

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

FACULTAD DE POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

Bioconversión de residuos forestales y agrícolas por el método de fermentación en estado sólido para el cultivo de cepas del hongo *Pholiota adiposa* como una alternativa de minimización del impacto ambiental

Autor:

Angela Sofía Ortiz Bastidas

Director:

MSc. Yessenia Sarango Ortega

Milagro, 2024

Derechos de Autor

Sr. Dr.

Fabrizio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Angela Sofía Ortiz Bastidas**, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de **Magíster en Biotecnología**, como aporte a la Línea de Investigación **Promoción del Desarrollo Económico: Economía Verde** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, **30 de septiembre del 2024**



ANGELA SOFÍA
ORTIZ BASTIDAS

Angela Sofía Ortiz Bastidas

C.I.: 1726770389

Aprobación del Tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **MSc. Yessenia Beatriz Sarango Ortega**, en mi calidad de tutor del trabajo de titulación, elaborado por **Angela Sofía Ortiz Bastidas**, cuyo tema es **“BIOCONVERSIÓN DE RESIDUOS FORESTALES Y AGRÍCOLAS POR EL MÉTODO DE FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO PARA EL CULTIVO DE CEPAS DEL HONGO PHOLIOTA ADIPOSA COMO UNA ALTERNATIVA DE MINIMIZACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL”**, que aporta a la Línea de Investigación **Promoción del Desarrollo Económico: Economía Verde**, previo a la obtención del Grado **Magíster en Biotecnología**. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 30 de septiembre del 2024



YESSENIA BEATRIZ
SARANGO ORTEGA

MSc. Yessenia Beatriz Sarango Ortega
C.I.: 1105868150
Directora del Trabajo de Titulación

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. ORTIZ BASTIDAS ANGELA SOFÍA**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "BIOCONVERSIÓN DE RESIDUOS FORESTALES Y AGRÍCOLAS POR EL MÉTODO DE FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO PARA EL CULTIVO DE CEPAS DEL HONGO PHOLIOTA ADIPOSA COMO UNA ALTERNATIVA DE MINIMIZACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	60.00
SUSTENTACIÓN	38.83
PROMEDIO	98.83
EQUIVALENTE	Excelente



Firmado digitalmente por:
JUAN DIEGO
VALENZUELA COBOS

Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado digitalmente por:
ALEX EDWIN GUILLEN
BONILLA

Ing. GUILLEN BONILLA ALEX EDWIN
VOCAL



Firmado digitalmente por:
MARIA FERNANDA
GARCES MONCAYO

Msc GARCES MONCAYO MARÍA FERNANDA
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

Dedicatoria

“He peleado la buena batalla, he acabado la carrera, he guardado la fe”.

2 Timoteo 4: 7

A mi Dios, por su misericordia diaria.

A Jesús, por su amor sin condición.

A mi mamá Flor, porque me enseñaste a no rendirme, te he visto levantarte para darme todo, incluso cuando no tienes nada.

A mi hermana Shakira, por su amor y compañía.

A mi novio Kevin, por ser mi apoyo incondicional, mi compañero y mi mejor amigo.

Agradecimientos

Agradezco principalmente a Dios por darme sabiduría y fortaleza para culminar este trabajo de titulación. Gracias por tu fidelidad y por calmar tormentas en mi corazón.

A mi familia, por su apoyo inquebrantable, amor constante y palabras de ánimo que me impulsaron a seguir adelante a pesar de las dificultades.

A mis mentores y maestros quiénes con paciencia y dedicación compartieron sus conocimientos conmigo y me ayudaron a crecer profesional y personalmente. Su influencia ha sido importante en mi formación académica y humana.

A mi tutora de tesis, MSc. Yessenia Sarango, por su invaluable guía, confianza y paciencia a lo largo de este proceso. Su asesoría y compromiso han sido claves para la culminación de este trabajo de titulación.

Resumen

Ecuador enfrenta serios desafíos con la gestión de residuos agrícolas y forestales, tales como aserrín de madera, paja de cebada y bagazo de caña, que contribuyen significativamente a la contaminación ambiental. Estos residuos, cuando no se gestionan adecuadamente, provocan problemas como la degradación del suelo, la contaminación del agua y la emisión de gases de efecto invernadero. La presente investigación tiene como finalidad la bioconversión de estos residuos mediante el método de fermentación en estado sólido (SSF) para el cultivo del hongo comestible *Pholiota adiposa*. La metodología empleada se desarrolló en varias etapas, comenzando desde el aislamiento de *Pholiota adiposa* en zonas altoandinas de la provincia de Chimborazo para la producción del inóculo primario. Para este estudio se determinó un total de siete tratamientos con 7 repeticiones cada uno incluido el testigo. Se evaluaron las condiciones óptimas de crecimiento del hongo en invernadero, caracterizando su desarrollo en los distintos sustratos mediante eficiencia biológica, rendimiento y crecimiento radial.

Finalmente, se analizó la composición fisicoquímica de los residuos en términos de celulosa, lignina y hemicelulosa. Los resultados mostraron que los tratamientos T5, T6 y T7 tuvieron mayor eficiencia en tiempo de colonización con una duración de 15 días, por otro lado, el T5 presentó una eficiencia biológica superior a los demás, siendo EB= 92,60%. Además, se determinó la composición de cada residuo estudiado, resultando el aserrín como un sustrato ideal para su desarrollo del hongo, debido a que contiene, celulosa 45.131%, 24.126% lignina y, el bagazo de caña tiene la mayor cantidad de hemicelulosa con 45.215%. Sin embargo, es necesario destacar que, al efectuar las combinaciones en cada tratamiento, la paja de cebada contribuyó a una colonización rápida y un crecimiento robusto del micelio, lo cual fue crucial para la producción eficiente. En definitiva, este estudio representa una alternativa viable y sostenible para la gestión de residuos en Ecuador. Esta investigación abre nuevas oportunidades para el desarrollo de tecnologías limpias y la promoción de prácticas agrícolas y forestales más sostenibles.

Palabras clave: Bioconversión, gestión de residuos, fermentación en estado sólido, *Pholiota adiposa*.

Abstract

Ecuador faces serious challenges with the management of agricultural and forestry residues, such as wood sawdust, barley straw and sugarcane bagasse, which contribute significantly to environmental pollution. These residues, when not properly managed, cause problems such as soil degradation, water contamination and greenhouse gas emissions. The present research aims at the bioconversion of these wastes using the solid state fermentation (SSF) method for the cultivation of the edible fungus *Pholiota adiposa*. The methodology used was developed in several stages, starting with the isolation of *Pholiota adiposa* in high Andean zones of the province of Chimborazo for the production of the primary inoculum. For this study, a total of seven treatments with seven replicates each, including the control, were determined. The optimum growth conditions of the fungus in the greenhouse were evaluated, characterizing its development in the different substrates by means of biological efficiency, yield and radial growth.

Finally, the physicochemical composition of the residues was analyzed in terms of cellulose, lignin and hemicellulose. The results showed that treatments T5, T6 and T7 had higher efficiency in colonization time with a duration of 15 days, on the other hand, T5 presented a higher biological efficiency than the others, being EB= 92.60%. In addition, the composition of each residue studied was determined, resulting sawdust as an ideal substrate for the development of the fungus, because it contains cellulose 45.131%, 24.126% lignin and sugarcane bagasse has the highest amount of hemicellulose with 45.215%. However, it is necessary to emphasize that, when performing the combinations in each treatment, barley straw contributed to rapid colonization and robust mycelial growth, which was crucial for efficient production. Ultimately, this study represents a viable and sustainable alternative for waste management in Ecuador. This research opens new opportunities for the development of clean technologies and the promotion of more sustainable agricultural and forestry practices.

Key words: Bioconversion, waste management, solid state fermentation, *Pholiota adiposa*.

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Partes de un macrohongo.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2. Ciclo de una seta</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3. Pholiota adiposa bajo un árbol.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4. Ubicación geográfica de la investigación</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5. Pholiota adiposa vista macroscópica</i>	<i>39</i>
<i>Figura 6. Vista microscópica del micelio de Pholiota adiposa</i>	<i>40</i>
<i>Figura 7. Colonización de micelio en placas PDA.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 8. Sustratos colonizados con micelio</i>	<i>43</i>

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Operacionalización de las variables.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 2. Descripción caracterización microscópica del hongo Pholiota adiposa</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3. Valor nutricional Pholiota adiposa.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4. Ventajas de la fermentación en estado sólido</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5. Desventajas de la fermentación en estado sólido.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 6. Tratamientos experimentales.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 7. Tiempo de fructificación en días en los sustratos por cosecha</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8. Eficiencia biológica de los tratamientos.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 9. Rendimiento en peso seco</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 10. Parámetros físico - químicos de los sustratos.....</i>	<i>48</i>

Índice / Sumario

Derechos de Autor.....	i
Aprobación del Tutor del Trabajo de Titulación.....	ii
Certificacion De La Defensa	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen	vi
Abstract	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Tablas	ix
Índice / Sumario.....	x
Introducción.....	1
CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación	3
Planteamiento del problema.....	3
1.1. Delimitación del problema	4
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Preguntas de investigación	4
1.4. Determinación del tema.....	5
1.5. Objetivos	5
1.6.1 Objetivo general.....	5
1.6.2 Objetivos específicos	5
1.6. Hipótesis	5
1.7. Declaración de las variables (Operacionalización)	6
1.8. Justificación.....	8
1.9. Alcance y limitaciones	9

CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial	10
2.1. Antecedentes Referenciales.....	10
2.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación	11
2.2.1. Setas	12
2.2.2. Partes de una seta.....	12
2.2.3. Ciclo de una seta	15
2.2.4. Pholiota adiposa	16
2.2.5. Caracterización Microscópica de Pholiota adiposa	17
2.2.6. Clasificación taxonómica de Pholiota adiposa	20
2.2.7. Valor nutricional de Pholiota adiposa.....	21
2.2.8. Etapas de cultivo de Pholiota adiposa	21
2.2.8.1. Condiciones de incubación.....	22
2.2.8.2. Condiciones de fructificación.....	22
2.2.9. Fermentación en Estado Sólido (SSF).....	23
2.2.9.1. Ventajas y desventajas de la fermentación en estado sólido	23
2.2.9.2. Parámetros de cultivo.....	25
2.2.10. Residuos	26
2.2.10.1. Residuos agrícolas.....	26
2.2.10.2. Residuos forestales.....	27
2.2.10.3. Composición de los residuos agrícolas y forestales	27
2.2.10.4. Principales residuos para cultivar Pholiota Adiposa	28
2.2.11. Relación carbono-nitrógeno	30
CAPÍTULO III: Diseño Metodológico.....	32
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	32
3.2. La población y la muestra.....	33
3.2.1. Población de estudio	33
3.2.2. Tamaño de la muestra.....	33
3.3. Los métodos y las técnicas	34
3.3.1. Método de muestreo.....	34
3.3.2. Técnica de recolección de datos.....	34
3.4. Procesamiento estadístico de la información	35
3.5. Etapas de la investigación.....	35
3.5.1. Etapa 1. Colección, aislamiento y purificación de Pholiota adiposa.....	35

3.5.2. Etapa 2. Producción inóculo primario y preparación de sustratos.....	36
3.5.3. Etapa 3. Fructificación, cosecha y eficiencia biológica.....	36
CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados.....	39
4.1. Análisis de los resultados.....	39
4.1.1. Aislamiento e identificación de Pholiota adiposa	39
4.1.2. Análisis crecimiento radial	40
4.1.3. Tiempo de colonización sobre los sustratos	42
4.1.4. Tiempo de fructificación de los sustratos.....	43
4.1.5. Análisis Eficiencia biológica.....	45
4.1.6. Análisis Rendimiento	47
4.1.7. Análisis físico químico del sustrato	48
CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones.....	50
5.1. Discusión.....	50
5.1.1. Aislamiento e identificación de Pholiota adiposa	50
5.1.2. Análisis del crecimiento radial.....	50
5.1.3. Tiempo de colonización sobre los sustratos	51
5.1.4. Tiempo de fructificación de los sustratos	52
5.1.5. Análisis Eficiencia Biológica.....	53
5.1.6. Análisis Rendimiento	54
5.1.7. Análisis físico químico del sustrato	55
5.2. Conclusiones.....	57
5.3. Recomendaciones.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS	68
Anexo 1. Resultados del tiempo de colonización en los tratamientos.	68
Anexo 2. Resultados de la Eficiencia Biológica (EB).....	69
Anexo 3. Resultados del Rendimiento	71
Anexo 4. Preparación del Invernadero y Tratamientos a Estudiarse.....	73
Anexo 5. Preparación del Inóculo Primario	74
Anexo 6. Presencia de Primordios en los Tratamientos.	75
Anexo 7. Procedimiento para Obtener la Eficiencia Biológica.....	76

Introducción

Actualmente, la gestión de residuos forestales y agrícolas se presenta como un desafío crítico para la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico. La acumulación de estos residuos, resultado de actividades como la tala de árboles, la poda de plantas, y las cosechas agrícolas, no solo representa una pérdida de recursos potencialmente valiosos, sino que también conlleva una serie de problemas ambientales significativos (Ramírez et al., 2023). La acumulación y quema de estos residuos liberan grandes cantidades de dióxido de carbono, agravando los problemas de calidad del aire y contribuyendo al cambio climático (Aguilar et al., 2021).

En este contexto, la bioconversión de residuos forestales y agrícolas a través de la fermentación en estado sólido (SSF) emerge como una alternativa prometedora (Junior Letti et al., 2018). La SSF utiliza microorganismos como hongos y bacterias para transformar materiales orgánicos en productos de valor agregado, ofreciendo una solución potencialmente eficiente y sostenible. Este método no solo permite la valorización de residuos lignocelulósicos, sino que también promueve la producción de biomasa fúngica, enzimas y otros metabolitos industrialmente relevantes (Junior Letti et al., 2018).

En respuesta a esta problemática, se ha optado por trabajar con el hongo comestible *Pholiota adiposa* como una alternativa sostenible para la bioconversión de residuos agrícolas y forestales en la ciudad de Riobamba. Este hongo, relativamente nuevo y poco conocido en el país, ofrece una solución innovadora para transformar residuos lignocelulósicos en productos de valor agregado. *Pholiota adiposa* no solo ayuda a reducir el impacto ambiental al descomponer eficientemente los residuos orgánicos, sino que también produce un alimento nutritivo y saludable (Obatake et al., 2002). La aplicación de esta técnica en Riobamba podría proporcionar una solución viable para la gestión de residuos, al tiempo que promovería el desarrollo sostenible y añadiría valor. El cultivo no sólo resolvería los problemas de gestión de residuos, sino que también podría ofrecer una fuente de ingresos alternativa a los agricultores, diversificando las economías rurales y contribuyendo al mismo tiempo a la seguridad alimentaria (Kumla et al., 2020).

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la factibilidad de la bioconversión de residuos forestales y agrícolas a través de la fermentación en estado sólido (FES) para el cultivo de cepas de *Pholiota adiposa* en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se emplearán métodos biotecnológicos avanzados, comenzando con el aislamiento del micelio de *Pholiota adiposa* y la producción de inóculo bajo condiciones controladas. Luego, se evaluará el crecimiento en varios sustratos como paja de cebada, aserrín y bagazo de caña de azúcar. Se determinará rigurosamente la eficiencia biológica analizando el rendimiento y la producción de biomasa para optimizar los procesos de cultivo y al mismo tiempo promover una alternativa sostenible de valorización de residuos agrícolas en la ciudad de Riobamba (Srivastava et al., 2019).

El objetivo del estudio de *Pholiota adiposa* es adquirir conocimiento acerca de sus características y posibles aplicaciones, con el fin de promover su uso en la producción alimentaria sostenible. La investigación busca proporcionar una opción respetuosa con el medio ambiente para valorizar los residuos, transformándolos en un recurso valioso que beneficie a las comunidades locales.

CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación

Planteamiento del problema

La gestión de los residuos agrícolas y forestales es un problema acuciante en Ecuador, agravado por la insuficiente gestión de los residuos resultantes junto con la intensificación de la producción agrícola. En la ciudad de Riobamba, donde destacan las actividades agrícolas y forestales, se han acumulado importantes volúmenes de serrín de madera, paja de cebada y bagazo de caña de azúcar que suponen un riesgo para la salud pública y el medio ambiente.

El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) informa que Ecuador produce alrededor de 15 millones de toneladas de residuos agrícolas cada año, abarcando materiales como aserrín de madera, paja de cebada y bagazo de caña de azúcar (2023). Solo Riobamba aporta anualmente unas 4,2 mil toneladas en desechos agrícolas más otras 3,8 mil provenientes de la silvicultura, ambos sustancialmente mal gestionados, lo que culmina en problemas como la erosión del suelo, la contaminación del agua y la emisión de gases de efecto invernadero (INEC, 2023).

La acumulación de restos agrícolas y forestales tiene varios efectos adversos. En primer lugar, provoca la ruina del suelo, ya que la materia orgánica sin procesar puede modificar su configuración y disposición, lo que reduce sus niveles de productividad al retener menos agua, afectando así a la fertilidad (Okuda, 2022). Además, estos restos contribuyen de forma significativa a la contaminación del agua; liberan nutrientes y compuestos naturales durante su descomposición que se infiltran tanto en las cuencas hidrográficas superficiales como en las masas de agua subterránea, lo que provoca la eutrofización y reduce los niveles de calidad de los recursos potables disponibles para el consumo (Atila, 2022).

