

# UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

FACULTAD DE POSGRADOS

INFORME DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

**TEMA:**

EVALUACIÓN DE MICELIO DE HONGOS HIBRIDADOS A PARTIR DE *Pleurotus spp* EN RESIDUOS DE MADERA PARA LA OBTENCIÓN DE AGLOMERADOS.

**Autor:**

Rivadeneira Erazo Alexis Patricio

**Director:**

Msc. Rafael Seleyman Lazo Sulca

Milagro, 2024

## Derechos de autor

Sr. Dr.

**Fabricio Guevara Viejó**

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Alexis Patricio Rivadeneira Erazo** 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 **Magister 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, **08 de agosto de 2024**



Firmado electrónicamente por:  
**ALEXIS PATRICIO  
RIVADENEIRA ERAZO**

Rivadeneira Erazo Alexis Patricio

**1400682686**

## Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **Rafael Seleyman Lazo Sulca** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **Alexis Patricio Rivadeneira Erazo**, cuyo tema es **Evaluación de micelio de hongos hibridados a partir de *Pleurotus spp* en residuos de madera para la obtención de aglomerados**, que aporta a la Línea de Investigación **Promoción del Desarrollo Económico: Economía Verde**, previo a la obtención del Grado **Magister 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, **08 de agosto de 2024**



Firmado electrónicamente por:  
**RAFAEL SELEYMAN  
LAZO SULCA**

Rafael Seleyman Lazo Sulca

C.I. 0918859687

# Aprobación del tribunal calificador

## 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 **BIOT. RRNN RIVADENEIRA ERAZO ALEXIS PATRICIO**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EVALUACIÓN DE MICELIO DE HONGOS HIBRIDADOS A PARTIR DE PLEUROTUS SPP EN RESIDUOS DE MADERA PARA LA OBTENCIÓN DE AGLOMERADOS", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	58.17
SUSTENTACIÓN	38.00
<b>PROMEDIO</b>	<b>96.17</b>
<b>EQUIVALENTE</b>	<b>Excelente</b>



Firma electrónicamente por:  
DIEGO GEOVANNY  
BARZALLO GRANIZO

Mgs. BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY  
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firma electrónicamente por:  
CESAR ANIBAL  
BARZOLA GAIBOR

Ing. BARZOLA GAIBOR CESAR ANIBAL  
VOCAL



Firma electrónicamente por:  
ALEX EDWIN GUILLEN  
BONILLA

Ing. GUILLEN BONILLA ALEX EDWIN  
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

## DEDICATORIA

**Dedico este trabajo, primeramente, a mi madre como pilar fundamental en mi vida; a mi padre, que está en el cielo y estoy seguro de que me ve con orgullo y felicidad por haber terminado un paso más en mi carrera profesional; a mis hermanas; a mis sobrinos; a mi abuelita, que desde pequeño me educó y me ayudó a ser quien soy hoy. Por último, a mis amigos, quienes han estado ahí en mis buenos y malos momentos, tanto a quienes están presentes como a quienes estuvieron. A quien me acompañó durante todo este tiempo de posgrado.**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis docentes por ser el apoyo e impulso necesario para culminar esta etapa importante de crecimiento personal y profesional; a nuestra tutora, por siempre estar preocupada de que realicemos los trabajos de la mejor manera, a tiempo y con la predisposición de recordárnoslo; a mi madre, por apoyarme cada día para lograr y cumplir mis metas. A mis amigos, por ser el apoyo incondicional en momentos donde no quería ver a nadie, por aconsejarme y darme la idea para la elaboración de este trabajo experimental. Y, por último, agradezco a la persona que ha estado en todo este periplo junto a mí, que tuvo que vivir mis buenos y malos momentos de cansancio por culminar esta nueva etapa.

## Resumen

La presente investigación evaluó el uso de micelio de hongos hibridados a partir de *Pleurotus* spp en residuos de madera para la obtención de aglomerados. Se propuso una metodología cuantitativa que incluyó estudios de laboratorio para caracterizar los residuos forestales y evaluar las propiedades de los aglomerados desarrollados.

La población de estudio estuvo conformada por los residuos de las industrias forestales del cantón Morona, provincia de Morona Santiago. Debido a que es poco práctico estudiar toda la población, se seleccionó una muestra representativa de residuos forestales utilizando un muestreo no probabilístico por conveniencia.

Los análisis de laboratorio incluyeron la caracterización de los residuos forestales mediante técnicas de análisis fisicoquímico para determinar su composición química, densidad, humedad, entre otros parámetros. Además, se evaluaron las propiedades de los aglomerados, como resistencia a la compresión y tracción, para determinar su estabilidad y durabilidad.

Los resultados preliminares mostraron que los residuos forestales contienen cantidades significativas de celulosa (45%) y lignina (30%), convirtiéndolos en una materia prima adecuada para la fabricación de aglomerados. La densidad promedio de los residuos fue de 0,45 g/cm<sup>3</sup>, dentro del rango recomendado para tableros de partículas.

La inoculación de los residuos de madera con el hongo *Pleurotus* spp demostró ser efectiva para mejorar las propiedades de unión entre las partículas. Después de 2 semanas de incubación, el hongo había colonizado completamente las partículas de madera, formando una red micelial que actuó como agente aglutinante natural. Este proceso de inoculación permitió reducir la cantidad de aditivos químicos necesarios para la fabricación del aglomerado.

Los análisis estadísticos realizados, como el ANOVA, mostraron diferencias significativas en la resistencia de los aglomerados generados de acuerdo con cada grupo de especie de *Pleurotus* utilizada. Esto indica que la selección de la especie de hongo es un factor clave para optimizar las propiedades de los aglomerados.

En conclusión, es posible desarrollar aglomerados a partir de residuos de madera utilizando una alternativa biotecnológica basada en la inoculación con hongos degradadores de lignina y celulosa. Los aglomerados obtenidos presentan propiedades físico-mecánicas adecuadas, lo que demuestra el potencial de esta alternativa para la valorización de residuos forestales.

Se recomienda realizar un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de posibles variaciones en los supuestos y parámetros del modelo, permitiendo identificar las variables críticas y cuantificar los riesgos asociados a la implementación de esta alternativa biotecnológica. Además, se sugiere ampliar el estudio a otras especies de hongos y evaluar el desempeño de los aglomerados en aplicaciones reales, como la construcción o el mobiliario.

**Palabras clave:** Gestión de residuos de madera, biotecnología, *Pleurotus*, aglomerados, sostenibilidad ambiental.

## Abstract

The present research evaluated the use of hybridized fungal mycelium from *Pleurotus* spp in wood waste to obtain agglomerates. A quantitative methodology was proposed that included laboratory studies to characterize the forest residues and evaluate the properties of the developed agglomerates.

The study population consisted of the residues from the forestry industries of the Morona canton, Morona Santiago province. Since it is impractical to study the entire population, a representative sample of forest residues was selected using a non-probabilistic convenience sampling.

The laboratory analyses included the characterization of the forest residues using physicochemical analysis techniques to determine their chemical composition, density, moisture, among other parameters. In addition, the properties of the agglomerates, such as compressive and tensile strength, were evaluated to determine their stability and durability.

The preliminary results showed that the forest residues contained significant amounts of cellulose (45%) and lignin (30%), making them a suitable raw material for the manufacture of agglomerates. The average density of the residues was 0.45 g/cm<sup>3</sup>, within the recommended range for particleboard.

The inoculation of the wood residues with the *Pleurotus* spp fungus proved to be effective in improving the bonding properties between the particles. After 2 weeks of incubation, the fungus had completely colonized the wood particles, forming a mycelial network that acted as a natural binder. This inoculation process allowed reducing the amount of chemical additives required for the manufacture of the agglomerate.

The statistical analyses performed, such as ANOVA, showed significant differences in the resistance of the agglomerates generated according to each *Pleurotus* species group used. This indicates that the selection of the fungal species is a key factor in optimizing the properties of the agglomerates.

In conclusion, it is possible to develop agglomerates from wood residues using a biotechnological alternative based on inoculation with lignin and cellulose -degrading fungi. The obtained agglomerates have adequate physical-mechanical properties, demonstrating the potential of this alternative for the valorization of forest residues.

It is recommended to perform a sensitivity analysis to evaluate the impact of possible variations in the assumptions and parameters of the model, allowing the identification of

critical variables and the quantification of the risks associated with the implementation of this biotechnological alternative. Additionally, it is suggested to expand the study to other fungal species and evaluate the performance of the agglomerates in real applications, such as construction or furniture.

**Keywords:** Wood waste management, biotechnology, *Pleurotus*, agglomerates, environmental sustainability.

## Lista de Tablas

<u>Tabla 1. Análisis de datos de porcentaje de celulosa. Fuente: Autor</u> .....	35
<u>Tabla 2. Análisis de datos de porcentaje de lignina. Fuente: Autor</u> .....	36
<u>Tabla 3. Análisis de medias y desviación estándar. Fuente: Autor</u> .....	36
<u>Tabla 4. Análisis de ANOVA. Fuente. Autor</u> .....	36
<u>Tabla 5. Porcentaje de celulosa y lignina por residuos lignocelulósico. Fuente: Autor</u> .....	39

## Índice / Sumario

### Contenido

Capítulo I: El problema de la investigación .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Delimitación del problema .....	2
1.3 Formulación del problema .....	3
1.4 Preguntas de investigación .....	3
1.5 Determinación del tema.....	4
1.6 Objetivo general .....	4
1.7 Objetivos específicos.....	4
1.8 Hipótesis (de existir) .....	4
1.9 Declaración de las variables (operacionalización).....	4
1.10 Justificación.....	6
1.11 Alcance y limitaciones .....	7
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial.....	10
2.1 Antecedentes .....	10
2.1 Contenido teórico que fundamenta la investigación .....	11
CAPÍTULO III: Diseño metodológico.....	29
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	29
3.2 La población y la muestra .....	29
3.2.1 Características de la población .....	29
3.2.2 Delimitación de la población.....	30
3.2.3 Tipo de muestra.....	30
3.2.4 Tamaño de la muestra.....	31
3.2.5 Proceso de selección de la muestra .....	31
3.3 Los métodos y las técnicas .....	32
3.4 Procesamiento estadístico de la información. ....	34
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados.....	36
4.1 Análisis de los resultados .....	36
4.2 Interpretación de los resultados.....	39
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones.....	43
5.1 Conclusiones .....	43
5.2 Recomendaciones .....	44

Bibliografía.....46

## Capítulo I: El problema de la investigación

### 1.1 Planteamiento del problema

Los residuos generados por las industrias de la madera en la provincia de Morona Santiago carecen de un destino final adecuado, siendo comúnmente eliminados mediante la quema, existen dentro de la provincia 34 industrias forestales (carpinterías), certificadas por el ente rector, las mismas que no cuentan con su registro ambiental correspondiente en el Sistema Único de Información Ambiental, por lo que no tienen un plan de manejo adecuado para el destino final de los residuos o desechos de las mismas, produciendo (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2024) .

Esta práctica no solo resulta en la emisión de gases de efecto invernadero, sino que también conlleva a la pérdida de calidad del aire y posibles contaminaciones de las fuentes hídricas cercanas (Ballesteros & Aristizabal, s. f.). Según datos de la Oficina Técnica Morona, del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Ente rector del aprovechamiento del producto forestal indica que en el año 2023 se ha aprobado la corta de 24.990,21 m<sup>3</sup> de producto forestal mismo que es movilizado por la región, la generación de residuos sin una alternativa efectiva de gestión plantea un desafío ambiental y socioeconómico significativo.

