de esta familia, existen cuatro géneros principales: *Spirodela*, *Lemna*, *Wolffia* y *Wolffiella*, con aproximadamente 40 especies en total. Estas macrófitas presentan una morfología relativamente simple, careciendo de tallos y hojas verdaderas. Su estructura consiste comúnmente en una o pocas frondas de forma ovalada, las cuales rara vez superan los 5 mm de longitud (Chamorro Usca, 2021).

Las lemnáceas tienen una capacidad notable para duplicar su biomasa en tan solo dos o tres días, siempre y cuando las condiciones ambientales sean favorables. Se ha demostrado que, en sistemas de pequeñas lagunas, pueden lograrse rendimientos de 10 a 13 toneladas de materia seca por hectárea al año, mientras que en tanques al aire libre, los rendimientos pueden alcanzar alrededor de 20 toneladas de materia seca por hectárea al año (Chamorro Usca, 2021).

Debido a la escasez y el aumento en los costos de los insumos tradicionales utilizados en la elaboración de alimentos balanceados para peces y crustáceos, surge la necesidad de explorar alternativas no convencionales, como las macrófitas acuáticas. Estudiar el potencial de estas plantas acuáticas podría contribuir al desarrollo de sistemas acuícolas de bajo costo, ya que representan una valiosa fuente de nutrientes (Chamorro Usca, 2021).

Según Slinger (2019), las especies de Lemnaceas en general tienen un buen balance de aminoácidos, siendo destacables en su composición la metionina, lisina, treonina, triptófano y la leucina. Varios investigadores han reportado la composición química de esta planta en porcentaje de peso seco, con variaciones de la siguiente manera:

- Proteína: 6,8% - 45,0%
- Fibra cruda: 5,7% - 16,2%
- Ceniza: 12,0% - 27,6%.

La harina de *Lemna* contiene aproximadamente un 40% de proteína, lo que la convierte en una valiosa fuente de proteína vegetal comparable favorablemente con la soya. Esta superioridad en contenido proteico se destaca frente a otras plantas acuáticas, como la *Eichhornia crassipes*, que ha sido reportada con un contenido de 5,9% de extracto libre de nitrógeno y 0,41% de fósforo (Chamorro Usca, 2021).

Capítulo III

Metodología

Ubicación del área de investigación

Ubicación política

País:	Ecuador
Provincia:	Imbabura
Cantón:	San Miguel del Ibarra
Parroquia:	Ambuquí
Sector:	Panamerica Norte Km. 25, vía Tulcán

Ubicación Ecológica

Zona de vida:	Cálido seco
Altitud:	1520 msnm
Temperatura media:	24°C
Precipitación:	462 mm/año
Humedad relativa:	60%
Suelos:	Franco arenoso

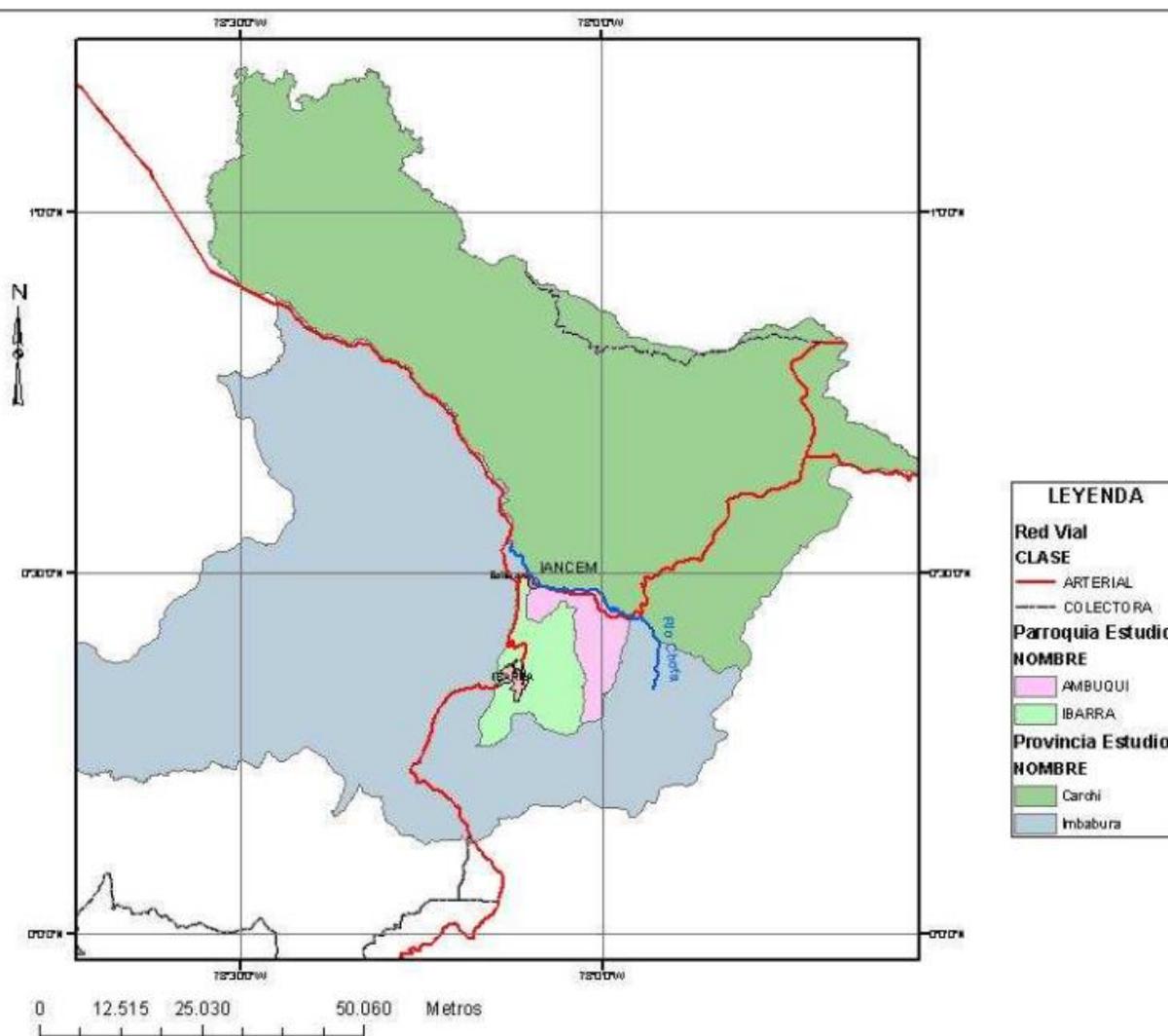
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (GAD Ambuquí, 2019-2023).

Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones de la empresa Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta., ubicado en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, sector Tababuela a una latitud de N 0°21'47.86596" y longitud de W 78°6'47.88648" (Gobierno Provincial de Imbabura, 2020).

Figura 2.

Ubicación geográfica del lugar de experimentación



Nota. Ubicación de la empresa Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta, lugar donde se realizó la parte experimental de la investigación.

Verificación de Equipos y Reactivos.

Los equipos de medición y pesaje se ajustaron conforme a las directrices de las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y los estándares de laboratorio definidos en la norma ISO 9001:2015.

Recolección de Lemna minor

La fase inicial de la investigación consistió en la recolección de la muestra de *Lemna minor*, conocida como lentejilla de agua, en las instalaciones de la empresa IANCEM. Específicamente, se tomaron muestras de esta planta acuática de las piscinas de aguas residuales de la empresa, donde se encontraba cultivada.

Para garantizar la representatividad de las muestras, se seleccionaron diversas áreas dentro de las piscinas de aguas residuales donde se encontraba presente la *Lemna minor* de manera homogénea. Se evitó recolectar muestras cerca de los bordes de las piscinas o en zonas con mayor exposición al sol, con el fin de minimizar posibles variaciones en la composición del agua. Se realizaron múltiples réplicas para asegurar la representatividad de las muestras obtenidas.

Lavado y desinfección de Lemna minor

Una vez recolectadas las muestras de *Lemna minor* en las piscinas de aguas residuales de IANCEM, se procedió a realizar un minucioso proceso de lavado y desinfección. Dado que las aguas residuales no se encuentran en condiciones higiénicas óptimas, este paso resultó fundamental para obtener una muestra limpia y libre de contaminantes que pudieran afectar los resultados del estudio.

El proceso de lavado comenzó con varios enjuagues utilizando agua limpia y filtrada, asegurando así la eliminación de las impurezas superficiales. Posteriormente, se llevaron a cabo dos lavados adicionales utilizando una solución de ácido acético al 20%. Esta etapa permitió la desinfección de la muestra y la eliminación de microorganismos y patógenos que podrían estar presentes.

Una vez concluido el lavado con ácido acético, se realizó un último enjuague con agua limpia para eliminar cualquier residuo de la solución desinfectante. En esta etapa, la muestra de

Lemna minor presentó una considerable disminución en su volumen, eliminando gran parte de las impurezas, lodo y raíces presentes inicialmente.

Con el proceso de lavado y desinfección finalizado, se obtuvo una muestra de *Lemna minor* en condiciones óptimas para su posterior secado y análisis.

Secado de *Lemna minor*

Una vez completado el proceso de lavado y desinfección de la muestra de *Lemna minor*, se procedió a su secado para obtener una muestra completamente deshidratada y lista para el análisis. La muestra se extendió en un espacio amplio y bien ventilado, con exposición directa a la luz solar. El secado al aire libre se eligió como el método más adecuado para garantizar la eliminación completa de la humedad sin alterar las propiedades químicas y nutricionales de la *Lemna minor*.

Durante el proceso de secado, se monitoreó regularmente la muestra para asegurar que estuviera completamente seca. La duración total del secado fue de aproximadamente dos días, durante los cuales se evitó la exposición a la humedad o a cualquier otra fuente de contaminación. La muestra se almacenó a una temperatura de 25°C y con una humedad del 60% para su uso futuro para conservar su calidad y valor nutricional.

Recolección del bagazo de caña de azúcar

La recolección de la muestra de bagazo de caña de azúcar se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa IANCEM. Para garantizar la representatividad de la muestra, se seleccionó un área específica donde se almacena y obtiene el bagazo.

