

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Aplicación de micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* en
diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de
biomateriales**

Adaly Soranaywa Gallegos Belisario

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Arequipa, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

A los ingenieros Lalo Monzón, María Valdivia y Silvia Tapia, por sus conocimientos y gama de experiencia profesional que me brindaron. Por ser mis modelos por seguir, por su colaboración y orientación, ya que me encaminaron de la mejor manera para lograr mis metas.

DEDICATORIA

A Dios, por su infinita bondad y amor de haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida con salud para lograr mis objetivos y metas, además de darme la fortaleza que necesitaba para continuar y no desfallecer en el intento.

A mis padres, Vilma y Wilberth, por ser mi motivación para lograr mis metas, por brindarme su apoyo y amor incondicional en todo momento, por sus buenos consejos y valores que hicieron de mí una buena persona.

A mi novio, Gizzat, por ser mi soporte y darme la confianza para seguir mis sueños, por ser mi compañero de mejores y peores momentos, por la amistad y amor que nos une.

A mi abuela, Agripina, tío Martin y primo Aldair, por su preocupación, ánimos y cariño constante para seguir adelante.

ÍNDICE

Agradecimiento	ii
Dedicatoria	iii
Índice	iv
Lista de tablas	vii
Lista de figuras	ix
Resumen	xii
Abstract	xiii
Introducción	xiv
CAPÍTULO I	17
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	17
1.1. Planteamiento y formulación del problema	17
1.1.1. Problema general	19
1.1.2. Problemas específicos	19
1.2. Objetivos	19
1.2.1. Objetivo general	19
1.2.2. Objetivos específicos.....	20
1.3. Justificación e importancia	20
1.3.1. Justificación	20
1.3.2. Importancia.....	21
1.4. Hipótesis y descripción de variables	21
1.4.1. Hipótesis general.....	21
1.4.2. Hipótesis específicas.....	21
1.4.3. Variables	22
1.4.4. Operacionalización de la variable.....	22
1.5. Limitaciones	23
CAPÍTULO II	24
MARCO TEÓRICO	24
2.1. Antecedentes del problema	24
2.2. Bases teóricas	28
2.2.1. Hongos.....	28
2.2.2. Tipos de hongos.....	28

2.2.3. Partes del hongo	30
2.2.4. Micelio de hongo	31
2.2.5. Hongo Pleurotus ostreatus	33
2.2.6. Sustratos	37
2.2.7. Residuos lignocelulósicos	40
2.2.8. Análisis FTIR	40
2.2.9. Parámetros de crecimiento micelial.....	43
2.2.10. Biomateriales.....	45
2.2.11. Biomateriales a base de micelio fúngico	45
2.2.12. Aplicaciones de los biomateriales	45
2.3. Definición de términos básicos	47
2.3.1. Biodegradabilidad.....	47
2.3.2. Biomaterial	48
2.3.3. Celulosa	48
2.3.4. Lignina.....	48
2.3.5. Hemicelulosa.....	49
2.3.6. Desinfección	49
2.3.7. Esterilización	49
2.3.8. Sustrato	49
2.3.9. Aserrín.....	49
2.3.10. Cascarilla de arroz	50
2.3.11. Harina de trigo.....	50
CAPÍTULO III.....	51
METODOLOGÍA	51
3.1. Método y alcance de la investigación	51
3.1.1. Método	51
3.1.2. Tipo de investigación.....	52
3.1.3. Nivel de investigación.....	52
3.1.4. Alcance.....	53
3.2. Diseño de la investigación	54
3.2.1. Esquematización del diseño de investigación	55
3.2.2. Representación del diseño de investigación	55
3.2.3. Metodología de la investigación	56
3.3. Población y muestra	56