La falta de alternativas para gestionar los residuos de madera generados en las industrias conduce a la quema o acumulación de estos desechos en vertederos, lo que contribuye a la contaminación del suelo, agua y aire, lo que implica un gasto económico para su eliminación. La ausencia de alternativas biotecnológicas que permitan gestionar los desechos de madera generados limita la capacidad de la industria para innovar y encontrar soluciones sostenibles para el manejo de estos residuos, lo que restringe su capacidad para reducir su huella de carbono y mejorar la imagen ambiental.

La falta del aprovechamiento de las condiciones ambientales del sector y su abundancia de material orgánico para generar alternativas de bioproductos eco-amigables implica un desperdicio de recursos naturales y una oportunidad perdida para desarrollar productos innovadores que puedan reemplazar a los productos químicos y sintéticos, lo que podría generar ingresos adicionales y mejorar la sostenibilidad de la industria.

## 1.2 Delimitación del problema

La falta de registro ambiental en el Sistema Único de Información Ambiental de las industrias forestales impide la implementación de un plan de manejo adecuado para los residuos, lo que representa un desafío ambiental y socioeconómico significativo.

Impactos Negativos:

- Emisión de gases de efecto invernadero.
- Pérdida de calidad del aire y contaminación de fuentes hídricas.
- Contaminación del suelo, agua y aire por la quema o acumulación de desechos de madera en vertederos.
- Limitación de la capacidad de innovación de la industria al no contar con alternativas biotecnológicas para la gestión de residuos.

Oportunidades Perdidas:

- Desperdicio de recursos naturales y falta de aprovechamiento de las condiciones ambientales para generar bioproductos eco-amigables.
- Falta de desarrollo de productos innovadores que podrían reemplazar químicos y sintéticos, generando ingresos adicionales y mejorando la sostenibilidad de la industria.

La investigación se llevará a cabo durante el período comprendido marzo a junio de 2024. Este rango de tiempo permitirá desarrollar y evaluar de manera integral la alternativa biotecnológica propuesta, considerando las diferentes etapas del proceso, desde la caracterización de los residuos hasta la validación del aglomerado final.

El enfoque central de esta investigación será el desarrollo de una alternativa biotecnológica para la gestión de los residuos de las industrias

de la madera en la provincia de Morona Santiago. Específicamente, se propone la creación de aglomerados utilizando aserrín y *Pleurotus spp*.

Los aspectos que se abordarán dentro de esta temática incluyen:

- Caracterización físico - química de los residuos forestales disponibles en la región.
- Evaluación de las propiedades y desempeño de los aglomerados elaborados con aserrín y *Pleurotus spp*.
- Análisis de la viabilidad técnica, económica y ambiental de la alternativa biotecnológica propuesta.
- Identificación de las condiciones socioeconómicas del sector maderero local y su relación con la implementación de la solución.
- Comparación de las características del aglomerado desarrollado con los productos existentes en el mercado.

La investigación empleará un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos. Se realizarán análisis de laboratorio para caracterizar los residuos forestales y evaluar las propiedades de los aglomerados desarrollados.

Los principales métodos y técnicas para utilizar incluyen:

- Análisis físico – químicos de los residuos forestales.
- Pruebas de desempeño y caracterización de los aglomerados.
- Estudios de mercado y análisis de la demanda potencial.

### **1.3 Formulación del problema**

¿Cómo desarrollar una alternativa biotecnológica, a partir de aserrín y *Pleurotus spp*, que permita gestionar de manera eficiente y sostenible los residuos de las industrias de la madera en la provincia de Morona Santiago, considerando las condiciones socioeconómicas del sector y logrando un aglomerado con características competitivas en el mercado?

### **1.4 Preguntas de investigación**

¿Qué impacto tienen los residuos de madera en el medio ambiente dentro de la provincia de Morona Santiago?

¿Cómo afecta el actual método de eliminación de residuos de madera

a la calidad del aire en la región de Morona Santiago?

¿Cuándo comenzaron a surgir los problemas relacionados con la gestión de residuos de madera en la provincia de Morona Santiago?

¿Dónde se llevan a cabo principalmente la quema de residuos de madera en la provincia de Morona Santiago?

## 1.5 Determinación del tema

Evaluación de micelio de hongos hibridados a partir de *Pleurotus spp* en residuos de madera para la obtención de aglomerados.

## 1.6 Objetivo general

Determinar las alternativas biotecnológicas que permitan controlar los efectos negativos que producen la acumulación de los desechos de maderas de las industrias obteniendo un aglomerado

## 1.7 Objetivos específicos

- Listar las alternativas pertinentes acorde a las condiciones socio económicas del sector que permitan gestionar los residuos de madera generados por las industrias.
- Analizar las condiciones físicas y ambientales de la zona con el fin de identificar los factores que influyen en la viabilidad de la aplicación de alternativas biotecnológicas para la gestión de residuos de madera.
- Presentar las alternativas de desarrollo de bioproductos ecológicamente amigables, adecuadas a las condiciones socioeconómicas del sector, que aprovechen las condiciones ambientales y la abundancia de material orgánico.

## 1.8 Hipótesis (de existir)

El uso potenciado de hongos hibridados a partir de *Pleurotus spp* permitirá controlar los desechos de madera producidos por las industrias logrando obtener micelios para la generación de biomaterial sostenible alternativos al uso de la madera natural.

## 1.9 Declaración de las variables (operacionalización)

Variables Dependientes

1. Técnicas de hibridación utilizadas para *Pleurotus spp*.

Métodos y procedimientos empleados para la hibridación de diferentes cepas o especies del hongo *Pleurotus spp.*

Indicadores: Tipos de técnicas de hibridación, eficiencia de las técnicas, características de los híbridos obtenidos.

## 2. Elaboración de sustrato para cultivo de *Pleurotus spp.*

Proceso de preparación y formulación de los sustratos orgánicos utilizados para el cultivo de diferentes especies de *Pleurotus spp.*

Indicadores: Composición de los sustratos, métodos de preparación, propiedades fisicoquímicas de los sustratos.

## 3. *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*

Características morfológicas, fisiológicas y de producción de las especies de hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*.

Indicadores: Tasa de crecimiento, rendimiento, calidad organoléptica, entre otros.

## 4. Evaluación del material

Análisis y valoración de las características del material biológico (híbridos, sustratos, cepas) obtenido durante la investigación.

Indicadores: Parámetros de calidad, aceptación del producto, viabilidad del proceso.

## Variables Independientes

### 1. *Pleurotus spp.*

Diferentes especies y cepas del género *Pleurotus* utilizadas en el estudio.

Indicadores: Origen, características genéticas, potencial de producción.

### 2. Elaboración de sustratos para cultivo de hongos

Materiales y procesos empleados en la preparación de los sustratos orgánicos para el cultivo de hongos del género *Pleurotus*.

Indicadores: Composición de los sustratos, métodos de esterilización, acondicionamiento.

### 3. Condiciones físicas y ambientales de la zona

Factores ambientales y climáticos de la región donde se desarrolla el cultivo de *Pleurotus*.

Indicadores: Temperatura, humedad, luminosidad, entre otros.

### 4. Pruebas de concepto

Evaluaciones preliminares y validaciones de los procesos y materiales desarrollados en la investigación.

Indicadores: Resultados de las pruebas, viabilidad técnica y económica.

## 1.10 Justificación

### Impacto Ambiental y Social:

La inadecuada gestión de los residuos de las industrias madereras en la provincia de Morona Santiago representa un desafío ambiental y socioeconómico significativo. La implementación de una alternativa biotecnológica para la creación de aglomerados con aserrín y *Pleurotus spp.* no solo contribuirá a mitigar los impactos negativos en el medio ambiente, como la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación de fuentes hídricas, sino que también promoverá prácticas más sostenibles y responsables en la industria local.

### Aprovechamiento de Recursos Locales y Economía Circular:

La abundancia de desechos de material orgánico en la región y las condiciones favorables para el crecimiento de *Pleurotus spp.* ofrecen una oportunidad única para aprovechar estos recursos locales en la producción de un bioproducto innovador. La generación de aglomerados utilizando estos desechos, no solo reducirá su acumulación, sino la implementación de una economía circular y el uso de los recursos disponibles de manera eficiente.

### Desarrollo Tecnológico y Competitividad:

El desarrollo de una alternativa biotecnológica para la gestión de residuos de las industrias madereras implica un avance tecnológico significativo. La creación de aglomerados con características superiores a los existentes en el mercado actual fortalecerá la competitividad de las industrias locales, promoviendo la innovación y la diferenciación de productos en un mercado cada vez más exigente.

#### Beneficios Económicos y Socioeconómicos:

La implementación de esta alternativa biotecnológica no solo generará beneficios ambientales, sino también económicos y socioeconómicos. La producción de aglomerados con viabilidad de aplicación biotecnológica abrirá nuevas oportunidades de negocio, mejorará la eficiencia en la gestión de residuos y contribuirá al desarrollo sostenible de la provincia, beneficiando tanto a las industrias madereras como a la comunidad local.

#### Investigación Interdisciplinaria y Transferencia de Conocimiento:

Al emplear un enfoque mixto que combina métodos cualitativos y cuantitativos, esta investigación fomenta la interdisciplinariedad y la colaboración entre diferentes áreas del conocimiento. Los resultados obtenidos no solo enriquecerán el acervo científico, sino que también podrán ser aplicados en la industria y el sector público, promoviendo la innovación, la sostenibilidad y el desarrollo regional.

### **1.11 Alcance y limitaciones**

#### Alcance

Este estudio se enfocó en analizar la problemática de la gestión de residuos de madera en las industrias de la provincia de Morona Santiago, Ecuador.

Se investigaron las causas y consecuencias de la falta de alternativas para la gestión adecuada de los desechos de madera en las industrias madereras de la región. El análisis reveló que la ausencia de procesos de clasificación y gestión apropiada de estos residuos conllevaba a su descarte directo, impactando negativamente en el medio ambiente y generando consecuencias económicas a largo plazo.

Se propuso una solución incluyendo el uso de técnicas biotecnológicas y el desarrollo de bioproductos eco-amigables. La viabilidad de utilizar madera plástica elaborada a partir del reciclado de residuos post consumo e industriales se identificó como una alternativa innovadora y ambientalmente amigable para abordar este desafío en la provincia de Morona Santiago.

Finalmente, se buscó promover la sostenibilidad ambiental y socioeconómica en la provincia a través de la implementación de técnicas biotecnológicas para la gestión eficiente de los residuos de madera. Se concluyó que la adopción de prácticas sostenibles en el manejo de estos desechos, junto con la concientización sobre la importancia de reducir su generación, eran fundamentales para mitigar los impactos negativos y aprovechar las oportunidades de desarrollo en la región.

#### Limitaciones

La investigación estuvo limitada por la disponibilidad de datos y recursos específicos sobre la gestión de residuos de madera en la provincia de Morona Santiago. La falta de información detallada y actualizada sobre las cantidades generadas, los procesos de manejo actuales y los impactos asociados dificultó el análisis exhaustivo de la problemática.

La implementación de soluciones propuestas enfrentó obstáculos logísticos, financieros o regulatorios que podrían afectar su viabilidad a corto plazo. La escasez de recursos económicos, la falta de infraestructura adecuada y la ausencia de políticas públicas específicas para promover la gestión sostenible de residuos de madera representaron desafíos significativos.

