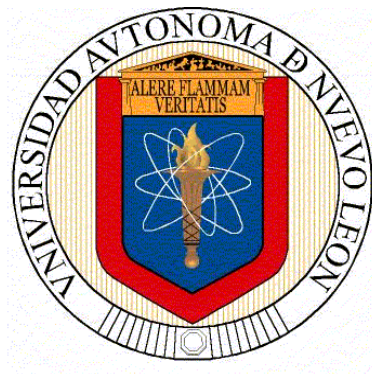


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL SUSTRATO
FM-CM24 INOCULADO CON HERICIUM ERINACEUS Y
RENDIMIENTO BIOLÓGICO OBTENIDO DE SU COSECHA**

PRESENTADA POR
Q.B.P. JOSÉ GERMAN MORALES SALAZAR

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN MICROBIOLOGÍA**

2026

COMITÉ DE TESIS



Dr. Efrén R. Robledo Leal
Director de Tesis



Dr. Aldo Rodrigo González Luna
Secretario



Dr. Eduardo Sánchez García
Vocal 1



Dr. Alonso Alberto Orozco Flores
Vocal 2



Dr. Eduardo Franco Frías
Vocal 3



Dra. Katiushka Arevalo Niño
Subdirector de Posgrado

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos sinceramente a todas las personas que colaboraron en el desarrollo de este proyecto de investigación. Agradecemos especialmente a cada colaborador y colega que, con su experiencia y compromiso, contribuyó en cada etapa del proceso, desde la planificación hasta la ejecución y análisis de los resultados.

De manera especial, reconocemos a la empresa Fungi Monterrey S.A. de C.V. por su valioso respaldo y confianza, que hicieron posible llevar a cabo esta investigación. Su disposición, recursos y confianza en nuestro trabajo hicieron posible la realización de este proyecto; de la misma manera, su compromiso con la innovación y la ciencia fue clave para el éxito del proyecto.

DEDICATORIAS

Dedicamos este proyecto a todas las personas que, desde la ciencia, la investigación y el trabajo técnico en campo, contribuyen día a día por un mejor aprovechamiento de los recursos y por el bienestar animal. Gracias por abrir caminos donde otros solo ven residuos.

ÍNDICE

1. RESUMEN	7
2. ABSTRACT.....	8
3. INTRODUCCIÓN.....	9
4. ANTECEDENTES.....	11
5. JUSTIFICACIÓN.....	15
6. HIPÓTESIS.....	16
7. OBJETIVOS	17
7.1 Objetivo general	17
7.2 Objetivos específicos	17
8. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
8.1 Material biológico.....	18
8.2 Preparación de medios de cultivo para propagar el hongo.....	18
8.3 Caracterización de la cepa	18
8.4 Cinética de crecimiento radial en agar.....	18
8.5 Cultivo de <i>H. erinaceus</i>	19
8.5.1 Preparación de inóculo líquido.....	19
8.5.2 Preparación de sustrato.....	20
8.5.3 Inoculación de sustrato e incubación.....	22
8.5.4 Fructificación y cosecha.....	22
8.6 Determinación del rendimiento, eficiencia biológica e índice de degradación.....	23
8.7 Determinación del contenido de proteína.....	23
8.8 Análisis de fibra con el analizador ANKOM 200.....	24
8.9 Análisis de energía con bomba calorimétrica.....	24
8.10 Análisis de grasas con el Soxhlet ANKOM XT10.....	25
8.11 Análisis de capacidad antioxidante.....	26
8.12 Determinación de la concentración de B-glucanos en el sustrato.....	26
9. RESULTADOS.....	27
9.1 Cinética de crecimiento.....	27
9.2 Cosecha en FM-CM24 y Mezcla de aserrín suplementado.....	27
9.3 Capacidad antioxidante.....	29
9.4 Análisis de B-glucanos.....	30

9.5 Análisis bromatológicos, fibras y energía bruta.....	31
10. DISCUSION.....	33
11. CONCLUSIONES.....	36
12. PERSPECTIVAS.....	37
13. REFERENCIAS.....	38
14. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	43

1. RESUMEN

El cultivo de hongos comestibles, como *Hericium erinaceus* (Melena de León), en sustratos lignocelulósicos presenta un gran potencial tanto en términos de nutrición como de producción. Sin embargo, es crucial comprender la composición nutricional de los sustratos utilizados, así como su rendimiento biológico, esto permitió evaluar la eficiencia de conversión del sustrato en cuerpos fructíferos, como la velocidad del crecimiento, optimizando la producción y reduciendo costos.

El objetivo principal de este estudio fue realizar un análisis proximal en un sustrato colonizado por *H. erinaceus*, además de evaluar el rendimiento biológico de su cosecha. Se estableció un método estandarizado para el cultivo y la cosecha de *H. erinaceus* en sustratos lignocelulósicos, garantizando condiciones óptimas para su desarrollo, generando un subproducto con el sustrato gastado post-cosecha.

Se comparó el rendimiento biológico de *H. erinaceus* cultivado en un sustrato convencional y en el sustrato FM-CM24, con el objetivo de evaluar la eficacia de este último en la producción de biomasa.

Se analizó la composición nutricional del sustrato agotado tras el cultivo de *H. erinaceus*, lo que permitió obtener información relevante sobre el aprovechamiento de los nutrientes por parte del hongo y su potencial uso como alimento.

Este estudio mostró información valiosa sobre el cultivo de *H. erinaceus* en sustratos lignocelulósicos, así como sobre la calidad nutricional del sustrato post-cosecha y el rendimiento de la cosecha. Estos resultados pueden tener implicaciones significativas en la producción de hongos comestibles y en la utilización de sustratos agrícolas como recursos renovables en la industria alimentaria.

2. ABSTRACT

The cultivation of edible mushrooms, such as *Hericium erinaceus*, on lignocellulosic substrates offers great potential in terms of both nutrition and production. However, it is crucial to understand the nutritional composition of the substrates used, as well as their biological performance, as this allowed us to evaluate the efficiency of substrate conversion into fruiting bodies, as well as growth speed, optimizing production and reducing costs.

The main objective of this study was to perform a proximate analysis on a substrate colonized by *H. erinaceus*, in addition to evaluating the biological performance of its harvest. A standardized method was developed for the cultivation and harvesting of *H. erinaceus* on lignocellulosic substrates, ensuring optimal conditions for its development, and generating a byproduct from the spent post-harvest substrate.

A comparison was made between the biological performance of *H. erinaceus* grown on conventional substrate and on the FM-CM24 substrate, in order to evaluate the latter's efficiency in terms of biomass production.

The nutritional composition of the depleted substrate after *H. erinaceus* cultivation was analyzed, providing relevant information on the fungus' nutrient utilization and its potential as a food.

This study revealed valuable information on the cultivation of *H. erinaceus* on lignocellulosic substrates, as well as on the nutritional quality of the post-harvest substrate and harvest yield. These results may have significant implications for the production of edible mushrooms and the use of agricultural substrates as renewable resources in the food industry.

3. INTRODUCCIÓN

A pesar del gran volumen de residuos generados en la producción de hongos comestibles, como restos de sustratos agotados, su aprovechamiento sigue siendo limitado. Estos subproductos, ricos en materia orgánica y compuestos de interés, suelen desecharse o utilizarse de forma poco eficiente, desaprovechando su potencial como recurso para la alimentación animal u otros fines de valor agregado.

Para mejorar la calidad nutricional de las pajas y subproductos agrícolas, se han empleado diversas estrategias para modificar los complejos carbohidrato-lignina. Esto facilita el acceso de los microorganismos celulolíticos a los carbohidratos estructurales, mejorando así la calidad y el valor nutritivo de la paja. En las últimas décadas, se han realizado numerosos esfuerzos para reducir la lignina y/o desvincularla de los carbohidratos, aumentando así su valor alimenticio mediante tratamientos biológicos (Asmare, 2020).

La fermentación fúngica se ha empleado para mejorar el valor nutricional de biomasas vegetales residuales de producción agrícola como la paja de arroz, paja de trigo, mazorca de maíz, rastrojo, entre otros, han sido utilizadas en la alimentación del ganado. Esta técnica ha demostrado reducir la recalcitrancia de la fibra y mejora la digestibilidad de los carbohidratos. Además, los hongos filamentosos, las levaduras o sus extractos, han demostrado beneficios para el sector ganadero rumiante, como la modulación de la microbiota ruminal, aumento de peso, reducción de la producción de metano por los rumiantes, el aumento de la productividad y la inmunomodulación (Conceição, et al. 2022).