La descarga de gases de efecto invernadero (GEI) es un reto notable. En varias zonas rústicas del Ecuador, como Chimborazo, la incineración de restos agrarios es una norma establecida que resulta en emisiones sustanciales de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x), según Quintana Zamora et al., 2024. Esto da lugar a la alteración del clima a la vez que afecta negativamente a la calidad del aire con las consiguientes implicaciones para la salud ambiental (Quintana Zamora et al., 2024).

1.1. Delimitación del problema

La presente investigación se llevará a cabo en la provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Parroquia Lizarzaburu, específicamente en los laboratorios de Microbiología y Biotecnología de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Esta provincia se distingue por una considerable generación de residuos agrícolas y forestales, destacando el aserrín de madera, la paja de cebada y el bagazo de caña de azúcar.

El tiempo destinado para la investigación será de 120 días, período que comprende desde el aislamiento del micelio hasta la cosecha de los hongos. Este cronograma permite un seguimiento detallado de cada etapa del proceso de fermentación en estado sólido, asegurando así la obtención de datos precisos y relevantes para el estudio.

La elección de *Pholiota adiposa* como objeto de estudio responde a la necesidad de encontrar alternativas sostenibles y eficientes para la bioconversión de residuos lignocelulósicos. Este hongo ha demostrado un alto potencial para descomponer residuos orgánicos, convirtiéndolos en biomasa útil y comestible, lo que representa una solución innovadora para los desafíos ambientales actuales.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo puede la bioconversión de residuos agrícolas y forestales mediante el método de fermentación en estado sólido con *Pholiota adiposa* minimizar el impacto ambiental en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo?

1.3. Preguntas de investigación

¿Cuáles son las condiciones óptimas para el crecimiento de *Pholiota adiposa* en residuos agrícolas y forestales?

¿Qué eficiencia biológica y rendimiento se pueden obtener al cultivar *Pholiota adiposa* en aserrín de madera, paja de cebada y bagazo de caña?

¿Cómo afecta la composición fisicoquímica de los residuos al crecimiento y desarrollo del hongo?

¿Qué beneficios ambientales se pueden lograr al utilizar estos residuos para la producción de *Pholiota adiposa*?

1.4. Determinación del tema

La determinación del tema de esta investigación se enfoca en abordar la problemática ambiental clave en la provincia de Chimborazo, Ecuador a través de la bioconversión de desechos agrícolas y forestales en productos de valor agregado, específicamente utilizando el hongo comestible *Pholiota adiposa*. Este enfoque no sólo pretende proporcionar soluciones innovadoras y sostenibles para la gestión de residuos, sino que también promueve el desarrollo de tecnologías limpias y prácticas agrícolas más sostenibles.

1.5. Objetivos

1.6.1 Objetivo general

- Evaluar los residuos forestales y agrícolas como aserrín de madera, paja de cebada y el bagazo de caña para la producción del hongo comestible *Pholiota adiposa* por el método de fermentación en estado sólido como una alternativa de minimización del impacto ambiental.

1.6.2 Objetivos específicos

- Aislar *Pholiota adiposa* en zonas altoandinas de la provincia de Chimborazo para la producción del inóculo primario.
- Evaluar las condiciones de crecimiento óptimas para el desarrollo de *Pholiota adiposa* con la tasa de crecimiento más alta.
- Caracterizar el crecimiento del hongo *Pholiota adiposa* en los sustratos de origen forestal y agrícola mediante la eficiencia biológica, rendimiento y crecimiento radial.
- Analizar la composición fisicoquímica de celulosa, lignina y hemicelulosa en los residuos de aserrín de madera, bagazo de caña y paja de cebada.

1.6. Hipótesis

La bioconversión de residuos agrícolas y forestales, como el aserrín de madera, la paja de cebada y el bagazo de caña, mediante el hongo *Pholiota adiposa* utilizando

el método de fermentación en estado sólido, reduce de manera significativa el impacto ambiental en comparación con los métodos tradicionales de gestión de residuos.

1.7. Declaración de las variables (Operacionalización)

La operacionalización de las variables en esta investigación implica definir y medir las variables clave que se utilizarán para evaluar el impacto del cultivo de *Pholiota adiposa* mediante la bioconversión de residuos agrícolas y forestales. A continuación, se detalla cómo se operacionalizarán las principales variables en el contexto del estudio:

Tabla 1. Operacionalización de las variables.

Variable	Naturaleza Dependent e/ Independiente	Definición conceptual	Ejecución	Indicador	Unidad de medida
Composición fisicoquímica del sustrato.	Independiente	Proporción de componentes como celulosa, lignina y hemicelulosa en los residuos.	Análisis químico de los residuos antes de la inoculación	Contenido de celulosa, lignina y hemicelulosa	% (porcentaje)
Tipo de sustrato	Independiente	Diferentes residuos utilizados como sustrato: aserrín de madera, paja de cebada,	Selección y preparación de los diferentes residuos para el cultivo.	Tipo de residuo	Categoría (aserrín, paja, bagazo). g (gramos)

		bagazo de caña.			
Condiciones de crecimiento	Independiente	Parámetros ambientales como temperatura, humedad, y ventilación.	Control de las condiciones en el invernadero o cámara de cultivo.	Temperatura, humedad relativa, pH.	°C (grados Celsius), % (porcentaje)
Eficiencia Biológica (EB)	Dependiente	Proporción del peso de los hongos frescos producidos respecto al peso seco del sustrato utilizado.	Medición del peso de los hongos cosechados y el peso seco del sustrato.	Porcentaje de conversión del sustrato en biomasa de hongos.	% (porcentaje)
Rendimiento	Dependiente	Cantidad total de hongos cosechados en relación con el sustrato utilizado.	Medición del peso total de los hongos cosechados.	Peso de los hongos producidos	kg (kilogramos), g (gramos)
Crecimiento Radial del micelio	Dependiente	Diámetro del crecimiento del micelio en el sustrato medido en	Medición del diámetro del micelio en placas de Petri o	Diámetro del micelio	cm (centímetros)

		un período de tiempo específico.	bolsas de cultivo.		
Tiempo de Colonización	Dependiente	Período necesario para que el micelio del hongo colonice completamente el sustrato.	Registro del tiempo desde la inoculación hasta la colonización completa del sustrato.	Duración de la colonización	días

Fuente: Los autores.

1.8. Justificación

Ecuador ha sido testigo de un aumento sustancial en el cultivo de hongos comestibles, en gran parte debido a la creciente demanda de productos alimenticios naturales y ricos en nutrientes (Scalvenzi et al., 2024). Los hongos comestibles han ganado reconocimiento no sólo como deliciosos manjares, sino también por sus beneficios medicinales. Por lo tanto, explorar el potencial de *Pholiota adiposa* es vital a pesar de ser una especie de hongo desconocida en Ecuador, ya que su investigación podría conducir a valiosos hallazgos sobre las prácticas de gestión de residuos y enriquecer el crecimiento económico de las comunidades rurales, al tiempo que promueve mejores resultados de salud.

Un avance importante en la eliminación de residuos es la utilización de *Pholiota adiposa* para convertir los desechos lignocelulósicos. Este hongo en particular puede descomponer hábilmente materiales como el serrín de madera, la paja de cebada y el bagazo de caña de azúcar convirtiéndolos en biomasa fúngica (Jatuwong et al., 2020).

La utilización de *Pholiota adiposa* para el sistema de gestión de residuos por bioconversión es congruente con los preceptos de la economía circular (Jatuwong

et al., 2020). Esta metodología fomenta el aprovechamiento de los recursos mediante la reutilización y el reciclaje de materiales, al tiempo que disminuye la dependencia de los recursos no renovables y reduce la producción de residuos (Valenzuela-Cobos et al., 2023).

En la actualidad, los datos disponibles sobre *Pholiota adiposa* y su uso en la conversión de residuos son escasos, especialmente en el ámbito ecuatoriano. Es imperativo investigar ampliamente este hongo para ampliar nuestro conocimiento científico sobre él, desde la identificación de las condiciones que promueven su crecimiento hasta la evaluación de la eficacia con la que descompone diversos tipos de residuos, así como la determinación de si se pueden producir o no alimentos de alta calidad con él. La generación de un nuevo conocimiento científico puede tener un impacto positivo en la educación e investigaciones futuras.

1.9. Alcance y limitaciones

La investigación se centrará en la evaluación y optimización del uso de residuos agrícolas y forestales como aserrín de madera, paja de cebada y bagazo de caña de azúcar para la producción del hongo comestible *Pholiota adiposa* mediante el método de fermentación en estado sólido (SSF). El estudio abarcará la identificación y caracterización de los sustratos más adecuados, la optimización de las condiciones de crecimiento del hongo y la evaluación de su eficiencia en la bioconversión de los residuos.

La investigación es factible, ya que se realizará en laboratorios de microbiología y biotecnología, además de usar un invernadero para controlar las condiciones de crecimiento específicas para un desarrollo óptimo del hongo *Pholiota adiposa*. Las posibles limitaciones es la disponibilidad de los residuos agrícolas y forestales que puede variar según la temporada y el lugar, lo que podría afectar la continuidad y consistencia de la investigación. La falta de estudios previos sobre *Pholiota adiposa* en el contexto ecuatoriano también puede presentar desafíos, ya que la investigación se basa en extrapolaciones de datos obtenidos en otros contextos y especies de hongos.

CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial

2.1. Antecedentes Referenciales

La bioconversión de residuos agrícolas y forestales mediante hongos comestibles ha cobrado gran relevancia en los últimos años debido a la creciente necesidad de soluciones sostenibles para la gestión de residuos y la producción de alimentos. Diversos estudios recientes han explorado el potencial de diferentes hongos para descomponer residuos lignocelulósicos y generar productos de alto valor añadido, incluyendo biomasa fúngica comestible (Jatuwong et al., 2020).

En un estudio realizado por Fufa et al. (2021), se investigó el uso de residuos agrícolas como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*, un hongo comestible ampliamente cultivado. Los resultados demostraron que este hongo puede degradar eficientemente los residuos lignocelulósicos, reduciendo significativamente su volumen y produciendo biomasa de alta calidad. Este estudio subraya la viabilidad de utilizar hongos comestibles para la gestión de residuos agrícolas, una línea de investigación que también es relevante para el uso de *Pholiota adiposa* en Ecuador.

Pholiota adiposa, conocido como "numerisugitake" en Japón, es un hongo comestible que se cultiva no solo en Japón, sino también en varias regiones de Asia, Europa, Norteamérica y Suramérica, en menor proporción. Este hongo es una de las especies silvestres comestibles cosmopolitas que crece en la madera y ha sido utilizado como alimento durante siglos en Japón. Con el objetivo de cultivar comercialmente este hongo, Shimizu et al. (2003) investigaron la posibilidad del cultivo artificial utilizando ricino, excrementos de pollo y madera de *Cryptomeria* como sustrato de cultivo. Aunque se ha avanzado en los métodos de cultivo, todavía se dispone de poca información sobre los componentes funcionales que tienen valor gastronómico o su contenido en *Pholiota adiposa* (Rong, 2016; Shimizu et al., 2003).

Recientemente, Saratale et al. cultivaron dos cepas de *Pholiota adiposa* (FPF-13 y oninome-B) en lechos artificiales para examinar las características morfológicas y algunos componentes funcionales comunes como la quitina, manitol, trehalosa, guanosina 5-monofosfato (5-GMP), ergosterol y β -glucano. Estos estudios han permitido conocer mejor las propiedades nutricionales y funcionales de *Pholiota*

adiposa, demostrando su potencial como alimento saludable y nutritivo (Saratale et al., 2020).

Pandey et al. (2020) realizaron un estudio exhaustivo sobre la fermentación en estado sólido (SSF) y su aplicación en la bioconversión de residuos. Este estudio destacó que la SSF es una técnica eficiente y económica para la gestión de residuos, especialmente en áreas rurales con infraestructura limitada. La SSF permite la utilización de residuos locales, reduciendo costos de transporte y procesamiento. La investigación concluyó que la SSF es una técnica prometedora para la producción de hongos comestibles a partir de residuos agrícolas y forestales, proporcionando un marco teórico robusto para el presente estudio sobre *Pholiota adiposa*.

A pesar de que la investigación específica sobre *Pholiota adiposa* es limitada, estudios recientes han comenzado a explorar su potencial. Nath et al. (2024) documentó las capacidades de este hongo para descomponer residuos lignocelulósicos y producir biomasa fúngica de alta calidad. Aunque este estudio se centró en un contexto diferente, los resultados sugieren que *Pholiota adiposa* podría ser una alternativa viable para la bioconversión de residuos.

Además, la FAO (2021) ha subrayado la importancia de diversificar las fuentes de ingresos para las comunidades rurales mediante la adopción de prácticas agrícolas sostenibles. La producción de hongos comestibles, como *Pholiota adiposa*, puede contribuir significativamente a la seguridad alimentaria y a la economía local, proporcionando nuevas oportunidades de empleo y desarrollo económico.

La necesidad de investigar y desarrollar el cultivo de *Pholiota adiposa* en Ecuador es clara. A pesar de su potencial, la información sobre este hongo es limitada, especialmente en el contexto ecuatoriano. Estudios como los de Ghisellini et al. (2021) han demostrado que la adopción de prácticas de economía circular puede mejorar la competitividad y la resiliencia económica. La investigación sobre *Pholiota adiposa* puede contribuir a esta transición, proporcionando una base científica y tecnológica para la gestión sostenible de residuos y la producción de alimentos de alta calidad.

2.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación

2.2.1. Setas

Una seta es un macrohongo con un cuerpo fructífero notablemente grande que se puede observar a simple vista y recoger a mano. Estos hongos pertenecen a la familia Agaricaceae y presentan una amplia variedad de colores, formas, texturas y comportamientos. Su crecimiento ocurre sobre el suelo o sobre materiales orgánicos en descomposición, como madera, en ambientes húmedos y frescos (Naeem et al., 2020).

De los 1,5 millones de especies de hongos estimadas, 14,000 han sido descritas, y entre ellas, alrededor de 2,000 producen cuerpos fructíferos suficientemente grandes como para ser clasificados como hongos, muchos de los cuales son comestibles. Entre los hongos más conocidos y comestibles se encuentran *Pleurotus*, *Lactarius*, *Pisolithus*, *Tremella*, *Russula*, *Agaricus*, *Lentinus*, *Auricularia*, *Hericium*, *Pholiota adiposa* y *Cordyceps*. La producción de estos hongos comestibles puede iniciarse a partir de plantas o semillas, dependiendo de la especie (Kumla et al., 2020).

Los hongos tienen un alto contenido de humedad (85-95%), carbohidratos (35-70%), proteínas (15-34,7%), grasas (10%), minerales (6-10,9%) y ácidos nucleicos (3-8%). También son ricos en vitaminas, como tiamina (1,4-2,2 mg%), riboflavina (6,7-9,0 mg%), niacina (60,6-73,3 mg%), biotina, ácido ascórbico (92-144 mg%), ácido pantoténico (21,1-33,3 mg%) y ácido fólico (1,2-1,4 mg/100 g en base a peso seco) (Kumla et al., 2020).

Los extractos de hongos y sus metabolitos secundarios poseen propiedades antioxidantes, antimicrobianas, anticancerígenas, antiinflamatorias, antiobesidad e inmunomoduladoras. Los polisacáridos, proteínas asociadas a carbohidratos, péptidos, enzimas, polifenoles, triterpenos y triterpenoides son algunos de los compuestos bioactivos presentes en los hongos que ofrecen beneficios para la salud humana y muestran actividad antiviral contra virus de ADN y ARN. Esta revisión tiene como objetivo explorar el valor nutricional, la bioquímica y las propiedades medicinales de los hongos comestibles (Okuda, 2022).

2.2.2. Partes de una seta

Las setas, que son cuerpos fructíferos de ciertos hongos, tienen varias partes distintas, cada una con funciones específicas en el ciclo de vida del hongo y en la

reproducción como muestra la Figura 1. Aquí te detallo las partes principales de una seta y sus funciones:

- **Sombrero (Cap)**

El sombrero es la parte superior de la seta, que puede ser de forma convexa, plana, o incluso en forma de campana. Su superficie puede ser lisa, escamosa, o rugosa, y su color varía entre especies. El sombrero protege el himenio, que es la capa donde se encuentran las estructuras reproductivas del hongo, como las esporas. Además, en muchas especies, el sombrero actúa como un medio para dispersar las esporas cuando se liberan desde las estructuras reproductivas (Dimopoulou et al., 2022).

- **Láminas (Gills)**

Las láminas son estructuras delgadas y en forma de lámina ubicadas en la parte inferior del sombrero. En algunos hongos, como las setas comunes, las láminas están dispuestas en un patrón radial y están separadas por espacios que pueden ser más o menos amplios. Las láminas contienen los basidios (en Basidiomycota) o asci (en Ascomycota), que son las estructuras donde se producen las esporas. Las esporas se liberan desde los basidios o asci y se dispersan al entorno para germinar y formar nuevos hongos (Dimopoulou et al., 2022).