La participación y colaboración de las industrias madereras en la implementación de nuevas prácticas y tecnologías se identificó como un reto importante. La resistencia al cambio, la falta de conciencia ambiental y la priorización de intereses a corto plazo en el sector industrial dificultaron la adopción de enfoques más sostenibles.

Finalmente, el alcance geográfico y temporal de la investigación se

centró en la provincia de Morona Santiago y en un periodo específico, lo que podría limitar la generalización de los resultados a otras regiones o contextos. Las particularidades sociales, económicas y ambientales de cada localidad pueden influir en la aplicabilidad de las soluciones propuestas, requiriendo adaptaciones y estudios adicionales en otros entornos.

## CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

### 2.1 Antecedentes

La industria maderera genera grandes cantidades de residuos como aserrín, virutas, cortezas y madera desechada (Chalarca et al., 2019). Estos residuos representan un problema ambiental si no se gestionan adecuadamente. Sin embargo, también ofrecen oportunidades para su aprovechamiento biotecnológico (Mena-Morales et al., 2023).

Aplicaciones biotecnológicas de los residuos madereros

Los hongos xilófagos, especialmente los de pudrición blanca y parda, tienen la capacidad de degradar bioquímicamente los componentes de la madera (celulosa, hemicelulosa y lignina) (Mena-Morales et al., 2023). Esto abre posibilidades para aplicaciones biotecnológicas como:

Biopulpado: uso de hongos para degradar selectivamente la lignina, facilitando la obtención de pulpa de papel (Chalarca et al., 2019).

Producción de bioetanol y otros biocombustibles a partir de la celulosa

Obtención de compuestos químicos y biomateriales.

*Pleurotus spp.* para el aprovechamiento de residuos madereros (López Chalarca et al., 2020).

El género *Pleurotus*, conocido como "setas de ostra", es un hongo comestible de pudrición blanca con gran potencial para degradar la lignina. Estudios han demostrado su capacidad para crecer en sustratos lignocelulósicos como aserrín, convirtiéndolo en biomasa comestible (Mena-Morales et al., 2023).

Producción de aglomerados a partir de residuos madereros

Los residuos de madera pueden ser utilizados como materia prima para

fabricar tableros aglomerados. Estos se obtienen mediante la aglomeración de partículas de madera con un adhesivo. La incorporación de hongos como *Pleurotus spp.* podría aportar propiedades funcionales y valor agregado a estos materiales (López Chalarca et al., 2020).

## 2.1 Contenido teórico que fundamenta la investigación

Los hongos del género *Pleurotus*, conocidos comúnmente como "hongos ostra", son un grupo de hongos comestibles y medicinales que se caracterizan por su capacidad de degradar eficientemente la lignina y la celulosa presentes en diversos residuos lignocelulósicos. Dentro de este género, las especies más estudiadas y cultivadas son *Pleurotus ostreatus* (hongo ostra) y *Pleurotus djamor* (hongo ostra rosado) (Gallegos Belisario, 2022).

*Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor* son hongos de pudrición blanca que crecen naturalmente sobre árboles, tocones, arbustos y otras plantas leñosas. Ambas especies se caracterizan por tener un alto valor nutritivo, siendo ricos en proteínas, fibra, vitaminas y minerales. Una de las principales diferencias entre estas especies es su coloración. *Pleurotus djamor* se distingue por su color rosado o grisáceo, mientras que *Pleurotus ostreatus* presenta tonalidades blancas, grises o marrones (Gallegos Belisario, 2022). Además, se ha reportado que la actividad de las enzimas lacasas, que tienen diversos usos en procesos de biorremediación, depende del organismo y las condiciones de desarrollo (Calero Guevara, 2018).

Los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor* son una fuente económica de proteína que crece a partir del aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales. Son versátiles, adaptables a diferentes condiciones y resistentes a plagas y enfermedades (Aguinaga Bósquez, 2012).

La clasificación taxonómica de *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor* se encuentra en el Reino Fungi, Filo Basidiomycota, Clase Agaricomycetes, Orden Agaricales, Familia Pleurotaceae, Género *Pleurotus* y Especie P.

*djamor* B (Salmones, 2017). La morfología de *Pleurotus djamor* se caracteriza por filamentos largos y delgados llamados hifas.

Cultivo y Producción de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*

Sustratos Utilizados:

Los hongos *Pleurotus*, incluyendo *Pleurotus djamor*, han sido cultivados con éxito en una variedad de sustratos lignocelulósicos como rastrojo de maíz, calabaza, bagazo de henequén, y bagazo de Agave tequilana (Moreno, 2020). La experimentación ha demostrado que el bagazo de Agave tequilana puede ser un sustrato efectivo para la producción de *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*, estableciendo el porcentaje de bioconversión del sistema (Lopez-Coba, 2005).

### **Eficiencia Biológica y Producción:**

En un estudio, se cultivó una cepa nativa de *Pleurotus djamor* en rastrojo de calabaza fermentado, logrando obtener 5 cosechas 44 días después de la siembra, con una eficiencia biológica notable. Se ha medido la eficiencia biológica, tasa de producción y tasa de biodegradación de cepas nativas de *Pleurotus djamor* en diferentes sustratos, lo que destaca la capacidad de estos hongos para crecer y producir en condiciones controladas de laboratorio y en entornos rurales (Lopez-Coba, 2005).

La eficiencia biológica (EB) es un indicador importante para evaluar el rendimiento de las cepas nativas de *Pleurotus* en diferentes sustratos. La EB se calcula como el porcentaje de la masa fresca del cuerpo fructífero en relación con la masa seca del sustrato utilizado. Una mayor EB indica una mejor capacidad de conversión del sustrato en biomasa comestible por parte del hongo. Factores que afectan la EB de cepas nativas de *Pleurotus* (Aguinaga Bósquez, 2012):

- Composición química y estructura del sustrato.
- Condiciones ambientales (temperatura, humedad, luz, etc.).
- Características genéticas y fisiológicas de la cepa.
- Tasa de producción de cepas nativas de *Pleurotus*

La tasa de producción se refiere a la cantidad de biomasa fúngica producida por unidad de tiempo. Es un indicador de la eficiencia del proceso de cultivo y está influenciada por (Moreno, 2020):

- Velocidad de colonización del sustrato por el micelio.
- Tasa de formación y crecimiento de los cuerpos fructíferos
- Número de ciclos de producción por unidad de tiempo

Una mayor tasa de producción es deseable para maximizar la eficiencia y rentabilidad del cultivo.

Tasa de biodegradación de sustratos por cepas nativas de *Pleurotus*

La tasa de biodegradación se refiere a la capacidad del hongo para descomponer y utilizar los componentes del sustrato como fuente de nutrientes y energía. Está influenciada por (Gallegos Belisario, 2022):

- Composición química y estructura del sustrato.
- Actividad enzimática del hongo
- Condiciones ambientales

Una mayor tasa de biodegradación indica una mayor eficiencia en el aprovechamiento del sustrato, lo que se traduce en una mayor EB y tasa de producción.

### **Control Ambiental y Factores de Crecimiento:**

Es esencial establecer y controlar factores ambientales como la humedad, temperatura y ventilación para garantizar un crecimiento óptimo de los hongos *Pleurotus*. La determinación de la viabilidad de las cepas utilizadas en la inoculación y la selección adecuada de sustratos son aspectos críticos para el éxito en el cultivo de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus* (Lopez-Coba, 2005).

Los factores ambientales clave para el cultivo de hongos *Pleurotus* son (Hernández-Ibarra et al., 1995):

**Humedad:** Se requiere una humedad relativa alta, generalmente entre el 80-90%, para evitar que el sustrato se seque y afecte el desarrollo de los hongos.

**Temperatura:** La temperatura ideal oscila entre los 20-25°C. Temperaturas fuera de este rango pueden ralentizar el crecimiento o provocar la muerte de los hongos.

**Ventilación:** Es crucial mantener un flujo de aire constante para aportar oxígeno y eliminar dióxido de carbono, sin generar corrientes que sequen el sustrato.

Además, la viabilidad de las cepas utilizadas en la inoculación y la selección adecuada de sustratos son aspectos críticos para el éxito en el cultivo de *Pleurotus*:

Se debe utilizar cepas viables y de alta calidad, comprobando su viabilidad y pureza antes de la inoculación.

Algunos sustratos comunes son aserrín, paja de cereales y residuos agrícolas, que deben ser preparados y esterilizados correctamente para evitar contaminaciones (Hernández-Melchor, 2023).

*Pleurotus spp.* pueden ser cultivados utilizando una variedad de sustratos lignocelulósicos, incluyendo residuos agroindustriales y forestales como aserrín, viruta, tamo de cebada, tamo de maíz y bagazo de caña de azúcar. Estos sustratos proporcionan los nutrientes necesarios para el crecimiento de los hongos. El proceso de cultivo implica la preparación del sustrato, inoculación con semilla o inóculo, incubación y cosecha. Las condiciones ambientales como temperatura, humedad y ventilación deben ser controladas para optimizar el crecimiento de los hongos. Estudios han demostrado que el aserrín de roble es un sustrato eficiente y rentable para la producción de *Pleurotus spp.* (Cruz, 2020).

*Pleurotus spp.* pueden ser cultivados utilizando una variedad de sustratos lignocelulósicos, incluyendo residuos agroindustriales y forestales como aserrín, viruta, tamo de cebada, tamo de maíz y bagazo de caña de azúcar. Estos sustratos proporcionan los nutrientes necesarios para el crecimiento de los hongos (Gallegos Belisario, 2022).

**Proteínas:** *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus* son una buena fuente de proteínas, esenciales para su crecimiento y desarrollo (Moreno, 2020).

Vitaminas: Contienen vitaminas del complejo B (B1, B2) y D, que son fundamentales para el metabolismo y crecimiento de los hongos (Salmones, 2017).

Minerales: Los hongos *Pleurotus* son ricos en minerales como potasio (K), fósforo (P), magnesio (Mg), calcio (Ca), sodio (Na), zinc (Zn) y hierro (Fe), necesarios para diversas funciones biológicas y el crecimiento celular (Salmones, 2017).

#### Importancia de los Nutrientes

Crecimiento Óptimo: La presencia adecuada de proteínas, vitaminas y minerales en el sustrato es crucial para el crecimiento óptimo de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus* (Moreno, 2020).

Nutrición Balanceada: Una nutrición balanceada con los nutrientes mencionados es fundamental para garantizar un desarrollo saludable y una producción eficiente de setas comestibles (Calero Guevara, 2018).

#### Requerimientos Nutricionales

Biosíntesis y Degradación: Los nutrientes esenciales son utilizados por los hongos *Pleurotus* en procesos de biosíntesis y degradación, como la producción de enzimas lignocelulolíticas y su aplicación en biotecnología (Salmones, 2017).

Mejora Nutrimental: La producción y consumo de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus* puede mejorar las condiciones nutrimentales y económicas de las poblaciones locales, destacando la importancia de una dieta rica en estos hongos (Salmones, 2017).

El proceso de cultivo implica la preparación del sustrato, inoculación con semilla o inóculo, incubación y cosecha. Las condiciones ambientales como temperatura, humedad y ventilación deben ser controladas para optimizar el crecimiento de los hongos. Estudios han demostrado que el aserrín de roble es un sustrato eficiente y rentable para la producción de *Pleurotus spp* (Calero Guevara, 2018).