Los hongos comestibles poseen el doble de contenido de proteínas en comparación con los alimentos de origen vegetal, estos poseen altos niveles de minerales y un bajo contenido de calorías y carbohidratos. Además, contienen los nueve aminoácidos esenciales (fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptófano, valina) esto demuestra su excelencia como fuente nutrimental (López, 2008). Los hongos comestibles presentan

cuerpos fructíferos generalmente de consistencia carnosa y gelatinosa, relativamente sólidos en formas peculiares como sombrilla, oreja, repisa, trompeta, coral, entre otras (Velasco y Vargas, 2004).

Hericium erinaceus es una seta comestible con propiedades medicinales, también se le conoce como seta (hongo) melena de león o seta erizo. Pertenece a la clase Agaricomycetes del filo Basidiomycota. El cuerpo fructífero del hongo está compuesto por muchos constituyentes tales como terpenoides, polisacáridos, erinacinas, fenoles, proteínas, lectinas y hericenonas. Refuerzan el sistema inmunitario, alivian la gastritis y las infecciones gastrointestinales, el reflujo y las molestias estomacales debidas al estrés (Gerbec, 2015).

Los análisis proximales (perfil general de proteínas, grasas, carbohidratos, fibra, cenizas y humedad) son fundamentales tanto en la selección de materiales para la formulación de dietas como en la evaluación de alimentos terminados. Además de la humedad, proteína cruda, fibra cruda, lípidos crudos, ceniza y extracto libre de nitrógeno, se pueden analizar otros componentes como carbohidratos, vitaminas y minerales. Estos datos son cruciales para garantizar que las dietas cumplan con los requerimientos nutricionales específicos y para monitorear la calidad de los alimentos a lo largo del proceso de producción. Los análisis proximales proporcionan información detallada sobre la composición nutricional de los ingredientes y los alimentos finales, lo que permite realizar ajustes necesarios para optimizar el rendimiento y la salud de los animales en la producción ganadera (Olvera, et al. 2024).

4. ANTECEDENTES

Los piensos tradicionales para el ganado, como la paja y otros residuos agrícolas, son deficientes en energía, proteínas y minerales debido a los componentes de la pared celular difíciles de digerir, como celulosa, hemicelulosa y lignina (Yescas-Yescas et al., 2004). La deslignificación de la paja, a través de métodos químicos empleando, por ejemplo, el hidróxido de sodio o el amoníaco, podría aumentar su valor nutritivo; no obstante, estos procesos son costosos y no ecológicos (Lucio et al., 2020). Una alternativa eficaz es la deslignificación biológica, donde los hongos son capaces de descomponer eficientemente estos componentes, especialmente la lignina (Stamets, 1993). Por lo tanto, los residuos agrícolas y otras formas de biomasa lignocelulósica pueden ser tratados biológicamente con hongos para mejorar su valor nutricional.

La producción de hongos del género *Hericium* en subproductos y desechos agrícolas se ha evaluado con anterioridad para medir el crecimiento y producción de micelio y biomasa. Chang y Roh (1999) informaron sobre el uso de distintas especies de madera para analizar su potencial como sustrato para *H. erinaceus*, concluyendo que el encino de pino presentó crecimiento micelial y producción de biomasa adecuados.

Ko et al. (2005) analizaron la producción de distintas especies del género *Hericium* en medios sólidos de aserrín de encino, salvado de cebada, salvado de arroz y salvado de trigo, determinando que son adecuados para la producción y cultivo de *Hericium*. Se han reportado porcentajes de eficiencia biológica de *H. erinaceus* sobre aserrín de maderas duras de 50 % con humedad constante de 65% en periodos de incubación de 37 a 46 días, mostrando mejores resultados que los obtenidos con aserrín enriquecido con paja de arroz y trigo (Hassan, 2007).

Hu et al. (2008) reportaron el cultivo de *H. erinaceus* sobre residuos de cáscara y paja de arroz, bagazo de caña de azúcar y residuos de soja para reemplazar parcialmente al aserrín como sustrato. Encontraron eficiencias biológicas de 80.4% y 77.5% en una relación 1:1 de

caña de azúcar y aserrín en peso seco, superiores a las obtenidas solo con aserrín, a temperatura constante de 23 °C, con 30 mg de micelio seco y una humedad relativa de 90%.

En la alimentación de rumiantes, se emplean cultivos fúngicos como levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) y mohos (*Aspergillus oryzae*). La adición de estos en la dieta de ganado adulto mejora la eficiencia alimentaria, el aumento de peso y, en vacas lecheras, ligeramente la producción de leche. Además, estimulan bacterias ruminales que digieren la fibra y utilizan el lactato. Asmare (2020) reportó que la degradación de tallos de hierba Bermuda (*Cynodon dactylon*) se mejoró notablemente utilizando diferentes hongos. *Ceriporiopsis subvermispora* aumentó la degradación en un 29-32% después de 6 semanas, mientras que *Cyathus stercoreus* lo mejoró en un 63-77%. Otros estudios revelaron que hongos como *Pleurotus ostreatus*, *Phanerochaete chrysosporium* y *Trametes versicolor* causaron una pérdida significativa de lignina en paja de arroz, con porcentajes que oscilaron entre el 21 y el 41%. *Ceriporiopsis subvermispora* también demostró una pérdida sustancial de peso seco de 32% en el bagazo después de 30 días de incubación. Por otro lado, *Phanerochaete chrysosporium* causó una pérdida de lignina del 26.45% cuando se cultivó en paja de trigo durante seis semanas.

Denis et al. (2009) estudiaron el tratamiento de residuos para deslignificación con hongos de pudrición blanca en estado sólido, observando una disminución significativa del contenido de lignina durante el período de incubación, alcanzando un valor del 33%, lo que mejoró su digestibilidad para consumo. Los tratamientos con *T. versicolor* y *P. rufa* mostraron mayor reducción de lignina. La degradación varió según la cepa fúngica, el tipo de fermentación y el tiempo de incubación, con valores reportados de entre 2% y 65%. Arora et al. (2002) encontraron pérdidas de lignina de hasta 25% con algunas cepas de *Phlebia spp.*; Jalc~ (2002) recopiló valores entre 2% y 65% para paja de trigo; y Zhang et al. (2008) reportaron una disminución del 30% con pretratamiento de vapor.

Conceição et al. (2022) realizaron fermentaciones en estado sólido de residuos agrícolas con cinco hongos (*Fistulina hepatica*, *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus pulmonarius*, *Panus lecomtei*, y *Aspergillus terreus*). De las 180 fermentaciones en 36 sustratos con cinco cepas

diferentes, solo 39 sustratos fueron completamente colonizados en 28 días. El tiempo de crecimiento de los hongos influye en la composición química de la biomasa y la producción de metabolitos, variando según la composición del sustrato y las condiciones de fermentación. Para la alimentación de rumiantes, es crucial un proceso de fermentación que reduzca la recalcitrancia de la biomasa y mantenga los carbohidratos, enriqueciendo la biomasa con metabolitos para modular la microbiota ruminal. El tiempo de fermentación óptimo debe equilibrar la degradación de la lignina y la conservación de carbohidratos, lo que varía según la especie de hongo y el sustrato utilizado.

El hongo utilizado en este proyecto fue *Hericium erinaceus*, hongo de pudrición tardía conocido por su uso tradicional medicinal.

La melena de león (*Hericium erinaceus*) es un hongo comestible y medicinal. Puede ser identificado por su tendencia a crecer como grupos redondeados de barbas de espinas largas, de 1 a 6 cm de longitud. Son comunes durante el verano y el otoño en las maderas duras de bosques templados (Kim et al., 2013).

Carpóforo: Tiene una forma globosa con numerosas y largas púas que llegan a medir hasta 30 cm de diámetro. Las púas parten de un mismo tronco o pie, que es corto y con gruesas ramificaciones entrelazadas. La parte superior de la seta muestra el tronco común y las ramificaciones principales.

Himenóforo: Está formado por púas largas, colgantes, flexibles, iguales y de color blanco que evoluciona a crema amarillenta al madurar. Son de punta más o menos afilada, que se acentúa con la edad (Pers, 1997).