3.3.1. Población.....	56
3.3.2. Muestra	57
3.3.3. Muestreo	57
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	57
3.4.1. Técnicas de la investigación.....	57
3.4.2. Instrumentos de la investigación	58
3.4.3. Procesamiento estadístico de la información	58
3.4.3.1. Estadísticos	58
3.4.3.2. Representación.....	59
3.4.3.3. Técnica de comprobación de la hipótesis	59
CAPÍTULO IV.....	60
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información	60
4.1.1. Resultados	60
4.1.1.1. Descripción del procedimiento de aplicación de micelio de hongo “Pleurotus ostreatus” en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales	60
4.1.1.2. Determinación de propiedades fisicoquímicas de los biomateriales generados por la aplicación de micelio de hongo “Pleurotus ostreatus” en diferentes residuos lignocelulósicos	72
Conclusiones.....	93
Recomendaciones.....	95
Lista de referencias.....	96
Anexos	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables	22
Tabla 2. Contenido nutricional del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	35
Tabla 3. Grupos funciones según el número de onda y banda espectral.....	41
Tabla 4. Grupos funcionales característicos en estructuras químicas de fibras dietéticas	43
Tabla 5. Parámetros de condiciones de crecimiento del hongo en la fase de crecimiento y fructificación.....	44
Tabla 6. Diseño de la investigación.....	55
Tabla 7. Resultados de la concentración de humedad en los residuos lignocelulósicos	62
Tabla 8. Resultados de la concentración de cenizas de los residuos lignocelulósicos	62
Tabla 9. Resultados de la concentración de grasas de los residuos lignocelulósicos	62
Tabla 10. Componentes y grupos funcionales de la cascarilla de arroz según el análisis FTIR.....	63
Tabla 11. Componentes y grupos funcionales de aserrín y viruta según el análisis FTIR	63
Tabla 12. Prueba 1 para obtener biomateriales	65
Tabla 13. Prueba 2 para obtener biomateriales	65
Tabla 14. Composición de sustratos según tratamiento.....	65
Tabla 15. Composición del sustrato según las pruebas 1 y 2	66
Tabla 16. Composición del sustrato según la prueba 1.....	67
Tabla 17. Composición del sustrato según la prueba 2.....	67
Tabla 18. Promedios de temperatura y humedad del ambiente de incubación	68
Tabla 19. Crecimiento total en tratamientos - prueba 1.....	69
Tabla 20. Crecimiento total en tratamientos - prueba 2.....	69
Tabla 21. Datos de prueba de densidad en agua.....	72
Tabla 22. Resultados de densidad en alcohol en tratamientos de prueba 1	73
Tabla 23. Resultados de densidad en alcohol en tratamientos de prueba 2	73
Tabla 24. Resultados de inflamabilidad en tratamientos de la prueba 1	74
Tabla 25. Resultados de inflamabilidad en tratamientos de la prueba 2	74

Tabla 26. Pruebas de proporciones de sustrato.....	78
Tabla 27. Escala de criterios del crecimiento micelial	78
Tabla 28. Resultados del crecimiento micelial en cada tratamiento y prueba ..	79
Tabla 29. Criterios de calificación de características observables	79
Tabla 30. Calificación de características observables.....	80
Tabla 31. Evaluación de características observables.....	80
Tabla 32. Resultados de densidad e inflamabilidad de las pruebas.....	81
Tabla 33. Criterios evaluados en las pruebas 1 y 2.....	82
Tabla 34. Análisis de varianza (Anova) de la densidad – prueba 1	83
Tabla 35. Análisis de varianza (Anova) de la densidad – prueba 2.....	84
Tabla 36. Análisis de varianza (Anova) de inflamabilidad – prueba 1	85
Tabla 37. Análisis de varianza (Anova) de inflamabilidad – prueba 2	86
Tabla 38. Matriz de consistencia	102
Tabla 39. Registro de temperatura y humedad relativa por 30 días.....	125
Tabla 40. Control de crecimiento micelial de tratamientos y pruebas	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura básica de un hongo de sombrero.....	31
Figura 2. Tipos de micelio de hongos de hifas vegetativas y reproductivas.....	32
Figura 3. Hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	34
Figura 4. <i>Trichoderma</i>	36
Figura 5. <i>Rhizopus stolonifer</i>	37
Figura 6. Resumen de regiones espectrales de bandas de absorción de componentes mayoritarios	42
Figura 7. Embalaje a base de micelio de hongo de la empresa de Ecovative Desing	46
Figura 8. Material de construcción de la empresa Biohm	46
Figura 9. Estructura con ladrillos de micotectura realizada por Phil Ross	47
Figura 10. "Mylo" es el cuero a base de micelio.....	47
Figura 11. Región de Arequipa. Área de obtención de los residuos lignocelulósicos.	53
Figura 12. Distrito de Paucarpata. Área de obtención de cascarilla de arroz en tienda distribuidora.	54
Figura 13. Distrito de Arequipa. Área de obtención de aserrín y viruta en madereras.	54
Figura 14. Proceso metodológico de la investigación	56
Figura 15. 1 kg de semilla de hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> inoculado en granos de trigo por la empresa de productora de hongos "La Aldea"	61
Figura 16. Residuos lignocelulósicos obtenidos en la provincia de Arequipa ..	61
Figura 17. Sudoración excesiva del sustrato.....	68
Figura 18. Comparación de colonización de micelio en sustratos.....	70
Figura 19. Moldeado en envases de plástico y aluminio	70
Figura 20. Desmolde de biomateriales	71
Figura 21. Biomateriales secados	71
Figura 22. Prueba de densidad con agua, el biomaterial flotó.....	73
Figura 23. Biomaterial sumergido en alcohol para prueba de densidad.....	73
Figura 24. Prueba de inflamabilidad del biomaterial.....	75
Figura 25. Biomaterial con forma de recipiente a base de micelio de hongo y residuos lignocelulósicos.....	76