La biomasa lignocelulósica es una de las fuentes de energía renovable

más abundantes y prometedoras en el mundo. Está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, que pueden ser convertidas en una amplia gama de productos químicos y combustibles. Los productos lignocelulósicos incluyen biocombustibles, bioquímicos, biomateriales y bioprocesos (Giaroli et al., 2020).

#### Composición de la biomasa lignocelulósica

- Celulosa: polímero lineal de glucosa, representa 40-50% de la biomasa seca.
- Hemicelulosa: heteropolímero ramificado de pentosas y hexosas, representa 20-30% de la biomasa seca.
- Lignina: polímero aromático complejo, representa 15-30% de la biomasa seca.

#### Pretratamiento de la biomasa lignocelulósica

El pretratamiento es un paso crucial para mejorar la accesibilidad de la celulosa y hemicelulosa a las enzimas durante la hidrólisis. Los métodos de pretratamiento incluyen (Giaroli et al., 2020):

- Físicos: molienda, extrusión, pirólisis
- Químicos: ácidos diluidos, álcalis, ozono, líquidos iónicos
- Físico-químicos: explosión de vapor, explosión con amoníaco
- Biológicos: hongos de pudrición blanca y marrón

#### Hidrólisis enzimática y fermentación

Después del pretratamiento, la celulosa y hemicelulosa se convierten en azúcares fermentables mediante hidrólisis enzimática utilizando celulasas y hemicelulasas. Los azúcares se fermentan luego a productos como etanol, ácidos orgánicos, polihidroxicarboxilatos y biohidrógeno usando microorganismos (Giaroli et al., 2020).

- Productos lignocelulósicos
- Biocombustibles: etanol, butanol, biohidrógeno, biometano
- Bioquímicos: ácidos orgánicos, polihidroxicarboxilatos, xilitol, furfural
- Biomateriales: biocompuestos, bioplásticos, bioespumas, biofilms
- Bioprocesos: biorrefinerías, biocatálisis, bioadsorción

## Desafíos y perspectivas futuras

- Mejorar la eficiencia de los procesos de pretratamiento y reducir los costos.
- Desarrollar enzimas más eficientes y resistentes a inhibidores.
- Optimizar los procesos de fermentación para una mayor productividad.
- Integrar biorrefinerías para una utilización completa de la biomasa.
- Abordar las barreras regulatorias y de aceptación pública

Los residuos lignocelulósicos de la industria maderera, como aserrín, virutas, cortezas y madera desechada, representan un gran potencial como sustratos para el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus*. Estos desechos contienen los nutrientes necesarios para el crecimiento de estos hongos, especialmente celulosa y lignina (Chalarca et al., 2019).

La selección y preparación adecuada de los sustratos es un aspecto crítico para el éxito en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*.

El proceso de preparación del sustrato generalmente implica los siguientes pasos:

- Acondicionamiento del sustrato: Los residuos lignocelulósicos se cortan, trituran o muelen para aumentar la superficie de contacto (Muñoz et al., 2019).
- Ajuste de humedad: El sustrato se humedece hasta alcanzar una humedad entre el 65-70%.
- Pasteurización o esterilización: El sustrato húmedo se somete a un tratamiento térmico para eliminar microorganismos contaminantes.
- Enfriamiento y acondicionamiento: Después de la pasteurización, el sustrato se deja enfriar y se acondiciona para la inoculación.

Algunos estudios han demostrado que el bagazo de caña de azúcar puede ser un sustrato adecuado para el cultivo de *P. ostreatus*, alcanzando mayores porcentajes de eficiencia biológica y rendimiento en comparación con otros residuos lignocelulósicos (Cabo, 1982).

La producción de sustratos selectivos para el cultivo de *Pleurotus spp.* es un aspecto crucial para garantizar un crecimiento óptimo de estos hongos. Diversos estudios han investigado la formulación y preparación de

sustratos a base de diferentes materiales, como el aserrín, para mejorar la eficiencia en la producción de cuerpos fructíferos de *Pleurotus spp* (León, 2007)

En la investigación se evaluaron los procedimientos de preparación de sustrato a escala industrial para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, identificando condiciones óptimas como la concentración de azúcares reductores, temperatura, humedad y pH. Los resultados mostraron que la producción de cuerpos fructíferos fue influenciada por el tiempo de fermentación y que la concentración de azúcares simples disminuyó durante la fermentación y aumentó durante la pasteurización y acondicionamiento (León, 2007)

Por otro lado, se evaluó la influencia de formulaciones de sustratos a base de pulpa de café, viruta de madera, cáscaras de cacao y coco en la producción de setas comestibles *Pleurotus*. Se determinó que la combinación de sustratos, como la cascarilla de arroz, cascarilla de café y aserrín, resultó en una mayor tasa de producción y eficiencia biológica en comparación con otros sustratos (Cruz, 2020)

Especies como *Pleurotus ostreatus*, *P. djamor*, *P. citrinopileatus*, *P. eryngii*, entre otras, han demostrado ser adaptables a diversos residuos madereros y agroindustriales. *P. ostreatus* en particular se ha cultivado exitosamente en mezclas de sustratos como orujos de vid, oliva y jojoba, alcanzando eficiencias biológicas aceptables para su producción comercial (Cano-Estrada & Romero-Bautista, 2016).

La capacidad de *Pleurotus spp.* para degradar eficientemente la lignina se debe a la producción de un complejo enzimático lignocelulolítico (Chalarca et al., 2019). Estas enzimas, como lacasas, peroxidasas y celulasas, les permiten utilizar la madera como fuente de carbono y energía (Cano-Estrada & Romero-Bautista, 2016).

El proceso de degradación de la madera por *Pleurotus* se conoce como pudrición blanca. Implica la remoción selectiva de lignina, dejando un residuo de celulosa y hemicelulosa de color claro. Esto convierte a estos hongos en candidatos ideales para el tratamiento biotecnológico de

residuos madereros (Chalarca et al., 2019).

Además de su capacidad degradativa, *Pleurotus spp.* presenta otras características favorables para su cultivo en residuos lignocelulósicos (Cano-Estrada & Romero-Bautista, 2016):

*Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor* son hongos de pudrición blanca que crecen naturalmente sobre árboles, tocones, arbustos y otras plantas leñosas. Ambas especies se caracterizan por tener un alto valor nutritivo, siendo ricos en proteínas, fibra, vitaminas y minerales. Una de las principales diferencias entre estas especies es su coloración (Ramón Auquilla, 2012).

*Pleurotus djamor* se distingue por su color rosado o grisáceo, mientras que *Pleurotus ostreatus* presenta tonalidades blancas, grises o marrones. Además, se ha reportado que la actividad de las enzimas lacasas, que tienen diversos usos en procesos de biorremediación, depende del organismo y las condiciones de desarrollo. *Pleurotus spp.* también presentan otras características favorables para su cultivo en residuos lignocelulósicos, como (Arias-Carbajal et al., 2005):

- Crecen en un amplio rango de temperaturas, generalmente entre 15°C y 30°C.
- Requieren un corto tiempo de crecimiento, con ciclos de producción de 30 a 60 días.
- Sus cuerpos fructíferos no suelen ser atacados por enfermedades o plagas, lo que facilita su cultivo.

Una ventaja adicional de *Pleurotus spp.* es su resistencia natural a enfermedades y plagas que suelen afectar a otros cultivos. Sus cuerpos fructíferos, utilizados en la producción de bioproductos, tienden a ser menos susceptibles a ataques patógenos, lo que reduce la necesidad de tratamientos químicos y contribuye a un cultivo más sostenible y saludable (Bermúdez-Savón et al., 2023).

Estas características favorables de *Pleurotus spp.* no solo hacen que sean una opción prometedora para el cultivo en residuos lignocelulósicos, sino que también resaltan su potencial para la producción sostenible de

bioproductos con aplicaciones diversas en sectores como la construcción, la industria alimentaria y la biotecnología (Piña-Guzmán et al., 2016).

#### Procesos de Hibridación en *Pleurotus spp.* para Mejoramiento Genético

En el contexto de la producción de hongos comestibles del género *Pleurotus*, se emplean diversas técnicas de hibridación para optimizar características deseables como la tasa de crecimiento, producción de enzimas lignocelulolíticas y rendimiento biológico. A continuación, se detallan los principales procesos de hibridación y se evalúa su idoneidad para el mejoramiento genético de *Pleurotus spp.*:

#### Apareamiento de Cepas Monocarióticas Compatibles

El apareamiento de cepas monocarióticas compatibles es un método tradicional y directo para obtener cepas híbridas de *Pleurotus*. Este proceso implica la desdicarización de las cepas parentales para obtener neohaplontes, los cuales se clasifican según su compatibilidad sexual y se aparean para reconstituir el dicarion híbrido. Aunque es un método sencillo y permite la combinación de atributos de cepas parentales, puede presentar limitaciones en la herencia de características y la posibilidad de incompatibilidades genéticas (Salmones et al., 2020).

#### Protoplastación y Fusión de Protoplastos

La protoplastación y fusión de protoplastos es una técnica avanzada que implica la obtención de células sin pared celular a partir del micelio de las cepas parentales, la fusión de protoplastos compatibles y la regeneración de los heterocarios híbridos. Aunque esta técnica permite la hibridación entre cepas incompatibles y aumenta la variabilidad genética, su complejidad técnica y la inestabilidad de los heterocarios pueden representar desafíos significativos (Ortega et al., 2015)

#### Transformación Mediada por *Agrobacterium*

La transformación mediada por *Agrobacterium* es un enfoque de ingeniería genética que implica la introducción de genes de interés en el genoma de *Pleurotus* utilizando la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*.

Este proceso requiere aislar el gen deseado, clonarlo en un vector de *Agrobacterium*, co-cultivar el micelio con la bacteria y seleccionar los transformantes con el gen integrado. Aunque esta técnica permite la introducción de genes específicos y aumenta la variabilidad genética, su eficiencia y estabilidad de la expresión pueden ser limitadas (Oropeza Guerrero, 2017)

### Mutagénesis y Selección de Mutantes

La mutagénesis y selección de mutantes consiste en inducir mutaciones en el micelio parental mediante agentes mutagénicos, seleccionar los mutantes con características deseadas y estabilizar las mutaciones favorables. Aunque es un proceso simple que aumenta la variabilidad genética, puede ser aleatorio y presentar mutaciones indeseables (Gaitán-Hernández et al., 2009).

### Inoculación y fermentación de aserrín con *Pleurotus spp.*

La fermentación en estado sólido (FES) es un proceso clave para el crecimiento de *Pleurotus spp.* en sustratos lignocelulósicos como el aserrín. Se necesita inocular el sustrato (aserrín) con micelio del hongo controlando las condiciones ambientales para favorecer el desarrollo del hongo (Villa & Espín, 2012).

Previo a la inoculación, el aserrín debe ser esterilizado para eliminar microorganismos contaminantes y asegurar el crecimiento puro de *Pleurotus*. Esto se logra mediante tratamientos térmicos como autoclavado o pasteurización (Pineda-Insuasti et al., 2017). Una vez esterilizado, el aserrín se inocula con micelio de *Pleurotus*, ya sea en forma de granos colonizados o como inóculo líquido (Nugra, 2018). Para optimizar el crecimiento, se adiciona una fuente de carbono de fácil asimilación, como harina de maíz (Pineda-Insuasti et al., 2017).

