

**Evaluación de biotransformación del bagazo de caña de azúcar utilizando hongo lignícola
Pleurotus ostreatus para bovinos en Valledupar, Cesar**

Faviana Amaya Carvajalino

Asesor

Andrés Luciano Quintero Tovar

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Zootecnia

2024

Dedicatoria

A mis hijos, mi mayor fuente de inspiración y motivo de lucha diaria. Su amor, alegría y sueños me impulsan a seguir adelante y a demostrarles que con esfuerzo y dedicación todo es posible.

Este logro es también suyo, porque cada sacrificio tuvo como propósito construir un mejor futuro para ustedes.

A mi madre, por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y sus palabras de aliento en los momentos más difíciles. Gracias por enseñarme el valor de la perseverancia y por ser mi ejemplo de fortaleza y entrega.

A mi padre, quien, aunque ya no está físicamente, sigue presente en cada paso que doy. Su legado de esfuerzo, valores y enseñanzas vive en mí y ha sido una luz en este camino. Siempre recordaré sus palabras: "De un espino nace una rosa", una frase que me enseñó que, a pesar de las dificultades, siempre es posible florecer y alcanzar nuestros sueños. Este triunfo también es tuyo, porque en cada desafío sentí tu guía y tu amor eterno.

Con gratitud y amor, dedico este proyecto a ustedes.

Agradecimientos

En primer lugar, mi gratitud infinita al Dios vivo, Jesucristo, quien ha sido mi fortaleza en cada desafío, mi refugio en los momentos difíciles y la luz que ha guiado cada paso de este camino.

Sin su amor, su gracia y su infinita misericordia, este logro no habría sido posible. A él le entrego este triunfo, porque todo lo que soy y todo lo que he alcanzado se lo debo.

A mis docentes, quienes con paciencia, dedicación y entrega compartieron sus conocimientos y me guiaron en este proceso de aprendizaje. Gracias por su compromiso con la educación, por cada enseñanza impartida y por el tiempo dedicado a formar profesionales con valores y principios.

Y de manera muy especial, mi más profundo agradecimiento a mi mentor y amigo, Andrés Luciano Quintero Tovar. Más que un guía académico, has sido un pilar fundamental en la culminación de este proyecto. Tu apoyo incondicional, tu paciencia, tu sabiduría y tu confianza en mí han sido clave en este proceso. Gracias por cada consejo, por cada palabra de aliento y por demostrarme que, con esfuerzo y determinación, todo es posible. Este logro también es tuyo, porque sin tu guía y amistad, el camino habría sido mucho más difícil.

A todos los que, de una u otra forma, hicieron parte de este viaje, les expreso mi más sincero agradecimiento.

Resumen

Esta investigación se centra en la biotransformación del bagazo de caña de azúcar mediante el hongo lignícola *Pleurotus ostreatus*, con el objetivo de evaluar su eficacia en la reducción del contenido de fibra y mejorar la calidad nutricional del bagazo como alimento para rumiantes. Se realizaron dos tratamientos: uno con el bagazo sin tratar y otro con el bagazo tratado con *Pleurotus ostreatus*. Los resultados mostraron una reducción significativa del contenido de fibra en el bagazo tratado, pasando de una media de 66.5% en el grupo sin tratamiento a 19.93% en el grupo tratado, con un valor de prueba t de aproximadamente 39.2, lo que indica diferencias significativas entre ambos grupos. Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan la capacidad de *Pleurotus ostreatus* para degradar componentes lignocelulósicos, mejorando la digestibilidad y el valor nutricional de los subproductos agrícolas. Las implicaciones prácticas sugieren que el uso del bagazo de caña de azúcar tratado podría ser una alternativa sostenible en la alimentación de bovinos, contribuyendo a la reducción de costos y a la sostenibilidad en la producción ganadera, aunque se recomienda realizar estudios adicionales con muestras más grandes y un análisis más exhaustivo de otros parámetros nutricionales.

Palabras clave: Biotransformación, bagazo de caña de azúcar, *Pleurotus ostreatus*, rumiantes, digestibilidad, sostenibilidad.

Abstract

This research focuses on the biotransformation of sugarcane bagasse using the lignicolous fungus *Pleurotus ostreatus*, aiming to evaluate its effectiveness in reducing fiber content and improving the nutritional quality of bagasse as a feed for ruminants. Two treatments were carried out: one with untreated bagasse and another with *Pleurotus ostreatus*-treated bagasse. The results showed a significant reduction in the fiber content of the treated bagasse, decreasing from an average of 66.5% in the untreated group to 19.93% in the treated group, with a t-test value of approximately 39.2, indicating significant differences between both groups. These findings align with previous research highlighting the ability of *Pleurotus ostreatus* to degrade lignocellulosic components, thereby improving the digestibility and nutritional value of agricultural by-products. The practical implications suggest that the use of treated sugarcane bagasse could represent a sustainable alternative for cattle feed, contributing to cost reduction and sustainability in livestock production, although further studies with larger samples and a more comprehensive analysis of other nutritional parameters are recommended.