Figura 26. Proceso metodológico de la investigación	77
Figura 27. Gráfico comparativo del crecimiento micelial	79
Figura 28. Gráfico de comparación de características observables entre pruebas	80
Figura 29. Gráfico comparativo entre pruebas de densidad.....	81
Figura 30. Gráfico comparativo entre pruebas de inflamabilidad	81
Figura 31. Gráfico de medias del análisis de varianza de densidad – prueba 1.	84
Figura 32. Gráfico de medias del análisis de varianza de densidad – prueba 2.	85
Figura 33. Gráfico de medias del análisis de varianza de inflamabilidad – prueba 1.	86
Figura 34. Gráfico de medias del análisis de varianza de inflamabilidad – prueba 1.	87
Figura 35. Gráfico comparativo de los sustratos usados en la presente investigación y un sustrato referente.....	88
Figura 36. Gráfico comparativo de los sustratos usados en la presente investigación.....	88
Figura 37. Gráfico representativo de porcentajes del sustrato	90
Figura 38. Gráfico comparativo de densidades del biomaterial obtenido con diferentes materiales similares	91
Figura 39. Gráfico comparativo de la característica de inflamabilidad de diferentes materiales	92
Figura 40. Semilla de hongo Pleurotus ostreatus en grano de trigo.....	104
Figura 41. Aserrín y virutas triturados y tamizados menor a 2 cm.....	104
Figura 42. Pasteurización por inmersión en agua de los residuos lignocelulósicos	104
Figura 43. Aserrín y viruta pasteurizados y escurridos.....	105
Figura 44. Cascarilla de arroz pasteurizada.....	105
Figura 45. Aserrín y cascarilla de arroz pasteurizados.....	105
Figura 46. Inoculación de la semilla de hongo en los sustratos	106
Figura 47. Recipiente inoculado tapado con papel aluminio con orificios	106
Figura 48. Termohigrómetro ambiental registrando la temperatura y la humedad relativa.....	106

Figura 49. Desarrollo micelial en sustratos	107
Figura 50. Crecimiento de primordios en sustratos	107
Figura 51. Vaciado de mezcla de suplemento alimenticio a sustrato colonizado	107
Figura 52. Moldeado de sustrato en envase de aluminio	108
Figura 53. Formación de biomateriales	108
Figura 54. Desmolde de biomateriales.....	108
Figura 55. Secado de biomaterial en el horno convencional.....	109
Figura 56. Desarrollo del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> en el biomaterial	109
Figura 57. Contaminación del sustrato por exceso de humedad identificando el moho <i>Trichoderma</i>	109
Figura 58. Agrietamiento, ruptura y notables quemaduras de biomateriales .	110
Figura 59. Biomateriales en prueba de densidad	110
Figura 60. Biomateriales en prueba de inflamabilidad.....	110

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad aplicar el micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos con el objetivo de obtener biomateriales. La idea surgió debido a la problemática de generación de residuos lignocelulósicos como residuos agrícolas y madereros, que al ser desechados generan un impacto al medio ambiente; la mayoría de los desechos se queman o terminan en rellenos sanitarios por la falta de cultura ambiental. Por ello la necesidad de investigar y dar a conocer la forma de reaprovechar los residuos lignocelulósicos para obtener biomateriales con diferentes aplicaciones. La metodología empleada empezó con la obtención de la semilla del hongo "*Pleurotus Ostreatus*" para inocular e incubar en los residuos lignocelulósicos como la cascarilla de arroz, aserrín y viruta, para después someterlos a altas temperaturas y obtener los biomateriales. Finalmente, se caracterizaron los biomateriales mediante pruebas físicoquímicos, como la densidad y la inflamabilidad.