El muestreo se realizó siguiendo un diseño sistemático, tomando muestras en 3 puntos diferentes puntos del área de almacenamiento. Se recopiló 4 Kg de cada punto y se mezcló meticulosamente para obtener una muestra compuesta que representara la composición general del material. El proceso de recolección se llevó a cabo utilizando recipientes limpios y

adecuados para evitar cualquier tipo de contaminación de la muestra. Se tomaron precauciones para evitar la contaminación cruzada entre las muestras y para asegurar la integridad y la representatividad de los datos.

Proceso de hidrólisis con óxido de calcio

Una vez obtenida la muestra de bagazo de caña de azúcar, se procedió a realizar el proceso de hidrólisis utilizando óxido de calcio (cal viva) al 3%. Esta sustancia química es conocida por su capacidad para mejorar la digestibilidad del material vegetal al solubilizar parcialmente la hemicelulosa y promover el fenómeno de "hinchazón alcalina de la celulosa".

Para preparar la solución de óxido de calcio, se pesaron y mezclaron cuidadosamente 300 gramos de cal viva con 10 litros de agua. Esta concentración del 3% fue seleccionada en base a estudios previos que demostraron su efectividad en la hidrólisis del bagazo de caña de azúcar (Burbano E & Rincon E, 2019).

A continuación, se tomó una cantidad de 3 kilogramos de bagazo de caña de azúcar y se adicionó a 10 litros de la solución de óxido de calcio, manteniendo una relación de 1:3 (bagazo de caña: solución de óxido de calcio). La mezcla fue agitada de manera uniforme para asegurar una distribución homogénea del óxido de calcio en el bagazo. Una vez preparada la mezcla, se dejó reposar durante 48 horas para permitir que el óxido de calcio actúe sobre la estructura del bagazo, mejorando su composición química y digestibilidad.

Posteriormente, la muestra fue transferida a una autoclave, donde se realizó el proceso de hidrólisis bajo condiciones controladas de presión y temperatura. La autoclave se operó a una presión de 22 psi y una temperatura de 120°C, manteniendo estas condiciones durante un tiempo de 2 horas.

Una vez finalizado el proceso de hidrólisis, la muestra fue retirada de la autoclave y se procedió a drenar el exceso de líquido para obtener un material más seco y manejable.

Secado del bagazo de caña de azúcar hidrolizado

Una vez finalizado el proceso de hidrólisis con óxido de calcio, se obtuvo un bagazo de caña modificado químicamente y con mayor digestibilidad. Sin embargo, debido a que el material resultante quedó con un contenido significativo de humedad, se procedió a realizar su secado para obtener una muestra completamente seca y apta para su posterior análisis.

El secado se llevó a cabo en una estufa con control de temperatura a 110°C. El bagazo de caña hidrolizado se extendió en una capa uniforme sobre una bandeja y se colocó en el interior de la estufa. El proceso de secado se prolongó por un período de dos días, tiempo durante el cual se monitoreó constantemente la temperatura y la humedad del bagazo para asegurar un secado uniforme y completo.

Una vez finalizado el secado, se obtuvo el bagazo de caña de azúcar hidrolizado completamente seco, listo para ser sometido a análisis químicos y nutricionales con el objetivo de evaluar su calidad como suplemento para la alimentación bovina.

Elaboración del pienso alimenticio

Con el bagazo de caña de azúcar hidrolizado y completamente seco, se procedió a realizar la elaboración de dos productos diferentes como suplementos alimenticios para el ganado bovino.

Primer producto: Bagacillo o polvo de bagazo

Para obtener el bagacillo o polvo de bagazo, se realizó un proceso de filtración del bagazo hidrolizado. Se utilizaron 100 gramos del polvo resultante de la filtración, obtenido tras separar las impurezas y partículas no deseadas. Este polvo de bagazo se mezcló con 1300 gramos de melaza, la cual se obtuvo del proceso de producción de azúcar en las instalaciones de la empresa IANCEM. La melaza se utilizó como componente adicional para enriquecer la mezcla y proporcionar nutrientes adicionales al ganado bovino.

A continuación, la mezcla se dispuso en moldes adecuados para dar forma a los discos de pienso. Estos discos de bagacillo con melaza se crearon para proporcionar una presentación práctica y atractiva para el ganado bovino, permitiendo una fácil administración y consumo.

Segundo producto: Mezcla de bagazo hidrolizado, melaza y *Lemna minor*

El segundo producto se elaboró mezclando tres componentes principales.

Tabla 3.

Formulación del pienso

Insumos	T1	CONTROL
Bagazo de caña	70%	-
Melaza	15%	-
<i>Lemna minor</i>	15%	-
TOTAL	100	

Nota. Elaboración propia.

Materiales

Determinación de Azúcares reductores con HPLC

Tabla 4.

Equipos, reactivos, materiales e insumos utilizados para medir azúcares reductores

Equipos	Reactivos	Materiales/Insumos	Muestras
Balanza Sartorius	Ácido tricloroacético	Agua destilada	Bagazo hidrolizado
Incubadora	(ATC)	Vaso de precipitación	<i>Lemna minor</i>
TE-4200		Erlenmeyer	Pienso elaborado
HPLC Jasco			
PU-4180			

Nota. Elaboración propia.

Determinación de cenizas

Tabla 5.

Equipos, reactivos, materiales e insumos utilizados para determinar cenizas

Equipos	Reactivos	Materiales/Insumos	Muestras
Balanza Sartorius	Ácido tricloroacético	Agua destilada	Bagazo hidrolizado
Horno de mufla	(ATC)	Vaso de precipitación	<i>Lemna minor</i>
Vulcan A-130		Crisol	Pienso elaborado
Desecador			
Estufa			

Nota. Elaboración propia.

Determinación de Grasa**Tabla 6.***Equipos, reactivos, materiales e insumos utilizados para determinar grasa*

Equipos	Reactivos	Materiales/Insumos	Muestras
Balanza analítica	Éter de petróleo	Agua destilada	Bagazo hidrolizado
Extractor de grasa		Algodón desengrasado	<i>Lemna minor</i>
Desecador		Cartuchos de celulosa	Pienso elaborado
Estufa		Cuerpos de ebullición	

Nota. Elaboración propia.

Determinación de Fibra**Tabla 7.***Equipos, reactivos, materiales e insumos utilizados para determinar fibra*

Equipos	Reactivos	Materiales/Insumos	Muestras
Balanza analítica	Acido sulfúrico 1.25%	Agua destilada	Bagazo hidrolizado
Extractor de Fibra	Hidróxido de potasio	Vaso Erlenmeyer	<i>Lemna minor</i>
Mufla	Etanol	Crisol	Pienso elaborado
Estufa	Antiespumante		
Desecador			

Nota. Elaboración propia.

Determinación de Proteína**Tabla 8.***Equipos, reactivos, materiales e insumos utilizados para determinar proteína*

Equipos	Reactivos	Materiales/Insumos	Muestras
Balanza analítica	Ácido sulfúrico	Agua destilada	Bagazo hidrolizado
Unidad digestora	concentrado 96%	Matraz Erlenmeyer	<i>Lemna minor</i>
Sorbona	Solución de hidróxido	250 ml	Pienso elaborado
Bomba de vacío	de sodio 35%	Tubos de destilación	
de circulación de	Solución de ácido	Gotero	
agua	bórico 2%	Mortero	
Unidad de	Solución de ácido		
destilación	clorhídrico 0.1N		
Equipo de	Tabletas catalizadoras		
titulación	Indicador Kjeldahl		

Nota. Elaboración propia.

Métodos

Determinación de Azúcares reductores con HPLC

Preparación de las muestras

Se tomaron muestras de bagazo hidrolizado, *Lemna minor* y pienso elaborado. Cada muestra se trató con ácido tricloroacético (ATC) para precipitar las proteínas y otras impurezas. Las muestras tratadas con ATC se sometieron a centrifugación para separar el sobrenadante.

Preparación de las muestras para el análisis con HPLC

Se tomaron alícuotas de las muestras tratadas con ATC y se las llevó a un vaso de precipitación. Se agregó agua destilada y de esa mezcla se extrajo 1 ml para la inyección en el HPLC.

Análisis con HPLC

Se utilizó el equipo HPLC Jasco PU-4180 para el análisis de azúcares reductores en las muestras. Se inyectaron las alícuotas de las muestras en el HPLC y se llevó a cabo la separación cromatográfica de los azúcares reductores. Se registraron los picos cromatográficos y se midieron las áreas bajo las curvas correspondientes a cada azúcar reductor.

Cálculo de concentración de azúcares reductores

Utilizando los datos de la curva de calibración, se determinó la concentración de azúcares reductores presentes en las muestras de bagazo hidrolizado, *Lemna minor* y pienso elaborado. Es importante tener en cuenta que este procedimiento fue replicado dos veces para cada muestra y se tomaron los promedios de las concentraciones de azúcares reductores obtenidas en cada caso.

Determinación de cenizas

Preparación de las muestras

Se tomaron muestras representativas de bagazo hidrolizado, *Lemna minor* y pienso elaborado.

Las muestras se secaron en una estufa a una temperatura de 70°C hasta alcanzar un peso constante, asegurándose de eliminar cualquier humedad presente en las mismas.

Preparación de las muestras para el análisis de cenizas

Aproximadamente 1-2 gramos de las muestras secas se pesaron y se colocaron en crisoles previamente tarados. Cada crisol se etiquetó con el nombre de la muestra correspondiente para su identificación posterior.

Determinación de cenizas

Los crisoles con las muestras se introdujeron en un horno de mufla Vulcan A-130, previamente precalentado a 550°C. Las muestras se mantuvieron en el horno durante 3 horas para quemar todas las sustancias orgánicas, dejando únicamente las cenizas.

Registro y análisis de los resultados

Una vez finalizado el proceso de incineración, los crisoles con las cenizas se retiraron del horno con precaución y se colocaron en un desecador para que se enfriaran. Luego de enfriarse, los crisoles con las cenizas se pesaron nuevamente para determinar la masa de las cenizas resultante.