- **Estípite (Stipe o Tallo)**

El estípite es el tallo o soporte que sostiene el sombrero de la seta. Puede ser delgado o robusto, liso o rugoso, y a menudo tiene una base más ancha. Su función es soportar el sombrero y ayuda a elevarlo sobre el sustrato, lo que facilita la dispersión de las esporas. También actúa como un canal para el transporte de nutrientes y agua desde el sustrato hacia el sombrero (Rajarathnam & Shashirekha, 2003).

- **Anillo (Ring)**

El anillo es una estructura que puede encontrarse en el estípite, a menudo como una banda o una membrana que rodea el tallo. Puede ser visible o estar ausente en algunas especies. El anillo es una característica que resulta de la caída de esporas y el crecimiento del estípite. En algunas especies, el anillo ayuda a proteger el himenio durante el desarrollo inicial de la seta (Dimopoulou et al., 2022).

- **Volva**

La volva es una estructura en forma de bolsa en la base del estípite, que a menudo queda enterrada en el sustrato. Es más evidente en algunas especies de hongos. La volva es un remanente del cuerpo de la seta que se desarrolló en el estado juvenil, y su presencia es una característica importante para la identificación de algunas especies. Ayuda a proteger el hongo en sus primeras etapas de desarrollo (Dimopoulou et al., 2022).

- **Esporas**

Las esporas son células reproductivas microscópicas que se producen en el himenio. Son responsables de la reproducción sexual del hongo y son liberadas desde los basidios o asci. Las esporas se dispersan en el ambiente y germinan en nuevas condiciones adecuadas para formar micelio, el cuerpo vegetativo del hongo. La dispersión eficiente de las esporas es crucial para la supervivencia y propagación del hongo (Dimopoulou et al., 2022).

- **Himeno (Hymenium)**

El himenio es la capa de tejido que cubre las superficies internas de las láminas o los tubos de la seta, donde se encuentran los basidios o asci. El himenio es el sitio donde se produce la reproducción sexual del hongo. Los basidios o asci en el himenio generan esporas que son liberadas para la dispersión y germinación (Rajarithnam & Shashirekha, 2003).

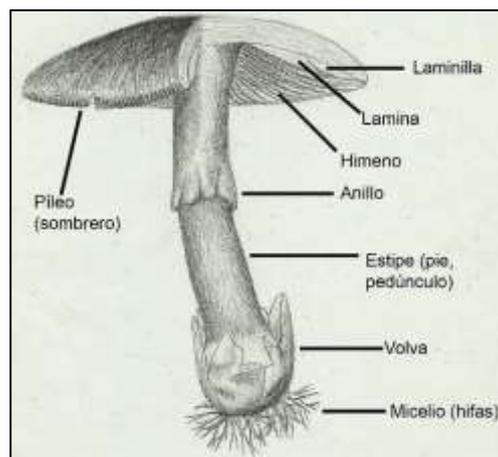


Figura 1. Partes de un macrohongo.

Nota. La imagen muestra la anatomía de un hongo con las siguientes partes etiquetadas: Píleo (sombrero), laminilla, lámina, himenio, anillo, estipe, volva y micelio. Cada parte tiene una función específica crucial para su desarrollo y reproducción. **Fuente:** (Dimopoulou et al., 2022).

2.2.3. Ciclo de una seta

El ciclo de las setas es un proceso complejo y fascinante que describe el desarrollo de los hongos desde la liberación de esporas hasta la formación de nuevas esporas (Figura 2). Este ciclo incluye varias etapas críticas, como la germinación de las esporas, el crecimiento del micelio, la formación de primordios y el desarrollo del cuerpo fructífero, o seta. A medida que las setas maduran, producen esporas en estructuras especializadas llamadas basidios, que se liberan para dispersarse y comenzar el ciclo nuevamente. Este ciclo no solo es esencial para la reproducción de los hongos, sino que también juega un papel crucial en los ecosistemas al reciclar nutrientes y formar parte de diversas cadenas alimenticias (Li et al., 2023).

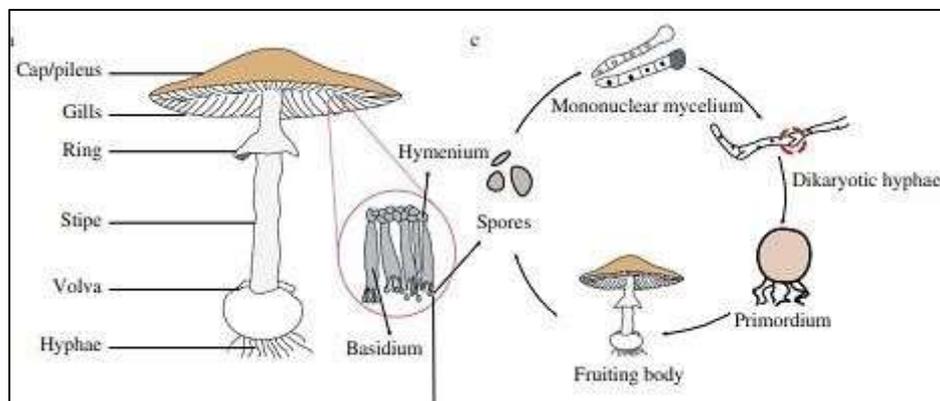


Figura 2. Ciclo de una seta.

Nota. Los cuerpos fructíferos son la etapa reproductiva sexual en el ciclo de vida de los hongos comestibles. Las esporas sexuales de los basidiomicetos se generan en el cuerpo fructífero debajo del píleo, llamadas basidiosporas y las esporas sexuales de los ascomicetos se forman en el asco del cuerpo fructífero, llamadas ascosporas.

Un solo hongo puede liberar más de mil millones de esporas al día. **Fuente:** (Li et al., 2023)

2.2.4. *Pholiota adiposa*

Pholiota adiposa es un hongo saprófito que pertenece a la familia *Strophariaceae* y al género *Pholiota*. Esta especie se distingue por su cuerpo fructífero prominente, visible a simple vista, que presenta características morfológicas específicas. El sombrero de *Pholiota adiposa* es robusto, de forma convexa a extendida, con una superficie viscosa que suele ser de color marrón oscuro o castaño con escamas finas. La cutícula del sombrero tiene una textura resbaladiza cuando está húmeda, lo que le da una apariencia característica y facilita su identificación en el campo (Rong, 2016).

El estípite, o tallo, de este hongo es cilindroide, firme y de color amarillo a marrón, con una base a menudo engrosada y una textura fibrosa. Su superficie también puede presentar una capa pegajosa cuando está húmeda, similar al sombrero. En el interior, el estípite es sólido, lo que ayuda a sostener el sombrero y contribuye a la estructura general del hongo (Rong, 2016).

Pholiota adiposa crece principalmente sobre madera en descomposición, en suelos forestales húmedos y frescos, donde se encuentra en etapas avanzadas de descomposición de madera muerta. Este hongo es saprófito, lo que significa que obtiene sus nutrientes descomponiendo materia orgánica muerta, en este caso, madera en descomposición. Su presencia es un indicador de un ecosistema forestal saludable, ya que contribuye al ciclo de nutrientes al descomponer material vegetal muerto (Shimizu et al., 2003).

Pholiota adiposa se encuentra principalmente en bosques templados y puede ser observado en la temporada de otoño e invierno. Su hábitat incluye bosques mixtos y de coníferas, donde el clima húmedo y fresco es ideal para su crecimiento como muestra la Figura 3. La identificación de este hongo en el campo requiere una atención cuidadosa a sus características distintivas, ya que puede ser confundido con otras especies similares (Rong, 2016).

En cuanto a la reproducción, *Pholiota adiposa* produce esporas que se liberan desde las láminas situadas en la parte inferior del sombrero. Estas esporas se dispersan a

través del aire y pueden colonizar nuevos sustratos de madera en descomposición, facilitando la propagación de la especie (Okuda, 2022).



Figura 3. *Pholiota adiposa* bajo un árbol.

Nota. La imagen muestra un grupo de hongos *Pholiota adiposa*, conocidos por su característico sombrero de color amarillo-anaranjado con escamas o verrugas blancas. Estos hongos crecen en racimos y tienen un estipe (tallo) robusto de color blanco a amarillento. Son típicos de ambientes boscosos, a menudo encontrándose en la base de árboles o en madera en descomposición.

Fuente: (Li et al., 2023)

2.2.5. Caracterización Microscópica de *Pholiota adiposa*

La caracterización microscópica de *Pholiota adiposa* es esencial para su identificación precisa y para comprender su biología y desarrollo. A continuación, se detallan las características microscópicas clave de esta especie:

Tabla 2. Descripción caracterización microscópica del hongo *Pholiota adiposa*.

Esporas

Forma y Tamaño Las esporas de *Pholiota adiposa* son elipsoidales a redondeadas, con dimensiones que varían aproximadamente entre 6-9 micrómetros de largo y 4-6 micrómetros de ancho. Son esporas hialinas (transparentes) cuando están recién liberadas y pueden presentar una ligera coloración amarillenta en la madurez (Shimizu et al., 2003).

Superficie La superficie de las esporas es lisa a ligeramente rugosa. La estructura externa puede observarse bajo el microscopio óptico utilizando un colorante específico para esporas, como el azul de lactofenol, que resalta las características morfológicas (Shimizu et al., 2003).

Láminas (Himenoforo)

Disposición y Espesor Las láminas de *Pholiota adiposa* están dispuestas en forma de láminas libres a adjuntas, a menudo con un espesor moderado. Estas láminas se pueden observar en detalle para estudiar la disposición de los basidios y esporas (Saratale et al., 2020).

Coloración En la madurez, las láminas pueden cambiar de un color blanco a amarillo pálido. Esta coloración puede variar dependiendo de la edad del hongo y el estado de desarrollo (Saratale et al., 2020).

Basidios Los basidios son células especializadas que producen esporas. En *Pholiota adiposa*, los basidios son claviformes (con forma de garra), con una longitud de 20-30 micrómetros y un ancho de 6-10 micrómetros. Cada basidio típicamente produce cuatro esporas en la fase de maduración (Shimizu et al., 2003).

Cistidios

Tipo y Distribución Los cistidios son células especializadas presentes en las láminas que tienen una función en la protección de los basidios y en la regulación de la liberación de

	<p>esporas. En <i>Pholiota adiposa</i>, los cistidios son típicamente cilindrocónicos o en forma de bastón, con una longitud de 30-60 micrómetros y un ancho de 8-12 micrómetros. Están distribuidos de manera irregular entre las láminas (Saratale et al., 2020).</p>
Característica Adicional	<p>Los cistidios pueden presentar una forma bulbosa en su extremo, y en algunos casos, pueden estar pigmentados con tonos amarillos o marrones, dependiendo del desarrollo del hongo y la edad de la muestra (Saratale et al., 2020).</p>
Hifas del Himeneo	
Aspecto General	<p>Las hifas en el himeneo (la capa de tejido donde se encuentran los basidios y esporas) son delgadas, con un diámetro que oscila entre 2-5 micrómetros (Dimopoulou et al., 2022).</p>
Color y Textura	<p>Las hifas pueden mostrar una coloración amarillenta a medida que el hongo madura, y a menudo tienen una textura lisa o ligeramente rugosa. En algunas muestras, las hifas pueden contener pigmentos que contribuyen al color del himenóforo (Rajarithnam & Shashirekha, 2003).</p>
Observaciones Adicionales	
Reacción a Colorantes	<p>Los estudios microscópicos a menudo utilizan colorantes especiales para destacar diferentes estructuras. Por ejemplo, el azul de lactofenol es útil para observar las esporas y los basidios, ya que tiñe las esporas y resalta las características estructurales de las hifas y el himenóforo (Shimizu et al., 2003).</p>
Microscopía Electrónica	<p>Para un análisis más detallado, la microscopía electrónica de barrido puede proporcionar imágenes de alta resolución que revelan la superficie detallada de las esporas y las estructuras de las hifas. Esta técnica es particularmente útil para observar características</p>

microscópicas que no son visibles con la microscopía óptica convencional (Shimizu et al., 2003).

Fuente: Los autores.

2.2.6. Clasificación taxonómica de *Pholiota adiposa*

La clasificación taxonómica de *Pholiota adiposa* sigue la jerarquía sistemática de la biología para categorizar a esta especie dentro del reino Fungi. A continuación, se detalla su clasificación taxonómica:

- **Reino:** Fungi

Los hongos forman parte del reino Fungi, que incluye una gran diversidad de organismos que obtienen nutrientes por absorción y que tienen una estructura celular que contiene quitina en las paredes celulares (Holec, 1998).

- **División:** Basidiomycota

Pholiota adiposa pertenece a la división Basidiomycota, uno de los principales grupos de hongos que produce esporas basidiospóricas en una estructura llamada basidio. Los Basidiomycota son conocidos por su diversidad en la producción de cuerpos fructíferos (como setas) (Holec, 1998).

- **Clase:** Agaricomycetes

Dentro de Basidiomycota, la clase Agaricomycetes es una de las más diversas y comprende muchos hongos con cuerpos fructíferos típicos, incluyendo setas y hongos de sombrero (Holec, 1998).

- **Orden:** Agaricales

El orden Agaricales incluye muchos hongos con láminas o poros bajo el sombrero. Es uno de los órdenes más amplios y diversos dentro de los Agaricomycetes (Holec, 1998).

- **Familia:** Strophariaceae

Pholiota adiposa está en la familia Strophariaceae, que incluye hongos con cuerpos fructíferos típicamente parecidos a las setas y que producen esporas en basidios (Holec, 1998).

- **Género:** Pholiota

El género Pholiota se caracteriza por hongos que producen cuerpos fructíferos con un sombrero que puede ser viscoso y un estípite fibroso. Los hongos de este género a menudo crecen sobre madera en descomposición (Holec, 1998).

- **Especie:** *Pholiota adiposa*

La especie *Pholiota adiposa* se distingue por su cuerpo fructífero grande, con un sombrero viscoso y un estípite robusto. Es conocido por su capacidad para crecer sobre madera en descomposición y por sus características microscópicas particulares (Holec, 1998).

2.2.7. Valor nutricional de *Pholiota adiposa*

Pholiota adiposa es valorada por su contenido nutricional, que incluye proteínas, fibras, vitaminas y minerales esenciales. A continuación, se presenta una tabla con su composición nutricional promedio:

Tabla 3. Valor nutricional Pholiota adiposa.

Componente	Cantidad por 100 g
Proteínas	42 g
Carbohidratos	4.0 g
Fibra	12.5g
Vitaminas	B1, B2, B3, D
Minerales	K, P, Fe, Cu

Nota. Este hongo contiene alrededor de 42 g de proteína por cada 100 g de peso seco, destacándose como una fuente excelente de proteínas. Su alto contenido proteico enriquece su valor nutricional, haciendo de *Pholiota adiposa* una opción nutritiva en diversas dietas. **Fuente:** (Wang et al., 2022)

2.2.8. Etapas de cultivo de *Pholiota adiposa*

El cultivo de *Pholiota adiposa* sigue las mismas etapas de desarrollo que otros hongos comestibles en bloques estériles, aunque difiere en los periodos de fructificación e incubación. Es fundamental proporcionar las condiciones ambientales específicas del área de producción para simular las condiciones de crecimiento naturales de este hongo (Kumar et al., 2021).

2.2.8.1. Condiciones de incubación

La fase de incubación de *Pholiota adiposa* es crucial para asegurar un crecimiento saludable del micelio. Durante este periodo, se debe mantener una temperatura constante entre 22-25°C (72-77°F), ya que esta temperatura optimiza el desarrollo del micelio en los sustratos lignocelulósicos como el aserrín de madera, la paja de cebada y el bagazo de caña. Además, es esencial mantener una alta humedad relativa, alrededor del 70-75%, para prevenir el desecamiento del sustrato y favorecer la colonización completa. La oscuridad total o condiciones de baja luminosidad son ideales durante esta fase, dado que la luz puede inhibir el crecimiento micelial y promover la fructificación prematura. Una buena ventilación es necesaria para evitar la acumulación de CO₂ y mantener niveles adecuados de oxígeno, esenciales para la respiración del micelio. Estas condiciones deben ser monitoreadas y ajustadas cuidadosamente para asegurar un desarrollo uniforme y robusto del micelio (Kumar et al., 2021).

2.2.8.2. Condiciones de fructificación

La fase de fructificación de *Pholiota adiposa* requiere un ajuste en las condiciones ambientales para inducir la formación de cuerpos fructíferos. A diferencia de la incubación, esta etapa se beneficia de temperaturas ligeramente más bajas, idealmente entre 18-20°C (64-68°F), lo que estimula la iniciación de los primordios. La humedad relativa debe mantenerse alta, en el rango de 85-90%, para evitar el secado de los primordios y promover su desarrollo a setas maduras. A diferencia de la incubación, la fructificación requiere una exposición a la luz, con una intensidad de luz moderada alrededor de 500-1000 lux, lo que ayuda a la formación y crecimiento de los cuerpos fructíferos. La ventilación adecuada sigue siendo crucial para la eliminación del exceso de CO₂ y la provisión de oxígeno, necesarios para el

crecimiento de las setas. Además, la humedad del sustrato debe ser monitoreada continuamente para asegurar que permanezca suficientemente húmedo, pero no empapado, lo que podría favorecer el desarrollo de contaminantes (Royse, 2014).