Reino: Fungi

División: Basidiomycota

Subdivisión: Agaricomycotina

Clase: Agaricomycetes

Orden: Russulales

Familia: Hericiaceae

Género: *Hericium*

Especie: *H. erinaceus*

Este hongo habita principalmente en bosques templados del hemisferio norte, incluyendo América del Norte, Europa y Asia. Es saprófito y se alimenta de madera en descomposición, prefiriendo madera dura como robles y hayas. Requiere climas templados de entre 20 y 30 °C, con temperaturas óptimas de 25 °C, prosperando en bosques antiguos con abundante madera muerta y condiciones adecuadas de humedad y sombra. Su fructificación es más común en otoño, aunque puede ocurrir durante todo el año en condiciones controladas (Soca, 2023).

5. JUSTIFICACIÓN

En la alimentación ganadera, los piensos suelen basarse en forrajes y subproductos agrícolas como la paja de trigo, la paja de arroz, el rastrojo de maíz o el bagazo de caña. Aunque abundantes y económicos, presentan bajo contenido proteico, alta proporción de fibra lignificada y limitada digestibilidad, lo que obliga a suplementar con insumos costosos y reduce la eficiencia productiva.

Se ha propuesto el uso de hongos comestibles para mejorar el valor nutritivo de residuos lignocelulósicos, gracias a su capacidad de degradar lignina y hemicelulosa, aumentando la disponibilidad de carbohidratos estructurales, enriqueciendo el sustrato con proteínas fúngicas, vitaminas, minerales y metabolitos bioactivos, disminuyendo la necesidad de suplementos externos.

Hericiium erinaceus sobresale tanto por sus propiedades funcionales como por su capacidad de modificar el sustrato en el que crece. Sin embargo, su cultivo en medios como FM-CM24 y los cambios que provoca en la composición de dichos materiales han sido poco estudiados.

Este proyecto evaluó el cultivo *de H. erinaceus* en sustratos lignocelulósicos seleccionados, analizando las variaciones en su composición nutricional mediante análisis proximales (proteínas, carbohidratos, lípidos, fibra y cenizas).

6. HIPÓTESIS

La eficiencia biológica de *H. erinaceus* cultivado en el sustrato FM-CM24 será mayor que la obtenida en sustratos de madera suplementada, y el sustrato FM-CM24 agotado post-cosecha tendrá una composición adecuada para consumo animal.

7. OBJETIVOS

7.1 Objetivo general

Determinar el potencial de los sustratos para crecimiento de *Hericiium erinaceus* después de su cultivo, como subproducto aprovechable en la alimentación animal.

7.2 Objetivos específicos

1. Estandarizar el protocolo de cultivo y fructificación de *H. erinaceus*, definiendo las condiciones óptimas de incubación, humedad y temperatura.
2. Comparar la eficiencia biológica de la cosecha de *H. erinaceus* en el sustrato convencional y en el sustrato FM-CM24, evaluando parámetros como el tiempo de colonización, la formación de cuerpos fructíferos y el peso fresco obtenido.
3. Determinar la composición nutricional del sustrato agotado post-cosecha, mediante análisis proximales (proteínas, carbohidratos, lípidos, fibra cruda, humedad y cenizas), para establecer los cambios inducidos por la actividad del hongo y su posible valorización.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Material biológico

La cepa de *Hericium erinaceus* utilizada para este trabajo fue proporcionada por la empresa Fungi Monterrey SA de CV.

8.2 Preparación de medios de cultivo para propagar el hongo

La cepa fue propagada en agar dextrosa y papa (PDA) formulado *in situ* (Fungi Monterrey), mediante transferencia de agar colonizado. El agar fue preparado siguiendo las instrucciones del fabricante.

8.3 Caracterización de la cepa

Se realizó una descripción de las características morfológicas de la cepa. Las variables que se evaluaron se describen en la Tabla 1.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL CRECIMIENTO MICELIAL DE LA COLONIA AL FINAL DE LA CINÉTICA.

VARIABLES	Características
COLOR	Tabla de colores (Royal Horticultural Society, 2015, Londres)
TEXTURA	Lanosa, algodonosa, pulverulenta, aterciopelada, postrada
DENSIDAD	Escaso, regular, abundante
MICELIO AÉREO	Escaso, abundante

8.4 Cinética de crecimiento radial en agar

Para calcular el crecimiento micelial, se midieron los diámetros mayores de la colonia y el área de la colonia (cm²) obtenidas tras la incubación (Chitarra et al., 2015), inoculando con un tapón de agar colonizado de 4-6 mm con la cepa a 25°C y 19°C, por 15 días o hasta cubrir por completo la placa de cultivo, con 8 repeticiones por tratamiento. Los datos fueron

registrados en una hoja de cálculo y se obtuvieron los promedios. La cinética se realizó empleando 8 réplicas.

8.5 Cultivo de *H. erinaceus*

8.5.1 Preparación de inóculo líquido

Por su capacidad de crecer exponencialmente, el micelio de los hongos puede “expandirse” o propagarse muy rápidamente a partir de un inóculo inicial. Para la generación de inóculo en grandes cantidades, una estrategia efectiva y económicamente rentable es la de generar inóculos en caldo. Para esto, se preparó una fórmula simple que se describe en la Tabla 2.

TABLA 2. FÓRMULA PARA LA PREPARACIÓN DE CALDO PARA LA ELABORACIÓN DE INÓCULO LÍQUIDO

REACTIVO	Cantidad	Función
DEXTROSA	10 gramos	Fuente de carbono
EXTRACTO PURO DE MALTA	10 gramos	Fuente de carbono
AGUA	1 litro	Solvente, vehículo

Una vez obtenido el caldo en frascos para medio de cultivo esterilizables de 1 L, se esterilizó en autoclave por 30 minutos a una temperatura de 121°C y, al finalizar, se dejó reposar hasta que su temperatura disminuyera a la del ambiente. Para inocular los caldos, se depositaron (en condiciones asépticas) 1 o 2 trozos de micelio a partir de un cultivo en PDA, con ayuda de un bisturí. El caldo inoculado se incubó a 25°C por 10 a 15 días, hasta obtener una masa de micelio. El contenedor del caldo se agitó diariamente por unos minutos para romper el micelio y permitir su propagación de forma más eficiente (Figura 1)

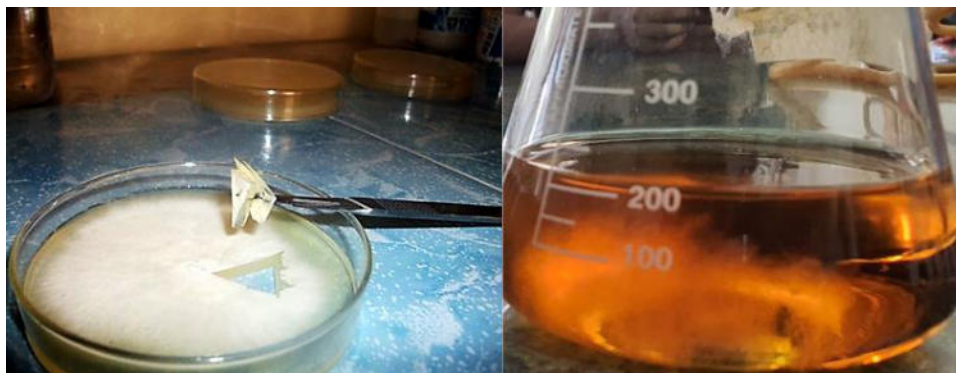


Figura 1. Izquierda: Muestra de los cortes de micelio usados para inocular los caldos. Derecha: Formación de micelio en caldo.

8.5.2 Preparación de sustrato

La preparación del sustrato se realizó mezclando los componentes de la formulación deseada de forma homogénea (la composición y formulación de los sustratos empleados se reporta en las tablas 3 y 4), asegurándose primeramente de que el sustrato no contara con trozos grandes o materiales ajenos, tales como metales, plásticos, ramas o piedras. Todos los componentes se mezclaron exhaustivamente para garantizar una distribución homogénea de los nutrientes y de las propiedades mecánicas resultantes. Se recomendó dejar reposar la mezcla durante 1 hora para permitir que el agua se absorbiera adecuadamente antes de continuar con la preparación.

Una vez transcurrido este tiempo, se prepararon paquetes de sustrato (denominados “bloques”) en bolsas de polipropileno resistentes al calor, las cuales poseían un filtro cuyos poros tenían un diámetro menor a 0.5 micras, lo que permitió que el hongo, al ser inoculado, pudiera obtener oxígeno sin que microorganismos ajenos contaminaran el sustrato (Figura 2).