Se obtuvo biomateriales mediante la aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en residuos lignocelulósicos como la cascarilla de arroz, aserrín y viruta, siendo fuentes nutritivas que están compuestas de carbohidratos, proteínas y minerales para componer un sustrato adecuado para la formación de biomateriales. Los procesos para obtener los biomateriales es la obtención de la semilla de hongo y los residuos lignocelulósicos para luego conformar un sustrato enriquecido, que al ser inoculado por la semilla, se someta a un proceso de incubación a un rango de temperatura de 18 °C a 28 °C, humedad relativa de 60 % a 70 % y en oscuridad permita el buen desarrollo micelial, para luego darle forma en el proceso de moldeado y pasar por la incubación final y obtener la forma deseada del biomaterial; finalmente, debe ser sometido a altas temperaturas para inhibir el crecimiento micelial, dando como producto final el biomaterial para ser usado. Los biomateriales obtenidos son de baja densidad (44 kg/m³), por lo tanto, son ligeros y no son inflamables, pudiendo tener varias aplicaciones en el mercado.

Palabras claves: biomaterial, micelio, residuos lignocelulósicos

ABSTRACT

The present research aims to apply the fungus mycelium "*Pleurotus ostreatus*" in different lignocellulosic residues with the aim of obtaining biomaterials. The idea arose because of the problem of generating lignocellulosic waste such as agricultural and wood waste, which when discarded generate an impact on the environment; most of the waste is burned or end up in sanitary landfills due to the lack of environmental culture. Therefore, the need to investigate and publicize how to reuse lignocellulosic residues to obtain biomaterials with different applications. The methodology used began with obtaining the seed of the fungus "*Pleurotus ostreatus*" to inoculate and incubate in lignocellulosic residues such as rice husks, sawdust and chips, and then submit them to elevated temperatures and obtain the biomaterials. Finally, biomaterials were characterized by physical tests - chemical tests, such as density and flammability.

Biomaterials were obtained by applying mycelium of fungus "*Pleurotus ostreatus*" in lignocellulosic residues such as rice husks, sawdust and chips, being nutritional sources that are composed of carbohydrates, proteins and minerals to compose a substrate suitable for the formation of biomaterials. The processes to obtain the biomaterials is the obtaining of the seed of fungus and the lignocellulosic residues to later form an enriched substrate, which, when inoculated by the seed, is subjected to an incubation process at a temperature range of 18 °C to 28 °C, relative humidity of 16% to 70% and in the dark allows for good mycelial development, to then shape it in the molding process and go through the final incubation and obtain the desired form of the biomaterial; finally must be subjected to high temperatures to inhibit mycelial growth, giving as final product the biomaterial to be used. The obtained biomaterials are of low density (44 kg/m³); therefore, they are light and are not flammable, being able to have several applications in the market.

Keywords: biomaterial, lignocellulosic residues, mycelium

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad el uso de diferentes materiales ha estado presente, desde materiales de origen natural como madera, lana, cuero y el algodón que fueron evolucionando hasta la era actual de plásticos o polímeros sintéticos de origen petroquímico, sumado al incremento poblacional mundial, la producción de materiales causa grandes impactos negativos al ambiente por la generación de desechos, alto consumo de energía y liberación de gases, causando un cambio global. Debido a la crisis ambiental latente, la sociedad está en la búsqueda de tecnologías de innovación verde que promueva un desarrollo sostenible, donde los procesos productivos sean ecoamigables sin depredar los recursos (1).

El reino Fungi ha estado conformado por más de 5.1 millones de especies de hongos unicelulares o pluricelulares en el mundo, los cuales algunas especies han tenido un rol importante en diferentes actividades humanas, desde el uso de levaduras para producción de vino, cerveza y pan, hasta la producción de antibióticos, vitaminas, hormonas, entre otros. El micelio que es el tejido vegetativo de los hongos que tiene la capacidad aglutinante de sustratos que ha sido ampliamente estudiada por científicos en los últimos años. El micelio se desarrolla en diferentes sustratos con contenido lignocelulósico como los residuos agrícolas o madereros (2).

La agroindustria en la actualidad es la actividad económica más importante a nivel mundial. La producción agrícola genera una enorme cantidad de residuos, según el Banco Mundial para el 2025 se espera que se produzca de 1300 millones t/año a 2200 millones t/año de residuos, de los cuales cerca del 46 % son residuos orgánicos provenientes de actividades domésticas, agrícolas y forestales (3). Perú es uno de los países que consolida la agroindustria como el sector económico de mayor crecimiento siendo exportadores de diferentes vegetales, cereales, entre otros; según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) – VI Censo Nacional Agropecuario

2012 afirma que el Perú cuenta con una superficie agrícola de 7 125 007 hectáreas (4). Los cultivos generan grandes cantidades de residuos al momento de la cosecha, según el Informe Anual de Residuos Sólidos 2013, los cultivos generan 35,748 t/año de residuos agrícolas, aproximadamente, dependiendo del tipo de cultivo. Los residuos agrícolas generados generalmente son quemados o desechados en botaderos, teniendo un efecto negativo ambiental e implicancias en la salud en las comunidades aledañas (5).