2.2.9. Fermentación en Estado Sólido (SSF)

La fermentación en medio sólido implica el crecimiento de microorganismos en materiales o residuos sólidos con una mínima cantidad de líquido libre. Es importante destacar que este proceso no se realiza sin agua, ya que los niveles de humedad pueden variar entre 40% y 80%, mientras que el mínimo es de 12%, por debajo del cual cesa la actividad biológica. Bajo estas condiciones, los hongos prosperan debido a su capacidad de desarrollarse en medios con diferentes porcentajes de agua. Este tipo de fermentación es considerado un sistema heterogéneo complejo, donde coexisten las fases sólida, líquida y gaseosa, siendo crucial el tipo de sustrato utilizado como fuente de nutrientes (Mitchell et al., 2011).

La fermentación en estado sólido (SSF) tiene ventajas significativas sobre la fermentación sumergida, como una mayor productividad, costos de inversión más bajos, menor consumo energético, procesos más sencillos, reducción en la generación de agua residual y una mayor eficiencia en la recuperación de productos. En la SSF, los microorganismos crecen en partículas húmedas de materiales sólidos en lechos donde los espacios entre las partículas están llenos de una fase gaseosa continua. Es importante mencionar que el término "fermentación" en SSF se utiliza en un sentido amplio para cualquier proceso microbiano controlado, sin implicar necesariamente el uso de vías metabólicas fermentativas (Mitchell et al., 2011).

2.2.9.1. Ventajas y desventajas de la fermentación en estado sólido

Tabla 4. Ventajas de la fermentación en estado sólido

Mayor Rendimiento	La FES puede ofrecer un mayor rendimiento en comparación con la fermentación sumergida, particularmente para la producción de ciertos productos como enzimas y metabolitos secundarios.
Costos de Inversión Reducidos	Generalmente, la FES necesita una inversión inicial más baja en términos de equipos e infraestructura.
Menor Consumo Energético	La FES consume menos energía, ya que no requiere una agitación y aireación continuas, a diferencia de la fermentación en estado líquido.
Simplicidad de los Procesos	Los procesos de FES suelen ser menos complejos y requieren menos control técnico y automatización.
Reducción de Aguas Residuales	Genera menos aguas residuales, lo que disminuye la necesidad de tratamiento de efluentes y minimiza el impacto ambiental.
Uso de Residuos	Permite utilizar residuos agrícolas y forestales como sustratos, promoviendo la sostenibilidad y reduciendo la cantidad de desechos.
Condiciones de Crecimiento Natural	La FES recrea las condiciones naturales de crecimiento de muchos microorganismos, lo que puede resultar en un mejor rendimiento y calidad del producto.

Fuente: (Saratale et al., 2020)

Tabla 5. Desventajas de la fermentación en estado sólido

Control de Parámetros Dificultoso	Es más complicado mantener un control uniforme de parámetros como temperatura, humedad y pH en todo el sustrato.
Mayor Tiempo de Procesamiento	Puede requerir más tiempo de fermentación en comparación con la fermentación sumergida.
Mayor Riesgo de Contaminación	Existe un mayor riesgo de contaminación, ya que es difícil mantener un entorno estéril en grandes volúmenes de sustrato sólido.
Manejo y Procesamiento Laboriosos	El manejo y procesamiento del sustrato sólido pueden ser laboriosos y requerir más trabajo manual.
Requiere Espacio Adicional	La FES puede necesitar más espacio físico en comparación con los reactores líquidos debido al volumen de sustrato necesario.

Fuente: (Junior Letti et al., 2018)

2.2.9.2. Parámetros de cultivo

Temperatura	Es un parámetro primordial para el desarrollo de los microorganismos, influenciando su tasa de crecimiento y actividad metabólica.
Humedad	La humedad del sustrato y la humedad relativa del aire son cruciales para mantener las condiciones óptimas de crecimiento.
pH del Sustrato	El pH del sustrato afecta la disponibilidad de nutrientes y la actividad enzimática de los microorganismos.

Ventilación	Suministro adecuado de oxígeno y eliminación de CO ₂ son esenciales para evitar el estancamiento y favorecer el crecimiento saludable.
Composición del Sustrato	La naturaleza y composición química del sustrato, incluyendo niveles de carbono, nitrógeno, celulosa, hemicelulosa y lignina, determinan la eficiencia de la fermentación.
Relación C/N	La proporción de carbono a nitrógeno en el sustrato es vital para el equilibrio nutricional y el desarrollo de los microorganismos.
Inoculación	La cantidad y calidad del inóculo inicial influye en la colonización y eficiencia del proceso de fermentación.
Tiempo de Incubación	La duración de la incubación afecta el grado de colonización y la conversión de sustratos en biomasa útil.

Fuente: (Saratale et al., 2020)

2.2.10. Residuos

Los residuos son materiales que han sido descartados después de cumplir su propósito original y, por lo general, no tienen un valor económico por sí mismos. Estos residuos están compuestos principalmente de materiales derivados de la fabricación, transformación o uso de bienes consumidos. Sin embargo, mediante la correcta implementación de procesos de reciclaje o reutilización, muchos de estos materiales pueden ser reaprovechados (Aguar et al., 2021).

2.2.10.1. Residuos agrícolas

Los residuos agrícolas son materiales que quedan después de la cosecha y el procesamiento de productos agrícolas. Estos residuos incluyen tallos, hojas, cáscaras, bagazo, y raíces, y representan una fracción significativa de la biomasa producida en el sector agrícola. Según diversos estudios, la gestión inadecuada de estos residuos puede resultar en problemas ambientales significativos (Sarkar et al., 2020). Sin embargo, con la aplicación adecuada de tecnologías de conversión, estos

residuos pueden ser transformados en productos de valor agregado, como bioenergía, compost, y materiales de bioconstrucción.

Un estudio realizado por Atila (2022) enfatiza la importancia de la valorización de los residuos agrícolas en la economía circular, promoviendo prácticas sostenibles que contribuyen a la mitigación del cambio climático.

2.2.10.2. Residuos forestales

Los residuos forestales son materiales derivados de la explotación forestal, el procesamiento de madera y la gestión de bosques. Estos residuos incluyen ramas, hojas, corteza, aserrín, y raíces, los cuales, a menudo, se dejan en el campo o se queman, lo que puede causar daños ambientales significativos. La gestión sostenible de estos residuos es crucial para la conservación de los ecosistemas forestales y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Titus et al., 2021).

2.2.10.3. Composición de los residuos agrícolas y forestales

Los residuos agrícolas y forestales están compuestos principalmente por biopolímeros como la lignina, la celulosa y la hemicelulosa. Estos componentes son estructurales y constituyen la mayor parte de la biomasa lignocelulósica. Los residuos agrícolas incluyen tallos, hojas, cáscaras, bagazo y raíces, mientras que los residuos forestales comprenden ramas, corteza, aserrín y raíces. La proporción y composición de estos biopolímeros varían según el tipo de residuo y su origen, pero generalmente, la celulosa constituye entre el 35-50%, la hemicelulosa entre el 20-35% y la lignina entre el 15-30% de la biomasa total. Estos componentes son de interés debido a su potencial para ser convertidos en productos de valor añadido como biocombustibles, bioplásticos y otros materiales biocompatibles mediante procesos de bioconversión (Scalvenzi et al., 2024).

a) Lignina

La lignina es un polímero complejo y tridimensional compuesto de fenilpropanoides. Su función principal es conferir rigidez y resistencia a las paredes celulares de las plantas, proporcionando soporte estructural y protección contra la degradación microbiana. Es una de las moléculas orgánicas más abundantes en la Tierra y juega

un papel crucial en la formación de la madera y otros tejidos leñosos (Sun et al., 2021). La lignina es también una barrera para la biodegradación de la celulosa y la hemicelulosa, lo que hace que su extracción y utilización sean desafiantes. Sin embargo, su alto contenido energético y su estructura aromática la hacen adecuada para la producción de biocombustibles, compuestos químicos y materiales avanzados como el carbono activado (T. G. et al., 2023).

b) Celulosa

La celulosa es un polímero lineal compuesto de unidades de glucosa unidas por enlaces β -1,4-glucosídicos. Es el biopolímero más abundante en la biosfera y constituye la mayor parte de la pared celular de las plantas. La celulosa proporciona rigidez y fuerza a las plantas, y es la principal fuente de fibra dietética en la alimentación humana. Debido a su estructura cristalina y su capacidad para formar enlaces de hidrógeno, la celulosa es difícil de degradar, lo que requiere procesos específicos para su conversión en productos útiles. Estos procesos incluyen la hidrólisis enzimática y la fermentación, que permiten la producción de biocombustibles, como el bioetanol, y otros productos biotecnológicos (T. G. et al., 2023)

c) Hemicelulosa

La hemicelulosa es una clase de polisacáridos heterogéneos que, a diferencia de la celulosa, tiene una estructura ramificada y está compuesta por varias unidades de azúcar diferentes, como xilosa, manosa, galactosa y arabinosa. Aunque menos resistente y estructurada que la celulosa, la hemicelulosa desempeña un papel esencial en la estabilización de la pared celular vegetal y en la interacción con la celulosa y la lignina (T. G. et al., 2023). Su facilidad de degradación la convierte en una candidata ideal para la producción de biocombustibles y productos químicos a través de la fermentación y otros procesos biotecnológicos. La extracción y utilización de la hemicelulosa pueden mejorar significativamente la eficiencia de la conversión de biomasa en bioproductos (T. G. et al., 2023).

2.2.10.4. Principales residuos para cultivar *Pholiota Adiposa*

Para el cultivo de *Pholiota adiposa*, se pueden emplear diversos residuos agrícolas y forestales como sustratos, debido a su composición rica en lignocelulosa. Estos residuos incluyen el bagazo de caña, el aserrín y la paja de cebada. Estos materiales no solo proporcionan los nutrientes necesarios para el crecimiento del hongo, sino que también ofrecen una solución sostenible para el manejo de residuos. La lignocelulosa, que constituye la mayor parte de estos residuos, está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, elementos esenciales que sirven como fuente de carbono y energía para los hongos. El uso de estos residuos no solo promueve la economía circular, sino que también mejora la sostenibilidad ambiental al reducir la acumulación de desechos y minimizar la emisión de gases de efecto invernadero (Wang et al., 2022).

a) Bagazo de Caña

El bagazo de caña de azúcar es uno de los subproductos más abundantes de la industria azucarera. Compuesto principalmente de celulosa (40-50%), hemicelulosa (25-35%) y lignina (20-30%), este residuo es altamente adecuado para la producción de hongos comestibles como *Pholiota adiposa*. La estructura fibrosa del bagazo proporciona un entorno ideal para el crecimiento micelial, permitiendo una buena aireación y retención de humedad, factores cruciales para el desarrollo del hongo. Además, el bagazo de caña contiene minerales y nutrientes que pueden ser utilizados por el hongo durante su desarrollo (Pandey et al., 2020).

La fermentación en estado sólido (SSF) del bagazo para el cultivo de hongos permite la bioconversión de materiales lignocelulósicos en biomasa fúngica de alto valor nutricional, aprovechando eficientemente los recursos disponibles y minimizando los costos de producción (Saratale et al., 2020).

b) Aserrín

El aserrín, derivado de la industria maderera, es otro residuo forestal ampliamente utilizado en la producción de hongos. Compuesto principalmente de celulosa (40-50%), hemicelulosa (20-30%) y lignina (20-30%), el aserrín es un sustrato ideal para el cultivo de *Pholiota adiposa* debido a su alta capacidad de retención de agua y su estructura que favorece la aireación. La biodegradabilidad del aserrín también facilita la liberación gradual de nutrientes, proporcionando una fuente de carbono continua para el crecimiento del hongo (Fufa et al., 2021).

El uso de aserrín en la producción de hongos no solo ayuda a manejar los desechos de la industria maderera, sino que también mejora la calidad del sustrato mediante el enriquecimiento con nutrientes adicionales, como nitrógeno, que pueden ser necesarios para el crecimiento óptimo del hongo. Además, la biodegradación del aserrín durante el proceso de cultivo contribuye a la reducción de residuos sólidos y promueve prácticas agrícolas sostenibles (Atila, 2022).

c) Paja de Cebada

La paja de cebada, un subproducto de la cosecha de cereales, está compuesta principalmente de celulosa (30-40%), hemicelulosa (20-30%) y lignina (15-20%). Este residuo agrícola es altamente adecuado para el cultivo de *Pholiota adiposa* debido a su estructura porosa, que facilita la aireación y la retención de humedad, condiciones esenciales para el crecimiento micelial. La paja de cebada también contiene compuestos fenólicos y otros nutrientes que pueden ser utilizados por el hongo durante su desarrollo (Jatuwong et al., 2020).

El uso de paja de cebada como sustrato no solo proporciona una solución sostenible para la gestión de residuos agrícolas, sino que también mejora la eficiencia de la producción de hongos. La bioconversión de la paja de cebada en biomasa fúngica de alto valor nutricional mediante la fermentación en estado sólido contribuye a la economía circular y reduce la necesidad de fertilizantes químicos y pesticidas, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles (Jatuwong et al., 2020).

2.2.11. Relación carbono-nitrógeno

La relación carbono/nitrógeno (C/N) es un factor determinante en la producción de *Pholiota adiposa* en sustratos, ya que influye directamente en el crecimiento micelial y en la eficiencia del cultivo. Estudios publicados en revistas científicas de alto impacto, como aquellos en *Bioresource Technology* y *Applied Microbiology and Biotechnology*, indican que una relación C/N adecuada, generalmente entre 20:1 y 30:1, optimiza el crecimiento del hongo. Esta relación proporciona un balance nutricional esencial, donde el carbono actúa como fuente de energía y el nitrógeno como elemento fundamental para la síntesis de proteínas y otras biomoléculas. Mantener este equilibrio es crucial, ya que una relación C/N demasiado alta puede resultar en un déficit de nitrógeno, limitando el crecimiento, mientras que una relación

demasiado baja puede provocar un exceso de nitrógeno, inhibiendo la formación de cuerpos fructíferos (Kumar et al., 2021).

Investigaciones en *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* y *Mycological Progress* han demostrado que ajustar la relación C/N en los sustratos no solo mejora la eficiencia del crecimiento micelial, sino que también afecta positivamente la producción de compuestos bioactivos y la calidad de los hongos cultivados. Por ejemplo, el uso de residuos lignocelulósicos como madera, paja y bagazo de caña combinados con fuentes nitrogenadas adecuadas, como harina de soja o urea, ha mostrado resultados prometedores en términos de rendimiento y calidad del producto final (Pilafidis et al., 2022). Estos hallazgos subrayan la importancia de un manejo adecuado de la relación C/N en la formulación de sustratos para el cultivo de *Pholiota adiposa*, destacando que la manipulación precisa de esta variable es clave para maximizar la producción y eficiencia en sistemas de fermentación en estado sólido.

CAPÍTULO III: Diseño Metodológico

3.1. Tipo y diseño de investigación

El trabajo de investigación titulado “Bioconversión de residuos forestales y agrícolas por el método de fermentación en estado sólido para el cultivo de cepas del hongo *Pholiota adiposa* como una alternativa de minimización del impacto ambiental” utiliza un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. El enfoque cuantitativo es esencial para la recolección de datos específicos y medibles sobre la eficiencia de diferentes sustratos para el cultivo de *Pholiota adiposa*, permitiendo el análisis estadístico de variables como la tasa de crecimiento y la producción de biomasa. Este enfoque proporciona variables de control necesarias para garantizar la precisión y la repetibilidad de los resultados.

Paralelamente, el enfoque cualitativo complementa el análisis cuantitativo mediante la observación detallada de las características morfológicas y las condiciones de cultivo, ofreciendo una comprensión más profunda y contextual de los fenómenos observados. De acuerdo con el objetivo de estudio, la investigación es de tipo aplicativo, con un nivel de profundización explicativo y descriptivo, enfocándose en la obtención de micelio del hongo utilizando el método de fermentación en estado sólido.

La investigación es de naturaleza experimental, ya que implica la manipulación de variables para observar sus efectos en el rendimiento del cultivo de *Pholiota adiposa*. Además, se emplea un enfoque inductivo, basado en la recopilación y análisis de datos a lo largo de un período longitudinal. Este proyecto de investigación se sustenta en una amplia gama de fuentes, incluyendo artículos científicos, libros, investigaciones previas y otras bibliografías relacionadas con el tema, asegurando así la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.1.1. Localización de la investigación

La investigación se realizará en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Este laboratorio se encuentra en la Panamericana Sur km 1 ½, en el Cantón Riobamba,

Provincia de Chimborazo, donde la temperatura promedio es de 19 °C, la humedad relativa es del 81%, y la altitud es de 2,756 msnm (Figura 4).