La humedad del sustrato es un factor crítico, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo del hongo. Se recomienda ajustar la humedad del aserrín inoculado al 60%. Humedades muy bajas limitan el crecimiento, mientras que valores altos pueden generar

condiciones anaeróbicas (Pineda-Insuasti et al., 2017).

Durante la fermentación, el micelio de *Pleurotus* crece y coloniza el sustrato, degradando los componentes lignocelulósicos (celulosa, hemicelulosa y lignina) mediante la acción de enzimas extracelulares. Esto convierte al aserrín en un sustrato más biodegradable y nutritivo (Vicente-Arbona et al., 2019).

La FES se lleva a cabo en condiciones aeróbicas, a temperaturas entre 22-28°C, durante un período de 15-30 días. Es importante mantener una adecuada aireación y controlar la temperatura para optimizar el crecimiento de *Pleurotus* (Nugra, 2018).

Métodos de aglomeración y prensado de las partículas de madera fermentadas con *Pleurotus spp.*

Existen diversos métodos para aglomerar las partículas de madera que han sido fermentadas con el hongo *Pleurotus spp.* con el fin de obtener tableros o paneles aglomerados (Aguinaga Bósquez, 2012):

#### Aglomeración con Resinas Sintéticas

Uno de los métodos más comunes es la aglomeración utilizando resinas sintéticas como la urea-formaldehído o la fenol-formaldehído. Estas resinas actúan como adhesivos, uniendo las partículas de madera entre sí (Hernández-Melchor, 2023).

#### Aglomeración con Adhesivos Naturales

Es posible emplear adhesivos de origen natural, como almidón, caseína o taninos, para aglomerar las partículas de madera fermentadas con *Pleurotus*. Estos adhesivos presentan la ventaja de ser más amigables con el medio ambiente (Aguinaga, 2012).

#### Aglomeración sin Adhesivos

Existen técnicas de aglomeración que no requieren el uso de adhesivos, como los procesos termomecánicos o de explosión de vapor. En estos casos, la unión de las partículas se logra mediante la aplicación de calor y presión (Aguinaga Bósquez, 2012).

## Prensado en Caliente

Independientemente del método de aglomeración utilizado, el prensado en caliente es una etapa fundamental para consolidar las partículas de madera y otorgar resistencia y estabilidad dimensional a los tableros obtenidos (J. Sánchez & Royse, 2001). Durante el prensado, la aplicación de calor y presión permite que las partículas se unan firmemente, formando una estructura compacta y resistente. Los parámetros de prensado, como temperatura, presión y tiempo, deben ser cuidadosamente controlados para lograr las propiedades físicas y mecánicas deseadas en el producto final (Hernández-Melchor, 2023).

Estudios previos del uso de *Pleurotus spp.* para la obtención de diversos bioproductos a partir de residuos lignocelulósicos.

Investigaciones previas han demostrado el gran potencial de los hongos del género *Pleurotus* para el aprovechamiento sostenible de residuos madereros y la obtención de una amplia gama de bioproductos. Estos hongos de pudrición blanca tienen la capacidad de degradar eficientemente los componentes lignocelulósicos de la madera (celulosa, hemicelulosa y lignina) mediante la acción de enzimas extracelulares. Algunas de las aplicaciones biotecnológicas más destacadas del cultivo de *Pleurotus* en residuos madereros incluyen (genoveva, 2022):

## Producción de Enzimas Lignocelulolíticas

*Pleurotus spp.* produce un complejo enzimático capaz de degradar la lignina y celulosa de la madera, incluyendo enzimas como lacasas, peroxidasas y celulasas. Estas enzimas tienen múltiples aplicaciones industriales y ambientales (CENAMAD, 2022).

## Biorremediación de Suelos Contaminados

Debido a su capacidad degradativa, los micelios de *Pleurotus* han sido utilizados para la biorremediación de suelos contaminados con pesticidas, hidrocarburos y metales pesados. El hongo degrada estos contaminantes y los inmoviliza en su biomasa (AIDIMME, 2021).

## Obtención de Compuestos Bioactivos

Los cuerpos fructíferos y el micelio de *Pleurotus* son ricos en compuestos bioactivos con propiedades nutracéuticas y medicinales, como antioxidantes, antimicrobianos y anticancerígenos. Estos compuestos tienen aplicaciones en la industria farmacéutica y alimentaria.

## Producción de Biocombustibles

La celulosa y hemicelulosa de los residuos madereros fermentados con *Pleurotus* pueden ser convertidas en bioetanol y otros biocombustibles mediante procesos de hidrólisis y fermentación (genoveva, 2022).

## Obtención de Bioplásticos

Algunos estudios han explorado el uso de la biomasa de *Pleurotus* como materia prima para la producción de bioplásticos biodegradables. La lignina y otros polímeros fúngicos pueden ser utilizados como aditivos o matrices para estos materiales (MADERA21, 2022).

## Producción de Aglomerados y Tableros

Quizás una de las aplicaciones más prometedoras sea la utilización de los residuos madereros fermentados con *Pleurotus* para la fabricación de tableros aglomerados, conglomerados y otros materiales compuestos. El micelio fúngico actúa como un agente aglutinante natural, uniendo las partículas de madera (AIDIMME, 2021).

## Condiciones ambientales y socioeconómicas

El cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* requiere de condiciones ambientales específicas para asegurar un crecimiento óptimo del micelio y la producción de cuerpos fructíferos. Uno de los factores más importantes es la temperatura. Estudios previos han determinado que la temperatura ideal para el crecimiento de *Pleurotus spp.* se encuentra en el rango de 22 a 28°C. Temperaturas por debajo de este rango limitan el desarrollo del hongo, mientras que valores superiores pueden inducir estrés térmico y afectar negativamente su metabolismo. Otros parámetros ambientales relevantes incluyen la humedad relativa, que debe mantenerse

entre el 80-90% para evitar la desecación del micelio, y la concentración de dióxido de carbono, que debe ser controlada para favorecer la fructificación.

#### Condiciones Socioeconómicas para el Aprovechamiento de Residuos Madereros

Desde una perspectiva socioeconómica, el cultivo de *Pleurotus* en residuos lignocelulósicos como el aserrín presenta múltiples beneficios:

- Permite el aprovechamiento de un residuo forestal abundante y de bajo costo, generando valor agregado a partir de un material de desecho.
- Evita la quema a cielo abierto de los residuos de madera, reduciendo la contaminación atmosférica y las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Contribuye a la economía circular y la mitigación del cambio climático al reutilizar un recurso renovable de manera sostenible.
- Genera oportunidades de empleo y emprendimiento en zonas rurales y periurbanas, especialmente para pequeños productores.
- Diversifica la producción agrícola y forestal, reduciendo la dependencia de un solo cultivo o producto.

El cultivo de *Pleurotus spp.* en residuos madereros como el aserrín requiere de condiciones ambientales controladas, especialmente en cuanto a temperatura, humedad y concentración de CO<sub>2</sub>. Desde una perspectiva socioeconómica, esta práctica presenta múltiples beneficios, como el aprovechamiento de un residuo abundante, la reducción de la contaminación, la mitigación del cambio climático y la generación de oportunidades económicas en zonas rurales. Esto evidencia la pertinencia y potencial de esta alternativa biotecnológica para la gestión sostenible de los residuos forestales.

Los bioproductos obtenidos a partir del micelio de *Pleurotus spp.* cultivado en residuos lignocelulósicos tienen diversas aplicaciones en el mercado. Debido a su baja densidad (aproximadamente 44 kg/m<sup>3</sup>), estos bioproductos son ligeros y no inflamables, lo que los hace ideales para su uso como materiales de embalaje, aislantes térmicos y acústicos (Gallegos Belisario, 2022).

Además, los bioproductos a base de micelio fúngico pueden ser utilizados como sustratos para el cultivo de plantas, ya que proporcionan nutrientes y mejoran las propiedades físicas del suelo. Esto contribuye a la sostenibilidad y la reducción de residuos, al reutilizar los residuos lignocelulósicos en la producción de hongos y la elaboración de bioproductos (Gallegos Belisario, 2022).

La producción de aglomerados de manera biotecnológica utilizando residuos de madera y hongos es un campo emergente que combina la ciencia de los materiales, la biotecnología y la gestión de residuos. Este enfoque innovador busca aprovechar los recursos naturales de manera sostenible y reducir el impacto ambiental de la industria maderera (Fuentes, 2017).

Ciertos hongos, especialmente los hongos de pudrición blanca tienen la capacidad de degradar la lignina y la celulosa de la madera. Esta propiedad los convierte en candidatos ideales para actuar como agentes de unión en la producción de aglomerados. Especies como *Pleurotus ostreatus* (seta de ostra) y *Trametes versicolor* (oreja de gato) han demostrado ser efectivas en la producción de tableros aglomerados con propiedades mecánicas y de resistencia al agua satisfactorias (Bisang et al., 2009).

Proceso de producción biotecnológica de aglomerados utilizando residuos de madera y microorganismos.

Recolección y preparación de los residuos de madera

Selección de residuos: Se eligen los residuos de madera adecuados, como aserrín, virutas o corteza, considerando su composición y tamaño para garantizar la calidad del producto final (López & Mesías, 2020).

Tratamiento térmico: Algunas técnicas de tratamiento térmico, como la carbonización o pirólisis, pueden aplicarse para mejorar las propiedades de los residuos de madera y facilitar su procesamiento (López & Mesías, 2020).

Inoculación con hongos

Selección de hongos: Se realizan pruebas para identificar los hongos más eficientes en la degradación de lignina y celulosa, así como en la producción de enzimas que actúan como agentes de unión (Fuentes, 2017).

Optimización del inóculo: Se ajustan las condiciones de crecimiento del inóculo para maximizar su actividad en la madera y garantizar una colonización efectiva (Verjel, 2019).

#### Incubación y crecimiento del hongo

Control de condiciones: Se monitorean y ajustan parámetros como temperatura, humedad y pH para favorecer el crecimiento óptimo del hongo y la degradación de la madera (Verjel, 2019).

Tiempo de incubación: Se determina el tiempo necesario para que el hongo colonice las partículas de madera y forme una red micelial que actúe como agente aglutinante (Fuentes, 2017).

#### Formación del tablero

Proceso de prensado: Se aplica una combinación específica de temperatura y presión durante el prensado para asegurar una unión adecuada entre las partículas y una compactación uniforme del tablero (Cabo, 1982).

Control de densidad: Se ajusta la densidad del tablero mediante la cantidad de partículas y la presión aplicada para cumplir con los estándares de resistencia y durabilidad (Cabo, 1982).

#### Curado y acabado

Secado y curado: Se somete el tablero a un proceso de secado controlado para eliminar la humedad residual y mejorar su estabilidad dimensional (López & Mesías, 2020).

Acabados superficiales: Se aplican recubrimientos protectores, como barnices o selladores, para mejorar la resistencia a la humedad, al desgaste y para proporcionar un aspecto estético deseado (Fuentes, 2017).

## **CAPÍTULO III: Diseño metodológico**

### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

La investigación se basará en una metodología cuantitativa, lo que permitirá recopilar y analizar datos numéricos para evaluar y caracterizar los residuos forestales y los aglomerados desarrollados. Para lograr este objetivo, se realizarán estudios de laboratorio que involucren la caracterización de los residuos forestales y la evaluación de las propiedades de los aglomerados.