Keywords: Biotransformation, sugarcane bagasse, *Pleurotus ostreatus*, ruminants, digestibility, sustainability.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Justificación	11
Planteamiento del Problema	13
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
Marco Teórico.....	15
Materiales y Métodos.....	18
Tipo de Investigación.....	18
Investigación Experimental	18
Origen de la Materia Prima y su Procesamiento.....	18
Preparación del Preinóculo	19
Análisis Nutricional:	19
Procedimiento de la Muestra	19
Extracción con Acido.....	20
Lavado con H ₂ O Destilada.....	20
Extracción con Hidróxido de Sodio.....	20
Lavados.....	21
Secado.....	21
Análisis Estadístico.....	26
Planteamiento de las Hipótesis	26
Recolección de Datos.....	26

Calcular Estadísticas Descriptivas	26
Calcular las Desviaciones Estándar	26
Realizar la Prueba t	27
Comparar con el Valor Crítico.....	29
Interpretación	29
Análisis y Discusión de Resultados	30
Grupo A (Sin tratamiento):	30
Grupo B (Con hongo):	30
Conclusiones.....	33
Recomendaciones	34
Referencias Bibliográficas	35

Listado de tablas

Tabla 1. *Datos para la determinación de fibra cruda después de 20 días de la aplicación del hongo Pleurotus ostreatus al bagazo de caña.....20*

Tabla 2. *Datos para la determinación de fibra cruda después de 30 días de la aplicación del hongo Pleurotus ostreatus al bagazo de caña.....21*

Tabla 3. *Datos para la determinación de fibra cruda después de 40 días de la aplicación del hongo Pleurotus ostreatus al bagazo de caña.....22*

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Estabilización de la humedad en la muestra</i>	39
Apéndice B <i>Bagazo inoculado con hongo Pleurotus</i>	40
Apéndice C <i>Determinación de fibra en laboratorio</i>	41

Introducción

La búsqueda de alternativas sostenibles para la alimentación animal ha llevado a un creciente interés en el uso de subproductos agroindustriales, como el bagazo de caña de azúcar, en la dieta de rumiantes. Esta materia prima, que generalmente se considera un residuo, posee un alto potencial nutritivo, pero su aprovechamiento es limitado debido a su composición fibrosa y su baja digestibilidad (González et al., 2015; Martínez et al., 2016). En este contexto, la biotransformación se presenta como una estrategia innovadora para mejorar las características nutricionales del bagazo, facilitando su incorporación en la dieta de bovinos (García et al., 2018). El hongo lignícola *Pleurotus ostreatus* ha demostrado ser un agente eficaz en la degradación de lignocelulosa, gracias a su capacidad para producir enzimas que descomponen componentes estructurales de la biomasa vegetal (Castaño et al., 2017; Pérez et al., 2019). Este hongo no solo mejora la digestibilidad del material tratado, sino que también puede enriquecer el bagazo con compuestos bioactivos y proteínas, lo que potencialmente incrementa su valor nutricional (López et al., 2020). El presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficacia de la biotransformación del bagazo de caña de azúcar mediante la acción de *Pleurotus ostreatus*. Se analizarán los cambios en la composición química, la digestibilidad in vitro y la viabilidad de su uso como suplemento en la dieta de bovinos. Los resultados de esta investigación no solo contribuirán al aprovechamiento eficiente de los recursos agrícolas, sino que también promoverán prácticas más sostenibles en la ganadería, alineadas con las demandas actuales de producción responsable y conservación ambiental (Martínez et al., 2021; Rodríguez & Silva, 2022).

Justificación

La utilización del bagazo de caña en la alimentación de rumiantes es un tema de gran relevancia debido a su potencial como fuente económica y sostenible de alimento (González et al., 2016; Silva et al., 2018). Este proyecto buscará explorar cómo el bagazo de caña, un subproducto de la industria azucarera, puede ser aprovechado como una alternativa nutricional para rumiantes, contribuyendo así a reducir los costos de alimentación y a la sostenibilidad ambiental (García et al., 2017). La justificación para llevar a cabo este proyecto radica en la necesidad de abordar problemas claves en la industria ganadera y agroindustrial, así como en la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes para mejorar la utilización de recursos disponibles (Martínez et al., 2020). A continuación, se detallan los puntos claves que respaldan la importancia y relevancia de este proyecto:

El bagazo de caña de azúcar es un subproducto abundante de la industria azucarera que, en gran medida, se desaprovecha. Su valor nutricional subutilizado representa una oportunidad para transformarlo en un recurso valioso en la alimentación animal, reduciendo el desperdicio y fomentando la economía circular (Pérez et al., 2019; López et al., 2020).

La biotransformación del bagazo de caña de azúcar mediante un hongo lignícola, buscando mejorar la fibra y aumentar la disponibilidad de nutrientes esenciales, lo que podría resultar en un alimento más equilibrado y de mayor calidad para el ganado bovino (Rodríguez et al., 2017; Sánchez et al., 2021).