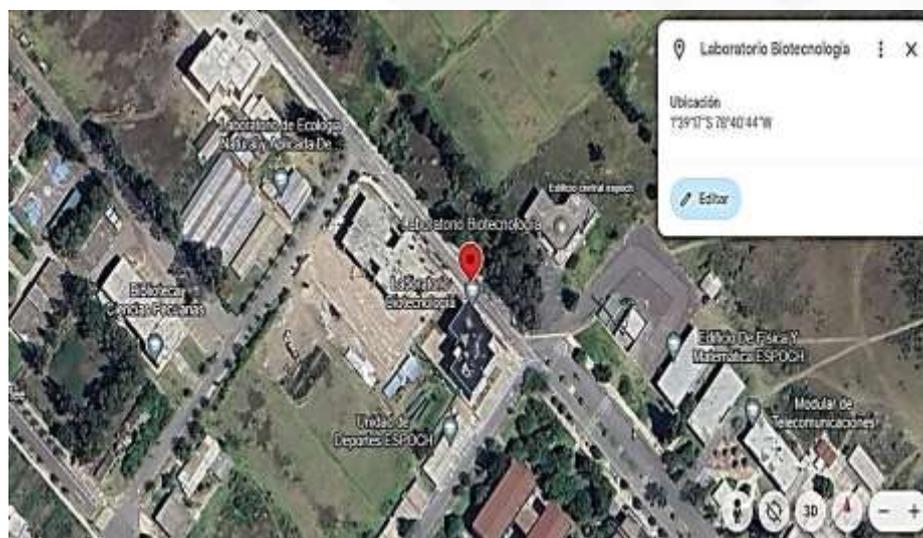


Figura 4. Ubicación geográfica de la investigación.

Fuente: (Google Earth Pro, 2024).

Realizado por: Los autores.

3.2. La población y la muestra

3.2.1. Población de estudio

La población de estudio en esta investigación se centra en las cepas del hongo *Pholiota adiposa* cultivadas y aisladas en medio PDA en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Recursos Naturales, conservadas a una temperatura de 25°C.

3.2.2. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra para esta investigación está determinado por los sustratos a evaluarse: bagazo de caña, aserrín y paja de cebada, con un total de siete tratamientos con siete repeticiones cada uno incluido los testigos. Cada tratamiento será inoculado con una cantidad controlada de micelio del hongo y se someterá a las mismas condiciones de incubación y fructificación. Este enfoque permitirá comparar

el rendimiento del hongo en los diferentes sustratos y evaluar su eficiencia en la bioconversión de los residuos. Además, se tomarán muestras periódicas de cada sustrato para realizar análisis de crecimiento, producción de biomasa y composición química, asegurando una evaluación exhaustiva de cada sustrato.

Tabla 6. Tratamientos experimentales

Código	Tratamientos	Concentración	Repeticiones
T1	Bagazo de caña + aserrín	50% + 50%	6
T2	Paja de cebada + aserrín	50% + 50%	6
T3	Bagazo de caña + aserrín	25% + 75%	6
T4	Paja de cebada+ aserrín	25% + 75%	6
T5	Aserrín + paja de cebada+ bagazo de caña	50% + 25% + 25%	6
T6	Paja de cebada+ bagazo de caña + aserrín	50% + 25% +25%	6
T7	Bagazo de caña + Paja de cebada+ aserrín	50% + 25% +25%	6

Fuente: Los autores.

3.3. Los métodos y las técnicas

3.3.1. Método de muestreo

El muestreo utilizado en esta investigación es no probabilístico y basado en criterios, lo que significa que la selección de muestras se guía por las características específicas del estudio en lugar de por criterios estadísticos de generalización.

3.3.2. Técnica de recolección de datos

La investigación actual emplea protocolos, normas y observación experimental como técnicas principales para examinar de manera sistemática y detallada el fenómeno del crecimiento micelial. El objetivo es recopilar y registrar información para su posterior análisis. Esta técnica se complementa con el uso de diversos instrumentos

mecánicos, incluyendo termómetro, termohigrómetro, microscopio, incubadora, autoclave, cámara de flujo laminar y sistema de riego automático.

3.4. Procesamiento estadístico de la información

Se utilizará el software Excel para la estadística descriptiva (Tablas y Gráficas) de datos tales como: eficiencia biológica, rendimiento y crecimiento radial. Cabe recalcar que el análisis de los datos, dependerá del interés analítico del investigador.

3.5. Etapas de la investigación

3.5.1. Etapa 1. Colección, aislamiento y purificación de *Pholiota adiposa*.

a) Colección e identificación de *Pholiota adiposa*

Para realizar este procedimiento, se tomó en cuenta la investigación realizada por Ríos-Ruiz et al. (2017). Los carpóforos del hongo *Pholiota adiposa* fueron extraídos sobre residuos de árboles de pino en descomposición, ubicado en los alrededores del Bosque de polylepis, San Juan, Chimborazo (1°32'24''Sur 78°53'02''W). En las áreas se tomaron datos correspondientes al ámbito natural y los carpóforos fueron colocados en fundas ziploc para su posterior aislamiento e identificación taxonómica en laboratorio.

b) Aislamiento micelio *Pholiota adiposa*

El aislamiento del micelio se realizó siguiendo el protocolo de Ríos-Ruiz et al. (2017). Los carpóforos del hongo *Pholiota adiposa* fueron lavados empleando agua jabonosa al 5% por 5 minutos y luego desinfectados empleando hipoclorito de sodio al 2% por 1 minuto, finalmente se lavaron 8 veces usando agua destilada estéril. Con la ayuda de un bisturí se realizaron cortes de aproximadamente un cm² del cuerpo fructífero, los cuales se colocaron en el centro de una placa Petri conteniendo Potato Dextrosa Agar (PDA) para el desarrollo de *Pholiota adiposa*. Las placas se incubaron a 28° C por 10 días.

c) Purificación micelio de *Pholiota adiposa*.

Se identificó el micelio más puro en las placas colonizadas, luego con un bisturí se realizaron cortes y se inocularon en placas de agar PDA. Las placas se incubaron a

28°C por 10 días.

Alillo-Mejía & Alberto, 2019; Ríos-Ruiz et al., 2017; Rodríguez

3.5.2. Etapa 2. Producción inóculo primario y preparación de sustratos

a) Producción inóculo primario

La producción de semilla fue preparada de acuerdo a Rodríguez et al. (2021). Cinco kilogramos de cebada fueron hidratados por 24 horas, luego el agua fue drenada. En el laboratorio, se pesaron 250 g de cebada y se colocaron en fundas de polipropileno, asegurándolas con ligas de caucho. Luego fueron autoclavadas a 121 °C, 1 atm, por 35 minutos. Transcurrido el tiempo, se dejó enfriar las fundas a temperatura ambiente por 24 horas. Posteriormente fueron inoculadas usando el micelio puro aislado previamente, las que fueron incubadas a 28 °C por 15 días, hasta su total colonización.

b) Preparación sustratos y desarrollo del micelio

Los residuos forestales y agrícolas utilizados fueron: bagazo de caña de azúcar, aserrín y paja de cebada, todos ellos procedentes de la ciudad de Riobamba. En primer lugar, la paja de cebada y la caña de azúcar fueron secadas por 72 horas y luego trituradas a un diámetro de 2 cm. Luego, cada sustrato fue colocado en remojo en agua del grifo por 24 horas, hasta alcanzar un 80 % de humedad. Cada sustrato fue enfundado en paquetes de polipropileno de 1 kg y fueron esterilizados en autoclave a 121 °C, 1 atm durante por 45 minutos. Posteriormente las bolsas fueron inoculadas con 150 g de micelio. Las bolsas fueron incubadas en el cuarto oscuro del invernadero a temperatura de 25 a 30 °C, y humedad relativa entre 70 a 90 %, por 15 días para el desarrollo del micelio. En esta etapa se midió el tiempo de colonización total del sustrato por parte del micelio (Rodríguez et al., 2021).

3.5.3. Etapa 3. Fructificación, cosecha y eficiencia biológica

a) Proceso de fructificación

Para la formación de los carpóforos, las bolsas totalmente colonizadas fueron trasladadas a un área de fructificación dentro del invernadero. Se las deja una semana sin abrir para estimular su crecimiento. Transcurrido esto, se quitan las ligas y se abre

la parte superior de la funda. Se mantuvo a una temperatura de 18- 22°C, humedad de 90% mediante un sistema automático de micro aspersión automático con 4 riegos al día, con presencia de oxígeno y luz indirecta del sol, por veinte días. Se observó la aparición de primordios en los tratamientos, y se dejaron hasta que alcancen su tamaño de madurez (Rodríguez et al., 2021).

b) Proceso de cosecha

Se cortó el pie del hongo maduro con un bisturí y se colocó cuidadosamente en una canasta. Los hongos cosechados de cada tratamiento se pesaron y se separaron en fundas de polipropileno para su estudio. Posteriormente, las fundas con los hongos se trasladaron al laboratorio, donde se colocaron en un deshidratador para eliminar la humedad y obtener el peso seco. Este procedimiento es esencial para evaluar la calidad y el rendimiento de los hongos, facilitando su almacenamiento y análisis posterior. Además, el peso seco obtenido permitirá una comparación precisa de los rendimientos entre los distintos tratamientos experimentales.

c) Determinación de la eficiencia biológica (EB) y rendimiento

Los hongos frescos fueron pesados con el fin de calcular la eficiencia biológica utilizando la fórmula empleada por Jaramillo-Mejía y Albertó (2019).

$$EB = \frac{\text{peso fresco de hongos cosechados}}{\text{peso seco del sustrato utilizado}} * 100$$

Luego, los hongos fueron deshidratados para obtener su rendimiento (%), utilizando la fórmula propuesta también por Jaramillo-Mejía y Albertó (2019).

$$Rendimiento = \frac{\text{Peso seco de los cuerpos fructíferos}}{\text{Peso de sustrato húmedo}} * 100$$

d) Determinación parámetro físico - químico de los sustratos.

Para determinar la lignina y celulosa en los residuos de bagazo de caña, paja de cebada y aserrín, se empleó el método del permanganato utilizado por Van Soest, y

Wine (1968). Las muestras se colocaron en crisoles filtrantes de cerámica y se trataron con una solución combinada de permanganato y buffer de lignina, lo cual permitió la degradación de componentes específicos. Posteriormente, las muestras se filtraron al vacío, se enjuagaron con una solución desmineralizadora y, finalmente, se sometieron a calcinación en una mufla. Este proceso permitió cuantificar la lignina y celulosa presentes en los residuos, proporcionando datos cruciales para su caracterización química.(Van Soest & Wine, 1968)

Para la determinación de hemicelulosa en los residuos de bagazo de caña, paja de cebada y aserrín, se empleó el método de extracción con detergente neutro (Neutral Detergent Fiber, NDF) utilizado por Obregón-Cano et al. (2019). Inicialmente, las muestras se sometieron a un tratamiento con una solución de detergente neutro, que permitió remover los compuestos no estructurales. Posteriormente, se utilizó una solución de NaOH para solubilizar la hemicelulosa presente en los residuos. La solución resultante fue filtrada, y el residuo insoluble se lavó en varias ocasiones para asegurar la eliminación completa de la hemicelulosa soluble. Finalmente, la fracción insoluble fue secada y pesada, lo que permitió calcular el contenido de hemicelulosa en cada muestra analizada. Este procedimiento permitió obtener una estimación precisa de la cantidad de hemicelulosa presente, proporcionando información clave sobre la composición estructural de los residuos evaluados.(Obregón-Cano et al., 2019).

CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados

4.1. Análisis de los resultados

4.1.1. Aislamiento e identificación de *Pholiota adiposa*.

La identificación de *Pholiota adiposa* se llevó a cabo a través de observaciones tanto macroscópicas como microscópicas, empleando un microscopio con un objetivo de aumento de 10X.

En la provincia de Chimborazo la recolección del hongo *Pholiota adiposa* se realizó sin inconvenientes. Se realizó una caracterización macroscópica detallada del cuerpo fructífero del hongo con base en las diferentes características observadas en campo. La superficie del sombrero era seca y viscosa, de color dorado a marrón y exhibía un patrón escamoso característico. Las laminillas estaban libres de unión al estípite y variaban en color amarillo a café. El estipe era cilíndrico y fibroso. Estas observaciones confirmaron la colección de *Pholiota adiposa* en su estado maduro y proporcionaron una base firme para estudios posteriores (Figura 5).



Figura 5. *Pholiota adiposa* vista macroscópica.

Fuente: Los autores.

Para la identificación microscópica, se aisló micelio puro de *Pholiota adiposa* en placas de agar PDA para garantizar la pureza del cultivo. Posteriormente se realizó observación microscópica utilizando un objetivo 10X que permitió la visualización detallada de las estructuras del micelio; se observaron hifas, apareciendo como

filamentos delgados y ramificados constituyendo el rojo que forma el micelio. Además, se identificaron otras estructuras como esporas y cistidios, lo que confirmó la identificación precisa del hongo (Figura 6). Estas observaciones microscópicas se complementaron con hallazgos macroscópicos para validar la identidad de *Pholiota adiposa*.



Micelio completamente blanco en agar PDA.

Vista microscópica a Objetivo 10X

Figura 6. Vista microscópica del micelio de *Pholiota adiposa*.

Fuente: Los autores.

4.1.2. Análisis crecimiento radial

El análisis del crecimiento radial del micelio de *Pholiota adiposa* en el medio de cultivo de agar PDA se realizó bajo condiciones controladas a 28°C en oscuridad. La evaluación se llevó a cabo durante un período de aproximadamente 72 horas, y se observó un crecimiento uniforme y expansivo del micelio en el medio (Figura 8). El micelio creció en forma de colonias bien definidas, que se expandieron de manera radial desde el punto de inoculación, colonizando completamente la placa en 96 horas. La ausencia de contaminación en el medio de cultivo fue un indicador positivo de la pureza del cultivo y la efectividad del procedimiento de aislamiento.



Figura 7. Colonización de micelio en placas PDA.

Fuente: Los autores.

Durante el período de observación, el crecimiento del micelio fue vigoroso y sin interrupciones, lo que sugiere que el medio de cultivo proporcionó las condiciones ideales para el desarrollo del hongo. La temperatura constante de 28°C y la oscuridad controlada ayudaron a maximizar la tasa de crecimiento radial, lo que es esencial para asegurar un desarrollo óptimo del micelio antes de la inoculación en sustratos de producción.

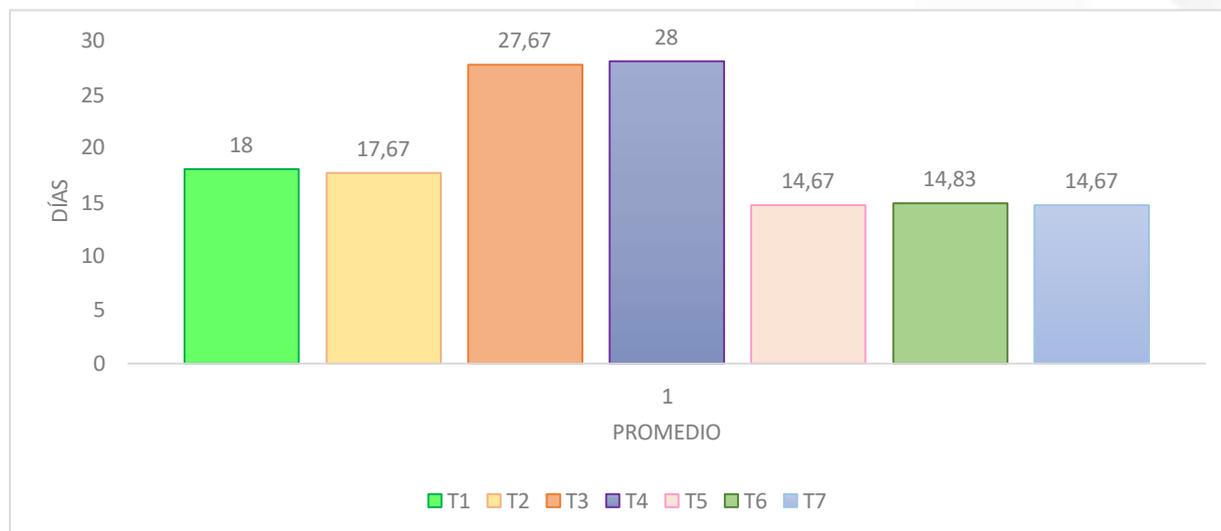
La velocidad de crecimiento del micelio en el agar PDA es un factor crítico para la producción de *Pholiota adiposa*, ya que influye en la rapidez con la que el hongo puede colonizar y fructificar en los sustratos. La observación de un crecimiento constante y sin contaminación valida la eficacia del medio de cultivo y proporciona una base sólida para futuros experimentos y aplicaciones. Estos resultados son fundamentales para garantizar la pureza y la salud del cultivo de micelio, lo que a su vez impacta positivamente en la producción final de hongos.

El análisis del crecimiento radial también permite ajustar y optimizar las condiciones de cultivo para mejorar la eficiencia y la producción en grandes escalas. La información obtenida puede ser utilizada para diseñar protocolos más efectivos y

adaptados a las necesidades específicas de *Pholiota adiposa*, facilitando así la producción de hongos de alta calidad.

4.1.3. Tiempo de colonización sobre los sustratos

Gráfico 1. Tiempo de colonización del micelio sobre los sustratos.



Fuente: Los autores.