Cálculo del contenido de cenizas

El contenido de cenizas se calculó utilizando la siguiente fórmula:

Contenido de cenizas (%) = (Peso del crisol con cenizas - Peso del crisol vacío) / Peso inicial de la muestra x 100

Se tomaron promedios de los valores obtenidos de las muestras replicadas para obtener resultados más precisos y confiables.

Determinación de Grasa

Preparación de las muestras

Se tomaron muestras representativas de bagazo hidrolizado, *Lemna minor* y pienso elaborado. Las muestras se secaron en una estufa a una temperatura de 70°C hasta alcanzar un peso constante, asegurándose de eliminar cualquier humedad presente en las mismas.

Extracción de la grasa

Se utilizó el método de extracción por solvente para determinar el contenido de grasa en las muestras. En primer lugar, se pesaron 5 gramos de cada muestra seca y se colocaron en cartuchos de celulosa, previamente secos y desengrasados.

Extracción con éter de petróleo

A cada cartucho con la muestra se le añadió éter de petróleo como solvente extractante y se colocaron en el extractor de grasa. El extractor se puso en funcionamiento, permitiendo que el éter de petróleo se caliente y percole a través de las muestras, extrayendo la grasa presente en ellas.

Evaporación del éter de petróleo

Una vez finalizada la extracción, se recogió el extracto que contenía la grasa en un cuerpo de ebullición. Luego, se procedió a evaporar el éter de petróleo del extracto mediante calentamiento en una estufa a una temperatura de 70°C, evitando cualquier pérdida de grasa.

Secado y pesado de las grasas:

Una vez evaporado completamente el éter de petróleo, se dejó enfriar el cuerpo de ebullición en un desecador para eliminar cualquier humedad. Posteriormente, se pesó el cuerpo de ebullición con la grasa residual.

Cálculo del contenido de grasa:

El contenido de grasa en cada muestra se calculó utilizando la siguiente fórmula:
Contenido de grasa (%) = (Peso de grasa residual / Peso inicial de la muestra) x 100 Se tomaron promedios de los valores obtenidos de las muestras replicadas para obtener resultados más precisos y confiables.

Determinación de Fibra**Preparación de las muestras:**

Se tomaron muestras representativas de bagazo hidrolizado, *Lemna minor* y pienso elaborado. Las muestras se secaron en una estufa a una temperatura de 70°C hasta alcanzar un peso constante, asegurándose de eliminar cualquier humedad presente en ellas.

Extracción de la fibra bruta:

Se utilizó el método de extracción con ácido y álcali para determinar el contenido de fibra bruta en las muestras. En primer lugar, se pesaron aproximadamente 1 gramo de cada muestra seca y se colocaron en vasos Erlenmeyer.

Extracción con ácido sulfúrico

A cada vaso Erlenmeyer con la muestra se le añadió ácido sulfúrico 1.25% y se calentó en una mufla a una temperatura específica durante un tiempo determinado para solubilizar los componentes no fibrosos de las muestras.

Extracción con hidróxido de potasio

Luego de enfriar las muestras, se añadió hidróxido de potasio y etanol para neutralizar el ácido y se calentaron nuevamente en la mufla a una a 600°C durante 30 minutos. Esto permite solubilizar los componentes de celulosa, dejando únicamente la fracción de fibra insoluble en la muestra.

Lavado y secado:

Después de finalizar las extracciones, las muestras se lavaron con agua destilada para eliminar cualquier residuo de reactivo. Posteriormente, se secaron en una estufa a una temperatura de 70°C hasta alcanzar un peso constante.

Cálculo del contenido de fibra

El contenido de fibra bruta en cada muestra se calculó utilizando la siguiente fórmula:
Contenido de fibra (%) = $[(\text{Peso de la fibra seca} - \text{Peso de la muestra inicial}) / \text{Peso de la muestra inicial}] \times 100$. Se tomaron promedios de los valores obtenidos de las muestras replicadas para obtener resultados más precisos y confiables.

Determinación de Proteína (Kjeldahl)**Preparación de las muestras**

Se tomaron muestras representativas de bagazo hidrolizado, *Lemna minor* y pienso elaborado. Las muestras se secaron en una estufa a una temperatura de 70°C hasta alcanzar un peso constante, asegurándose de eliminar cualquier humedad presente en ellas.

Digestión de la muestra

Se pesaron aproximadamente 1 gramo de cada muestra seca y se transfirieron a matraces Erlenmeyer de 250 ml. Se agregaron tabletas catalizadoras y se adicionaron 10 ml de ácido sulfúrico concentrado (96%) a cada matraz. Luego, se calentaron las muestras en la unidad digestora a una temperatura específica durante un tiempo determinado para digerir completamente el material orgánico presente.

Destilación y titulación

Una vez que se completó la digestión, se enfrió cada matraz y se añadió una solución de hidróxido de sodio (35%) para neutralizar el exceso de ácido sulfúrico. Las muestras se transfirieron a tubos de destilación y se conectaron a la unidad de destilación, que estaba en

funcionamiento con un rotavapor. La destilación se realizó para liberar el amoníaco formado durante la digestión, y el amoníaco destilado se recogió en una solución de ácido bórico (2%) para formar borato de amonio. Después de la destilación, se tituló la solución de borato de amonio con una solución de ácido clorhídrico 0.1N y se utilizó un indicador Kjeldahl para determinar el punto final de la titulación.

Cálculo del contenido de proteína

El contenido de proteína en cada muestra se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de proteína (\%)} = (V \times N \times 14.007 / \text{Peso de la muestra}) \times 100$$

donde:

V = volumen de la solución de ácido clorhídrico utilizado en la titulación (ml)

N = normalidad de la solución de ácido clorhídrico (0.1N)

14.007 = masa molar del nitrógeno

Peso de la muestra = peso inicial de la muestra utilizada en la digestión (g)

Se tomaron promedios de los valores obtenidos de las muestras replicadas para obtener resultados más precisos y confiables.

Diseño Experimental

Diseño experimental sobre las características fisicoquímico de las materias primas para la elaboración del pienso

Tratamientos del experimento

Tabla 9.

Tratamientos a comparar en las características fisicoquímicas de las materias primas

Tratamientos
Bagazo
<i>Lemna minor</i>

Tipo de diseño para la caracterización fisicoquímica de las materias primas para la elaboración del pienso

Para la evaluación de las características fisicoquímicas de las materias primas del pienso. Se aplicó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 2 tratamientos, el factor de tratamiento fueron las materias primas (Bagazo, *Lemna minor*) y en la tabla 10 se describe la estructura del diseño

Tabla 10.

Estructura del diseño experimental

Repeticiones	9
Unidades experimentales	17
Variables	Materia orgánica (MO), humedad, ceniza, pH, muestra seca (MS), grasa, fibra y proteína

Análisis estadístico

Modelo matemático

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}; \begin{cases} i = 1, 2, \dots, k \\ j = 1, 2, \dots, b \end{cases}$$

Donde:

Y_{ij} = observación del i-esimo tratamiento del j-esimo replica

μ = promedio global de los tratamientos

T_i = efecto del i-esimo de las materias primas

B_j = efecto del j-esimo de la replica

E_{ij} = error aleatorio

Tabla 11.

Esquema de análisis de varianza (ANOVA) DBCA para el estudio de las características fisicoquímicas de las materias primas para la elaboración del pienso

Fuente de variación		Grados de libertad
Tratamientos	(k-1)	1
Réplica	(b-1)	8
Error	(k-1) (b-1)	8
Total	(kr)-1	17

Análisis funcional

Se aplicó una prueba de significancia de Tukey al 5% ($p < 0,05$) a cada una de las variables que presentaron diferencias significativas en el análisis de varianza.

Capítulo IV

Resultados y discusión

De las características fisicoquímicas de las materias primas utilizadas en la elaboración del pienso

En la industria de alimentos balanceados, la calidad de las materias primas desempeña un papel crucial para garantizar la salud y el rendimiento de los animales, así como para cumplir con las expectativas de los consumidores.

En un estudio realizado por Guerra Merizalde (2005), enfatiza que el control físico-químico de las materias primas constituye el 70% de la calidad del producto final, mientras que el proceso de fabricación aporta el 30% restante.

Análisis de varianza para la variable materia orgánica (MO)

Tabla 12.

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable MO

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS					
PRINCIPALES					
A:Materias primas	0,273006	1	0,273006	851,72	0,0000
B:Replicas	0,00244514	8	0,000305642	0,95	0,5317
RESIDUOS	0,00224375	7	0,000320536		
TOTAL (CORREGIDO)	0,293447	16			

La tabla 12 muestra que el tipo de materia prima (Bagazo y *Lemna minor*) influye sobre la materia orgánica, ya que, se observa diferencia significativa, por otra parte, en las réplicas no

existe diferencia significativa, lo cual indica uniformidad en la toma de datos. Además, de acuerdo con la tabla 20, para esta variable se encontró la formación de dos grupos independientes donde el grupo A del bagazo presentó una media de 9,20 y el grupo B de la *Lemna minor* mostró un valor de 9,49.

En este contexto, la materia orgánica, es aquella que se basa en la combinación de cuatro elementos principales: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N), estos elementos constituyen los componentes fundamentales para el metabolismo y el crecimiento de los animales (Caravaca Rodríguez, 2015). Además, existe otros elementos en menor proporción que también desempeñan un papel esencial en la nutrición, como fósforo (P), azufre (S), cloro (Cl), calcio (Ca), sodio (Na), magnesio (Mg) y potasio (K). La presencia de elementos traza como hierro (Fe), manganeso (Mn) y cobalto (Co) son también de relevancia para funciones metabólicas específicas (Caravaca Rodríguez, 2015). Con relación a esta variable, se obtuvo que el grupo B del bagazo y el grupo A de la *Lemna minor*, muestran diferencias sutiles en los valores, tanto el bagazo (83,77) como la *Lemna minor* (83,51) (Tabla 20) con ligeras diferencias en cuanto a la materia orgánica, lo que sugiere que las materias primas tienen una composición ligeramente distinta en términos de elementos básicos como carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, así como lo mencionan (Solano, Aguilar, Domínguez, Ramírez, & Aguilar, 2020), la composición química del bagazo es para hidrógeno un 6,5%, para oxígeno un 44% y carbono un 47%, por otra parte en el caso de la *Lemna minor*, (Andrade Chavéz & Baque Parrales, 2021), el porcentaje de carbohidratos es de 42%.