Al utilizar subproductos agrícolas como el bagazo de caña de azúcar en la alimentación animal, se promueve una mayor sostenibilidad ambiental al reducir la necesidad de recursos

adicionales y disminuir la generación de desechos. Esto puede contribuir a la reducción de la huella ambiental asociada con la producción ganadera (Martínez & Torres, 2018; Gómez et al., 2019).

La optimización de la utilización del bagazo de caña de azúcar biotransformado como alimento para bovinos podría mejorar la eficiencia alimenticia, la salud y el rendimiento del ganado. Esto tendría un impacto positivo en la productividad y rentabilidad de las operaciones ganaderas, al tiempo que se reducirían los costos asociados con la alimentación animal (Fernández et al., 2020; Hernández & González, 2022).

Este proyecto representa una oportunidad para explorar nuevas estrategias de alimentación animal basadas en la biotransformación de residuos agrícolas, lo que fomenta la innovación, el desarrollo tecnológico y la implementación de prácticas más sostenibles en el sector agropecuario (Castaño et al., 2017; Rodríguez & Silva, 2021).

Por consiguiente, la realización de este proyecto no solo aborda desafíos actuales en la producción ganadera y agroindustrial, sino que también representa una oportunidad para promover prácticas más sostenibles, mejorar la eficiencia en el uso de recursos y contribuir al desarrollo de soluciones innovadoras en la alimentación animal (González et al., 2016; Pérez et al., 2019).

Planteamiento del Problema

El bagazo de caña, es un subproducto abundante de la industria azucarera, este subproducto posee un potencial nutricional valioso que podría ser aprovechado en la alimentación de rumiantes, sin embargo, a pesar de su disponibilidad y potencial, existen limitaciones y desafíos en su utilización efectiva como alimento animal, estos desafíos podrían incluir la falta de información detallada sobre su composición nutricional, los métodos óptimos de procesamiento para mejorar su digestibilidad, y su impacto en la salud y el rendimiento de los rumiantes, por lo tanto, es crucial investigar de manera sistemática y detallada la viabilidad y los beneficios de incorporar el bagazo de caña en la dieta de rumiantes, así como abordar los posibles obstáculos que podrían surgir en este proceso.

El presente proyecto de investigación se enfoca en evaluar el impacto de la biotransformación del bagazo de caña de azúcar mediante un hongo lignícola en términos de su composición química, digestibilidad y valor nutricional para el ganado bovino. Se buscará determinar cómo esta biotransformación afecta la concentración de nutrientes clave, la presencia de compuestos anti nutricionales y la fibra dietética, con el objetivo de optimizar la utilización de este residuo en la alimentación bovina. En este contexto, se plantea la necesidad de evaluar el potencial de un hongo lignícola para biotransformar el bagazo de caña de azúcar, mejorando su valor nutricional y facilitando su utilización como alimento para bovinos. En resumen, este proyecto pretende estudiar los efectos de la dieta enriquecida con el bagazo biotransformado con el fin de evaluar su viabilidad como una alternativa nutricional sostenible y económicamente viable en la producción ganadera contribuyendo al desarrollo de estrategias innovadoras para mejorar la eficiencia de la cadena alimentaria, reducir el desperdicio de recursos y promover prácticas más sostenibles en el sector ganadero

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la eficacia del hongo *Pleurotus ostreatus* en la biotransformación del bagazo de caña de azúcar para mejorar su valor nutricional como alimento para bovinos.

Objetivos Específicos

Evaluar el papel ejercido por los hongos lignícolas en la degradación de la lignina presentes en el bagazo de caña de azúcar

Determinar la capacidad de mejorar la digestibilidad y calidad nutricional del sustrato utilizado hongos lignícolas

Minimizar el impacto ambiental por la incorrecta disposición final de los residuos de la caña de azúcar como lo es el bagazo

Marco Teórico

(Salazar, 2017, p. 1), mediante un artículo manifiesta que la caña de azúcar conserva una fortaleza cuando es suministrada como forraje o como en este caso que se utiliza uno de sus derivados en caso concreto el bagazo, esto con el propósito de proporcionárselo como alimento para los bovinos en zonas tropicales, manteniendo diversos beneficios, los mismos que están relacionados con otros cultivos, relacionado por su alta producción en biomasa lo cual mantiene un determinado parámetro de habituación ecológica o suelos con bajos nutrientes ocasionando que su valor nutritivo se mantenga por épocas considerables.

Este subproducto se conforma por varios vasos y bloques de fibra, células epiteliales, parénquimas y algunos elementos químicos tales como lo es la lignina, celulosa y hemicelulosa, lo cual brinda una oportunidad para desarrollo tecnológico, puesto que se lo emplea en diferentes biorrefinerías, es importante resaltar que el bagazo de caña de azúcar se encuentra compuesto por 25% de hemicelulosa, 50% de celulosa, y 25% de lignina, estos compuestos brindan una variación en su utilización, lo cual permite ser utilizado en distintos campos, como biocombustible o como sustrato para la elaboración de cultivos microbianos obteniendo productos con un gran valor en lo que corresponde a las proteínas para ser enriquecidas en la dieta para animales o también como ácidos orgánicos, enzimas y aminoácidos (Vázquez, 2018, p.3)

La utilización del bagazo de caña azúcar en la alimentación de Bovinos en épocas de verano, es recomendable realizarlo a través de diferentes métodos que beneficien el desarrollo nutricional y a su vez que sean oportunos a la hora de mejorar la digestión, estos tratamientos pueden ser con amonificación de urea (Bravo, 2019, p. 7).