En el gráfico 1, se muestra el tiempo de colonización de *Pholiota adiposa* en los diferentes tratamientos con sustratos mostró variaciones significativas, reflejando las diferencias en las composiciones de los sustratos utilizados. Los tratamientos T1 y T2, ambos con una combinación de 50% de bagazo de caña con 50% de aserrín y 50% de paja de cebada, respectivamente, presentaron tiempos de colonización relativamente cortos, con promedios de 18 días aproximadamente, lo que sugiere que estas combinaciones proporcionaron un ambiente favorable para el rápido desarrollo del micelio. Estos resultados se destacan por la velocidad de colonización en comparación con otros tratamientos, especialmente T3 y T4, donde el tiempo de colonización se extendió a 28 días, respectivamente.

En el caso de los tratamientos T5, T6, y T7, que involucraron una combinación más compleja de sustratos con tres componentes (aserrín, paja de cebada y bagazo de caña), se observó que la colonización se completó en un promedio de 15 días. Esto indica que la mezcla de tres componentes en proporciones equilibradas parece haber favorecido un entorno óptimo para la propagación del micelio. Sin embargo, es importante destacar que, aunque el tiempo de colonización fue corto, los tratamientos

T3 y T4, que presentaron una mayor proporción de aserrín en combinación con bagazo de caña y paja de cebada, no lograron fructificar dentro del tiempo establecido, lo cual sugiere que otros factores, como la disponibilidad de nutrientes o las propiedades físicas del sustrato, pudieron haber influido negativamente en el proceso de fructificación (Figura 7).



Tratamiento 4 en etapa de colonización.



Sustrato totalmente colonizado.

Figura 8. Sustratos colonizados con micelio.

Fuente: Los autores.

La variación en los resultados de colonización y fructificación pone de manifiesto la necesidad de un enfoque integral en la formulación de sustratos, que no solo promueva un crecimiento micelial rápido, sino que también asegure la fructificación exitosa (Figura 7). Esto implica considerar tanto la estructura física del sustrato como su composición química y su interacción con el micelio.

4.1.4. Tiempo de fructificación de los sustratos

En la tabla 7, se observa el tiempo de fructificación de *Pholiota adiposa*, la misma que revela diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la aparición de primordios y los tiempos de cosecha.

Tabla 7. Tiempo de fructificación en días en los sustratos por cosecha.

Tratamientos	Repetición	Cubrimiento del micelio	Primera cosecha	Segunda cosecha	Tercera cosecha
T1	1	18	28	43	58
	2	18	28	43	58
	3	18	28	43	58
	4	18	28	43	58
	5	18	28	43	58
	6	18	28	43	58
T2	1	18	28	43	58
	2	18	28	43	58
	3	18	28	43	58
	4	18	28	43	58
	5	18	28	43	58
	6	18	28	43	58
T5	1	15	25	40	55
	2	15	25	40	55
	3	15	25	40	55
	4	15	25	40	55
	5	15	25	40	55
	6	15	25	40	55
T6	1	15	25	40	55
	2	15	25	40	55
	3	15	25	40	55
	4	15	25	40	55
	5	15	25	40	55
	6	15	25	40	55
T7	1	15	25	40	55

2	15	25	40	55
3	15	25	40	55
4	15	25	40	55
5	15	25	40	55
6	15	25	40	55

Fuente: Los autores.

Para los tratamientos T1 y T2, con un tiempo de colonización de 18 días, los primordios aparecieron a los 28 días, lo que representa 10 días después del final de la colonización. La primera cosecha se realizó a los 28 días, la segunda a los 43 días y la tercera a los 58 días, mostrando intervalos consistentes de 15 días entre cada cosecha. Estos resultados indican que, aunque la fase de colonización es más prolongada, el tiempo total hasta la primera cosecha es relativamente largo. La duración extendida entre cosechas puede sugerir que los sustratos en T1 y T2 presentan características que ralentizan el desarrollo y la producción de nuevos cuerpos fructíferos.

En contraste, los tratamientos T5, T6 y T7, con un tiempo de colonización más corto de 15 días, mostraron tiempos de fructificación más rápidos. Los primordios aparecieron a los 25 días, es decir, 10 días después de la colonización. La primera cosecha ocurrió a los 25 días, la segunda a los 40 días y la tercera a los 55 días, también con intervalos de 15 días entre cosechas. La aceleración en el tiempo de fructificación sugiere que los sustratos en estos tratamientos proporcionaron condiciones más favorables para el desarrollo rápido del micelio y la producción de cuerpos fructíferos. La reducción en el tiempo de colonización parece estar correlacionada con una respuesta más rápida del micelio a las condiciones de fructificación.

4.1.5. Análisis Eficiencia biológica

En la tabla 8, se muestran los resultados de la eficiencia biológica de *Pholiota adiposa* en los diferentes tratamientos de sustrato muestran variaciones significativas que sugieren una influencia considerable de la composición del sustrato en el rendimiento del cultivo. El tratamiento T5 alcanzó la mayor eficiencia biológica con un 92,60%.

Este alto rendimiento indica que la combinación de estos materiales proporciona un entorno óptimo para el crecimiento del micelio y la producción de cuerpos fructíferos. La combinación de aserrín, conocido por su capacidad para retener humedad y proporcionar una buena estructura, junto con la paja de cebada y el bagazo de caña, probablemente mejoró la disponibilidad de nutrientes y la calidad del sustrato, favoreciendo así una mayor eficiencia.

Tabla 8. Eficiencia biológica de los tratamientos.

Tratamientos	Primera cosecha (g)	Segunda cosecha (g)	Tercera cosecha (g)	Sumatoria	Eficiencia Biológica (%)
T1	566,83	375,50	167,17	1109,50	73,97
T2	666,33	436,67	198,83	1301,83	86,79
T5	694,33	449,17	245,50	1389,00	92,60
T6	371,17	234,00	131,83	737,00	49,13
T7	386,67	214,83	97,00	698,50	46,57

Fuente: Los autores.

Por otro lado, los tratamientos T6 y T7, mostraron las eficiencias biológicas más bajas, con valores de 49,13% y 46,57%, respectivamente. Estas bajas eficiencias podrían deberse a la alta proporción de paja de cebada en estos tratamientos, que, aunque rica en nutrientes, puede no proporcionar la mejor textura y retención de humedad comparada con el aserrín. La paja de cebada tiene una capacidad de retención de humedad menor y una estructura más frágil, lo que podría haber resultado en un sustrato menos adecuado para el desarrollo óptimo del hongo

Los resultados intermedios de T1 y T2 sugieren que una mezcla equilibrada de estos componentes puede ofrecer una eficiencia biológica decente, aunque no tan alta como T5. La diferencia en eficiencia entre T1 y T2 puede estar relacionada con la mayor proporción de paja de cebada en T2, lo que podría haber favorecido un mejor equilibrio de nutrientes y estructura en el sustrato, aunque no lo suficiente para alcanzar los niveles observados en T5.

4.1.6. Análisis Rendimiento

En la tabla 9, se muestran los resultados obtenidos en el análisis del rendimiento de *Pholiota adiposa*, en donde se observa una variación significativa entre los diferentes tratamientos evaluados.

Tabla 9. Rendimiento en peso seco

Tratamientos	Primera cosecha (g)	Segunda cosecha (g)	Tercera cosecha (g)	Sumatoria	Rendimiento (%)
T1	481,81	319,18	142,09	943,08	31,44
T2	566,38	371,17	169,01	1106,56	36,89
T5	590,18	381,79	208,68	1180,65	39,36
T6	315,49	198,90	112,06	626,45	20,88
T7	328,67	182,61	82,45	593,73	19,79

Fuente: Los autores.

El tratamiento T5, compuesto por una mezcla de aserrín, paja de cebada, y bagazo de caña en proporciones de 50%, 25% y 25% respectivamente, presentó el mayor rendimiento con un 39,36%. Esto sugiere que la combinación equilibrada de estos tres componentes proporcionó un sustrato nutritivo y estructuralmente favorable para el desarrollo del hongo. Por otro lado, el tratamiento T2, con una combinación de bagazo de caña y paja de cebada en partes iguales, también mostró un rendimiento relativamente alto (36,89%), destacándose como una opción viable para la producción de *Pholiota adiposa*. En comparación, el tratamiento T1, que utilizó una mezcla de bagazo de caña y aserrín, mostró un rendimiento inferior (31,44%), indicando que esta combinación, aunque efectiva, podría ser menos adecuada para maximizar la producción del hongo.

En contraste, los tratamientos T6 y T7, que utilizaron combinaciones de tres componentes (paja de cebada, bagazo de caña, y aserrín en diferentes proporciones), presentaron los rendimientos más bajos, con 20,88% y 19,79% respectivamente. Esta baja productividad podría atribuirse a la menor proporción de aserrín en los sustratos,

ya que *Pholiota adiposa* ha demostrado tener un crecimiento más favorable en sustratos con una mayor concentración de aserrín. La inclusión de múltiples componentes en proporciones específicas no siempre es beneficiosa y puede resultar en una distribución subóptima de nutrientes o en características físicas del sustrato que no favorecen el crecimiento y fructificación del hongo.

4.1.7. Análisis físico químico del sustrato

El análisis físico-químico de los sustratos utilizados en la producción de *Pholiota adiposa* proporcionó información detallada sobre su composición en términos de lignina, celulosa y hemicelulosa.

Tabla 10. Parámetros físico - químicos de los sustratos.

Sustrato	Lignina (%)	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)
Aserrín de madera	24,126%	45,131%	36,236%
Paja de cebada	18,312%	31,326%	23,145%
Bagazo de caña	16,560%	24,523%	45,215%

Fuente: Los autores.

En la tabla 10, se muestra el análisis físico-químico del sustrato, la misma revela diferencias significativas en los contenidos de lignina, celulosa y hemicelulosa entre los diferentes materiales evaluados. El aserrín de madera mostró el mayor contenido de lignina (24,126%) y celulosa (45,131%), lo que indica una estructura más resistente y una descomposición más lenta. Por su parte, el bagazo de caña presentó el mayor contenido de hemicelulosa (45,215%), lo que sugiere que este sustrato podría ser más accesible para la descomposición microbiana, favoreciendo la liberación de

nutrientes esenciales para el crecimiento del hongo *Pholiota adiposa*. La paja de cebada, con menores valores de celulosa (31,326%) y hemicelulosa (23,145%), podría ofrecer menos nutrientes disponibles, lo que afectaría su eficiencia en la producción de hongos. Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar sustratos con un balance adecuado de estos componentes para optimizar la producción de *Pholiota adiposa*.

CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones

5.1. Discusión

5.1.1. Aislamiento e identificación de *Pholiota adiposa*.

Los resultados de la identificación de *Pholiota adiposa* concuerdan con estudios recientes que subrayan la importancia de la observación macroscópica y microscópica para la identificación precisa de especies de hongos. En la caracterización macroscópica, el color dorado a marrón del sombrero, su textura viscosa y escamosa, así como la disposición de las laminillas y la estructura cilíndrica del estipe, son características distintivas que coinciden con las descripciones de *Pholiota adiposa* en estudios como el de Lisiecka et al. (2021). Este enfoque es fundamental para distinguir esta especie de otros hongos comestibles o tóxicos, lo que es crucial en contextos de recolección silvestre y cultivo comercial.

Así, la confirmación mediante técnicas microscópicas, cuando se observaron las estructuras de hifas, esporas y cistidios, dio más precisión para la identificación. Este procedimiento fue realizado con la obtención de micelio puro en agar PDA, de acuerdo con las metodologías descritas por Yan et al. (2021), que enfatizan la relevancia de esas técnicas para la obtención de material puro y auténtico de hongos para investigación científica y aplicaciones comerciales.

Estos resultados no sólo confirman la identificación de *Pholiota adiposa*, sino que también apoyan la importancia de un enfoque combinado que incluya múltiples niveles de análisis. Según Wei et al. (2022), ese enfoque integral es necesario en la labor de creación de cultivos controlados y explotación comercial de hongos, porque garantizará la fiabilidad de las especies cultivadas y su potencial nutricional y terapéutico.

5.1.2. Análisis del crecimiento radial

El análisis del crecimiento radial del micelio de *Pholiota adiposa* en condiciones controladas ha revelado una expansión uniforme y vigorosa, lo que resalta la efectividad del medio de cultivo de agar PDA a 28°C en oscuridad. Estos resultados son consistentes con investigaciones recientes que subrayan la importancia de las

condiciones ambientales específicas para optimizar el crecimiento micelial en hongos comestibles. En estudios realizados por Sakamoto (2018) ha demostrado que la temperatura y la ausencia de luz son factores críticos que influyen en la tasa de expansión radial y en la salud del cultivo, lo cual se refleja en el desarrollo robusto y sin interrupciones observado en este experimento.

La ausencia de contaminación en el medio de cultivo confirma la pureza del aislamiento micelial, lo que es crucial para la calidad y productividad en la producción de hongos. Cardona Soberao et al. (2022) también enfatizan la necesidad de un ambiente libre de contaminantes para prevenir problemas durante la etapa de fructificación, lo que se alinea con los resultados obtenidos en este estudio, donde se aseguró un crecimiento micelial sin interferencias externas. Además, la capacidad del medio de cultivo para soportar un crecimiento rápido y estable del micelio es de gran relevancia para la producción comercial de *Pholiota adiposa*.

La rápida colonización de los sustratos es fundamental para lograr una fructificación eficiente y de alta calidad, como lo discuten Rich-Milton et al. (2021) en su investigación sobre la optimización de medios de cultivo para hongos. Este crecimiento vigoroso no solo valida la elección del medio PDA, sino que también proporciona una base sólida para la producción en mayores escalas, donde la eficiencia y la velocidad de colonización son factores clave para el éxito comercial.

5.1.3. Tiempo de colonización sobre los sustratos

La discusión de los resultados del tiempo de colonización de *Pholiota adiposa* en diferentes sustratos revela importantes variaciones, subrayando la influencia crítica de la composición del sustrato en el crecimiento micelial. Los tratamientos T1 y T2, que combinaron 50% de bagazo de caña con 50% de aserrín y 50% de paja de cebada, respectivamente, lograron tiempos de colonización de aproximadamente 18 días, lo que sugiere que estas combinaciones proporcionaron un ambiente adecuado para un desarrollo micelial rápido. Este hallazgo coincide con las observaciones de Jatuwong et al. (2020), quienes señalaron que los sustratos compuestos por mezclas equilibradas de materiales lignocelulósicos optimizan la disponibilidad de nutrientes y la estructura física, promoviendo un crecimiento micelial más eficiente.

Por otro lado, en los tratamientos T5, T6, y T7, que incluyeron una combinación más compleja de tres componentes (aserrín, paja de cebada y bagazo de caña), se completó la colonización en un promedio de 15 días. Estos resultados indican que la diversidad en los componentes del sustrato puede mejorar significativamente la eficiencia del crecimiento micelial, como lo han destacado Wang et al. (2022), quienes encontraron que la mezcla de varios sustratos puede mejorar la retención de humedad y la aireación, factores clave para un desarrollo micelial vigoroso.

Sin embargo, los tratamientos T3 y T4, que contenían una mayor proporción de aserrín combinado con bagazo de caña y paja de cebada, no lograron fructificar dentro del tiempo establecido, a pesar de un tiempo de colonización más prolongado de 28 días. Este fracaso en la fructificación podría estar relacionado con factores como la compactación excesiva o la relación subóptima carbono-nitrógeno del sustrato, un problema señalado por Li et al. (2023), quienes advirtieron que una alta proporción de ciertos materiales lignocelulósicos puede inhibir la fructificación al alterar las condiciones microambientales necesarias para la fase de fructificación.

Finalmente, Diamantopoulou et al. (2023) refuerzan la importancia de un enfoque integral en la formulación de sustratos, enfatizando la necesidad de equilibrar tanto las propiedades físicas como químicas para asegurar no solo un crecimiento micelial rápido, sino también una fructificación exitosa. La comprensión detallada de estos factores es crucial para optimizar la producción de *Pholiota adiposa*, asegurando tanto la calidad como la cantidad en la producción de hongos.

5.1.4. Tiempo de fructificación de los sustratos

El tiempo de fructificación de *Pholiota adiposa* en los distintos tratamientos de sustrato refleja una fuerte interacción entre la composición de los sustratos y la dinámica de fructificación. Los tratamientos T1 y T2 registraron el mismo tiempo de colonización de 18 días; sin embargo, el tiempo transcurrido entre la finalización de la colonización y la formación del primordio fue de 10 días. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Kumla et al. (2020), quienes encontraron que sustratos con una

mayor proporción de materiales lignocelulósicos como el bagazo de caña y el aserrín tienden a retardar el proceso de fructificación debido a la mayor complejidad en la degradación de sus componentes.

Por otro lado, la duración prolongada entre cosechas en T1 y T2 podría estar relacionada con la escasa disponibilidad de nutrientes fácilmente accesibles, tal como lo plantea Öztürk y Atila (2021). Estos autores han mencionado que la lenta liberación de nutrientes en sustratos con alto contenido en lignina y celulosa podría estar retrasando el desarrollo de nuevos cuerpos fructíferos, lo que concuerda con los intervalos de 15 días observados entre cosechas en este trabajo.

Además, los tratamientos T5, T6 y T7, que mostraron un tiempo de colonización más corto de 15 días y tiempos de fructificación más rápidos, sugieren que una mezcla más equilibrada de sustratos con diferentes componentes puede proporcionar un entorno más favorable para la rápida proliferación del micelio y la producción de primordios. Wang et al. (2022) observaron que sustratos con una mayor diversidad de materiales orgánicos tienden a mejorar la aireación y la retención de humedad, factores que son críticos para acelerar tanto la colonización como la fructificación.