Análisis de varianza para la variable humedad

Tabla 13.

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable humedad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS					
PRINCIPALES					
A:Materias Primas	0,3481	1	0,3481	902,48	0,0000
B:Replicas	0,0007875	8	0,0000984375	0,26	0,9628
RESIDUOS	0,0027	7	0,000385714		
TOTAL	0,371024	16			
(CORREGIDO)					

La tabla 13 presenta que el tipo de materia prima (Bagazo y *Lemna minor*) influye sobre la humedad, debido a que, se observa diferencia significativa, mientras que, en las réplicas no existe diferencia significativa, lo que indica que existe homogeneidad en la recopilación de datos. De acuerdo con la tabla 20, para esta variable se obtuvieron dos grupos independientes donde el grupo A de la *Lemna minor* presentó una media de 6,92 y el grupo B del bagazo indicó un valor de 7,04.

La variable de humedad desempeña un papel crucial en la calidad y la estabilidad de las materias primas utilizadas en la producción de piensos. De acuerdo con Dezi (2010), un bajo contenido de agua en los alimentos limita la proliferación de hongos y patógenos durante el almacenamiento, lo que es esencial para mantener la inocuidad de los alimentos y prolongar su vida útil. Además, la humedad también impacta en el proceso de molienda, donde un contenido

de agua óptimo puede reducir el tiempo requerido y minimizar las pérdidas de peso asociadas con el almacenamiento prolongado. Respecto a esta variable, se observa que el grupo A del bagazo presenta un valor más bajo (9,20), en comparación al grupo B de la *Lemna minor* (9,49) (Tabla 20) y aunque la diferencia en los valores de humedad entre el bagazo y la *Lemna minor* es pequeña, sugiere que, el contenido de humedad es importante debido a que permite minimizar los riesgos asociados con el almacenamiento y la proliferación de microorganismos (López, 2005).

Análisis de varianza para la variable ceniza

Tabla 14.

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable ceniza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS					
PRINCIPALES					
A:Materias Primas	0,0625	1	0,0625	15,91	0,0053
B:Replicas	0,0468056	8	0,00585069	1,49	0,3065
RESIDUOS	0,0275	7	0,00392857		
TOTAL (CORREGIDO)	0,130588	16			

La tabla 14 indica que el tipo de materia prima (Bagazo y *Lemna minor*) influye sobre la ceniza, debido a que, se observa diferencia significativa, por otra parte, en las réplicas no existe diferencia significativa, lo que indica que existe normalidad en la recopilación de datos.

Además, de acuerdo con la tabla 20, para esta variable se obtuvieron dos grupos

independientes donde el grupo A de la *Lemna minor* presentó una media de 6,92 y el grupo B del bagazo indicó un valor de 7,04.

La ceniza, es importante ya que aporta los minerales esenciales requeridos para el óptimo desempeño y crecimiento de los animales. Según Durán Castro & Kebreau (2011), mencionan que es esencial considerar que, en los alimentos balanceados, el contenido total de minerales está estrechamente vinculado al aporte proveniente de las diversas materias primas utilizadas en la formulación, especialmente en el contexto de la alimentación de vacas lecheras, además, los minerales desempeñan un papel esencial en la fortificación ósea, así como en la regulación y el transporte de una amplia gama de nutrientes a través del sistema circulatorio. En relación a esta variable, se obtuvo que, el grupo B del bagazo muestra un valor más alto (7,04), en relación al grupo A de la *Lemna minor* (6,92) (Tabla 20), aunque este último es ligeramente menor que el contenido en el bagazo, este valor sigue siendo indicativo de la presencia de minerales esenciales.

Análisis de varianza para la variable pH

Tabla 15.

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Materias primas	9,19606	1	9,19606	5279,13	0,0000
B:Replicas	0,00942847	8	0,00117856	0,68	0,7032
RESIDUOS	0,0121938	7	0,00174196		
TOTAL (CORREGIDO)	9,73545	16			

La tabla 15 presenta que el tipo de materia prima (Bagazo y *Lemna minor*) influye sobre el pH, ya que, se observa diferencia significativa, mientras que, las réplicas no muestran diferencia significativa, lo que indica que existe uniformidad en la toma de datos. De acuerdo con la tabla 20, para esta variable se generaron dos grupos independientes, el grupo A de la *Lemna minor* mostró una media 5,94 y el grupo B del bagazo presentó un valor de 7,46.

El pH es una variable de importancia crítica en la calidad de los alimentos, ya que es un indicador fundamental de la acidez o alcalinidad de una sustancia y puede tener un impacto significativo en la digestión y la asimilación de nutrientes por parte de los animales (Frossasco-Davicini & Elizondo-Salazar, 2020). Respecto a esta variable se obtuvo que, el grupo B del bagazo muestra un valor más alto (7,46), en relación al grupo A de la *Lemna minor* (5,94) (Tabla 20), estas diferencias pueden reflejar distintos aspectos de las materias primas, tales como sus propiedades químicas y composición, en el caso de la *Lemna minor* se han reportado que, en condiciones naturales, esta planta presenta valores de pH que oscilan entre 4,5 y 7 (Solano, Aguilar, Domínguez, Ramírez, & Aguilar, 2020).

Análisis de varianza para la variable muestra seca

Tabla 16.

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable muestra seca

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS					
PRINCIPALES					
A:Materias Primas	0,273006	1	0,273006	627,86	0,0000

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
B:Replicas	0,00217847	8	0,000272309	0,63	0,7374
RESIDUOS	0,00304375	7	0,000434821		
TOTAL (CORREGIDO)	0,290306	16			

La tabla 16 presenta que el tipo de materia prima (Bagazo y *Lemna minor*) influye sobre la cantidad de muestra seca, debido a que, se observa diferencia significativa, por otra parte, en las réplicas no existe diferencia significativa, lo que indica que existe homogeneidad en la recopilación de datos. Además, de acuerdo con la tabla 20 para esta variable se encontró la formación de dos grupos independientes donde el grupo A de la *Lemna minor* presentó un porcentaje de 90,50 y el grupo B del bagazo indicó un valor 90,76.

De acuerdo con Durán Castro & Kebreau (2011), resaltan que el consumo de materia seca juega un papel crucial en la producción de leche en relación con la ganancia de peso. Esta relación se debe a que el consumo de materia seca se basa en el peso corporal y el nivel de producción, lo que destaca su influencia directa en el rendimiento de los animales en términos de producción láctea y ganancia de peso. En cuanto a esta variable, se obtuvo que, el grupo B del bagazo muestra un valor más alto (90,76), respecto al grupo A de la *Lemna minor* (90,50) (Tabla 20), dicha diferencia puede estar relacionada con cantidad de agua presente en las materias primas analizadas (Durán Castro & Kebreau, 2011).

Análisis de varianza para la variable grasas

Tabla 17.

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable grasas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Materias Primas	24,8253	1	24,8253	89403,03	0,0000
B:Replicas	0,00444375	8	0,000555469	2,00	0,1882
RESIDUOS	0,00194375	7	0,000277679		
TOTAL (CORREGIDO)	26,2568	16			

La tabla 17 muestra que el tipo de materia prima (Bagazo y *Lemna minor*) influye sobre el porcentaje de grasas, ya que, se observa diferencia significativa, por otra parte, en las réplicas no existe diferencia significativa, lo cual indica uniformidad en la toma de datos. De acuerdo con la tabla 20 para esta variable se obtuvieron dos grupos independientes donde el grupo A de *Lemna minor* mostró un valor de 1,37 y el grupo B del bagazo presentó una media de 3,86.

Las grasas desempeñan un papel clave en la nutrición animal al proporcionar energía concentrada y nutrientes esenciales. Las grasas, una clase de lípidos, son sustancias insolubles en agua y solubles en disolventes no polares, como éter o alcoholes. Constituidas principalmente por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), las grasas difieren en composición de los glúcidos, pero ambas clases de biomoléculas cumplen funciones energéticas y estructurales en los sistemas biológicos. Las grasas actúan como una fuente de

energía concentrada y una reserva energética de alto rendimiento, superando tres veces la capacidad de los glúcidos para acumular energía. Además, las grasas también cumplen un papel estructural al depositarse entre los tejidos y órganos, contribuyendo a la integridad y funcionamiento del organismo (Yuquilema Atupaña, 2017). En relación a esta variable, se obtuvo que, el grupo B del bagazo muestra un valor más alto (3,86), en relación al grupo A de la *Lemna minor* (1,37) (Tabla 20), la diferencia entre estas materias primas sugiere que las proporciones y combinaciones de estos parámetros deben considerarse cuidadosamente en la formulación de piensos.

Análisis de varianza para la variable fibra

Tabla 18.

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable fibra

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS					
PRINCIPALES					
A:Materias Primas	220,745	1	220,745	2841778,6	0,0000
				5	
B:Replicas	0,000611806	8	0,0000764757	0,98	0,5148
RESIDUOS	0,00054375	7	0,0000776786		
TOTAL (CORREGIDO)	233,67	16			

La tabla 18 indica que el tipo de materia prima (Bagazo y *Lemna minor*) influye sobre la fibra, debido a que, se observa diferencia significativa, por otra parte, en las réplicas no existe diferencia significativa, lo que muestra que existe normalidad en la recopilación de datos. De

acuerdo con la tabla 20 para esta variable se obtuvieron dos grupos independientes donde el grupo A de la *Lemna minor* presentó una media 17,26 y el grupo B del bagazo mostró un valor de 24,69.