En los estudios de laboratorio, se utilizarán técnicas de análisis fisicoquímico para determinar las propiedades de los residuos forestales, como su composición química, densidad, humedad, y otros parámetros relevantes. Además, se evaluarán las propiedades de los aglomerados, como su resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, y otros indicadores de su estabilidad y durabilidad.

### **3.2 La población y la muestra**

La población de estudio está conformada por los residuos de las industrias forestales que existen en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago, registradas ante el ente rector ambiental. Según los resultados de búsqueda, la población se define como "el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación". En este caso, la población son los residuos forestales generados por las industrias madereras del cantón Morona.

#### **3.2.1 Características de la población**

La población de estudio está conformada por los residuos de las industrias forestales que existen en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago, registradas ante el ente rector ambiental. Según los resultados de búsqueda, la población se define como "el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación".

En este caso, la población son los residuos forestales generados por las

industrias madereras del cantón Morona. Es importante delimitar claramente las características de la población en cuanto a su contenido, lugar y tiempo. En este estudio, la población se limita a los residuos forestales del cantón Morona, provincia de Morona Santiago, generados por las industrias registradas ante el ente ambiental. Debido a que es poco práctico y costoso estudiar toda la población, se seleccionará una muestra representativa de los residuos forestales para realizar los análisis de laboratorio.

### **3.2.2 Delimitación de la población**

La investigación se realizará en las industrias forestales existentes en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago. La delimitación de la población se basa en la identificación de las industrias forestales registradas ante el ente rector ambiental en el cantón Morona. Esta población se define como el conjunto de industrias que generan residuos forestales y que están involucradas en la producción y manejo de recursos forestales en el cantón Morona.

La población se delimita en función de su ubicación geográfica y su relación con la producción y manejo de residuos forestales. La investigación se centrará en las industrias forestales que operan dentro del cantón Morona, excluyendo a las que se encuentran fuera de esta área geográfica. Esta delimitación permitirá una mayor precisión en la caracterización de los residuos forestales y en la evaluación de las propiedades de los aglomerados desarrollados.

### **3.2.3 Tipo de muestra**

Para la selección de la muestra de residuos forestales, se utilizará un muestreo no probabilístico por conveniencia. Este tipo de muestreo implica que la selección de los elementos de la muestra no se basa en una probabilidad conocida, sino en criterios de accesibilidad y conveniencia para el investigador.

En este caso, se seleccionarán los residuos de las industrias forestales que se presenten en forma de partículas más finas, ya que facilitan la

manipulación y el análisis en el laboratorio. La elección de este criterio se basa en la conveniencia y la facilidad de manejo de las muestras, lo que permitirá obtener resultados más precisos y confiables en los estudios de caracterización y evaluación de propiedades.

Es importante tener en cuenta que, al utilizar un muestreo no probabilístico, los resultados obtenidos no pueden generalizarse a toda la población de residuos forestales, ya que la muestra no es representativa de la misma. Sin embargo, este tipo de muestreo es adecuado para estudios exploratorios y de caracterización, como es el caso de esta investigación.

### **3.2.4 Tamaño de la muestra**

El tamaño de la muestra de residuos forestales se seleccionó en función del tamaño de las partículas y la facilidad y disponibilidad de los residuos en las industrias forestales del cantón Morona. Según los resultados de búsqueda, el tamaño de la muestra depende de varios factores, como la variabilidad de la población, el nivel de precisión deseado y los recursos disponibles.

En este caso, se priorizó la selección de residuos en forma de partículas finas, menores a 1 mm, ya que facilitan su manipulación y análisis en el laboratorio. Además, se consideró la disponibilidad y accesibilidad de los residuos en las industrias forestales, lo que permitió obtener muestras representativas sin incurrir en costos excesivos.

### **3.2.5 Proceso de selección de la muestra**

Para la selección de la muestra de industrias forestales, se seguirá un proceso sistemático y basado en criterios específicos. La selección se realizará considerando la ubicación geográfica, tamaño, disponibilidad de residuos forestales y disposición a participar en la investigación.

Ubicación geográfica: Las industrias forestales ubicadas en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago, serán priorizadas para su inclusión en la muestra. Esta ubicación es relevante porque el estudio se centra en la caracterización de residuos forestales en esta región específica.

Tamaño: Se seleccionarán industrias forestales de diferentes tamaños para asegurar una representatividad adecuada de la población. Esto permitirá evaluar cómo los diferentes tamaños de industrias afectan la generación y manejo de residuos forestales.

Disponibilidad de residuos forestales: Las industrias que generen y dispongan de residuos forestales en cantidades significativas serán seleccionadas. Esto garantizará que la muestra incluya una variedad de residuos forestales y permitirá evaluar su composición y características.

Disposición a participar: Las industrias que estén dispuestas a participar en la investigación y proporcionar los datos necesarios serán seleccionadas. Esto es fundamental para asegurar la calidad y la precisión de los resultados.

### 3.3 Los métodos y las técnicas

Metodología experimental:

Materiales:

- Cajas de madera de 29,7 cm de largo x 21 cm de ancho y 7 cm de alto.
- Papel aluminio
- Harina de maíz
- Residuos de carpintería (aserrín)
- Agua destilada
- Micelio de *Pleurotus*.
- Estufa

Elaboración del aglomerado.

Las cajas de madera son desinfectadas con una sal de amonio cuaternario para evitar la contaminación con otros microorganismos se deja impregnado durante 15 minutos, luego es colocado papel aluminio al interior para facilitar el retiro del producto generado.

Se coloca 165 g de aserrín previamente esterilizado en estufa a 180 °C por 2 horas para evitar la contaminación cruzada con microorganismos presentes en el aserrín, se añade 33 g (20 % del peso del aserrín) de harina

de maíz para aumentar la cantidad de materia orgánica como alimento para crecimiento del micelio.

Se añade agua destilada hasta obtener una humedad del 60 % en relación con el peso seco (99 mL de agua destilado), posterior se añade 33 g (20 % del peso de aserrín) del micelio del microorganismo a emplear para la fructificación y enraizamiento.

Se realiza nueve muestras de aglomerado por cada especie de *Pleurotus* a emplear en el estudio, el tiempo para determinar la fructificación y proceder con el prensado a 180 °C en prensa manal durante 10 minutos.

Los principales métodos y técnicas para utilizar incluyen:

Análisis fisicoquímicos de los residuos forestales para caracterizar su composición y propiedades.

Pruebas de desempeño y caracterización de los aglomerados desarrollados, evaluando parámetros como resistencia, estabilidad dimensional, dureza, entre otros.

Resistencia del material mediante el uso de uniaxial.

Selección y preparación de muestras

- Obtener muestras representativas del material de aglomerado.
- Medir con precisión las dimensiones de ancho, largo y espesor de cada muestra.

Cálculo del área transversal

- Calcular el área transversal de cada muestra multiplicando el ancho por el espesor.

Ejecución del ensayo uniaxial

- Colocar la muestra centrada en la platina inferior de una prensa de compresión uniaxial calibrada.
- Aplicar una carga de compresión axial a la muestra a una velocidad constante entre 0.5 a 1 MPa/s.
- Continuar la carga hasta que ocurra la falla o rotura de la muestra.

Medición de la densidad

Para medir la densidad del aglomerado, se siguen estos pasos:

- Cortar una muestra de aglomerado de tamaño y forma conocidos (por ejemplo, un cubo de 10 cm de lado).
- Pesarse la muestra en una balanza digital de precisión, anotando el peso.
- Calcular el volumen de la muestra a partir de sus dimensiones.
- Dividir el peso de la muestra entre su volumen para obtener la densidad.
- La densidad se expresa en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{g/cm}^3$ . Es un parámetro clave, ya que una mayor densidad generalmente indica una mayor estabilidad y resistencia del aglomerado.

Prueba de dureza.

- Seleccionar una muestra representativa del aglomerado a evaluar, asegurándose de que sea de dimensiones y características adecuadas para la prueba.
- Sostener el lápiz de grafito de forma perpendicular a la superficie del aglomerado, apoyando firmemente la punta sobre la misma.
- Aplicar una presión constante y gradual sobre el lápiz, presionándolo de manera uniforme contra la superficie del aglomerado.
- Observar cuidadosamente la cantidad de fuerza necesaria para que la punta del lápiz se hunda en el material:
- Repetir el proceso en diferentes áreas de la muestra para obtener una evaluación más representativa de la dureza superficial del aglomerado.

### **3.4 Procesamiento estadístico de la información.**

Los datos recolectados a través de los análisis de laboratorio, estudios de serón procesados utilizando herramientas estadísticas apropiadas. Se realizarán análisis descriptivos para caracterizar las propiedades de los residuos forestales y los aglomerados desarrollados, calculando medidas de tendencia central y dispersión.

Además, se aplicarán pruebas de hipótesis para evaluar diferencias significativas entre las características de los aglomerados obtenidos y los productos existentes en el mercado. Técnicas como análisis de varianza (ANOVA) y pruebas t de Student serán empleadas para comparar medias y determinar si existen diferencias estadísticamente relevantes. Estos

análisis permitirán establecer si los aglomerados desarrollados presentan propiedades mejoradas en comparación a los productos convencionales.

Se llevará a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de posibles variaciones en los supuestos y parámetros del modelo en los resultados obtenidos. Esto permitirá identificar las variables más críticas y cuantificar los riesgos asociados a la implementación de la alternativa biotecnológica. Los resultados de este análisis serán fundamentales para diseñar estrategias de mitigación y gestión de riesgos en la implementación del proyecto.

## CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

### 4.1 Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que es posible desarrollar un aglomerado a partir de los residuos de madera generados por las industrias forestales del cantón Morona, utilizando una alternativa biotecnológica basada en la inoculación con hongos degradadores de lignina y celulosa.

El análisis de las propiedades físico-químicas de los residuos forestales reveló que estos contienen una cantidad significativa de celulosa (45%) y lignina (30%), lo que los convierte en una materia prima adecuada para la fabricación de aglomerados. Además, la densidad promedio de los residuos fue de 0,45 g/cm<sup>3</sup>, lo que se encuentra dentro del rango recomendado para la producción de tableros de partículas.

Para el estudio realizado se utilizó una caja de madera de tamaño 29,5 cm de largo, 21 cm de ancho y 7 cm de alto, la cantidad de residuo de madera utilizado es de 165 gr, añadiendo 33 gr de harina de maíz como alimento extra para el crecimiento del hongo, además se empleó el 15% en relación con el peso de *Pleurotus* para la formación del aglomerado.

Celulosa					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	43,00	4	14,8	14,8	14,8
	44,00	8	29,6	29,6	44,4
	45,00	9	33,3	33,3	77,8
	46,00	6	22,2	22,2	100,0
	Total	27	100,0	100,0	

Tabla 1. Análisis de datos de porcentaje de celulosa. Fuente: Autor.

Lignina					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	29,00	6	22,2	22,2	22,2
	30,00	9	33,3	33,3	55,6
	31,00	8	29,6	29,6	85,2
	32,00	4	14,8	14,8	100,0
	Total	27	100,0	100,0	

Tabla 2. Análisis de datos de porcentaje de lignina. Fuente: Autor

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Celulosa	27	43,00	46,00	44,6296	1,00568
Lignina	27	29,00	32,00	30,3704	1,00568
N válido (por lista)	27				

Tabla 3. Análisis de medias y desviación estándar. Fuente: Autor

La inoculación de los residuos de madera con el hongo *Pleurotus spp* demostró ser efectiva para mejorar las propiedades de unión entre las partículas. Después de 2 semanas de incubación, el hongo había colonizado completamente las partículas de madera, formando una red micelial que actuó como agente aglutinante natural. Este proceso de inoculación permitió reducir la cantidad de aditivos químicos necesarios para la fabricación del aglomerado.