(Castro, 2019, p. 927), describe que al incluir el bagazo de caña de azúcar como dieta o como fuente única de fibra o inclusive como para tratar de suplantar a otro alimento, este ha demostrado buenos indicadores, considerándose como un subproducto importante en el campo agroindustrial, debido a su alto contenido de fibra o por su elevado valor en el caso de la energía

El bagazo de caña de azúcar presenta un alto contenido de polímeros de carbohidratos (alrededor de 70%), bajo contenido de cenizas (entre 1- 5%) y bajo contenido de extractos solubles (entre 4-10% de acuerdo con las condiciones de cultivo) que podrían interferir en el pretratamiento y favorecer la generación de subproductos tóxicos (Benitez2019)

Según LAGOS, Elizabeth (2019), varios trabajos científicos han demostrado que los subproductos de la agroindustria del azúcar de caña se convierten en una muy buena alternativa para la obtención de productos para la nutrición animal utilizando diversas tecnologías, sin embargo, es muy importante profundizar en la investigación de la degradabilidad de la materia seca que contienen, por medio de procesos químicos, físicos y biológicos. De forma específica, el método biológico suele utilizar hongos lignícolas, los cuales son los mejores degradadores de lignina de la naturaleza (Qi-he, et al., 2011), Estos hongos utilizan enzimas con el fin de biodegradar la lignina, respecto a esto, los hongos *Pleurotus* spp. han recibido una atención especial debido a su valioso sistema enzimático, ellos son capaces de degradar y mineralizar eficazmente las biomásas lignocelulósicas de desechos agrícolas o forestales, que a diferencia de procesos desarrollados a escala industrial con este propósito (como la hidrotermólisis, la explosión de vapor o de fibras de amonio, o los pretratamientos químicos en que se utiliza hidróxido de sodio (NaOH), o ácidos como el clorhídrico (HCl), nítrico (HNO₃, o sulfúrico (H₂SO₄) que además de costosos son altamente contaminantes; brinda la ventaja de ser una proceso de pretratamiento biológico más sostenible para degradar la lignina de forma selectiva

en el que se produce CO₂ y H₂O, sin modificar y/o degradar en gran proporción la celulosa y hemicelulosa, evitando el desperdicio del forraje, al incrementar su calidad y valor nutricional, así como su digestibilidad, además de ser un método accesible para los pequeños productores pecuarios(Olivera, 2019),

Este pretratamiento utilizado en los forrajes mediante la acción de los hongos, es un proceso fundamental en lo que corresponde a la transformación de la biomasa lignocelulósica en azúcares fermentables, este proceso facilita la descomposición por parte de los microorganismos ruminales y, por lo tanto, representa potencialmente una tecnología de pretratamiento ecológica y energéticamente eficiente, la cual ofrece la ventaja de proporcionar forrajes de fácil digestión para los rumiantes, adicional a eso contribuye a reducir la cantidad de desechos que son acumulados o eliminados por otras vías, como la quema de esos desechos de cosecha en este caso el del bagazo de caña, procurando un mejor aprovechamiento y de bajo costo, lo que representa además un proceso más conservador del medio ambiente (Kowalcsyk, J.E, 2019)

Materiales y Métodos

Tipo de Investigación

Investigación Experimental: se realiza experimentos para observar los efectos del hongo en el bagazo de caña en referencia al contenido de fibra y su digestibilidad para la alimentación bovina. La metodología de investigación que se utilizó consiste en un método de investigación cualitativo el cual permite analizar diversidad de datos para así consolidar un producto que se enfoque en los propósitos de la investigación (Yanetsys, S. D. (s. f.)).

El modelo de investigación seleccionado nos permite trabajar un campo amplio, puesto que nos brinda el análisis de datos que involucran desde los componentes físico-químicos del bagazo de caña, su utilización y los posibles aprovechamientos como alternativa de alimentación bovina en épocas de verano.

Origen de la Materia Prima y su Procesamiento

La recolección del bagazo de caña se obtuvo de distribuidores independientes de jugo de caña, en el municipio de Bosconia Cesar, a esta materia prima se le dio un primer pretratamiento el cual consiste en exponerlo al sol hasta lograr una estabilidad referente a la humedad, la cual es reflejada en el peso constante de la muestra, este pretratamiento se realizó por 8 días, logrado la estabilidad de la muestra, posteriormente se procede a un segundo pretratamiento que consiste en moler la parte externa de bagazo (parte menos digestible), la muestra obtenida es evaluada en el laboratorio a través de los métodos AOAC, con el fin de obtener información sobre la fibra que contiene el bagazo de caña sin tratamiento.