La fibra desempeña un papel crucial al definirse como los componentes vegetales de baja digestibilidad que estimulan la rumia y mantienen el equilibrio en el rumen. De acuerdo con Hernández Guzmán (2010), en muchos sistemas de producción de rumiantes, la fibra constituye el pilar fundamental de las raciones, contribuyendo de manera esencial al bienestar y al rendimiento del ganado. En cuanto a esta variable, se obtuvo que el grupo B del bagazo muestra un valor más alto (24,60%) en comparación al grupo A de la *Lemna minor* (17,26%) (Tabla 20), el contenido elevado de fibra en el bagazo es debido a que, el bagazo es una planta vascular a diferencia de la *Lemna minor* que no tiene estructura (Serrano Becerra, 2022).

Análisis de varianza para la variable proteína

Tabla 19.

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) DBCA para la variable proteína

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS					
PRINCIPALES					
A:Materias Primas	856,148	1	856,148	14982582,9	0,0000
				8	
B:Replicas	0,000888889	8	0,000111111	1,94	0,1981
RESIDUOS	0,0004	7	0,0000571429		
TOTAL (CORREGIDO)	906,648	16			

La tabla 19 presenta que el tipo de materia prima (Bagazo y *Lemna minor*) influye sobre la proteína, debido a que, se observa diferencia significativa, mientras que, en las réplicas no existe diferencia significativa, lo que indica que existe homogeneidad en la recopilación de datos. De acuerdo con la tabla 20 para esta variable se generaron dos grupos independientes donde el grupo A del bagazo indicó una media de 9,41 y el grupo B de la *Lemna minor* presentó un valor de 24,04.

El contenido de proteína es un aspecto crucial en la producción de piensos, incluso son el componente más buscado por los clientes en los alimentos balanceados debido a su valor nutricional (Rodríguez, 2003). Además, las proteínas desempeñan múltiples funciones, incluyendo la formación de tejidos, músculos, leche, pezuñas, aporte de energía y otros componentes vitales en los animales (Rodríguez, 2003). En relación a esta variable, se observó que el grupo A del bagazo muestra un valor más bajo (9,41) en comparación con el grupo B de la *Lemna minor* (24,04) (tabla 20), el contenido reducido de proteína en el bagazo se debe a que la caña de azúcar naturalmente carece de una cantidad significativa de proteínas, por ello, se recomienda utilizarlo exclusivamente como ración única, sino que, es necesario complementarlo con otras fuentes proteicas adicionales, para satisfacer las necesidades nutricionales de los animales de manera adecuada (Zambrano Rivadeneira, 2016).

Prueba de significancia de Tukey $p < 0,05$ para los tratamientos

Tabla 20.

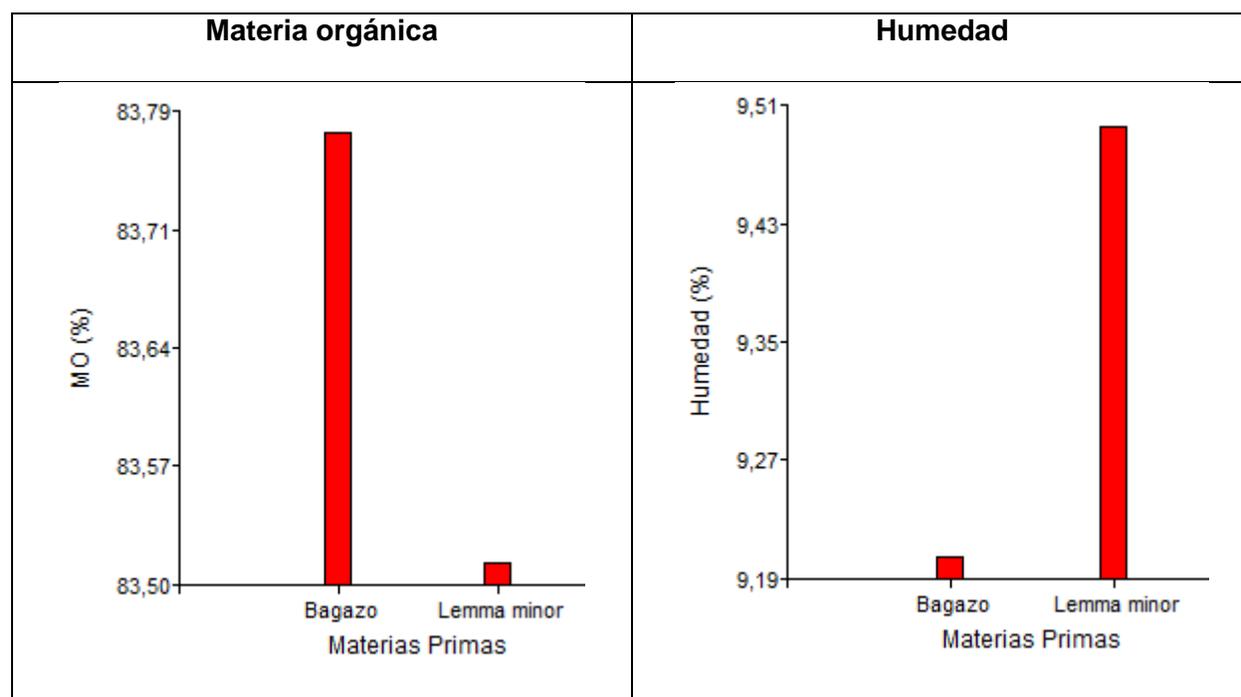
Resultados del análisis de Tukey $p < 0,05$ para los tratamientos en las variables de estudio

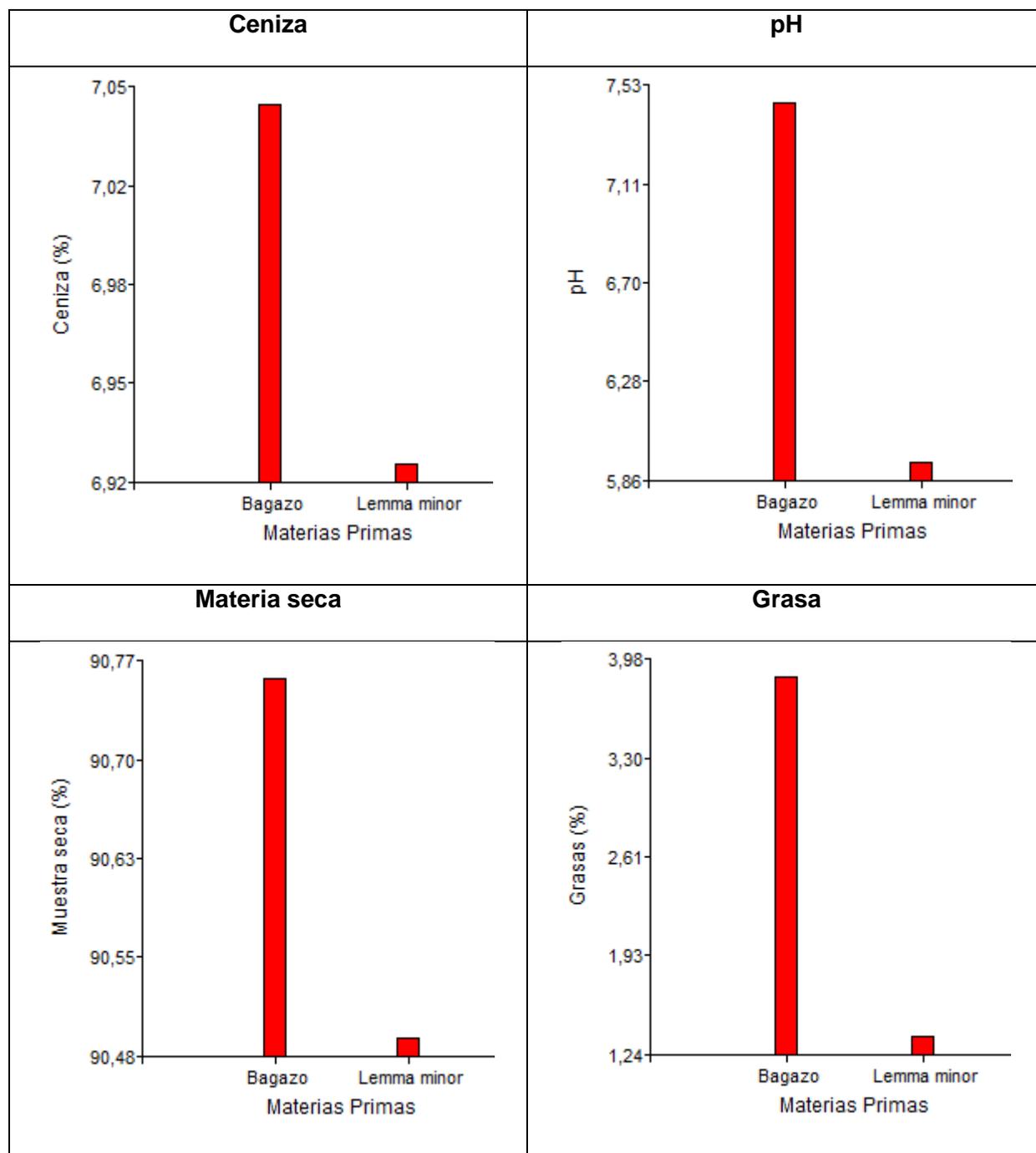
Materia prima	MO	Humedad	Ceniza	pH	MS	Grasas	Fibra	Proteína
Bagazo	83,77 ^B	9,20 ^A	7,04 ^B	7,46 ^B	90,76 ^B	3,86 ^B	24,69 ^B	9,41 ^A