5.1.5. Análisis Eficiencia Biológica

La eficiencia biológica de *Pholiota adiposa* en los diferentes tratamientos de sustrato subraya, en todos los aspectos, el efecto determinante de la composición del sustrato sobre el rendimiento del cultivo. El tratamiento T5, que llegó a una eficiencia biológica de 92.60%, indica que, en general, dicha combinación de aserrín, paja de cebada y bagazo de caña en proporciones equilibradas proporciona un entorno óptimo para el crecimiento del micelio y la producción de cuerpos fructíferos. Este resultado está alineado con los hallazgos de Lou et al. (2017) quienes subrayan la importancia de combinar materiales que no solo aporten nutrientes, sino que también mejoren las propiedades físicas del sustrato, como la retención de humedad y la aireación. Muswati et al. (2021) también observaron que los sustratos con una mezcla adecuada de componentes pueden promover un desarrollo más robusto del micelio y, por ende, una mayor eficiencia biológica.

Por otro lado, los tratamientos T6 y T7, con eficiencias biológicas de 49.13% y 46.57% respectivamente, reflejan la limitación impuesta por un sustrato dominado por paja de

cebada, aunque rica en nutrientes, no ofrece las mejores condiciones físicas para el desarrollo del micelio. Este fenómeno es consistente con los estudios de Rong et al. (2021), quienes reportaron que la paja de cebada, debido a su estructura más frágil y menor capacidad de retención de humedad, puede no proporcionar un entorno adecuado para el crecimiento óptimo del hongo. Haukongo et al. (2021) añadieron que la estructura del sustrato es crucial para la penetración y expansión del micelio, lo que impacta directamente en la eficiencia biológica.

Los resultados intermedios de T1 y T2, aunque muestran una eficiencia biológica moderada, resaltan la importancia de un equilibrio adecuado en la mezcla de sustratos. La diferencia observada entre estos tratamientos podría estar vinculada a la proporción de paja de cebada, que influye tanto en la disponibilidad de nutrientes como en la estructura física del sustrato, un aspecto resaltado por Bandura et al. (2021), concluyeron que, aunque la paja de cebada puede mejorar la calidad nutricional del sustrato, su capacidad para influir en la estructura física es limitada, lo que puede explicar las variaciones en la eficiencia biológica.

5.1.6. Análisis Rendimiento

El rendimiento de *Pholiota adiposa* en diferentes sustratos puede demostrar la importancia crucial de la composición del sustrato en la productividad del hongo. Lee et al. (2002) descubrieron que los sustratos que tenían una mezcla adecuada de nutrientes y estructura, como es el caso de T5 (50% aserrín, 25% paja de cebada, 25% bagazo de caña), brindan un mejor rendimiento y alcanza un 39.36%. Este alto rendimiento sugiere que la combinación de estos componentes proporciona un entorno ideal para el crecimiento micelial. Además, Wang et al. (2022) discuten que la estructura porosa del aserrín, combinada con las propiedades nutritivas de la paja y el bagazo, favorece tanto la retención de humedad como la disponibilidad de nutrientes, lo que optimiza el desarrollo del hongo.

En el tratamiento T2, con una mezcla equitativa de bagazo de caña y paja de cebada, se observó un rendimiento igualmente alto del 36,89%, lo que indica que esta combinación es viable para la producción de *Pholiota adiposa*. Li et al. (2023) sostienen que los sustratos que combinan materiales ricos en celulosa y lignina, como

el bagazo y la paja, pueden crear condiciones favorables para el crecimiento micelial cuando se mantienen en proporciones equilibradas. Sin embargo, el rendimiento inferior del tratamiento T1 (31,44%), compuesto de bagazo de caña y aserrín, podría deberse a una menor eficiencia en la retención de humedad o a una estructura física menos favorable, como sugiere Hoa et al. (2015).

En contraste, los tratamientos T6 y T7, que utilizaron combinaciones de tres componentes (paja de cebada, bagazo de caña, y aserrín en proporciones diferentes), presentaron los rendimientos más bajos, con 20,88% y 19,79%, respectivamente. Bandura et al. (2021) observaron que una distribución subóptima de nutrientes, junto con propiedades físicas no ideales del sustrato, puede reducir significativamente la productividad del hongo. Esto se alinea con los hallazgos de Kim et al. (2020), quienes sugieren que las proporciones incorrectas de componentes pueden alterar negativamente el entorno de crecimiento del micelio, afectando su capacidad para fructificar eficazmente.

Estos resultados subrayan la importancia de formular sustratos equilibrados que no solo proporcionen los nutrientes necesarios, sino que también ofrezcan una estructura física que favorezca el desarrollo de *Pholiota adiposa*. La optimización de estos factores es esencial para maximizar la eficiencia biológica y el rendimiento en la producción de hongos (Nath et al., 2024).

5.1.7. Análisis físico químico del sustrato

El análisis fisicoquímico de los sustratos utilizados en la producción de *Pholiota adiposa* ha mostrado variaciones masivas en la composición de lignina, celulosa y hemicelulosa. Esto afecta a su eficacia como sustratos o medios para el crecimiento de los organismos. Riseh et al. (2024) señalan que los dos principales componentes estructurales -lignina y celulosa- desempeñan un papel masivo en la descomposición y la disponibilidad de nutrientes de los sustratos. En este sentido, el serrín de madera, al presentar un alto contenido en lignina del 24,126% y un alto contenido en celulosa del 45,131%, presenta una estructura resistente que podría retrasar la

descomposición, lo que concuerda con los resultados encontrados en la presente investigación.

Por el contrario, Zied et al. (2023) han informado de que los sustratos con altos niveles de hemicelulosa, como el bagazo de caña de azúcar, con un 45,215%, son más propensos a la descomposición microbiana y, por lo tanto, resultan en una mayor disponibilidad de nutrientes. Este comportamiento también ha sido confirmado por otros estudios similares utilizando bagazo de caña de azúcar como sustrato para otros hongos comestibles y subraya la eficiencia de dicho sustrato como base nutritiva durante el cultivo de hongos.

Además, Akcay et al. (2023) mencionan que la escasa proporción de celulosa y hemicelulosa en los sustratos -como en el caso de la paja de cebada- puede promover una menor eficiencia en la producción, ya que dichos componentes son los que proporcionan la deseada liberación sostenida de nutrientes durante el ciclo de cultivo. En este contexto, los resultados obtenidos para la paja de cebada, con menor contenido de celulosa (31,326%) y hemicelulosa (23,145%), reflejan la posible menor disponibilidad de nutrientes, lo que puede impedir la productividad y la eficiencia biológica en *Pholiota adiposa*.

Wang et al., (2022) han comentado que el rendimiento óptimo de la producción de hongos puede lograrse mediante sustratos que sean capaces de presentar un equilibrio adecuado de la composición de lignina, celulosa y hemicelulosa. La comparación concomitante en el uso de estos componentes en sustratos puede indicar que mientras se considera el logro de una producción eficiente y sostenible de *Pholiota adiposa*, se debe prestar atención tanto a la composición química como a las características físicas.

5.2. Conclusiones

- El presente estudio logró evaluar de manera integral residuos forestales y agrícolas, siendo éstos el aserrín de madera, paja de cebada y bagazo de caña de azúcar, como sustratos para la producción del hongo comestible *Pholiota adiposa* mediante un método de fermentación en estado sólido. Los resultados obtenidos demuestran que dichos residuos son viables y sostenibles para la producción de hongos comestibles de alto valor, siendo una importante alternativa para la minimización del impacto ambiental a través de la reutilización de residuos agrícolas y forestales.
- El aislamiento de *Pholiota adiposa*, realizado en las zonas altoandinas en Chimborazo, fue un logro básico e importante para esta investigación. Se concluyó con la obtención de un micelio puro en agar PDA, la confirmación de la especie mediante constantes observaciones macroscópicas y microscópicas. Esto permitió el establecimiento de un inóculo primario fiable; muy importante para las etapas posteriores de producción y análisis del crecimiento del hongo. La pureza en el micelio aislado garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos en los tratamientos de los sustratos y la calidad del cultivo, de acuerdo con los estándares científicos para investigación y uso comercial.
- Su crecimiento óptimo se verificó en dos fases: crecimiento radial del micelio en placas de Petri y colonización en los diversos sustratos. Durante la primera fase, se determinó que la mayor tasa de crecimiento radial se producía en condiciones de temperatura constante a 28°C y en completa oscuridad, donde el micelio creció de forma uniforme y vigorosa, alcanzando el diámetro completo de la placa petri en un período de tiempo de 96 horas.
En las mismas condiciones ambientales, la colonización de los sustratos fue igualmente eficaz en la segunda fase. El más eficaz resultó ser el tratamiento T5, compuesto por un 50% de serrín y un 25% de paja de cebada y un 25% de bagazo de caña de azúcar. Este tratamiento finalizó la colonización en un tiempo de 15 días, al igual que los tratamientos T6 y T7. No sólo mostraron la colonización más rápida, sino también la mayor rapidez para iniciar la fructificación.

Por el contrario, aunque los tratamientos T3 y T4 lograron colonizar los sustratos en un tiempo prolongado de 28 días, no lograron la fructificación dentro del tiempo establecido. Esto reveló que aunque los sustratos fueron colonizados, sus composiciones no eran propicias para la producción de cuerpos fructíferos.

- El crecimiento de *Pholiota adiposa* mostró variaciones altamente significativas entre los tratamientos, lo que indica claramente que la composición del sustrato es el factor más importante en el desarrollo del micelio, así como en la fructificación. La mayor eficiencia biológica fue del 92,60% con un rendimiento del 39,36% para el tratamiento T5 compuesto por un 50% de serrín, un 25% de paja de cebada y un 25% de bagazo de caña de azúcar, indicando así que una mezcla equilibrada de estos residuos sería ideal para el crecimiento y la producción de cuerpos fructíferos. Por otro lado, el tratamiento T1 con una composición de 50% de bagazo de caña y 50% de aserrín tuvo una eficiencia biológica de 49,13% y un rendimiento de 36,89%, mientras que el T2 compuesto por 50% de bagazo de caña y 50% de paja de cebada mostró 46,57% y 31,44% para los mismos dos parámetros, lo que evidencia que aunque eficientes, las combinaciones son menos eficaces en comparación con el T5.
- El análisis fisicoquímico de los sustratos mostró que los siguientes materiales tenían diferentes composiciones: lignina, celulosa y hemicelulosa. El serrín de madera tenía un alto contenido en lignina (24,126%) y celulosa (45,131%), lo que demostraba que tenía una estructura resistente, la descomposición era más lenta y la nutrición se liberaba de forma sostenible. Este hecho fue favorable para el desarrollo del micelio durante un período más largo y garantizar una fructificación continua.

Sin embargo, el bagazo de caña de azúcar mostró un alto contenido en hemicelulosa del 45,215%, lo que ayudaría a la tasa de degradación microbiana y, por tanto, a la disponibilidad de nutrientes cruciales para el crecimiento de *Pholiota adiposa*. La paja de cebada, con un bajo contenido en celulosa (31,326%) y hemicelulosa (23,145%), demostró ser un sustrato débil en la naturaleza, por lo que su eficacia biológica y su rendimiento en la producción de hongos fueron bajos. Los resultados anteriores subrayan la

importancia de un equilibrio adecuado entre la lignina, la celulosa y la hemicelulosa en la formulación del sustrato. Debido a la combinación de serrín de madera y bagazo de caña de azúcar en proporciones equilibradas, como en el tratamiento T5, hay una provisión tanto de estructura física apropiada como de disponibilidad nutricional hacia la máxima producción de hongos.

5.3. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis completo de los metabolitos bioactivos de *Pholiota adiposa* como proteína, carbohidrato y lípidos.
- Analizar el contenido de N/C en los sustratos bagazo de caña, aserrín y paja de cebada.
- Se sugiere investigar sobre la variabilidad genética de *Pholiota adiposa* en diversos ecosistemas para una comprensión más profunda de su adaptación y evolución.
- Realizar estudios adicionales de las propiedades bioquímicas de la *Pholiota adiposa* y sus posibles aplicaciones en biotecnología o farmacología.
- Se recomienda investigar otros residuos agrícolas y forestales que puedan tener potencial como sustrato alternativo o complementario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, S., Arboleda, L., & Uvidia, H. (2021). Aprovechamiento de residuos agroindustriales como alternativa en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Alfa*, 5(15), 649-660. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.145>
- Akcay, C., Ceylan, F., & Arslan, R. (2023). Production of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) from some waste lignocellulosic materials and FTIR characterization of structural changes. *Scientific Reports*, 13(1), 12897. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40200-x>
- Atila, F. (2022). *Utilization of Agricultural and Forestry by-Products in Ganoderma lucidum (Curt.: Fr.) P. Karst. Production*. 1(13). <https://doi.org/10.30708.mantar.1185553>
- Bandura, I., Kulyk, A., Makohon, S., Khareba, O., & Khareba, V. (2021). Influence of the substrate composition on the yield and nutritional value of the fruiting bodies of the edible mushrooms *Pleurotus citrinopileatus* and *Cyclocybe aegerita*. *Plant varieties studying and protection*, 17, 130-138. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.2.2021.236519>
- Cardona Soberao, Y. R., Díaz Sánchez, J., Cardoso Paneque, L., & Pérez Sánchez, A. (2022). Culture media used in the proliferation of edible mushrooms of the PLEUROTUS genus. *Nexo Revista Científica*, 35(04), 881-894. <https://doi.org/10.5377/nexo.v35i04.15525>
- Diamantopoulou, P., Fourtaka, K., Melanouri, E. M., Dedousi, M., Diamantis, I., Gardeli, C., & Papanikolaou, S. (2023). Examining the Impact of Substrate Composition on the Biochemical Properties and Antioxidant Activity of *Pleurotus* and *Agaricus* Mushrooms. *Fermentation*, 9(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/fermentation9070689>
- Dimopoulou, M., Kolonas, A., Mourtakos, S., Androutsos, O., & Gortzi, O. (2022). Nutritional Composition and Biological Properties of Sixteen Edible Mushroom Species. *Applied Sciences*, 12(16), 8074. <https://doi.org/10.3390/app12168074>
- FAO. (2021). *The State of Food and Agriculture 2021*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4476en>

- Fufa, B. K., Tadesse, B. A., & Tulu, M. M. (2021). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on Agricultural Wastes and Their Combination. *International Journal of Agronomy*, 2021(1), 1465597. <https://doi.org/10.1155/2021/1465597>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2021). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Haukongo, K. N., Horn, L. N., & Tjiurutue, M. C. (2021). *Effects of different substrates as medium for mushrooms cultivation*. 2(9), 032-037. <https://doi.org/10.15413/ajfr.2021.0104>
- Hoa, H. T., Wang, C.-L., & Wang, C.-H. (2015). The Effects of Different Substrates on the Growth, Yield, and Nutritional Composition of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiology*, 43(4), 423-434. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2015.43.4.423>
- Holec, J. (1998). The taxonomy of *Pholiota aurivella* and *Pholiota adiposa*. *Czech Mycology*, 50(3), 201-221. <https://doi.org/10.33585/cm.50306>
- INEC. (2023). *Instituto de Estadísticas y Censos. Gestión de la Operación Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, Gestión de Residuos Sólidos 2021*. <https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/960>
- Jaramillo-Mejía, S., & Albertó, E. (2019). Incremento de la productividad de *Pleurotus ostreatus* mediante el uso de inóculo como suplemento. *Scientia fungorum*, 49. <https://doi.org/10.33885/sf.2019.49.1243>
- Jatuwong, K., Kumla, J., Suwannarach, N., Matsui, K., & Lumyong, S. (2020). Bioprocessing of Agricultural Residues as Substrates and Optimal Conditions for Phytase Production of Chestnut Mushroom, *Pholiota adiposa*, in Solid State Fermentation. *Journal of Fungi*, 6(4), 384. <https://doi.org/10.3390/jof6040384>
- Junior Letti, L. A., Destéfani Vítola, F. M., Vinícius De Melo Pereira, G., Karp, S. G., Pedroni Medeiros, A. B., Ferreira Da Costa, E. S., Bissoqui, L., & Soccol, C. R. (2018). Solid-State Fermentation for the Production of Mushrooms. En *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 285-318). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00014-1>
- Kumar, K., Mehra, R., Guiné, R. P. F., Lima, M. J., Kumar, N., Kaushik, R., Ahmed, N., Yadav, A. N., & Kumar, H. (2021). Edible Mushrooms: A Comprehensive