Preparación del Preinóculo

Se procede a la aplicación del tratamiento con el hongo *Pleurotus ostreatus*, al bagazo de caña de azúcar se adiciona el 8% del hongo sobre el peso de la muestra, luego se procede a almacenar en bolsas ziploc durante 20 días, pasado ese tiempo se realiza el análisis en el laboratorio con el fin de evaluar que tan eficiente es el papel que juega el hongo *Pleurotus* en referencia a la fibra después de la aplicación del tratamiento

Análisis Nutricional:

Contenido de fibra antes de la biotransformación.

Para la determinación de la fibra Cruda o celulosa Cruda, se somete la muestra, sucesivamente, a dos ataques en caliente: primero por un ácido mineral diluido y después por una solución alcalina. El residuo así obtenido se denomina "celulosa Cruda" o "fibra Cruda". Los tratamientos aplicados

Solubilizan y/o hidrolizan casi la totalidad de los contenidos celulares (en particular las proteínas y las materias grasas), adicionalmente la celulosa, los pentosanos (hemicelulosas) y la lignina. Los Compuestos parietales solubilizados se integran, con los glúcidos solubles y el almidón, en los extractivos no nitrogenados.

Procedimiento de la Muestra

Tarar el crisol: Lavarlo, llevarlo a la estufa a 105C durante 3 horas.

Posteriormente se sacan de la estufa y se llevan al desecador por un tiempo de 10 min.

Pesarlos en Balanza analítica y se registra como W1 (Peso crisol tarado)

Pesar el crisol vacío (W1) adicionar + 1g de muestra molida y volver a pesar el conjunto (W2)

Llevar el crisol al extractor de fibra y montarlos en la plancha de calentamiento.

Extracción con Acido

Ajustar crisoles en el aparato Velp Scientific r

Adicionar 150 ml de H2504 ácido Sulfúrico 1.25 % y 5 gotas de alcohol amílico (antiespumante)

Tapar y programar T* y tiempo (30 min).

Lavado con H2O Destilada

Al finalizar el tiempo, apagar la plancha de calentamiento.

Extraer el reactivo utilizando el modo "VACUM"

Luego adicional 25 ml de H2O destilada caliente a los crisoles por las paredes del tubo alargado.

Agitar con "PRESSURE"

Evacuar y repetir el lavado

Extracción con Hidróxido de Sodio

Precalear solución de NaOH 1.25 % en plancha de calentamiento.

Adicionar 150 ml de NaOH 1.25% a cada crisol junto con 5 gotas de alcohol amílico

Extraer por 30 minutos

Evacuar residuo "VACUM"

Lavados

Lavar dos veces con 25ml de H₂O destilada caliente los crisoles por las paredes del tubo agitar y evacuar el residuo

Realiza un último lavado con 25ml de acetona fría, agitar y evacuar

Secado

Sacar crisoles con pinzas

Llevarlos a la estufa durante 1 hora y ½, a una temperatura de 105°C

Pesamos en la balanza analítica los crisoles más residuo y el peso lo registramos como W3

Formula

$$Fc = (w3 - w1) / (w2 - w1) * 100$$

Tabla 1

Datos para la determinación de fibra cruda después de 20 días de la aplicación del hongo

Pleurotus ostreatus al bagazo de caña

Materia prima	Indicadores		
	Peso crisol	Peso crisol + muestra molida	Peso crisol +residuo
	W1	W2	W3

T 1			
Bagazo de caña sin el hongo	16.84	17.91	17.53
T 2			
Bagazo de caña inoculado con el hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	31.5738	32.6338	31.787

Nota. Datos obtenidos en cada uno de los pasos para determinar la fibra cruda pasados 20 días del tratamiento. *Fuente.* Faviana Amaya

Teniendo en cuenta los datos, reemplazamos la formula y obtenemos lo siguientes resultados:

Contenido de fibra cruda del Bagazo de caña sin el hongo *Pleurotus ostreatus* es del 64.4%

Contenido de fibra cruda del Bagazo de caña inoculado con el hongo *Pleurotus ostreatus* es del 20.1%

Tabla 2

Datos para la determinación de fibra cruda después de 30 días de la aplicación del hongo

Pleurotus ostreatus al bagazo de caña

Materia prima	Indicadores		
	Peso crisol	Peso crisol + muestra molida	Peso crisol +residuo
	W1	W2	W3
T 1			
Bagazo de caña sin el hongo	15.04	16.08	15.733
T 2			
Bagazo de caña inoculado con el hongo <i>Pleurotus</i> <i>ostreatus</i>	31.4738	32.5338	31.685

Nota. Datos obtenidos en cada uno de los pasos para determinar la fibra cruda pasados 30 días del tratamiento. *Fuente.* Amaya, C. F (2024)

Teniendo en cuenta los datos, reemplazamos la formula y obtenemos lo siguientes resultados:

Contenido de fibra cruda del Bagazo de caña sin el hongo *Pleurotus ostreatus* es del 66.6%

Contenido de fibra cruda del Bagazo de caña inoculado con el hongo *Pleurotus ostreatus* es del 19.9%

Tabla 3

Datos para la determinación de fibra cruda después de 40 días de la aplicación del hongo Pleurotus ostreatus al bagazo de caña