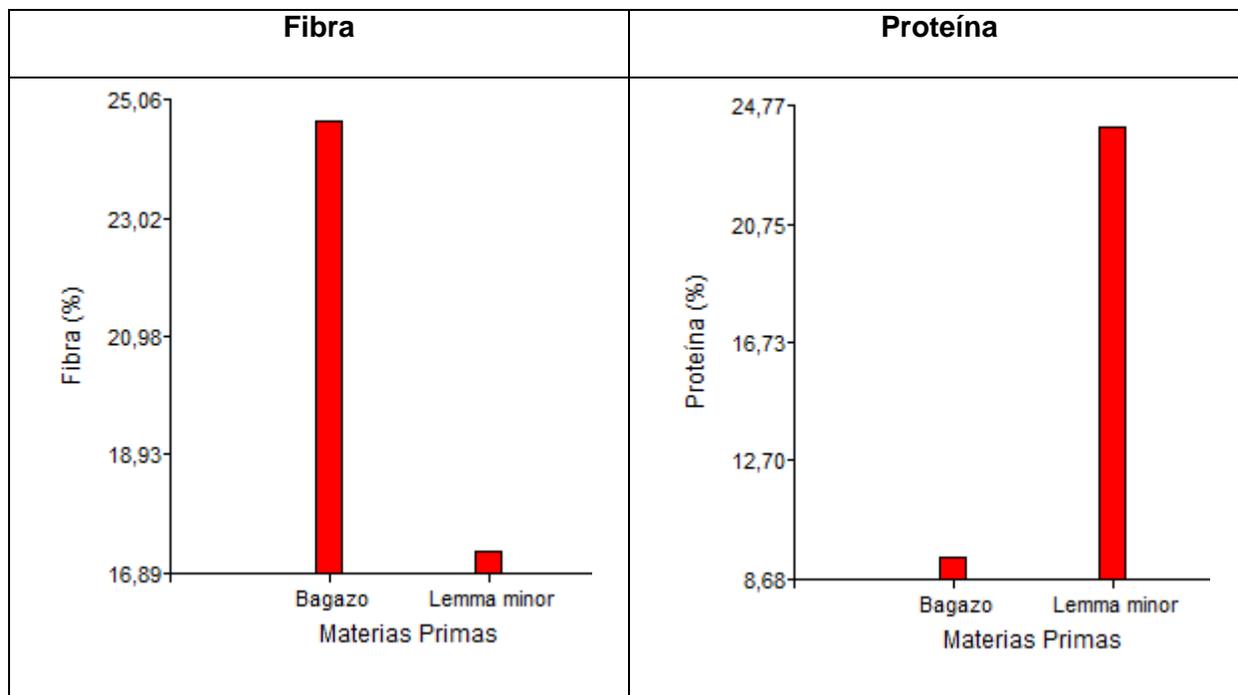
Materia prima	MO	Humedad	Ceniza	pH	MS	Grasas	Fibra	Proteína
Lemna	83,51 ^A	9,49 ^B	6,92 ^A	5,94 ^A	90,50 ^A	1,37 ^A	17,26 ^A	24,04 ^B
minor								

Figura 3.

Características fisicoquímicas de las materias primas







De las características fisicoquímicas de los piensos alimenticios

Como resultado de la mezcla de las materias primas (Bagazo y *Lemna minor*) más la melaza se obtuvo el pienso comercial que se muestra en la Figura 4.

Figura 4.

Pienso elaborado



Después de realizar el análisis fisicoquímico del balanceado alimenticio elaborado, se describen en la tabla los siguientes parámetros: contenido de materia orgánica (MO%), humedad, ceniza, pH, porcentaje de muestra seca, contenido de grasas, contenido de fibra y contenido de proteína.

Tabla 21.

Características fisicoquímicas del pienso elaborado y el pienso comercial

	Pienso alimenticio	Pienso comercial
MO%	81,61	85,50
Humedad%	10,89	13,00
Ceniza %	7,50	8,00
pH	4,46	4,90
Muestra seca %	90,79	90,10
Grasas %	2,28	2,50
Proteína	9,34	13,00
Fibra	15,50	11,00

La comparación de las características fisicoquímicas entre el pienso alimenticio elaborado con una composición de 70% de bagazo hidrolizado, 15% de melaza y 15% de *Lemna minor*, y el pienso comercial, indica la influencia de las materias primas y sus proporciones sobre la calidad nutricional de los piensos.

En cuanto a la materia orgánica (MO%), se observó que el pienso alimenticio tiene un contenido ligeramente menor de materia orgánica en comparación con el pienso comercial. De acuerdo con Serrano Becerra (2022), el bagazo, que forma parte importante del pienso

alimenticio, podría tener un impacto directo en este aspecto debido a su naturaleza fibrosa y su proceso de hidrólisis, lo que podría influir en el contenido de materia orgánica. Sin embargo, puede dar un plus al alimento al hacerlo más adecuado para mantener la movilidad del rumen, ya que esta es una parte crucial del sistema digestivo de estos animales (Nunez Torres, 2019)

Con relación a la humedad, se evidenció que el pienso alimenticio muestra un contenido de humedad más bajo que el pienso comercial, esto se debe a que tanto el bagazo como la *Lemna minor*, mostraron bajo contenido de agua podrían contribuir a reducir la humedad total del pienso alimenticio.

Con respecto a la ceniza, estos valores son relativamente similares entre el pienso alimenticio y el comercial, con una ligera ventaja para el último. De acuerdo con Chachapoya Rivas (2014), las proporciones en las que se encuentran las materias primas influyen en estos valores ya que pueden contener minerales en diferentes porciones.

En cuanto al pH, el pienso alimenticio tiene un pH ligeramente más bajo en comparación con el pienso comercial, esto podría estar relacionado con la inclusión de bagazo hidrolizado y la presencia de compuestos ácidos en *Lemna minor*, ya que estos ingredientes podrían influir en la acidez del pienso y, por lo tanto, en su pH final, lo cual es un aspecto positivo ya que ayuda en la fermentación de los alimentos (Nunez Torres, 2019)

En relación con la muestra seca, se evidenció que ambos piensos tienen valores muy similares de muestra seca. De acuerdo con Durán Castro & Kebreau (2011), el nivel de materia seca en el alimento final se define por la cantidad de humedad presente en las materias primas que lo componen, lo que indica un aspecto positivo ya que reduce la proliferación de microorganismos (López, 2005)

Con respecto a grasa, se observa que el contenido de grasas en el pienso alimenticio es ligeramente menor que en el pienso comercial. De acuerdo con (Martín, 2004), la proporción

de melaza en la mezcla estaría influenciando en el contenido de grasas en el pienso alimenticio.

En cuanto a proteína, el pienso comercial tiene un contenido de proteína considerablemente mayor en comparación con el pienso alimenticio. Esto puede atribuirse a la proporción del 30% incluida de *Lemna minor*, ya que posee menor cantidad de proteína en comparación al bagazo.

En relación a la fibra, el contenido de fibra es notablemente mayor en el pienso alimenticio en comparación con el pienso comercial. Esto puede atribuirse al contenido incluido del bagazo, debido a que posee mayor cantidad de fibra.

Determinación de los azúcares en las materias primas y el pienso elaborado

La determinación de los azúcares en las materias primas y el pienso elaborado es un aspecto fundamental en la evaluación de la calidad y la composición de los alimentos balanceados. Los azúcares, como la sacarosa, la glucosa y la fructosa, desempeñan un papel crucial en la nutrición animal al aportar fuentes de energía y nutrientes esenciales. Se pueden usar métodos como cromatografía líquida de alta eficiencia, la cual incluyen una alta resolución para purificar mezclas, velocidad de análisis rápida (resultados en menos de una hora), alta sensibilidad para detectar concentraciones muy bajas y la capacidad de automatización. Además, esta técnica permite separar diferentes clases de compuestos como azúcares, ácidos orgánicos y alcoholes, en una sola separación (Túnez Fiñana & Muñoz, 2004).

En el caso del bagazo hidrolizado, el resultado de la identificación de azúcares se observa en la Figura 5, donde se evidenció la formación de dos picos y en la tabla 22 indica que corresponden a los azúcares dextranos y sacarosa, respectivamente.

Los cromatogramas obtenidos por el HPLC permitieron determinar la presencia de azúcares revelaron la presencia de dextranos y sacarosa en el bagazo. En este contexto Armas

& Ramón (2007), señalan que el contenido de sacarosa en la caña de azúcar varía según su etapa de crecimiento. Durante el período de desarrollo, alcanza un porcentaje del 35%, mientras que en la etapa de maduración puede llegar a contener hasta el 65%. Por otro lado, según Cuddihy, Porro, & Raud (2001), los dextranos no son compuestos comunes a la caña de azúcar; su presencia en la caña es mínima. Además, de acuerdo con (Morales Ortiz, 2022), la presencia de dextranos, se debe al desarrollo del microorganismo *Leuconostoc mesenteroides*, los cuales tienen la capacidad de metabolizar la sacarosa y dan como resultado la producción de dextranos.

Figura 5.

Análisis de azúcares en el bagazo hidrolizado

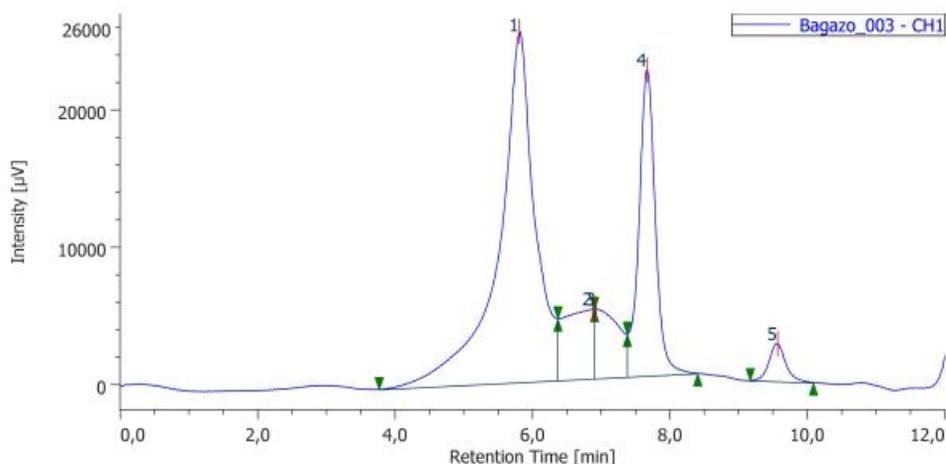


Tabla 22.