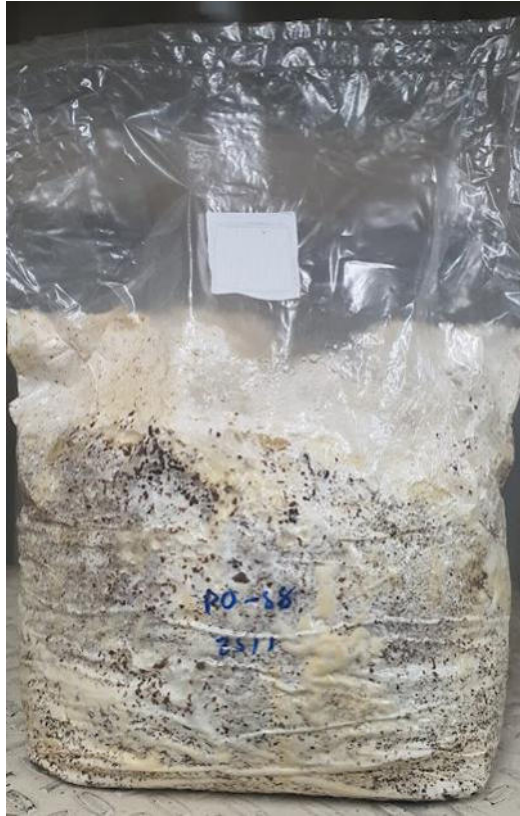


Figura 2. Muestra de un bloque inoculado y colonizado al 100%. Nótese el filtro (cuadro blanco) que permite el intercambio gaseoso del hongo.

En este proyecto se emplearon bolsas con 2 kg de sustrato por recomendación del fabricante.

Una vez que las bolsas se llenaron con la cantidad de sustrato deseado, se sometieron a un proceso de esterilización en autoclave, donde se eleva la temperatura a 121°C, generando una presión de alrededor de 15 libras, manteniendo esta condición por 3 horas, para asegurar que se eliminen todo microorganismo de los sustratos.

TABLA 3. COMPONENTES DE LA MEZCLA DE ASERRÍN SUPLEMENTADO.

COMPONENTE	Cantidad (%)	Función
ASERRÍN DE ENCINO	28	Fuente principal de carbohidratos.
SALVADO DE TRIGO	12	Provee nitrógeno, vitaminas y minerales.
AGUA	60	Permite el crecimiento del hongo.

TABLA 4. COMPONENTES DE LA MEZCLA DE FM-CM24.

COMPONENTE	Cantidad (%)
MEZCLA DE SÓLIDOS	50
AGUA	50

8.5.3 Inoculación de sustrato e Incubación

Cuando el sustrato se enfrió hasta temperatura ambiente, cada bolsa se inoculó con 100 mL de inóculo líquido en condiciones asépticas y luego las bolsas se sellaron con calor para evitar la introducción de microorganismos contaminantes.

Las bolsas inoculadas se incubaron a 19°C en los cuartos de incubación, en oscuridad y manteniendo la concentración de CO₂ del cuarto por debajo de las 800 ppm. La incubación se llevó a cabo por 4-6 semanas, monitoreando diariamente la inocuidad de las bolsas, registrando posibles contaminaciones y el nivel de colonización de cada bloque.

8.5.4 Fructificación y cosecha

Cuando los bloques colonizaron completamente, se transfirieron al cuarto de fructificación, donde se les realizaron cortes horizontales para exponer el micelio a una mayor cantidad de oxígeno, recambios de aire fresco y contacto directo con la humedad. El fotoperiodo fue de 10 horas de luz y 14 de oscuridad. Cuando los esporomas dejaron de mostrar crecimiento (2-

3 semanas), fueron cosechados cortando en la base con una navaja sanitizada y refrigerados junto al sustrato agotado a 2°C hasta su procesamiento.

8.6 Determinación del rendimiento, eficiencia biológica e índice de degradación

La producción de los basidiocarpos se determinó mediante la siguiente fórmula, expresada en peso de los basidiocarpos (g):

$$R = PF$$

El rendimiento (R) es el promedio de los basidiocarpos o biomasa fresca (PF) de cada cosecha. Por otra parte, la eficiencia biológica (EB) se calculó de acuerdo a Tschierpe y Hartmann (1977), en donde la eficiencia biológica es el resultado del peso fresco de los basidiocarpos (Pf Cf) entre el peso seco del sustrato utilizado multiplicado (Ps S) por 100, es decir:

$$EB = (Pf Cf / Ps S) \times 100$$

Por otra parte, el índice de degradación (ID) es el resultado del peso seco inicial de los bloques (PSiB) menos su peso seco final, dividido entre el PSiB multiplicado por 100 (Nyochembeng, 2008).

$$ID = ((PSiB - PSfB) / PSiB) \times 100$$

8.7 Determinación del contenido de proteína

Se empleó el método de Kjeldahl desarrollado en 1883, pesando entre 0.2 g y 0.3 g de muestra en un matraz de digestión, agregando ácido sulfúrico concentrado y un catalizador (sulfato de cobre + sulfato de sodio), incubando a 400°C por 30-40 min, se añadió hidróxido de sodio y se destiló en una solución de ácido bórico. Se tituló la solución con ácido clorhídrico para determinar la cantidad de nitrógeno presente.

8.8 Análisis de fibra con el analizador ANKOM 2000

Se procedió según las indicaciones del fabricante (ANKOM Technology, 2022), pesando una cantidad precisa de muestra (FDA y FDN: 0.45g-0.55g / FC: 0.95g-1g) colocándola en bolsas de filtro ANKOM, se sellaron y colocaron en el compartimento del analizador ANKOM 2000. Se adicionaron soluciones detergentes (detergente neutro para fibra en detergente neutro, NDF; detergente ácido para fibra en detergente ácido, ADF).

Se sometió la muestra a ciclos de lavado y agitación dentro del equipo, se enjuagaron las bolsas con agua caliente y se secaron en una estufa a 105°C durante 8-12 horas, finalmente se pesaron las bolsas para calcular el contenido de fibra en la muestra.

En el caso de la fibra lignificada, se realizó una digestión con ácido sulfúrico al 72% para determinar la lignina.



Figura 3. Analizador de fibra Ankom 2000

8.9 Análisis de energía con bomba calorimétrica

Se pesó 0.2g-0.3g de muestra y se colocó en la cápsula de combustión de la bomba calorimétrica, se introdujo la cápsula en la cámara de combustión y se conectó un hilo de ignición. La cámara se presurizó con oxígeno entre 20-25 atm e inició la combustión liberando la energía en forma de calor, el cual se transfirió al agua circundante en el calorímetro, midiendo el incremento de temperatura.

Se calculó el contenido energético de la muestra con base en la variación de temperatura y la capacidad calorífica del sistema.



Figura 4. Bomba calorimétrica adiabática

8.10 Análisis de grasas con el Soxhlet ANKOM XT10

Se procedió según las indicaciones del fabricante (ANKOM Technology, 2023), pesando 1g-2g de muestra y colocándola en bolsas filtrantes específicas del equipo, se insertaron las bolsas en el extractor Soxhlet ANKOM XT10. Se agregó el solvente extractor (generalmente éter de petróleo) en el compartimento del equipo.

Se inició el proceso de extracción, en el cual el solvente disolvió y extrajo la grasa de la muestra. Finalmente se secaron las bolsas en una estufa a 105°C y se pesaron nuevamente.



Figura 5. Soxhlet Ankom XT10

8.11 Análisis de capacidad antioxidante

El análisis se realizó por medio del método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) el cual se basa en la capacidad de los compuestos antioxidantes para reducir el radical libre DPPH, lo que provoca una disminución en su absorbancia a 517 nm. Esto se realizó según el método establecido por Brand-Williams et al. en 1995, mezclando la muestra con la solución violeta de DPPH en etanol y dejándola reaccionar en la oscuridad durante 15–30 min. La disminución de absorbancia se mide a 517 nm y se compara con un control para calcular el porcentaje de inhibición, reflejando la actividad antioxidante.

8.12 Determinación de la concentración de B-glucanos en el sustrato

La determinación se realizó por medio del kit enzimático Megazyme K-YGBL según las instrucciones de uso del fabricante (Megazyme, 2023), este kit utiliza un método enzimático basado en la hidrólisis específica de los β -glucanos.