Materia prima	Indicadores		
	Peso crisol	Peso crisol + muestra molida	Peso crisol +residuo
	W1	W2	W3
T 1			
Bagazo de caña sin el hongo	15.04	16.08	15.753
T 2			
Bagazo de caña inoculado con el hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	31.2738	32.352	31.487

Nota. Datos obtenidos en cada uno de los pasos para determinar la fibra cruda pasados 40 días del tratamiento. *Fuente.* Faviana Amaya

Teniendo en cuenta los datos, reemplazamos la formula y obtenemos lo siguientes resultados:

Contenido de fibra cruda del Bagazo de caña sin el hongo *Pleurotus ostreatus* es del 68.5%

Contenido de fibra cruda del Bagazo de caña inoculado con el hongo *Pleurotus ostreatus* es del 19.8%

Análisis Estadístico

Planteamiento de las Hipótesis

Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa en la cantidad de fibra entre el bagazo de caña sin tratamiento y el bagazo de caña tratado.

Hipótesis alternativa (H1): Hay una diferencia significativa en la cantidad de fibra entre los dos tratamientos.

Recolección de Datos

Grupo A (sin tratamiento): 64.4%, 66.6%, 68.5%

Grupo B (con hongo): 20.1%, 19.9%, 19.8%

Calcular Estadísticas Descriptivas

Calcular las Medias

$$\text{Media A} = \frac{64.4 + 66.6 + 68.5}{3} = \frac{199.5}{3} \approx 66.5$$

$$\text{Media B} = \frac{20.1 + 19.9 + 19.8}{3} = \frac{59.8}{3} \approx 19.93$$

Calcular las Desviaciones Estándar

Para calcular la desviación estándar (SD) de cada grupo, utiliza la fórmula:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(X - \text{media})^2}{n - 1}}$$

Grupo A:

1. $(64.4 - 66.5)^2 = 4.41$
2. $(66.6 - 66.5)^2 = 0.01$
3. $(68.5 - 66.5)^2 = 4.0$

$$SD_A = \sqrt{\frac{4.41 + 0.01 + 4.00}{3 - 1}} = \sqrt{\frac{8.42}{2}} \approx 2.05$$

Grupo B:

1. $(20.1 - 19.93)^2$
2. $(19.9 - 19.93)^2$
3. $(19.8 - 19.93)^2$

$$SD_B = \sqrt{\frac{0.0289 + 0.009 + 0.0169}{3 - 1}} = \sqrt{\frac{0.0467}{2}} \approx \sqrt{0.02335} \approx 0.153$$

Realizar la Prueba t

a. Fórmula para la prueba t

La fórmula para la prueba t para muestras independientes es:

$$t = \frac{M_A - M_B}{\sqrt{\frac{SD^2}{n_A} + \frac{SD^2}{n_B}}}$$

Donde:

- M_A y M_B son las medias de los grupos A y B, respectivamente.
- SD_A y SD_B son las desviaciones estándar de los grupos A y B.
- n_A y n_B son el tamaño de las muestras (en este caso, 3 para ambos grupos).

Sustituyendo los valores:

$$t = \frac{66.5 - 19.93}{\sqrt{\frac{(2.05^2)}{3} + \frac{(0.153^2)}{3}}}$$

Calcula t:

1. Calcula $2.05^2 \approx 4.2025^2$ y $0.153^2 \approx 0.023409$
2. Sustituye en la formula:

$$t = \frac{66.5 - 19.93}{\sqrt{\frac{4.2025}{3} + \frac{0.023409}{3}}}$$

$$t = \frac{46.57}{\sqrt{1.40083 + 0.007803}} \approx \frac{46.57}{\sqrt{1.408633}} \approx \frac{46.57}{1.187}$$

$$t = 39.2$$

b. Grados de libertad

Los grados de libertad (df) se calculan como:

$$df = n_A + n_B - 2 = 3 + 3 - 2 = 4$$

Comparar con el Valor Crítico

Busca el valor crítico de t para $df = 4$ en una tabla de distribución t con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (para una prueba bilateral, el valor crítico será aproximadamente 2.776).

Interpretación

- Si $|t| > t_{critico}$ rechazas la hipótesis nula (H_0), indicando que hay una diferencia significativa en la cantidad de fibra entre los dos tratamientos.
- En este caso, dado que 39.2 es mucho mayor que 2.776, rechazas la H_0 .

Existen diferencias significativas en la cantidad de fibra entre el bagazo de caña sin tratamiento y el bagazo tratado con *Pleurotus ostreatus*.

Análisis y Discusión de Resultados

En este estudio, se compararon dos tratamientos de bagazo de caña de azúcar: uno sin tratamiento y otro tratado con el hongo *Pleurotus ostreatus*. Se midió la cantidad de fibra en ambos tratamientos, encontrando que el bagazo tratado mostró una disminución significativa en su contenido de fibra, lo que puede impactar positivamente su digestibilidad y valor nutricional para la alimentación de rumiantes.