Resultados de la identificación de azúcares en el bagazo hidrolizado

#	Peak Name	CH	tR [min]	Area [µV·sec]	Area%	Quantity	Corrected Quantity
1	DEXTRANAS	1	5.808	939703	57.350	6.66031 [%]	6.66031
2	Unknown	1	6.875	154313	9.418	N/A	N/A
3	Unknown	1	6.925	122123	7.453	N/A	N/A
4	SACAROSA	1	7.667	374546	22.858	2.50045 [%]	2.50045
5	Unknown	1	9.567	47862	2.921	N/A	N/A
Total				1638547		9.16076	9.16076

Con respecto a la *Lemna minor*, el resultado de la identificación de azúcares reductores se observa en la Figura 6, donde se evidenció la formación de picos cromatográficos y en la tabla 23 indica que corresponden a los azúcares dextranos y fructosa, respectivamente.

Los resultados obtenidos en relación a la materia prima *Lemna minor* han revelado la existencia de dextranas y fructosa. De acuerdo con García Albornoz (2006), la presencia de fructosa se extiende por las hojas de diversas plantas, incluidas las acuáticas, lo cual es una característica distintiva de esta planta.

Figura 6.

Análisis de azúcares en la Lemna minor

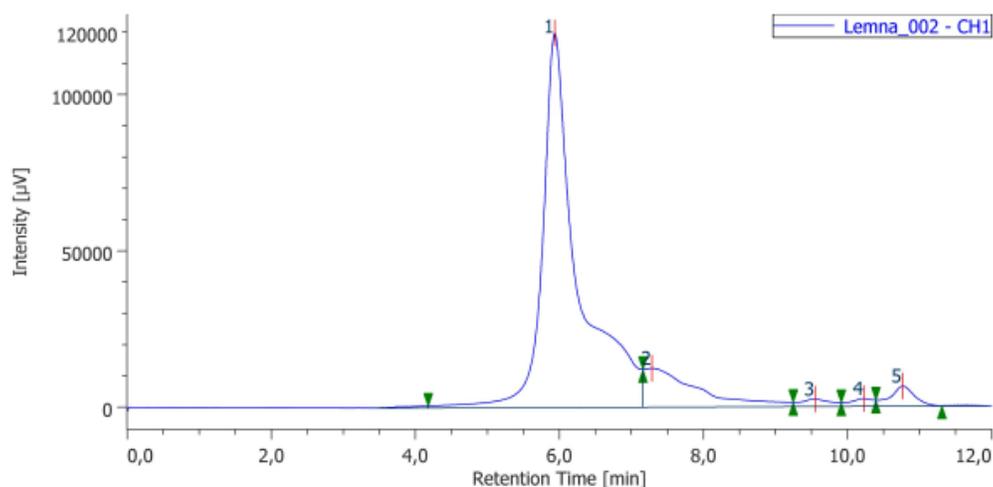


Tabla 23.

Resultados de la identificación de azúcares en el bagazo hidrolizado

#	Peak Name	CH	tR [min]	Area [µV·sec]	Area%	Quantity	Corrected Quantity
1	DEXTRANAS	1	5.933	4061317	81.637	28.8943 [%]	28.8943
2	Unknown	1	7.283	641322	12.891	N/A	N/A
3	Unknown	1	9.550	67903	1.365	N/A	N/A
4	FRUCTOSA	1	10.225	54223	1.090	0.235763 [%]	0.235763
5	Unknown	1	10.758	150068	3.017	N/A	N/A
Total				4974833		29.1301	29.1301

En relación con el pienso alimenticio elaborado con Bagazo, *Lemna minor* y melaza, el resultado de la identificación de azúcares reductores se observa en la Figura 7, donde se evidenció la formación de picos cromatográficos y en la tabla 24 indica que corresponden a los azúcares dextranos, sacarosa, glucosa y fructosa, respectivamente.

Por último, con relación a los resultados del pienso alimenticio elaborado, se identificó la presencia de dextranos, sacarosa, glucosa y fructosa. La aparición de la glucosa podría atribuirse al empleo de melaza en la elaboración del pienso, además mencionar que este insumo fue utilizado debido a que cumple la función de aglutinante debido a su capacidad para retrasar el proceso de endurecimiento del producto (Zambrano Rivadeneira, 2016).

Figura 7.

Análisis de azúcares en el pienso alimenticio

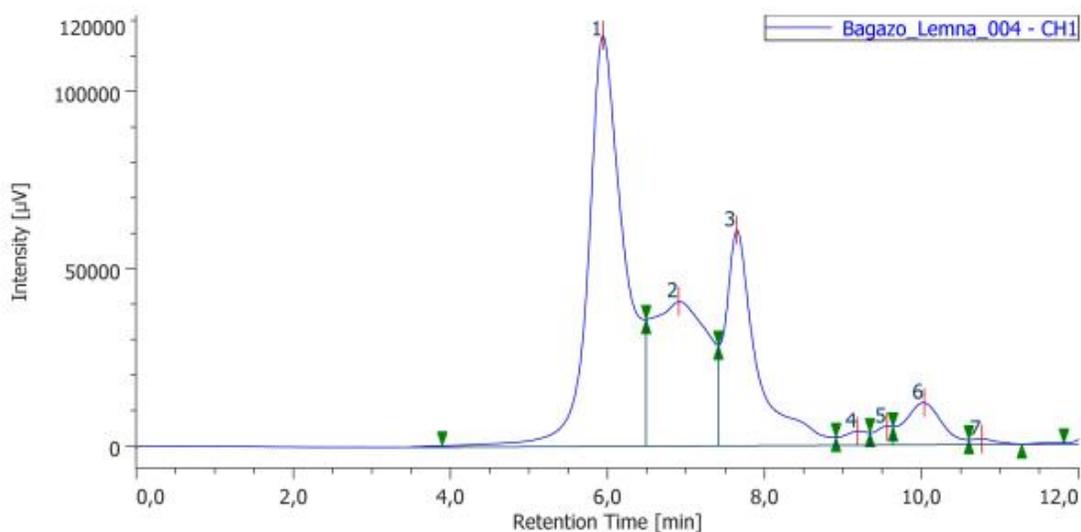


Tabla 24.

Resultados de la identificación de azúcares en el pienso alimenticio

#	Peak Name	CH	tR [min]	Area [μ V·sec]	Area%	Quantity	Corrected Quantity
1	DEXTRANAS	1	5.942	3674886	44.203	26.1419 [%]	26.1419
2	Unknown	1	6.908	1998425	24.038	N/A	N/A
3	SACAROSA	1	7.642	1721893	20.712	9.64703 [%]	9.64703
4	GLUCOSA	1	9.183	86350	1.039	0.494645 [%]	0.494645
5	Unknown	1	9.558	80714	0.971	N/A	N/A
6	FRUCTOSA	1	10.033	387467	4.661	2.06179 [%]	2.06179
7	Unknown	1	10.767	36518	0.439	N/A	N/A
8	Unknown	1	12.267	327390	3.938	N/A	N/A
Total				8313643		38.3454	38.3454

Capítulo VI

Conclusiones

De las características fisicoquímicas de las materias primas utilizadas en la elaboración del pienso

El análisis de las características fisicoquímicas de las materias primas empleadas en la elaboración de piensos proporciona información esencial sobre su composición nutricional y su posible impacto en la salud y el rendimiento de los animales. Aspectos como la materia orgánica, humedad, ceniza, pH, muestra seca, grasas, proteína y fibra son factores críticos que influyen en la calidad y el valor nutricional de los piensos.

Las materias primas, como el bagazo y la *Lemna minor*, exhiben diferencias sutiles en términos de materia orgánica, humedad y ceniza. Estas variaciones pueden ser atribuidas a las composiciones intrínsecas de las materias primas y sus métodos de procesamiento. Las diferencias observadas en pH sugieren posibles variaciones en las propiedades químicas y la naturaleza ácida o alcalina de las materias primas. Además, el contenido de muestra seca, grasas, proteína y fibra varía según las materias primas utilizadas, lo que subraya la importancia de seleccionar ingredientes que satisfagan los requisitos nutricionales deseados en la formulación de piensos.

Comparación de las características fisicoquímicas del pienso alimenticio y el pienso comercial

La comparación de las características fisicoquímicas entre el pienso alimenticio y el comercial resalta cómo las distintas materias primas y sus proporciones afectan la composición y calidad nutricional de los piensos. Las diferencias en materia orgánica, humedad, ceniza, pH, muestra seca, grasa, proteína y fibra entre los dos tipos de piensos demuestran cómo las

elecciones de ingredientes y formulaciones influyen en la calidad final de los productos alimenticios para animales.

Determinación de los azúcares reductores en las materias primas y el pienso elaborado

Los resultados obtenidos mediante HPLC en la determinación de azúcares reductores arrojaron información valiosa sobre las materias primas y el pienso elaborado. En el caso del bagazo, se identificaron dextranos y sacarosa, con fluctuaciones en el contenido de sacarosa según la etapa de crecimiento de la caña de azúcar, la presencia de dextranos fue mínima y atípica en la caña. En cuanto a la *Lemna minor*, se encontraron dextranos y fructosa, destacando la presencia característica de fructosa en hojas de plantas acuáticas.

En el pienso alimenticio elaborado, se detectaron dextranos, sacarosa, glucosa y fructosa. La presencia de glucosa se atribuye al uso de melaza como aglutinante en el pienso. Estos hallazgos subrayan la importancia de la composición de las materias primas y su influencia en la composición final del pienso.

Recomendaciones

Realizar calibraciones y validaciones adecuadas de los métodos analíticos utilizados para asegurar la exactitud y repetibilidad de los resultados obtenidos. Esto es esencial para garantizar que los valores reportados sean representativos de la realidad.

Mantener un programa de monitoreo constante para evaluar cualquier cambio en las características fisicoquímicas y la calidad nutricional de los piensos. Esto permitirá hacer ajustes a medida que se obtenga nueva información.

Utilizar los resultados para ajustar la formulación de los piensos y mejorar su calidad nutricional.

Evaluar cómo los resultados impactan los costos de producción y la relación costo-beneficio. Tomar decisiones equilibradas que optimicen la calidad del pienso y la eficiencia de la producción.

Realizar futuras investigaciones, donde se estudie la digestibilidad del producto elaborado utilizando modelos in vivo. Estos modelos implican la realización de experimentos en organismos vivos para analizar cómo se descompone y absorbe el producto en el tracto digestivo.