9. RESULTADOS

9.1 Cinética de crecimiento

Se confirmó que el crecimiento en placa de *Hericium erinaceus* presenta un crecimiento óptimo en agar PD a 25°C teniendo mejores resultados que a 19°C

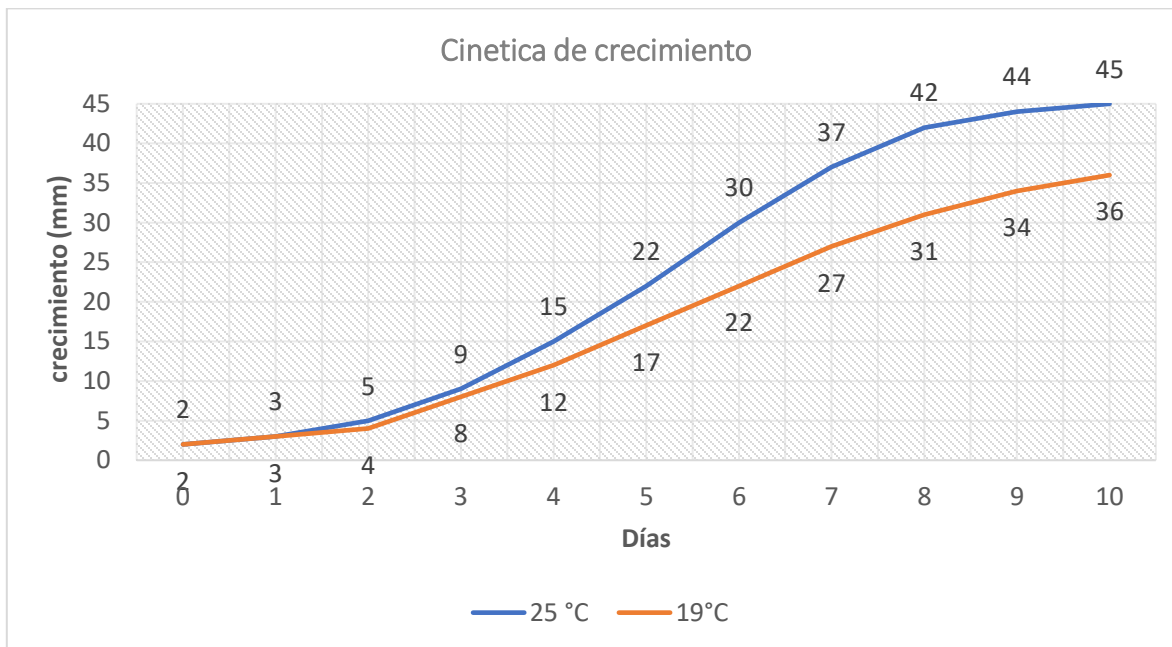


Figura 6. Gráfico del crecimiento radial promedio de los cultivos incubados a diferentes temperaturas (25 °C y 19 °C).

9.2 Cosecha en FM-CM24 y Mezcla aserrín suplementado

Tras 10 repeticiones, el tratamiento FM-CM24 mostró un crecimiento significativamente superior en altura, longitud y diámetro de los cuerpos fructíferos en comparación con el aserrín suplementado. Además, el peso de los frutos en FM-CM24 fue notablemente mayor (hasta 0.272 kg), con una desviación estándar de 0.036 kg mostrando una mayor variabilidad, frente al aserrín suplementado (máximo de 0.078 kg) presentando una desviación estándar de 0.019 g. De manera similar, la eficiencia biológica en FM-CM24 fue de 12.139%, mientras que en el aserrín suplementado presentó 2.752%, mostrando un menor aprovechamiento del sustrato para la producción de biomasa.

El índice de degradación en FM-CM24 fue significativamente más alto (16.3%), lo que muestra una mayor descomposición del sustrato mejorando la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento del hongo, el aserrín suplementado presentó un índice de solo 1.37%.

Tabla 5. Resultados de cosecha de *H. erinaceus* en el sustrato FM-CM24

FM-CM24					
Rep.	Altura	Longitud	Diámetro	Peso Bloq	Peso Frut
1	5	25.5	9.4	1.822	0.178
2	7.3	30.4	7.2	1.73	0.206
3	6.6	29.3	9.6	1.74	0.236
4	4.9	27.8	6.1	1.974	0.174
5	7.8	27.9	9.7	1.814	0.272
6	6.9	26.9	12	1.942	0.272
7	6.2	28.1	8.5	1.890	0.192
8	5.5	26.5	7.8	1.800	0.215
9	7.1	29.7	9.2	1.850	0.250
10	6.4	27.3	8.9	1.920	0.230

Tabla 6. Resultados de cosecha de *H. erinaceus* en el sustrato aserrín suplementado

Aserrín suplementado					
Rep.	Altura	Longitud	Diámetro	Peso Bloq	Peso Frut
1	3.2	22.1	3	2.052	0.022
2	3.9	24	4.7	1.764	0.068
3	2.1	21.9	1.8	2.042	0.048
4	3.2	18.6	3.6	2.076	0.076
5	4.9	27	4.8	1.932	0.078
6	2.2	16.8	3.8	2.052	0.036
7	3.6	23.5	3.5	1.980	0.056

8	4.2	25.1	4.1	1.870	0.071
9	2.5	19.3	3.2	2.010	0.042
10	3.0	20.7	2.6	1.990	0.038

[(R) Rendimiento: FM-CM24: 223g / Aserrín Suplementado.: 55g] [(ID) Índice de degradación: FM-CM24: 16.3% / Aserrín Suplementado: 1.37%]

FM-CM24 mostró un mayor rendimiento (223 g vs. 55 g) y un índice de degradación superior (16.3 % vs. 1.37 %) que el aserrín suplementado, indicando que es un sustrato más eficiente para el cultivo de *H. erinaceus*.

9.3 Capacidad Antioxidante

La inhibición porcentual del radical DPPH más alta se observó en la muestra de 10 μ L (61.70%), seguida por la de 5 μ L (52.06%). Sin embargo, al analizar los equivalentes de Trolox (mM ET/g muestra), los valores más altos se obtuvieron en la muestra de 50 μ L (5.242 mM ET/g) y 1 μ L (5.0272 mM ET/g), mientras que la de 10 μ L presentó el menor valor (2.0716 mM ET/g). Los resultados indican que la capacidad antioxidante varía en función del volumen y la dilución de la muestra, con una mayor inhibición a 10 μ L pero una mayor concentración de antioxidantes en la muestra de 1 μ L tras la dilución. Esto muestra que la optimización del volumen de muestra es clave para una evaluación precisa de la actividad antioxidante.

Tabla 7. Resultados del análisis de capacidad antioxidante del sustrato FM-CM24 postcosecha

	[DILUCIÓN]	
	%Inhibición= (At-Am)/At	mM ET/g muestra
MUESTRA 50μL	17.5459	10.4840
MUESTRA 10μL	61.6972	20.7160