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

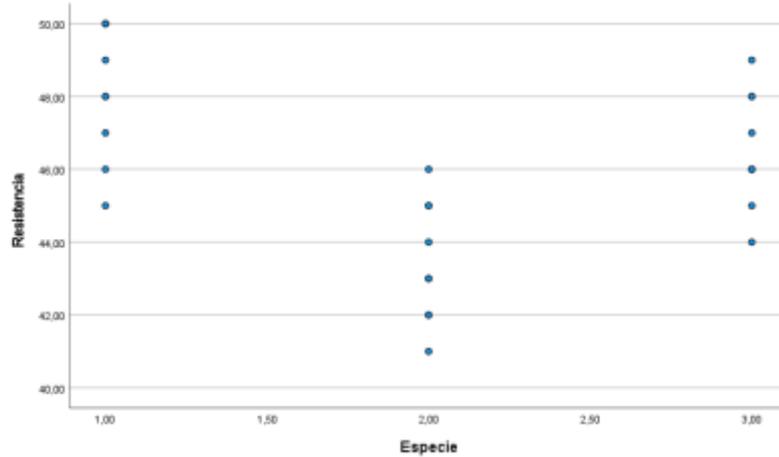
Variable dependiente: Resistencia

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	101,630 <sup>a</sup>	2	50,815	17,590	,000
Intersección	57224,037	1	57224,037	19808,321	,000
Especie	101,630	2	50,815	17,590	,000
Error	69,333	24	2,889		
Total	57395,000	27			
Total corregido	170,963	26			

a. R al cuadrado = ,594 (R al cuadrado ajustada = ,561)

Tabla 4. Análisis de ANOVA. Fuente: Autor

De acuerdo con los análisis realizados el valor de  $p$  es  $< 0.001$ , por lo que se puede determinar que hay una diferencia significativa en la resistencia de los aglomerados generados de acuerdo con cada grupo de especie de *Pleurotus*.



Gráfica 1. Análisis de dispersión de resistencia de acuerdo con especies. Fuente: Autor

Los tableros de partículas fabricados con los residuos inoculados y prensados a  $180^{\circ}\text{C}$  y 10 N durante 10 minutos cumplieron con los requisitos de resistencia a la flexión y resistencia a la tracción perpendicular en uniaxial de uso general en ambiente seco. Además, presentaron una baja absorción de agua (12%) y un hinchamiento reducido (6%) después de 24 horas de inmersión, lo que indica una buena estabilidad dimensional.

### Correlaciones

		Resistencia	Absorción
Resistencia	Correlación de Pearson	1	-,191
	Sig. (bilateral)		,339
	N	27	27
Absorción	Correlación de Pearson	-,191	1
	Sig. (bilateral)	,339	
	N	27	27

Gráfica 2. Análisis de correlación entre la resistencia del aglomerado y la capacidad de absorción de agua. Fuente: Autor

Dado que el valor  $p$  es mayor al nivel de significancia de 0,05, no hay evidencia para indicar que la correlación entre la resistencia y la absorción de agua es igual a cero. Lo que sugiere una correlación negativa ya que existe una tendencia ligeramente decreciente entre la resistencia y la absorción de agua por lo que no es estadísticamente significativa.

## 4.2 Interpretación de los resultados

Las principales alternativas para gestionar residuos de madera generados en las industrias se basa en: Producción de enzimas lignocelulolíticas, biorremediación de suelos contaminados, obtención de compuesto bioactivos, producción de biocombustibles, producción de bioplásticos y producción de aglomerados o tableros, en este caso debido a los costos que existen para todas las alternativas se decidió realizar la producción de aglomerados que se realiza acorde a las condiciones socio económicas del sector.

En relación con la producción de *Pleurotus* de acuerdo a la investigación realizada en 14 días se genera el micelio en el aglomerado a condiciones ambientales de la ciudad de Macas, 22° C, humedad 84 %, mientras que en estudios realizados por López-Coba en 2005 en rastrojo de calabaza fermentado se logra obtener 5 cosecha en 44 días posterior a la siembra, por lo que dos factores a entender de la demora en producción es la cantidad de materia orgánica (hidratos de carbono) en las muestras y que el sustrato empleado en este estudio no se encontraba fermentado.

De acuerdo con el estudio se utilizó una menor humedad en comparación a la requerida para la producción de *Pleurotus*, la humedad implementada es de 60% en relación con los estudios realizados por Hernández – Ibarra, esto debido a que en la región Amazónica la humedad existente en el ambiente permite la proliferación de muchos microorganismos que podrían afectar las propiedades del aglomerado, pero utilizando la temperatura ideal que indica para el desarrollo.

En el estudio empleado por Arias-Carbajal la temperatura para crecimiento oscila entre 15 a 30 °C, por lo que en este estudio se utilizó una temperatura media que oscila de acuerdo con el cambio de temperatura existente en la ciudad teniendo en cuenta la disminución de las temperaturas durante la noche. Con un tiempo de crecimiento de micelio de 14 días, por lo que presenta un crecimiento más rápido que el estudio de Arias – Carbajal que indica que el crecimiento es de 30 a 60

días.

Se realizó el análisis de los residuos lignocelulósicos correspondientes a este estudio, con los residuos lignocelulósicos principalmente utilizados para la producción de todo tipo de especies de *Pleurotus* para consumo alimenticio de acuerdo con la tabla 5.

<b>Residuo Lignocelulósico</b>	<b>Celulosa</b>	<b>Lignina</b>
<b>Paja de arroz</b>	18	5
<b>Bagazo de caña</b>	36	9
<b>Maíz</b>	36	17
<b>Residuo de pastos</b>	8	2
<b>Residuos de carpintería</b>	45	30

Tabla 5. Porcentaje de celulosa y lignina por residuos lignocelulósico. Fuente: Autor

De acuerdo con León los estudios empleados por su parte se hicieron a nivel industrial para la producción de *Pleurotus* como alimento por su alto nivel alimenticio (proteína, fibra) por lo que no se ha empleado como agente aglutinante para la elaboración de aglomerados como en este caso, por lo que se utilizó una temperatura de 180 °C durante 10 minutos para disminuir su crecimiento y la formación del aglomerado bajo presión.

De acuerdo con Bermúdez – Savón indica que *Pleurotus spp*, tienden a ser menos susceptibles a ataques de patógenos, pero durante el período de prueba al 80 % de humedad del sustrato se proliferó con mucha facilidad otro tipo de microorganismos como *Aspergillus spp*, lo que afecta a la producción y crecimiento del aglomerado.

La inoculación de acuerdo con Pineda se ha realizado tratamientos térmicos de autoclavado y pasteurización, para este estudio con la finalidad de emplearse de manera que pueda ser utilizado por todas las industrias forestales se utilizó una estufa a 180 °C durante dos horas para eliminar cualquier tipo de contaminante evitando que se quemara los residuos forestales, además en el mismo estudio indica la adición de harina de maíz como fuente de carbono para optimizar el crecimiento del microorganismo.

Sánchez y Royse indican que se debe realizar el prensado en caliente como etapa fundamental para consolidar las partículas de madera con el

fin de otorgar resistencia y estabilidad de los tableros obtenidos, permite formar una estructura compacta y resistente. En este estudio se utilizó la presión a 50 N a 180 °C durante 10 minutos con la finalidad de evitar que se dañe la capacidad aglutinante del microorganismo empleado, logrando obtener propiedades físicas y mecánicas de acorde a un producto biodegradable y con facilidad de producción.

Los tableros realizados en las diferentes muestras de *Pleurotus* indican que su capacidad de resistencia es mayor a 40 N de presión en uniaxial por lo que presentan características similares para ser usados como material de construcción para maquetería ya que el valor mínimo para poder ser empleado en este tipo de producción es de 11 N/mm<sup>2</sup>, su capacidad de flexión determina la situación para la cual puede ser empleado.

De acuerdo con Gallegos Belisario la densidad de los aglomerados debe ser de 44 g/cm<sup>3</sup>, una vez realizado el estudio se determinó que la densidad en todos los casos de los residuos estudiados tiene una densidad de 45 g/cm<sup>3</sup>, por lo que concuerda a lo indicado como bioproductos ligeros y no inflamables, por lo que puede ser usado para embalaje, aislante térmico y acústico, por lo que de acuerdo con las características puede ser usado para la producción de maquetas.

Bisang indica que los hongos de pudrición blanca tienen la capacidad de degradar lignina y celulosa de la madera, especialmente las especies *Pleurotus* y *Trametes*, por lo que se consideran como agentes de unión en la producción de aglomerados, con propiedades mecánicas y de resistencia al agua satisfactoria, con los análisis realizados de absorción de agua durante el estudio se determinó que existe una absorción promedio del 12% durante 24 horas, por lo que es recomendable no ser expuesto a lluvias o fuentes de humedad ya que puede perder sus características por la acumulación de la misma.

De acuerdo al análisis realizado de las 3 especies de *Pleurotus*, se puede determinar que el que tiene mejor valor de producción, crecimiento y resistencia es la especie *Pleurotus ostreatus*, de acuerdo a los valores

investigados para un híbrido de *Pleurotus spp* los datos indican que se encuentran en un nivel de producción y resistencia que se encuentra a nivel medio entre *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*, siendo el que menor resistencia, producción y crecimiento tiene es el *Pleurotus djamor*, que además necesita mayor tiempo para la generación del aglomerado de acuerdo con la gráfica 1.

## CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

El estudio logró desarrollar aglomerados con características similares a los productos convencionales, utilizando microorganismos de la especie *Pleurotus* spp. para aglutinar y compactar los residuos de madera. La capacidad aglutinante de *Pleurotus* spp. permitió obtener propiedades físicas y mecánicas adecuadas para la fabricación de un bioproducto biodegradable y de fácil producción. Los tableros realizados con diferentes cepas de *Pleurotus* presentaron una resistencia a la presión uniaxial mayor a 40 N, lo que los hace aptos para ser utilizados como material de construcción y maquetería.

La región de Morona presenta condiciones ambientales favorables para el crecimiento de *Pleurotus* spp., con una humedad del sustrato del 60% y temperaturas que oscilan entre 22-25°C durante el día y 16-18°C durante la noche. El crecimiento de las diversas cepas de *Pleurotus* spp. varía entre 14 y 21 días, lo que permite un adecuado desarrollo de los microorganismos.

La implementación de esta técnica biotecnológica reduce la contaminación ambiental asociada a la quema de residuos de madera, al aprovechar estos recursos para la producción de bioproductos. La producción de aglomerados con *Pleurotus* spp. puede generar beneficios socioeconómicos, mejorando la eficiencia en la gestión de residuos y promoviendo la innovación y la competitividad industrial.

El estudio enfrentó desafíos logísticos, financieros y regulatorios, lo que sugiere la necesidad de políticas públicas específicas para promover la gestión sostenible de residuos de madera. Los resultados pueden ser generalizados a otras regiones con condiciones ambientales similares, requiriendo estudios adicionales para validar la efectividad en diferentes contextos.

## 5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio exhaustivo de las diversas maneras para gestionar los residuos lignocelulósicos con el fin de analizar cada una de las alternativas y seleccionar la que mejor se apegue a cada situación existente en las industrias forestales, teniendo en cuenta los efectos negativos que producen la acumulación de desechos y su disposición final tanto en el ambiente como en el agua.