Bibliografía

- Aguilar Novillo, S., Enriquez Estrella, M., & Uvidia Cabadiana, H. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Científica de docencia, investigación y proyección social*, 5-11.
- Aramayo Lucana, J. (2019). OBTENCIÓN DE CERA REFINADA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) A PARTIR DE CACHAZA GENERADA EN EL INGENIO AZUCARERO DE BERMEJO (I.A.B.S.A.) TARIJA (BOLIVIA). *Proyecto de Grado (Modalidad, Investigación aplicada)*.
- Armas, F. M., & Ramón, Á. B. (2007). "RENDIMIENTO AGRO INDUSTRIAL EN LA PRODUCCION DE PANELA GRANULADA DE VARIEDADES CERTIFICADAS DE CAÑA DE AZÚCAR, (*Saccharum officinarum*) DE ORIGEN CUBANO Y NACIONALES SEMBRADAS DESDE LOS 400 HASTA LOS 1 000 M.S.N.M. EN LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO. Obtenido de ASOCAP.
- Burbano E, L., & Rincon E, C. (2019). Sugar cane and by-products of the sugar agro-industry in ruminant feeding: A review. *Agronomia Mesoamericana* , 30(9), 917-934.
- BURGI, R. (1985). *Produção de bagaço de cana-de-açúcar auto-hidrolisado e avaliação do seu valor nutritivo para ruminantes.*[Tesis de Maestría]. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- Caravaca Rodríguez, F. (2015). *Bases para la alimentación animal*. Obtenido de http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/bases_para_la_alimentacion_animal.pdf.
- Castillo Avilez, F. A. (2022). *Aislamiento e identificación molecular de mohos y levaduras procedentes del material lignocelulósico de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) recolectado en el área de los molinos del Ingenio Azucarero del Norte*[Tesis de

- pregrado*]. ESPE. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/29683/1/T-ESPE-052359.pdf>
- CENGICAÑA. (2014). *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. (M. Melgar, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, & R. y Espinosa, Edits.) Guatemala: Litografías Modernas S.A. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20170103101309141.pdf>
- Chachapoya Rivas, D. L. (2014). *Producción de alimentos balanceado en una planta procesadora en el Cantón Cevallos [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]*. Repositorio institucional.
- Chamorro Usca, J. (2021). EVALUACION DE DIFERENTES NIVELES DE HARINA DE LENTEJA DE AGUA (Lemna minor) EN LA ALIMENTACION DE TILAPIA ROJA (Oreochromis sp) EN LA ETAPA DE ALEVINAJE.
- Cuddihy, J. A., Porro, M. E., & Raud, J. S. (2001). The presence of total polysaccharides in sugar production and methods for reducing their negative effects. *Journal American Society of Sugar Cane Technologists*, 73 - 91.
- D'ARCE, R. e. (1985). Avaliação do valor nutritivo de bagaço de cana-de-açúcar tratado biologicamente. . *Revista da Agricultura*, 17-24.
- Dezi, F. C. (2010). Alimentos Balanceados, Formulación de Raciones, Núcleos y Premezclas. 1, 6, 13.
- Durán Castro, F., & Kebreau, J. R. (2011). Análisis comparativo nutricional y económico de tres alimentos balanceados para vacas lecheras de alta producción [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana]. *Repositorio institucional*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/6a98ca2c-2e9a-4ba2-b556-38aecbe55aa4/content>

- Frossasco-Davicini, G. P., & Elizondo-Salazar, J. A. (2020). Efecto de distintas dietas sobre el tiempo de rumia durante el periodo de predestete en reemplazos de lechería. *Nutrición Animal Tropical*, 14(1), 50-74. doi:10.15517/nat.v14i1.42581
- GAD Ambuquí. (2019-2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Obtenido de GADAMBUQUI: <https://gadambuqui.gob.ec/wp-content/uploads/2022/09/PDOT-AMBUQUI-2019-2023.pdf>
- García Albornoz, M. A. (2006). *Determinación y caracterización de fructanos provenientes de Henequén [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán]*.
- Gobierno Provincial de Imbabura. (2020). *Imbaburagob*. Obtenido de CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE CONSULTORÍA DE LA AGENDA PRODUCTIVA DE LA PROVINCIA DE IMBABURA: <https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/agenda-productiva/diagnostico-sector-productivo/diagnostico-sector-productivo-primario-secundario-y-terciario.pdf>
- Guerra Merizalde , F. (2005). *Control de calidad en el proceso de fabricación de alimento balanceado extruido para especies acuícolas [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/458/1/964.pdf>
- Hernández Guzmán, S. (2010). Importancia de la fibra en la alimentación de los bovinos [Tesis de grado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. *Repositorio institucional*. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/5681/FM-VZ-M-2007-0008.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- INEC. (04 de 2023). *Encuesta de Superficie y producción agropecuaria continua ESPAC*. Obtenido de <https://aplicaciones3.ecuadorencifras.gob.ec/BIINEC-war/index.xhtml>

- Juárez, F., J. Vilaboa, & Díaz., P. (2009). *La caña de azúcar (Saccharum officinarum): una alternativa para la sustitución del maíz (Zea mays) en la alimentación de bovinos de engorda.*[Tesis de postgrado]. Universidad Veracruzana. Obtenido de https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/69-cana_azucar.pdf
- La hora. (23 de 07 de 2003). *Florícolas en quiebra*. Obtenido de la hora: <https://www.lahora.com.ec/noticias/flor-colas-en-quiebra/>
- Leon E, R., Bonifaz Garcia, N., & Gutierrez Leon, F. (2018). *Pastos y Forrajes del Ecuador. Siembra Y Producción de Pasturas*. Ecuador: Editorial Abya-Yala.
- MAG, M. d. (27 de 07 de 2022). *Luego de siete años aumenta el precio de la tonelada de caña de azúcar*. Obtenido de Gobierno del Ecuador: <https://www.agricultura.gob.ec/luego-de-siete-anos-aumenta-el-precio-de-la-tonelada-de-cana-de-azucar/#:~:text=Entre%202021%20y%202022%20en,40%20a%20este%20sector%20productivo>
- Mari, L. J., & Nussion, L. G. (2004). *Opções para hidrólise de cana-de-açúcar*. Obtenido de <https://www.beefpoint.com.br/opcoes-para-hidrolise-de-cana-de-acucar-18991/>
- Martín, P. (2004). La melaza en la alimentación del ganado vacuno. *Revista de investigación y difusión científica*, 8(3), 1 - 13. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/837/83708301.pdf>
- Monteros Guerrero, A., Sumba Lusero, E., & Salvador Sarauz, S. (2014). RODUCTIVIDAD AGRÍCOLA EN EL ECUADOR. *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP)*., 12.

- Morales, N., Arévalo, K., Ortega, J., Briceño, B., Andrade, C., & Morales, E. (2006). El pH y la fuente nitrogenada como moduladores del crecimiento de la macrófita *Lemna* sp. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(1), 70-83. Retrieved from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000100007&lng=es&nrm=iso
- Moreno, F. L. (2007). La Cana Panelera (*Saccharum Officinarum*) en La Alimentacion Del Ganado. *Panela Monitor*. Obtenido de www.panelamonitor.org/documents/353/la-cana-panelera-saccharum-officinarum-en-la-alime/download/
- Pachón, F., Tovar, G., Urbina, N., & Martínez, N. (2005). Uso de subproductos de caña panelera como suplemento alimenticio para ganado bovino y para evitar la contaminación ambiental. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 79-92.
- ProEcuador. (2018). *PRO ECUADOR*. Obtenido de <https://www.proecuador.gob.ec/alimentos-para-animales/>
- Riera, M., Maldonado, S., & Palma, R. (2018). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboracion de bioplasticos. *Revista Ingenieria Industrial*, 17(3), 227-247.
- Rodríguez, F. P. (2003). Bases de la producción animal. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Serrano Becerra, R. A. (2022). APOORTE NUTRITIVO DEL BAGAZO DE CAÑA ENRIQUECIDO COMO SUPLEMENTO EN LA ALIMENTACIÓN DE GANADO LECHERO [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. *Repositorio institucional*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16280/1/17T01695.pdf>

- Tache Rocha, K. C. (2020). *LENTEJA DE AGUA (Lemna minor); UNA PROMISORIA PLANTA CON POTENCIAL EN EL CUIDADO AMBIENTAL Y ALIMENTARIO PARA SERES HUMANOS Y ANIMALES*[Monografía de pregrado, Universidad del sinú. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unisinucartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/241/1/LENTEJA%20DE%20AGUA%20%28Lemna%20minor%29%3B%20UNA%20PROMISORIA%20PLANTA%20CON%20POTENCIAL%20EN%20EL%20CUIDADO%20AMBIENTAL%20Y%20ALIMENTARIO%20PARA%20SERES%20HUMANOS%20Y%20ANI>
- Túnez Fiñana , I., & Muñoz, M. (2004). Determinación de azúcares, productos de fermentación e inhibidores de fermentación por HPLC en un proceso de obtención de etanol lignocelulósico [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. *Repositorio institucional*. Obtenido de Universidad de Córdoba: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/4881/TESIS%20COMPLETA.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- VITTI, D. e. (1985). Tratamiento químico, físico e biológico do bagaço de cana-de-açúcar. *Comunicado Científico da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo*, 139-142.
- Yuquilema Atupaña, M. F. (2017). IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA (BPM's) EN LA PLANTA DE BALANCEADOS "CAMPO REAL" DEL CANTÓN PALLATANGA [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. *Repositorio institucional*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7749/1/17T1487.pdf>
- Zambrano Rivadeneira, J. A. (2016). Obtención de un bloque nutricional proteico a partir de torta de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*), bagazo y miel de caña de azúcar para la

alimentación suplementaria de novillas en crecimiento [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. *Repositorio institucional*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/13591/1/CD-6716.pdf>

Zambrano, J. G. (2015). *COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE OCHO VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum L.) EN RÍO VERDE, PROVINCIA DE SANTA ELENA*[Trabajo de titulación]. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/2741/UPSE-TIA-2015-037.pdf?sequence=1&isAllowed=y>