MUESTRA 5 μ L	52.0642	55.2593
MUESTRA 1 μ L	20.5275	502.7160

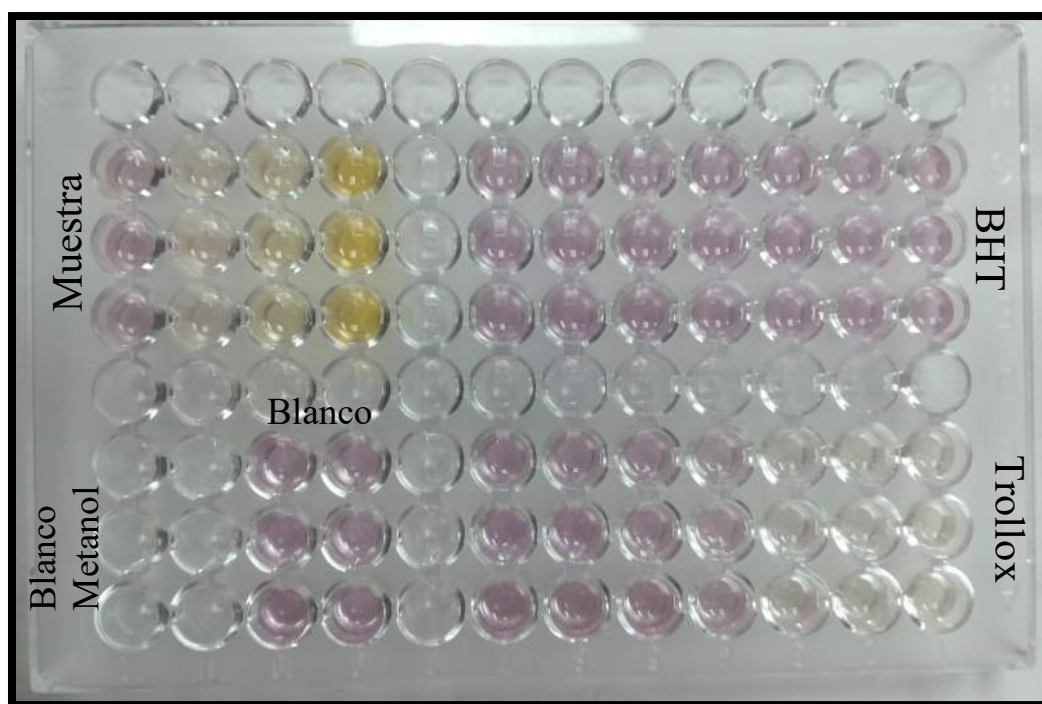


Figura 7. Microplaca utilizada en el análisis de capacidad antioxidante DPPH

9.4 Análisis de *B*-glucanos

En la muestra FM-CM24, el contenido total de glucanos fue de 0.174 g, lo que representa un 17% del material analizado. De este total, el 2.7% correspondió a α -glucanos, mientras que el 14.4% correspondió a β -glucanos.

Tabla 8. Resultados del análisis de contenido de B-glucanos por medio del kit Megazyme K-YGBL en el sustrato FM-CM24 postcosecha

PORCENTAJE DE B-GLUCANOS					
		A	B	Promedio	% glucano
CONTROL	Total Glucan	1.957	0.984	1.4705	64.8
	Alpha-Glucan	0.089	1.113	0.101	8.9
	Beta-Glucan				55.9
FM-CM24	Total Glucan	0.173	0.175	0.174	17
	Alpha-Glucan	0.288	0.305	0.2965	2.7
	Beta-Glucan				14.4

9.5 Análisis bromatológicos, fibras y energía bruta

Los resultados del análisis bromatológico de FM-CM24 muestran diferencias significativas entre las muestras precosecha y post-cosecha en varios componentes. La materia seca y humedad, la muestra precosecha presentó un 90.5% de materia seca y un 9.5% de humedad, mientras que la muestra post-cosecha mostró un ligero aumento en la materia seca (92.1%) y una reducción en la humedad (7.9%). En cuanto a los componentes nutricionales, la proteína cruda aumentó del 18.6% en la precosecha al 24.3% en la post-cosecha. En cuanto a la grasa cruda, se observó una ligera disminución del 2.1% en la precosecha al 1.7% en la post-cosecha. Las cenizas también aumentaron de un 5.5% en la precosecha a un 6% en la post-cosecha, mientras que la fibra cruda presentó una disminución considerable, pasando del 25.2% al 13.4%. Además, el extracto libre de nitrógeno (ELN) aumentó del 48.6% en la precosecha al 54.6% en la post-cosecha. La energía bruta no presentó cambios significativos, con un valor de 4836 kcal/kg en la precosecha y 4821 kcal/kg en la post-cosecha. Estos resultados muestran una mejora en la calidad nutricional, destacando la proteína y extracto

libre de nitrógeno, mientras que la fibra cruda y la grasa cruda disminuyen después de la cosecha.

Tabla 9. Resultados de los análisis bromatológicos, fibra y energía bruta

	FM-CM24 (Precosecha)	FM-CM24 (Post- cosecha)
MATERIA SECA (%)	90.5	92.1
HUMEDAD (%)	9.5	7.9
TOTAL (%)	100	100
PROTEÍNA CRUDA (%)	18.6	24.3
GRASA CRUDA (%)	2.1	1.7
CENIZAS (%)	5.5	6
FIBRA CRUDA (%)	25.2	13.4
ELN (%)	48.6	54.6
ENERGÍA BRUTA (KCAL/KG)	4836	4821

Tabla 10. Resultados de análisis de fibras de FM-CM24 pre y post cosecha

	FM-CM24 (PRECOSECHA)	FM-CM24 (POST- COSECHA)
FDN (%)	58	47.8
FDA (%)	32.2	24.6
LIGNINA (%)	2.5	7.4 (?)
HEMICELULOSA (%)	25.8	23.2
CELULOSA (%)	29.7	17.2

El incremento de lignina en post-cosecha es inusual, ya que normalmente debería mantenerse o disminuir. Este valor podría deberse a un error en el análisis, variabilidad de la muestra o interferencias metodológicas.

10. DISCUSIÓN

En el presente estudio, se evaluó el efecto de dos tipos de sustratos FM-CM24 y aserrín suplementado sobre el rendimiento, la eficiencia biológica (EB) y el índice de degradación (ID) de *H. erinaceus*. Los resultados muestran que el sustrato FM-CM24 fue significativamente mejor en todos los parámetros analizados, con un rendimiento de 223 g, una EB de 12.139% y un ID de 16.3%, en comparación con el aserrín suplementado, que presentó un rendimiento de apenas 55 g, una EB de 2.752% y un ID de 1.37%.

Estos resultados concuerdan con estudios previos realizados por Reis et al. (2017) que evaluó el uso de diferentes residuos lignocelulósicos suplementados con fuentes nitrogenadas, obteniendo eficiencias biológicas entre 10 y 20%, dependiendo del sustrato y la suplementación utilizada, valores similares a los obtenidos con FM-CM24 en el presente estudio.

El índice de degradación, como indicador indirecto de la actividad enzimática del hongo sobre el sustrato, también presentó un mayor porcentaje FM-CM24 (16.3%) que en el aserrín (1.37%). Este resultado sugiere una mayor capacidad de colonización y descomposición de la materia lignocelulósica en el sustrato formulado. Se han reportado índices de degradación entre 15% y 25% al utilizar sustratos lignocelulósicos bien formulados, lo que sitúa al valor de FM-CM24 dentro del rango esperado para una degradación eficiente (Philippoussis et al., 2001).

En la producción ganadera y agrícola, la eficiencia alimentaria y la calidad nutritiva de los piensos son cruciales para el rendimiento óptimo de los animales. Tradicionalmente, los residuos agrícolas como la paja y otros subproductos han sido utilizados como piensos, sin embargo, su valor nutricional se ve limitado por la presencia de componentes de la pared celular difícilmente digeribles, como celulosa, hemicelulosa y lignina (Yescas Yescas et al., 2004). La deslignificación de estos materiales se presenta como una estrategia prometedora para mejorar su digestibilidad y, por ende, su utilidad como alimento para el ganado.

En este sentido, se evaluaron también las condiciones de crecimiento del hongo utilizado. Los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron que *Hericium erinaceus* presentó un crecimiento radial de 45 mm a 25 °C y 36 mm a 19 °C después de 10 días de incubación. Esto coincide parcialmente con estudios previos; el estudio realizado con la cepa He-2 (Pham et al., 2019) mostró un crecimiento de 85.84 mm a 25 °C tras 14 días y en el estudio realizado por Kim et al. (2013), también se observó que 25 °C fue la temperatura óptima para distintas cepas analizadas. El crecimiento observado en el presente estudio 25 °C (45 mm) fue notablemente menor que el reportado en estudios anteriores, incluso considerando las diferencias en los tiempos de incubación (10 vs. 14 días). Esta diferencia podría deberse a varios factores, como el tipo de medio de cultivo o variabilidad genética entre cepas. Asimismo, el crecimiento a 19 °C (36 mm) en el presente estudio indica que, aunque el desarrollo micelial es más lento a temperaturas subóptimas, *H. erinaceus* aún es capaz de colonizar el medio, lo que concuerda con el rango de crecimiento favorable de 20–30 °C descrito por ambos estudios revisados.