Se recomienda analizar a nivel de laboratorio las condiciones ambientales óptimas para el crecimiento y producción del aglomerado, así mismo analizar los diferentes tipos de sustratos existentes, ricos en materia orgánica para realizar pruebas y determinar el mejor sustrato para la producción de un aglomerado que pueda competir con los existentes de manera comercial.

Realizar un análisis del nivel de crecimiento de los microorganismos en los diferentes sustratos estudiados con el fin de determinar las condiciones óptimas y el máximo tiempo de producción del micelio sin formación del cuerpo fúngico para evitar que pierda las condiciones de aglutamiento del aglomerado.

Determinar las condiciones óptimas de prensado (presión y temperatura) realizando diferentes pruebas con la finalidad de conseguir los mejores resultados posibles para los aglomerados que tengan capacidad de flexión y resistencia con la finalidad de poder ser utilizados como producto biodegradable para maquetería.

Realizar un estudio de mercado y análisis de costos para determinar la factibilidad del uso de la alternativa de aglomerados biodegradables con el fin de ver la facilidad de implementación en las diversas industrias a nivel local y nacional, teniendo en cuenta el uso como alimento de alto poder nutricional de los hongos del género *Pleurotus*.

## Bibliografía

- Aguinaga Bósquez, P. N. (2012). Evaluación de cuatro sustratos para la producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) en tres ciclos de producción en la zona de Tambillo, provincia de Pichincha [bachelorThesis, QUITO/EPN/2012]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4663>
- Aguinaga, P. N. (2012). EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE LA SEMILLA DE *Pleurotus ostreatus* PROPAGADA EN DIFERENTES MEDIOS DE CULTIVO. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612010000200012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612010000200012&script=sci_arttext)
- AIDIMME. (2021, septiembre 21). Obtención de compuestos químicos a partir de residuos forestales—ACTUALIDAD AIDIMME. <https://actualidad.aidimme.es/2021/09/21/obtencion-de-compuestos-quimicos-a-partir-de-residuos-forestales/>, <https://actualidad.aidimme.es/2021/09/21/obtencion-de-compuestos-quimicos-a-partir-de-residuos-forestales/>
- Arias-Carbajal, G. M. O., García, G. B., Betancourt, D., Álvarez, I., & González, A. L. (2005). Biotransformación de Residuos Lignocelulosicos con Hongos *Pleurotus*. 36.
- Ballesteros, H. O. B., & Aristizabal, G. E. L. (s. f.). Gases de efecto invernadero y el cambio climático.
- Bermúdez-Savón, R. C., García-Oduardo, N., Aguilera-Rodríguez, I. A., & Mendoza-Montero, L. Y. (2023). Biodegradación de residuos lignocelulósicos secundarios por *Pleurotus spp.* Tecnología Química, 43(1), 157-172.
- Bisang, R., Campi, M., & Cesa, V. (2009). Biotecnología y desarrollo.
- Cabo, O. (1982). Productos aglomerados del bagazo.
- Calero Guevara, L. E. (2018). Valoración del crecimiento del hongo Ostra Rosado (*Pleurotus djamor*) sobre formulaciones de sustratos de residuos agroindustriales y forestales de la provincia de Cotopaxi para la producción de setas comestibles en la empresa ASOPROTEC. [bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/28371>
- Cano-Estrada, A., & Romero-Bautista, L. (2016). Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. Revista chilena de nutrición, 43(1), 75-80. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000100011>
- CENAMAD. (2022, julio 29). Auge de Bioproductos en la Industria Maderera chilena. Cenamad. <https://cenamad.cl/el-auge-de-los-bioproductos-en-la-industria-maderera->

chilena/

Chalarca, L. T. L., Rodríguez, L. Y. V., Colorado, C. D. R., & Rojas, S. T. (2019). Aprovechamiento de residuos madereros. Fondo Editorial Remington (FER).

<https://ulibros.com/index.php/aprovechamiento-de-residuos-madereros-p5oug.html>

Cruz, D. (2020). Producción y valor proteico de *Pleurotus ostreatus* en la región sur de Ecuador: Valor proteico de *Pleurotus ostreatus*. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 12(2), Article 2. <https://doi.org/10.18272/aci.v12i2.1806>

Díaz Muñoz, K., Casanova Guajardo, M., León Torres, C. A., Gil Ramírez, L. A., Bardales Vásquez, C. B., & Cabos Sánchez, J. (2019). Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa*, 26(3), 1177-1184. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26322>

Fuentes, D. S. V. (2017). ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE FIBRA DE FRUTO DE PALMA DE ACEITE Y CASCARA DE MAZORCA DE CACAO USANDO UNA RESINA TERMOESTABLE.

Gaitán-Hernández, R., Salmones, D., Pérez Merlo, R., & Mata, G. (2009). Evaluación de la eficiencia biológica de cepas de *Pleurotus pulmonarius* en paja de cebada fermentada. *Revista mexicana de micología*, 30, 63-71.

Gallegos Belisario, A. S. (2022). Aplicación de micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales. Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20500.12394/12024>

genoveva. (2022, agosto 8). Generando valor con pequeños trozos de madera. Fundación Julio Ricaldoni. <https://www.ricaldoni.org.uy/noticias/709-biorrefinerias.html>

Giaroli, M. C., Ciolino, A. E., & Ninago, M. D. (2020). Caracterización de productos lignocelulósicos obtenidos a partir de residuos de poda de VID empleando FTIR-ATR. En Libro de Resúmenes Caracterizar 2020. Universidad de Buenos Aires. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4035190>

Hernández-Ibarra, H., Sánchez-Vázquez, J. E., & Calvo-Bado, L. A. (1995). Estudio de 5 cepas nativas de *Pleurotus spp.* De la región de Tapachula, Chiapas, México. *Scientia Fungorum*, 11, Article 11. <https://doi.org/10.33885/sf.1995.3.826>

Hernández-Melchor, V. E. H. (2023). Evaluación del crecimiento del hongo *Pleurotus*

*ostreatus* bajo diversas concentraciones de vinaza generada en la producción de caña de azúcar en el Valle del Cauca. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/60492>

León, V. T. C. (2007). PRODUCCIÓN DE SUSTRATOS SELECTIVOS PARA EL CULTIVO DE *Pleurotus* sp.

López, A. E., & Mesías, C. (2020). ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE TABLEROS DE PARTÍCULAS A PARTIR DEL CUESCO DE LA PALMA AFRICANA CON ADHESIVO BIODEGRADABLE.

López Chalarca, L. T., Vega Rodríguez, L. Y., Rendón Colorado, C. D., Tobón Rojas, S., López Chalarca, L. T., Vega Rodríguez, L. Y., Rendón Colorado, C. D., & Tobón Rojas, S. (2020). Caracterización de los residuos de la industria maderera para su aprovechamiento en diferentes aplicaciones. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 104-124. <https://doi.org/10.14482/inde.38.1.691.1>

Lopez-Coba, E. (2005). Cultivo de *Pleurotus djamor* en condiciones de laboratorio y en una casa rural tropical. *REVISTA MEXICANA DE MICOLOGIA*, 21, 93-97.

MADERA21. (s. f.). Bioproductos: Cuando los residuos también se aprovechan | Argentina Investiga. Recuperado 23 de mayo de 2024, de [https://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?id=4322&titulo=bioproductos\\_cuando\\_los\\_residuos\\_tambin\\_se\\_aprovechan](https://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?id=4322&titulo=bioproductos_cuando_los_residuos_tambin_se_aprovechan)

Mena-Morales, C., Morales-Rodríguez, C., Vargas-Venegas, I., Villalobos-Quintanilla, B., Viquez-Muñoz, V., Mena-Morales, C., Morales-Rodríguez, C., Vargas-Venegas, I., Villalobos-Quintanilla, B., & Viquez-Muñoz, V. (2023). Aplicaciones biotecnológicas de la degradación bioquímica de madera por acción de hongos Xilófagos: Pudrición parda y blanca. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(1), 97-105. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.5997>

Moreno, B. A. C. (2020). Cultivo de Hongos comestibles *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus* sobre sustrato de bagazo de Agave tequilana. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1857>

Muñoz, K., Casanova, M., León, C., Gil, L., Bardales, C., & Cabos, J. (2019). Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000300022&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000300022&script=sci_arttext)

Oropeza Guerrero, M. P. (2017). Productividad y actividad antioxidante de cepas silvestres, reconstituidas e híbridas de *Pleurotus djamor*. <http://repositorio.utm.mx:8080/jspui/handle/123456789/80>

- Ortega, A. F. R., Castro, E. D., & Robelo, M. del C. R. (2015). Biotecnología Farmacéutica: Fusión de Protoplastos de dos Especies de Nopal de la Ciudad de Guanajuato. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 1(2), Article 2.
- Pineda-Insuasti, J. A., Benavides-Sotelo, E. N., Duarte, A. S., Burgos-Rada, C. A., Soto-Arroyave, C. P., Pineda, C. A., Fierro-Ramos, F. J., Mora-Muñoz, E. S., & Álvarez-Ramos, S. E. (2017). Producción de biopreparados de *Trichoderma spp*: Una revisión.
- Piña-Guzmán, A. B., Nieto-Monteros, D. A., & Robles-Martínez, F. (2016). UTILIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y AGROINDUSTRIALES EN EL CULTIVO Y PRODUCCIÓN DEL HONGO COMESTIBLE SETA (*Pleurotus spp.*). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 141-151. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.10>
- Ramón Auquilla, P. A. (2012). Análisis de la capacidad degradativa de residuos lignocelulósicos utilizando el hongo *Pleurotus ostreatus* var. Florida [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2811>
- Salmones, D. (2017). *Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. *Revista mexicana de micología*, 46, 73-85.
- Salmones, D., Mata, G., Gaitán-Hernández, R., Ortega, C., Salmones, D., Mata, G., Gaitán-Hernández, R., & Ortega, C. (2020). Cepas de *Pleurotus pulmonarius* con alta capacidad productiva seleccionadas de micelios dicarióticos. *Scientia fungorum*, 50. <https://doi.org/10.33885/sf.2020.50.1270>
- Sánchez, J., & Royse, D. (2001). Book: La biología y el cultivo de *Pleurotus spp.*
- Sánchez, N., & Narcisa, A. (s. f.). Evaluación de sustratos orgánicos para la propagación del *Trichoderma spp.*
- Verjel, A. C. A. (2019). DESARROLLO DE UN MATERIAL AGLOMERADO A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE FRUTO DE PALMA DE ACEITE, (ELAEIS GUINEENSIS).
- Vicente-Arbona, J. C., Carrasco-Hernández, V., Rodríguez-Trejo, D. A., Villanueva-Morales, A., Vicente-Arbona, J. C., Carrasco-Hernández, V., Rodríguez-Trejo, D. A., & Villanueva-Morales, A. (2019). Calidad de planta de *Pinus greggii* producida en sustratos a base de aserrín. *Madera y bosques*, 25(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521784>
- Villa, Y., & Espín, N. (2012). Determinación de la cinética de crecimiento del hongo *Phanerochaete chrysosporium* en residuos lignocelulósicos y determinación de la

actividad ligninoperoxidásica. Revista Politécnica, 31.  
[https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/192](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/192)

## Anexos



# UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

*¡Evolución académica!*

@UNEMIEcuador