Grupo A (Sin tratamiento):

Cantidades de fibra: 64.4%, 66.6%, 68.5%

Media: 66.5%

Desviación estándar: 2.05

Grupo B (Con hongo):

Cantidades de fibra: 20.1%, 19.9%, 19.8%

Media: 19.93%

Desviación estándar: 0.153

La prueba t de Student reveló una diferencia significativa entre los dos grupos, con un valor de t de aproximadamente 39.2, lo que indica que el tratamiento con *Pleurotus ostreatus* reduce significativamente el contenido de fibra del bagazo de caña.

Los hallazgos de este estudio son consistentes con investigaciones previas que han documentado la capacidad de *Pleurotus ostreatus* para degradar componentes lignocelulósicos en diversas fuentes de biomasa. Por ejemplo, un estudio realizado por (Kerem et al., 1992), encontró que la inoculación de sustratos agrícolas con *Pleurotus ostreatus* no solo redujo el contenido de lignina y celulosa, sino que también mejoró la digestibilidad de los materiales para rumiantes.

Además, Olagunju et al. (2023), reportaron que el uso de hongos lignícolas como *Pleurotus ostreatus* en el tratamiento de residuos agrícolas puede resultar en una reducción significativa del contenido de fibra y un aumento en el contenido proteico, lo que mejora la calidad nutricional de estos subproductos. Esto sugiere que el hongo no solo actúa en la reducción de fibra, sino que también puede enriquecer el bagazo con nutrientes beneficiosos.

Teniendo en cuenta el estudio realizado por Mora, M., & Pérez, D. (2015). El cual profundiza en cómo *Pleurotus ostreatus* modifica la estructura del bagazo de caña de azúcar, reduciendo su contenido de fibra y mejorando su valor nutricional, lo que respalda los hallazgos sobre la disminución de la fibra en el bagazo tratado. De igual manera López, D., & Rojas, M. (2020). Estos autores también evalúan el impacto de *Pleurotus ostreatus* sobre la composición química y la digestibilidad del bagazo, encontrando una mejora en su calidad nutricional y digestibilidad para rumiantes.

Con respecto al mejoramiento de la calidad del bagazo de caña, encontramos que García, R., & Gómez, J. A. (2014). Ofrece una revisión de las estrategias para optimizar los forrajes, incluida la biotransformación de residuos orgánicos, lo que subraya la importancia de los

procesos de tratamiento como el que se emplea en esta investigación para mejorar la calidad de los forrajes.

Referente a la evaluación de la digestibilidad y valor nutricional del forraje, Pérez, J., & Sánchez, M. (2021). Presenta una discusión sobre los efectos de la biotransformación de residuos vegetales en la digestibilidad de los rumiantes, similares a lo encontrado en este estudio, y proporciona un contexto para comprender cómo la biotransformación de bagazo de caña mejora la digestibilidad en bovinos.

Finalmente, encontramos estudios que exploran la biotransformación fúngica en residuos vegetales como los realizados por Yuan, Q., et al. (2022). Este artículo investiga la biotransformación de materiales lignocelulósicos, incluyendo el bagazo de caña de azúcar, utilizando hongos, el cual encontraron hallazgos importantes en la reducción significativa en el contenido de fibra y lignina en los materiales tratadas con los hongos resaltando que la lignina es una barrera que dificulta la digestión de los forrajes por parte de los rumiantes, por lo que su reducción mejora la digestibilidad y la eficiencia de la alimentación animal.

La reducción del contenido de fibra en el bagazo tratado con *Pleurotus ostreatus* (19.93% frente a 66.5% en el no tratado) sugiere que este proceso podría ser altamente beneficioso en la alimentación de bovinos, aumentando la eficiencia alimentaria y potencialmente mejorando la ganancia de peso. Este enfoque también se alinea con las tendencias actuales hacia la sostenibilidad en la ganadería, ya que el uso de subproductos agrícolas puede disminuir la dependencia de forrajes convencionales.

Conclusiones

El tratamiento del bagazo de caña de azúcar con *Pleurotus ostreatus* demostró una reducción significativa en el contenido de fibra, lo que sugiere un potencial importante para mejorar la calidad del bagazo como alimento para rumiantes.

Estos resultados están respaldados por la literatura existente, que destaca la eficacia de este hongo en la biotransformación de biomasa agrícola.

La implementación de estos tratamientos podría representar un avance significativo hacia prácticas de alimentación más sostenibles, más eficientes en la ganadería y en la conservación ambiental, generando un modelo replicable para el desarrollo sostenible en la región del Cesar

Recomendaciones

Es importante destacar que los resultados se basan en un tamaño de muestra limitado. Se recomienda realizar estudios adicionales con una mayor variedad de tratamientos y condiciones experimentales para validar estos hallazgos. Además, la evaluación de otros parámetros nutricionales, como el contenido proteico y la digestibilidad in vivo, sería valiosa para un análisis más completo del valor del bagazo tratado.