Una vez caracterizado el crecimiento y rendimiento, se evaluó la capacidad antioxidante del sustrato tratado. También se analizó la capacidad antioxidante de un extracto obtenido del sustrato FM-CM24 tratado con *H. erinaceus* mediante fermentación en estado sólido, mostrando valores de inhibición radical DPPH, alcanzando un máximo del 61.70% de inhibición con 10 µL. En términos de equivalentes de Trolox, se observaron valores entre 2.0716 y 5.242 mM ET/g muestra. Estos resultados son comparables con lo reportado por Liu et al. (2023), quienes observaron un incremento significativo en la actividad antioxidante (66.24% de inhibición DPPH) tras la fermentación en estado sólido de harina de soya con *H. erinaceus*. Aunque el porcentaje de inhibición máximo reportado en ese estudio fue mayor al observado con 10 µL en nuestro trabajo, la similitud entre ambos resultados demuestra el potencial de *H. erinaceus* para generar metabolitos antioxidantes durante la fermentación. El extracto presentó un valor de 20.7160 mMET/g, estos resultados comparados con los obtenidos por Fakoya et al. (2020) reportaron un valor de 19.9 µmol TE/g en extractos acuosos obtenidos de muestras silvestres de *Pleurotus ostreatus*, lo cual es muy cercano al valor obtenido en FM-CM24. Estudios realizados con *Ganoderma lucidum* han mostrado valores mayores a los obtenidos; Brazkova et al. (2022) informaron una capacidad antioxidante de 51.30 µmol TE/g por el método DPPH. Estos resultados sugieren que este

hongo tiene el potencial de bioconvertir sustratos lignocelulósicos en compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes destacables.

Además de las propiedades antioxidantes, la fermentación en estado sólido del sustrato FM-CM24 con *H. erinaceus* generó un contenido de β -glucanos del 14.4%, valor comparable al reportado en otros hongos comestibles como *Pleurotus pulmonarius*, obteniendo un contenido total de glucanos del 17.10% (García-Cuan et al., 2024). Estos resultados muestran el potencial del uso de estos hongos para aumentar el valor de estos residuos, además de la capacidad para producir compuestos funcionales con beneficios inmunológicos y antioxidantes.

Además, el uso de residuos fermentados como fuente directa de β -glucanos en la alimentación animal podría representar una alternativa más económica contra el uso de β -glucanos purificados. La suplementación con β -glucanos aislados puede ser efectiva, pero costosa, lo cual puede limitar su uso a gran escala (Vetvicka & Oliveira, 2014). Aprovechar residuos tratados con hongos permitiría reducir costos de formulación, promoviendo dietas más accesibles sin sacrificar beneficios funcionales.

Finalmente, el análisis bromatológico del sustrato fermentado con *H. erinaceus* (FM-CM24) muestra una mejora en su valor nutricional post-cosecha, incrementando la proteína cruda de 18.6% a 24.3% y una disminución en la fibra cruda de 25.2% a 13.4%. Según el NRC (2021) para vacas lecheras, los requerimientos de proteína cruda para ganado en crecimiento varían entre 16% y 18%, y para ganado de carne establece requerimientos de entre 11% a 14% (NRC, 2016). La disminución de la fibra cruda facilita la digestibilidad del sustrato, ya que contenidos excesivos de fibra pueden limitar el consumo voluntario y la eficiencia de conversión del alimento. Además, el aumento en extracto libre de nitrógeno (ELN) de 48.6% a 54.6% muestra una mayor disponibilidad de carbohidratos solubles, mejorando el perfil energético del sustrato. La energía bruta (4821 kcal/kg), aunque este valor no muestra la energía neta útil para el animal, sí indica un potencial energético adecuado; comparado con ingredientes comunes como el heno (aprox. 4000–4500 kcal/kg EB), este sustrato presenta un valor energético competitivo.

11. CONCSLUSIONES

1. Potencial biotecnológico: *Hericium erinaceus* puede revalorizar residuos agroindustriales mediante fermentación en estado sólido, transformándolos en ingredientes con mayor valor nutritivo y funcional, mejorando la calidad de los piensos tradicionales.
2. Generación de compuestos bioactivos: La fermentación produjo β -glucanos (14.4%) y extractos con actividad antioxidante significativa (61.70% inhibición DPPH; 2.0716–5.242 mM ET/g), comparables con otros hongos comestibles de interés comercial.
3. Mejoras bromatológicas: El sustrato fermentado mostró incremento de proteína cruda (18.6% a 24.3%), disminución de fibra cruda (25.2% a 13.4%) y aumento del extracto libre de nitrógeno (48.6% a 54.6%), haciéndolo competitivo frente a forrajes y piensos convencionales.
4. Valor energético: El sustrato fermentado alcanzó un valor energético de 4821 kcal/kg EB, dentro del rango de insumos tradicionales como el heno.
5. Confirmación de biotransformación: Los resultados demuestran la capacidad de *H. erinaceus* para transformar residuos agroindustriales en ingredientes nutritivos y funcionales con potencial impacto positivo en la salud animal.

12. PERSPECTIVAS

Realizar futuras investigaciones con el fin de escalar el proceso de fermentación en estado sólido con *Hericiium erinaceus* para su implementación a nivel comercial.

Llevar a cabo análisis in vitro e in vivo del valor alimenticio del sustrato FM-CM24 tratado con *H. erinaceus* buscando la confirmación de la digestibilidad real, palatabilidad y parámetros como ganancia de peso, conversión alimenticia y salud animal.

Analizar otros subproductos agrícolas o agroindustriales como sustratos alternativos.

Realizar estudios tratando de cuantificar los beneficios del uso de estos residuos agroindustriales como la reducción de costos en formulación de piensos y la reducción de impacto ambiental.

13. REFERENCIAS

1. A2000 Support. (2022). ANKOM Technology. Retrieved February 27, 2025, from <https://www.ankom.com/support/a2000>
2. Arora, D. S., Chander, M., & Gill, P. K. (2002). Involvement of lignin peroxidase, manganese peroxidase and laccase in degradation and selective ligninolysis of wheat straw. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 50(2), 115-120. [https://doi.org/10.1016/s0964-8305\(02\)00064-1](https://doi.org/10.1016/s0964-8305(02)00064-1)
3. Bimrew Asmare Biological treatment of crop residues as an option for feed improvement in the tropics: A review. (2020). *Animal Husbandry, Dairy And Veterinary Science*, 4(12), ISSN: 2513-9304. <https://doi.org/10.15761/AHDVS.1000176>
4. Bradford, M.M. (1976), "Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding", *Anal. Biochem.*, 72 (1–2): 248–254, doi:10.1016/0003-2697(76)90527-3, PMID 942051, S2CID 4359292
5. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
6. Brazkova, M., Angelova, G., Mihaylova, D., Stefanova, P., Pencheva, M., Gledacheva, V., Stefanova, I., & Krastanov, A. (2022). Bioactive metabolites from the fruiting body and mycelia of newly-isolated oyster mushroom and their effect on smooth muscle contractile activity. *Foods*, 11(24), 3983. <https://doi.org/10.3390/foods11243983>
7. Chang, H., & Roh, M. (1999). Physiological Characteristics of *Herichium erinaceus* in Sawdust Media. *The Korean Journal Of Mycology*, 27(4), 252-255. http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=GNHHDL_1999_v27n4s91_252
8. Chitarra, W., Pugliese, M., Gilardi, G., Gullino, M. L., & Garibaldi, A. (2015). Effect of different substrates on radial growth of *Trichoderma* spp. and biocontrol of soil-borne fungal pathogens. *Crop Protection*, 67, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.09.018>

9. Conceição, A.A.; Mendes, T.D.; Mendonça, S.; Quirino, B.F.; Almeida, E.G.d.; Siqueira, F.G.d. Nutraceutical Enrichment of Animal Feed by Filamentous Fungi Fermentation. *Fermentation* (2022), 8, 402. <https://doi.org/10.3390/fermentation8080402>
10. Dinis, M. J., Bezerra, R. M. F., Nunes, F. M., Dias, A. A., Guedes, C., Ferreira, L. M. M., Cone, J., Marques, G., Barros, A., & Rodrigues, M. (2009). Modification of wheat straw lignin by solid state fermentation with white-rot fungi. *Bioresource Technology*, 100(20), 4829-4835. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.036>
11. Fakoya, S. O., Barredo, A., Adebayo, E. A., & Adejumo, O. E. (2020). Bio-therapeutic, phytochemical screening and antioxidant efficacies of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) obtained from the wild. *Journal of Applied Life Sciences International*, 23(1), 1–13. <https://doi.org/10.9734/JALSI/2020/v23i130166>
12. Fuller, M. F. (2004). The encyclopedia of farm animal nutrition. En CABI Publishing eBooks. <https://doi.org/10.1079/9780851993690.0000>
13. García-Cuan, A., Andrade-Piedra, L., & Álvarez-Villa, D. (2024). Obtención y caracterización estructural de β -D-glucanos de *Pleurotus pulmonarius* cultivado sobre residuos vegetales. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 48(187), 153–162. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.3946>
14. Gerbec, B., Gregori, A., Kreft, S., & Berovic, M. (2015). Solid State Cultivation of *Herichium erinaceus* Biomass and Erinacine: A Production. *Journal Of Bioprocessing & Biotechniques*, 05(03). <https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000210>
15. Gerbec, B., Gregori, A., Kreft, S., & Berovic, M. (2015b). Solid State Cultivation of *Herichium erinaceus* Biomass and Erinacine: A Production. *Journal Of Bioprocessing & Biotechniques*, 05(03). <https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000210>
16. Hassan, F. R. H. (2007). Cultivation of the Monkey Head Mushroom (*Herichium erinaceus*) in Egypt. *Journal Of Applied Sciences Research*, 3(10), aensiweb., 1229-1233 <https://www.aensiweb.com/old/jasr/jasr/2007/1229-1233.pdf>
17. Hu, S. H., Wang, J. C., Wu, C. Y., Hsieh, S., Chen, K. S., Chang, S., & Zeng, L. (2008). Bioconversion of Agro Wastes for the Cultivation of the Culinary-Medicinal Lion's Mane Mushrooms *Herichium erinaceus* (Bull.: Fr.) Pers. and *H. laciniatum* (Leers) Banker (Aphyllorphomycetidae) in Taiwan. *International Journal Of*