- Review on Bioactive Compounds with Health Benefits and Processing Aspects. *Foods*, 10(12), 2996. <https://doi.org/10.3390/foods10122996>
- Kumla, J., Suwannarach, N., Sujarit, K., Penkhrue, W., Kakumyan, P., Jatuwong, K., Vadthanarat, S., & Lumyong, S. (2020). Cultivation of Mushrooms and Their Lignocellulolytic Enzyme Production Through the Utilization of Agro-Industrial Waste. *Molecules*, 25, 2811. <https://doi.org/10.3390/molecules25122811>
- Lee, S.-S., Lee, J.-W., & Cho, N.-S. (2002). Cultivation of *Pholiota adiposa* by Use of Sawdusts and Agricultural By-product Substrates. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 30.
- Li, Y., Feng, Y., Shang, Y., Xu, H., Xia, R., Hou, Z., Pan, S., Li, L., Bian, Y., Zhu, J., Wang, Z., & Xin, G. (2023). Sexual spores in edible mushroom: Bioactive components, discharge mechanisms and effects on fruiting bodies quality. *Food Science and Human Wellness*, 12(6), 2111-2123. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2023.03.014>
- Lisiecka, J., Prasad, R., & Jasinska, A. (2021). The Utilisation of *Pholiota nameko*, *Hypsizygus marmoreus*, and *Hericium erinaceus* Spent Mushroom Substrates in *Pleurotus ostreatus* Cultivation. *Horticulturae*, 7(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100396>
- Lou, Z., Sun, Y., Zhou, X., Baig, S. A., Hu, B., & Xu, X. (2017). Composition variability of spent mushroom substrates during continuous cultivation, composting process and their effects on mineral nitrogen transformation in soil. *Geoderma*, 307, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.033>
- Mitchell, D. A., De Lima Luz, L. F., Krieger, N., & Berovič, M. (2011). Bioreactors for Solid-State Fermentation. En *Comprehensive Biotechnology* (pp. 347-360). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00107-0>
- Muswati, C., Simango, K., Tapfumaneyi, L., Mutetwa, M., & Ngezimana, W. (2021). The Effects of Different Substrate Combinations on Growth and Yield of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *International Journal of Agronomy*, 2021(1), 9962285. <https://doi.org/10.1155/2021/9962285>
- Naeem, M. Y., Ugur, S., & Rani, S. (2020). *Emerging Role of Edible Mushrooms in Food Industry and Its Nutritional and Medicinal Consequences*. 4(1), 6-23.
- Nath, I., Dutta, P. L., Narzary, P. R., & Niranjana, M. A. (2024). Turning Trash into Treasure: Utilizing Sericultural Wastes in Mushroom Cultivation. *Journal of*

- Scientific Research and Reports*, 30(5), 462-471.
<https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i51962>
- Obatake, Y., Matsumoto, T., Mimura, K., & Fukumasa-Nakai, Y. (2002). Genetic relationships in the natural population of *Pholiota nameko* from Japan based on DNA polymorphisms. *Mycoscience*, 43(6), 463-469.
<https://doi.org/10.1007/S102670200067>
- Obregón-Cano, S., Moreno-Rojas, R., Jurado-Millán, A. M., Cartea-González, M. E., & De Haro-Bailón, A. (2019). Analysis of the Acid Detergent Fibre Content in Turnip Greens and Turnip Tops (*Brassica rapa* L. Subsp. *Rapa*) by Means of Near-Infrared Reflectance. *Foods*, 8(9), 364.
<https://doi.org/10.3390/foods8090364>
- Okuda, Y. (2022). Sustainability perspectives for future continuity of mushroom production: The bright and dark sides. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1026508. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1026508>
- Öztürk, C., & Atila, F. (2021). Cambios en las fracciones lignocelulósicas de los sustratos de cultivo durante el cultivo del hongo *Hypsizygus ulmarius* y sus efectos en la productividad del hongo. *Scientia Horticulturae*, 288, 110403.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110403>
- Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., & Soccol, V. T. (2020). Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: Sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 74(1), 69-80. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00142-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00142-X)
- Pilafidis, S., Diamantopoulou, P., Gkatzionis, K., & Sarris, D. (2022). Valorization of Agro-Industrial Wastes and Residues through the Production of Bioactive Compounds by Macrofungi in Liquid State Cultures: Growing Circular Economy. *Applied Sciences*, 12(22), 11426.
<https://doi.org/10.3390/app122211426>
- Quintana Zamora, J. G., Parrales Gallo, M. A., Vera Chang, J. F., & Tigselema Zambrano, S. M. (2024). Producción de *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus sapidus* con residuos agrícolas de *Glycine max*, *Oryza sativa* y *Zea mays*. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(1), 83-93.
<https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v8.n1.2024.83-93>
- Rajarithnam, S., & Shashirekha, M. N. (2003). MUSHROOMS AND TRUFFLES | Classification and Morphology. En *Encyclopedia of Food Sciences and*

- Nutrition* (pp. 4040-4048). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00812-9>
- Rich-Milton, D., Esperanza C., C., Sofronio P., K., & Renato G., R. (2021). Optimization of culture conditions for mycelial growth and fruiting body production of naturally-occurring Philippine mushroom *Lentinus swartzii* Berk. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. <https://doi.org/10.7324/JABB.2021.9303>
- Ríos-Ruiz, W. F., Valdez-Nuñez, R. A., & Jiménez-Flores, J. P. (2017). Aislamiento, propagación y crecimiento de hongos comestibles nativos en residuos agroindustriales. *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 327-335. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.04>
- Riseh, R. S., Vazvani, M. G., Hassanisaadi, M., & Thakur, V. K. (2024). Agricultural wastes: A practical and potential source for the isolation and preparation of cellulose and application in agriculture and different industries. *Industrial Crops and Products*, 208, 117904. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117904>
- Rodríguez, M. E., Domínguez, E. M. H., Lucio, B. S. V. D., García, M. V., & Cervantes, J. Á. (2021). PRODUCTIVIDAD Y ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE *Pleurotus* spp. CRECIDOS SOBRE BAGAZO DE *Agave salmiana* COMO SUSTRATO ALTERNATIVO. *Agrociencia*, 55(7), 569-581. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i7.2604>
- Rong, C. (2016). Selection of a highly productive strain of *Pholiota adiposa*. *Mycosphere*, 7(2), 226-235. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/7/2/11>
- Rong, C., Song, S., Yang, L., Pan, X., Liu, Y., & Wang, S. (2021). Breeding of a high-yield strain for commercial cultivation by crossing *Pholiota adiposa*. *Ciência e Agrotecnologia*, 45, e010921. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145010921>
- Royse, D. J. (2014). *A Global Perspective On The High Five: Agaricus, Pleurotus, Lentinula, Auricularia & Flammulina*.
- Sakamoto, Y. (2018). Influences of environmental factors on fruiting body induction, development and maturation in mushroom-forming fungi. *Fungal Biology Reviews*, 32(4), 236-248. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2018.02.003>
- Saratale, G. D., Saratale, R. G., Ghodake, G. S., Jiang, Y., Chang, J.-S., Shin, H.-S., & Kumar, G. (2020). Solid state fermentative lignocellulolytic enzymes production, characterization and its application in the saccharification of rice

- waste biomass for ethanol production: An integrated biotechnological approach. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 76, 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.03.027>
- Sarkar, S., Skalicky, M., Hossain, A., Brestic, M., Saha, S., Garai, S., Ray, K., & Brahmachari, K. (2020). Management of Crop Residues for Improving Input Use Efficiency and Agricultural Sustainability. *Sustainability*, 12(23), 9808. <https://doi.org/10.3390/su12239808>
- Scalvenzi, L., Ruilova, M., Yordi, E., Radice, M., Abreu Naranjo, R., & Perez, A. (2024). Edible mushroom production in Ecuador: Opportunities for biotechnological use of agricultural byproducts. *Revista Bionatura*, 1, 1-13. <https://doi.org/10.21931/BJ/2024.02.01.15>
- Shimizu, K., Fujita, R., Kondo, R., Sakai, K., & Kaneko, S. (2003). Morphological features and dietary functional components in fruit bodies of two strains of *Pholiota adiposa* grown on artificial beds. *Journal of Wood Science*, 49(2), 193-196. <https://doi.org/10.1007/s100860300031>
- Srivastava, A. K., Gupta, P. K., Hiremath, L., Kumar, S. N., & Narayan, A. V. (2019). Biodegradation of Lignocellulosic Biomass and Production of Ethanol Using Potential Microorganisms. En R. Naraian (Ed.), *Mycodegradation of Lignocelluloses* (pp. 65-80). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23834-6_5
- T. G., Y. G., Ballupete Nagaraju, S., Puttegowda, M., Verma, A., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2023). Biopolymer-Based Composites: An Eco-Friendly Alternative from Agricultural Waste Biomass. *Journal of Composites Science*, 7(6), 242. <https://doi.org/10.3390/jcs7060242>
- Titus, B. D., Brown, K., Helmisaari, H.-S., Vanguelova, E., Stupak, I., Evans, A., Clarke, N., Guidi, C., Bruckman, V. J., Varnagiryte-Kabasinskiene, I., Armolaitis, K., De Vries, W., Hirai, K., Kaarakka, L., Hogg, K., & Reece, P. (2021). Sustainable forest biomass: A review of current residue harvesting guidelines. *Energy, Sustainability and Society*, 11(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00281-w>
- Valenzuela-Cobos, J. D., Guevara-Viejó, F., Grijalva-Endara, A., Vicente-Galindo, P., & Galindo-Villardón, P. (2023). Production and Evaluation of *Pleurotus* spp. Hybrids Cultivated on Ecuadorian Agro-Industrial Wastes: Using Multivariate

- Statistical Methods. *Sustainability*, 15(21), Article 21.
<https://doi.org/10.3390/su152115546>
- Van Soest, P. J., & Wine, R. H. (1968). Determination of Lignin and Cellulose in Acid-Detergent Fiber with Permanganate. *Journal of Association of Official Analytical Chemists*, 51(4), 780-785. <https://doi.org/10.1093/jaoac/51.4.780>
- Wang, X., Zhang, Y., & Liu, F. (2022). Influence of *Pholiota adiposa* on gut microbiota and promote tumor cell apoptosis properties in H22 tumor-bearing mice. *Scientific Reports*, 12, 8589. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11041-x>
- Wei, Y., Li, L., Liu, Y., Xiang, S., Zhang, H., Yi, L., Shang, Y., & Xu, W. (2022). Identification techniques and detection methods of edible fungi species. *Food Chemistry*, 374, 131803. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131803>
- Yan, Z., Liu, H., Li, J., & Wang, Y. (2021). Application of Identification and Evaluation Techniques for Edible Mushrooms: A Review. *Critical reviews in analytical chemistry*, 53, 1-21. <https://doi.org/10.1080/10408347.2021.1969886>
- Zied, D. C., da Silva Freitas, M. A., de Almeida Moreira, B. R., da Silva Alves, L., & Pardo-Giménez, A. (2023). A Comparative Analysis of Biodegradation and Bioconversion of *Lentinula edodes* and Other Exotic Mushrooms. *Microorganisms*, 11(4), 897. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11040897>

ANEXOS

Anexo 1. Resultados del tiempo de colonización en los tratamientos.

Tratamientos		Días	Promedio
T1	T1.1	18	18
	T1.2	17	
	T1.3	18	
	T1.4	19	
	T1.5	18	
	T1.6	18	
	T2	T2.1	
T2.2		18	
T2.3		18	
T2.4		17	
T2.5		18	
T2.6		17	
T3		T3.1	28
	T3.2	28	
	T3.3	27	
	T3.4	27	
	T3.5	28	
	T3.6	28	
	T4	T4.1	27
T4.2		28	
T4.3		28	
T4.4		28	
T4.5		29	
T4.6		28	
T5		T5.1	15
	T5.2	15	
	T5.3	15	
	T5.4	14	

	T5.5	15	
	T5.6	14	
T6	T6.1	15	14,83≈ 15
	T6.2	14	
	T6.3	15	
	T6.4	15	
	T6.5	15	
	T6.6	15	
T7	T7.1	15	14,67≈ 15
	T7.2	14	
	T7.3	15	
	T7.4	14	
	T7.5	15	
	T7.6	15	

Anexo 2. Resultados de la Eficiencia Biológica (EB).

Peso hongos frescos							
Tratamientos	Repetición	Primera cosecha (g)	Segunda cosecha (g)	Tercera cosecha (g)	SUM A	Eficiencia Biológica (%)	Promedio (%)
T1	1	432	290	143	865	57,67	73,97
	2	632	356	204	1192	79,47	
	3	578	369	198	1145	76,33	
	4	760	539	162	1461	97,40	
	5	409	298	107	814	54,27	
	6	590	401	189	1180	78,67	
T2	1	710	587	256	1553	103,53	86,79
	2	609	365	179	1153	76,87	
	3	590	307	154	1051	70,07	

	4	596	284	106	986	65,73	
	5	798	590	289	1677	111,80	
	6	695	487	209	1391	92,73	
T5	1	730	513	190	1433	95,53	92,60
	2	712	590	290	1592	106,13	
	3	689	461	268	1418	94,53	
	4	732	460	310	1502	100,13	
	5	647	370	210	1227	81,80	
	6	656	301	205	1162	77,47	
T6	1	408	247	169	824	54,93	49,13
	2	387	290	190	867	57,80	
	3	398	198	102	698	46,53	
	4	301	179	98	578	38,53	
	5	415	289	135	839	55,93	
	6	318	201	97	616	41,07	
T7	1	351	169	87	607	40,47	46,57
	2	389	198	101	688	45,87	
	3	395	192	99	686	45,73	
	4	401	267	108	776	51,73	
	5	386	274	99	759	50,60	
	6	398	189	88	675	45,00	

Anexo 3. Resultados del Rendimiento.

Tratamientos	Repetición	Peso hongos secos (g)			SUMA	Rendimiento (%)	Promedio (%)
		Primera cosecha	Segunda cosecha	Tercera cosecha			
T1	1	367,20	246,50	121,55	735,25	24,51	31,44
	2	537,20	302,60	173,40	1013,20	33,77	
	3	491,30	313,65	168,30	973,25	32,44	
	4	646,00	458,15	137,70	1241,85	41,40	
	5	347,65	253,30	90,95	691,90	23,06	
	6	501,50	340,85	160,65	1003,00	33,43	
T2	1	603,50	498,95	217,60	1320,05	44,00	36,89
	2	517,65	310,25	152,15	980,05	32,67	
	3	501,50	260,95	130,90	893,35	29,78	
	4	506,60	241,40	90,10	838,10	27,94	
	5	678,30	501,50	245,65	1425,45	47,52	
	6	590,75	413,95	177,65	1182,35	39,41	
T5	1	620,50	436,05	161,50	1218,05	40,60	39,36
	2	605,20	501,50	246,50	1353,20	45,11	
	3	585,65	391,85	227,80	1205,30	40,18	
	4	622,20	391,00	263,50	1276,70	42,56	
	5	549,95	314,50	178,50	1042,95	34,77	
	6	557,60	255,85	174,25	987,70	32,92	
T6	1	346,80	209,95	143,65	700,40	23,35	20,88
	2	328,95	246,50	161,50	736,95	24,57	
	3	338,30	168,30	86,70	593,30	19,78	
	4	255,85	152,15	83,30	491,30	16,38	
	5	352,75	245,65	114,75	713,15	23,77	
	6	270,30	170,85	82,45	523,60	17,45	
T7	1	298,35	143,65	73,95	515,95	17,20	19,79
	2	330,65	168,30	85,85	584,80	19,49	
	3	335,75	163,20	84,15	583,10	19,44	
	4	340,85	226,95	91,80	659,60	21,99	

5	328,10	232,90	84,15	645,15	21,51
6	338,30	160,65	74,80	573,75	19,13



DESCRIPCIÓN:	UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO FACULTAD DE POSGRADO MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA ELABORADO POR: Angela Ortiz	ANEXO 4: PREPARACIÓN DEL INVERNADERO Y TRATAMIENTOS A ESTUDIARSE.		
a) Adecuamiento del invernadero en dos fases: incubación y fructificación. b) Preparación de los sustratos. c) Sustratos de 3 kg colocados en fundas de polipropileno.		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		1	1:1	2024/08/18

Anexo 4. Preparación del Invernadero y Tratamientos a Estudiarse



DESCRIPCIÓN:

- d) Preparación del inóculo primario en granos de cebada.
- e) Colonización del micelio sobre la cebada.
- f) Preparación de los tratamientos para inocular.

**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD DE POSGRADO
MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA**

ELABORADO POR:
Angela Ortiz

ANEXO 5: PREPARACIÓN DEL INÓCULO PRIMARIO.

LÁMINA	ESCALA	FECHA
2	1:1	2024/08/18

Anexo 5. Preparación del Inóculo Primario.



DESCRIPCIÓN:	UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO FACULTAD DE POSGRADO MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA ELABORADO POR: Angela Ortiz	ANEXO 6: PRESENCIA DE PRIMORDIOS EN LOS TRATAMIENTOS.		
g) Preparación del sistema de riego por aspersión. h) y i) Aparición de los primordios en los tratamientos.		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		3	1:1	2024/08/18

Anexo 6. Presencia de Primordios en los Tratamientos.



DESCRIPCIÓN:

- j) Aparición de primordios en los diferentes tratamientos.
- k) Cosecha de *Pholiota adiposa* madura.
- l) Pesaje de los hongos en peso fresco.
- m) Pesaje de los hongos en peso seco.

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD DE POSGRADO
MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA
 ELABORADO POR:
 Angela Ortiz

ANEXO 7.: PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LA EFICIENCIA BIOLÓGICA.

LÁMINA	ESCALA	FECHA
4	1:1	2024/08/18

Anexo 7. Procedimiento para Obtener la Eficiencia Biológica.

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