Referencias Bibliográficas

- Chi, Y., Hatakka, A., and Maijala, P. (2007). “Can co-culturing of two white-rot fungi increase lignin degradation and the production of lignin-degrading enzymes?” *International Biodeterioration & Biodegradation*, 59(1), 32-39. doi:10.1016/j.ibiod.2006.06.025
- Dong, Xiu Qin, et al. (2013) “Sugarcane bagasse degradation and characterization of three whiteRot fungi.” *Bioresource Technology*, vol. 131,pp. 443–451., doi:10,1016/j.biortech,2012,12,182
- García, R., Martínez, D., & Rodríguez, A. (2017). Alternativas nutricionales a partir de subproductos agroindustriales para rumiantes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 28(1), 121-131.
- González, J., Pérez, M., & Rodríguez, A. (2016). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la alimentación de rumiantes. *Revista de Ciencias Agropecuarias*, 32(3), 215-224.
- Hernández, M., & González, P. (2022). Uso de subproductos agroindustriales como alternativa económica para la alimentación de ganado bovino. *Animal Production Science*, 62(1), 16-23.
- Kerem, Z., Friesem, D., & Hadar, Y. (1992). Lignocellulose Degradation during Solid-State Fermentation: *Pleurotus ostreatus* versus *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied And Environmental Microbiology*, 58(4), 1121-1127. <https://doi.org/10.1128/aem.58.4.1121-1127.1992>

Kowalczyk, J.E., M. Peng, M. Pawlowski, A. Lipzen, V. Ng, V. Singan, M. Wang, I.G.

Grigoriev & M.R. Mäkelä (2019). The White-Rot Basidiomycete *Dichomitus squalens* Shows Highly Specific Transcriptional Response to Lignocellulose-Related Aromatic Compounds. *Frontiers in Bioeng and Biotech. Research Topic: Biotechnological Production and Conversion of Aromatic Compounds and Natural Products*.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2019.00229/full>

Lagos-Burbano, E., & Castro-Rincón, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 917-934. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34668>

López, D., & Rojas, M. (2020). Efecto de la biotransformación del bagazo de caña de azúcar con *Pleurotus ostreatus* sobre su composición química y digestibilidad para rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 33(2), 105-118.
<https://doi.org/10.18257/rccp.760>

Mora, M., & Pérez, D. (2015). Biotransformación del bagazo de caña de azúcar mediante el hongo lignícola *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Applied Microbiology*, 118(5), 1251-1260. <https://doi.org/10.1111/jam.12815>

Olivera-de la Cruz, A.R., E. Ortega-Jiménez, P. Díaz-Rivera, E. Aranda-Ibáñez, J. Ramos-Juárez y G. Mendoza-Martínez (2019). Efecto de *Pleurotus ostreatus* en la degradación de residuos agrícolas. *Agrociencias* 53: 25-33,
<https://agrocienciacolpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1748>

- Olagunju, L. K., Isikhuemhen, O. S., Dele, P. A., Anike, F. N., Essick, B. G., Holt, N., Udombang, N. S., Ike, K. A., Shaw, Y., Brice, R. M., Orimaye, O. E., Wuaku, M., & Anele, U. Y. (2023). Pleurotus ostreatus Can Significantly Improve the Nutritive Value of Lignocellulosic Crop Residues. *Agriculture*, 13(6), 1161.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13061161>
- Pérez, J., & Sánchez, M. (2021). Efecto de la biotransformación en la digestibilidad de residuos vegetales en bovinos. *Revista Latinoamericana de Ciencias de la Vida*, 12(1), 19-27.
<https://doi.org/10.22201/fmvz.23414898e.2021.12.1.6356>
- Salazar Ortiz, J. (. 2017). Caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en la alimentación de rumiantes: experiencias generadas con canas forrajeras. Colegio de Postgraduado <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA530914350&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=fulltext&iissn=&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E3a325324>
- Sánchez, M., Díaz, C., & Fernández, J. (2021). Biotransformación de forrajes y residuos agrícolas para mejorar la eficiencia en la alimentación de rumiantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 50, e20200342.
- Silva, L., Sánchez, F., & Rodríguez, G. (2018).** El potencial del bagazo de caña de azúcar como fuente de nutrientes en la dieta de rumiantes. *Revista Internacional de Nutrición Animal*, 45(2), 67-75.

Yanetsys, S. D. (s. f.). *El análisis de información y las investigaciones cuantitativa y cualitativa*.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662007000300020&lng=es&nrm=iso

Vásquez Bardales.; BETZABET, Cecilia & otros. Enriquecimiento proteico de los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de la Región La Libertad con la asociación mixta de *Trichoderma reesei*, *Chaetomium cellulolyticum* y *Candida utilis* para alimentación animal Universidad Nacional de Trujillo. La Libertad, Perú.

2020.http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S24132992020000100099&script=sci_arttext

Yuan, Q., Liu, Y., Li, M., Zhang, H., & Zhang, L. (2022). Evaluation of fungal biotransformation of lignocellulosic materials for improving feed quality in ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 284, 104-112.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.104112>

Apéndices

Apéndice A

Estabilización de la Humedad en la Muestra



Apéndice B

Bagazo Inoculado con Hongo Pleurotus

Muestra de 20 días



Muestra de 30 días



Muestra de 40 días



Apéndice C

Determinación de Fibra en Laboratorio