- Medicinal Mushrooms, 10(4), 385-398.
<https://doi.org/10.1615/intjmedmushr.v10.i4.120>
18. Jalč, D. (2002). Straw Enrichment for Fodder Production by Fungi. En Springer eBooks (pp. 19-38). https://doi.org/10.1007/978-3-662-03059-2_2
 19. Karl Esser y Joan W. Bennett, (2002) Biological treatment of crop residues as an option for feed improvement in the tropics: A review. Animal Husbandry, Dairy And Veterinary Science, 4(12), ISSN: 2513-9304.
<https://doi.org/10.15761/AHDVS.1000176>
 20. Khan, Md. Asaduzzaman; Tania, Mousumi; Liu, Rui; Rahman, Mohammad Mijanur (2013). *Hericium erinaceus*: an edible mushroom with medicinal values. Journal of Complementary and Integrative Medicine, 10(1), -. <https://doi.org/10.1515/jcim-2013-0001>
 21. Kim, H. O., et al. (2013). Mycelial growth and cultural characteristics of *Herichium erinaceus* isolates collected from Korea. Mycobiology, 41(3), 155–159.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3755240/>
 22. Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. Zeitschrift für Analytische Chemie, 22(1), 366–382.
<https://doi.org/10.1007/BF01338151>
 23. Ko, H. G., Park, H. G., Park, S. H., Choi, C. W., Kim, S. H., & Park, W. M. (2005). Comparative study of mycelial growth and basidiomata formation in seven different species of the edible mushroom genus *Herichium*. Bioresource Technology, 96(13), 1439-1444. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.12.009>
 24. Liu, Y., Wang, D., Wang, Z., Li, X., Li, H., & Li, C. (2023). Solid-state fermentation of soybean meal by *Herichium erinaceus*: Enhancement of antioxidant activity and nutritional value. Fermentation, 9(4), 322.
<https://doi.org/10.3390/fermentation9040322>
 25. López-Rodríguez, C., Hernández-Corredor, R., Suárez-Franco, C., & Borrero, M. (2008). EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE *Pleurotus ostreatus* SOBRE DIFERENTES RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA. DOAJ (DOAJ: Directory Of Open Access Journals). <https://doaj>

26. López-Rodríguez, C., Hernández-Corredor, R., Suárez-Franco, C., & Borrero, M. (2008). EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE *Pleurotus ostreatus* SOBRE DIFERENTES RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA. DOAJ (DOAJ: Directory Of Open Access Journals). <https://doaj.org/article/fc8ab9235b124a7aae36a7bcc1598bf0>
27. Lucio, B. S. V., Hernández-Domínguez, E. M., Téllez-Jurado, A., Ayala-Martínez, M., Soto-Simental, S., & Cervantes, J. Á. (2020). Protein fraction, mineral profile, and chemical compositions of various fiber-based substrates degraded by *Pleurotus ostreatus*. *Bioresources*, 15(4), 8849-8861. <https://doi.org/10.15376/biores.15.4.8849-8861>
28. Megazyme. (2023). β -GLUCAN (Yeast and Mushroom) ASSAY PROTOCOL K-YBGL. Recuperado de https://prod-docs.megazyme.com/documents/Assay_Protocol/K-YBGL_DATA.pdf
29. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). Nutrient Requirements of Beef Cattle (8th rev. ed.). Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/19014>
30. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). Nutrient Requirements of Dairy Cattle (8th rev. ed.). Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>
31. Nyochembeng, L. M. (2008). Cultivation of the Lion's Mane mushroom (*Herichium erinaceus*) on sterilized sawdust substrates. *Journal of Undergraduate Research*, Alabama A&M University, Huntsville, AL.
32. Olvera Novoa, M. A., Martínez Palacios, C., & Real de León, E. (s. f.). Manual de tecnicas para laboratorio de nutricion de peces y crustaceos. Fao. Recuperado 6 de febrero de 2024, de <https://www.fao.org/3/ab489s/ab489s03.htm>
33. Pers, B. (1997). *Herichium erinaceus*. *Amanitacesaraea*. Recuperado 4 de febrero de 2024, de <http://www.amanitacesarea.com/herichium-erinaceus.html>
34. Pham, T. T. H., et al. (2019). Effect of temperature on mycelial growth of *Herichium erinaceus* (He-2 strain) on PDA medium. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*. <https://vjol.info.vn/index.php/HVNNVN/article/view/42714>

35. Philippoussis, A., Zervakis, G., & Diamantopoulou, P. (2001). Bioconversion of agricultural lignocellulosic wastes through the cultivation of the edible mushrooms *Agrocybe aegerita*, *Volvariella volvacea* and *Pleurotus* spp.. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17, 191–200. <https://doi.org/10.1023/A:1016685530312>
36. Reis, F. S., et al. (2017). Chemical characterization and biological potential of mushroom residues as substrate for mushroom cultivation. *Food Chemistry*, 229, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.076>
37. Soca. (2023, 23 noviembre). El hongo melena de León, un tesoro de la micología. *Bolets de Soca*. <https://www.boletsdesoca.com/es/el-hongo-melena-de-leon-un-tesoro-de-la-micologia/>
38. Stamets, P. (1993). *Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms*. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA60027982>
39. Tschierpe, H. J., & Hartmann, U. (1977). *Pilzanbau in Haus und Garten*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.
40. Velasco J, Vargas E. (2004). *Manual cultivo del hongo seta (Pleurotus ostreatus)*. Programa Fondo de Tierras e instalación del Joven Emprendedor, Secretaría de la Reforma Agraria http://huertofenologico.filos.unam.mx/files/2017/05/Cultivo_de_hongo_seta.pdf.
41. Vetvicka, V., & Oliveira, C. (2014). $\beta(1-3)$ -Glucan: Silver Bullet or Hot Air? Nova Science Publishers.
42. XT10 Support. (2023). ANKOM Technology. Retrieved February 27, 2025, from <https://www.ankom.com/support/xt10>
43. Yescas-Yescas, R., Bárcena Gama, R., Mendoza Martínez, G. D., González Muñoz, S. S., Cobos Peralta, M., & Ortega Cerrilla, M. E. (2004). Digestibilidad in situ de dietas con rastrojo de maíz o paja de avena con enzimas fibrolíticas. *Agrociencia*, 38(1), 23–31.
44. Zhang, L., Liu, D., Wang, L., Wang, T., Zhang, L., Chen, X., & Mao, Z. (2008). Effect of steam explosion on biodegradation of lignin in wheat straw. *Bioresource Technology*, 99(17), 8512-8515. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.028>

14. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Meses																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Documentación de literatura	■	■	■	■	■	■																	
Caracterización de la cepa							■																
Cinética de crecimiento radial en agar								■															
Cultivo de <i>H. erinaceus</i>									■	■	■												
Determinación del rendimiento, eficiencia biológica e índice de degradación												■											
Determinación del contenido de proteína													■										
Determinación de la concentración de glucanos														■									
Digestibilidad in vitro															■								
Análisis de datos																■							
Presentaciones en evento académicos																	■	■	■				
Redacción de productos escritos																				■	■	■	