La industria maderera es el sector de procesamiento de madera que permite desde su plantación hasta su transformación obtener objetos de uso práctico, siendo la principal en aprovechamiento de recursos naturales. El Perú es un país de bosques, siendo la mayor parte del territorio peruano, por ello la actividad maderera tiene gran relevancia en el país, de acuerdo con los datos de la Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria (Sunat), en el 2015, Arequipa contaba con 1083 micro y pequeñas empresas madereras de las cuales 101 se dedicaban a la primera transformación y 96 de ellas al aserrado y acepilladura (6). Siendo la primera transformación la que genera residuos forestales (merma) de aserrado de aproximadamente un 20 % los cuales están conformados por el 7 % de aserrín y 13 % de viruta, aproximadamente. La merma forestal generalmente es quemada o desechada en botaderos, contaminando el medio ambiente (7).

Por lo que el desarrollo de nuevos materiales mediante la aplicación de organismos biológicos como los hongos en materia prima como los desechos generados por la agroindustria o industria maderera sirven para obtener biomateriales con características sostenibles en el proceso de producción y vida útil. El poder obtener biomateriales ha sido motivo de investigación de hoy en día, mediante la biotecnología fúngica basada en micelio y sustratos lignocelulósicos proponiendo la generación de biomateriales sostenibles con aplicaciones en la industria de construcción, textil, embalaje, entre otros (1).

La presente investigación está estructurada en 4 capítulos. En el primer capítulo “Planteamiento del estudio”, se plantea la problemática, objetivos, hipótesis, la justificación y limitaciones de la investigación. En el segundo

capítulo “Marco teórico” se detallan los antecedentes, además de definiciones y teoría para comprender el contexto de la investigación. En el tercer capítulo “Metodología” se efectúa el método y diseño de la investigación, junto a la descripción de la población y técnicas utilizadas. Finalmente, en el cuarto capítulo “Resultados y discusión” se realiza un análisis de los resultados obtenidos y la prueba de la hipótesis.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Los residuos lignocelulósicos están constituidos principalmente de lignina, celulosa y hemicelulosa que son polímeros que sirven de soporte estructural de las células vegetales. Se tiene como residuos lignocelulósicos los generados por la industria agrícola como cascarillas, bagazos, pulpas y la industria maderera como aserrín o virutas de diferentes maderas. Generalmente, los residuos lignocelulósicos no tienen aprovechamiento y son quemados o desechados en botaderos, causando un impacto negativo del medio ambiente (1).

Arequipa es la segunda ciudad más poblada del país con 1 008 290 habitantes según el Censo Nacional 2017 realizado por el INEI y cuenta con una gran actividad económica por sus principales actividades de agricultura y maderera. Según el Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (Pigars) de la provincia de Arequipa 2017 – 2028, demuestra que hay una mayor generación de madera y follaje en la composición física de residuos urbanos con un porcentaje de 3.64 % y 3.05 % respectivamente. En el ámbito rural se tiene un 4.38 % de madera y follaje (8). La madera y follaje generalmente son desechados sin uso adicional o quemados en la mayoría de los casos.

La quema de residuos agrícolas según el Ministerio del Ambiente (Minam) en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) 2012, genera 9.06 giga-gramos de metano (CH₄), 0.22 giga-gramos de óxido nitroso (N₂O) y 257.33 giga-gramos de emisiones de GEI (CO₂) que causa un deterioro de la capa de ozono y contamina el aire, afectando la salud de los seres vivos (9).

En el Perú, el arroz es el principal producto sembrado y cosechado, superando a otros como el café, papa, maíz, con 380 000 hectáreas aproximadamente; aportando con el Valor Bruto de la Producción (VBP) del sector agrícola. En la actualidad el arroz se siembra todo el año, concentrando en el periodo de agosto a marzo y las cosechas se concentran para abril a julio. El residuo generado del cultivo del arroz es la paja de arroz y la cascarilla de arroz que recubre al grano. Por cada tonelada de arroz se genera 200 kg de cascarilla de arroz, generalmente la cascarilla es desechada o utilizada como combustible y abono.

Según las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la generación de aserrín se da en el proceso de primera transformación de producción de madera en la clase de aserrado y acepilladura de madera (6). Según el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor), en el 2015, la producción de madera aserrada fue 579079 m³ en todo el país, siendo el 20 % los residuos madereros generados con un 69489,48 m³ (6). Las empresas madereras desechan la merma forestal como basura o es utilizada como combustible para hornos de ladrilleras o panaderías, entre otras actividades; causando impactos ambientales y a la salud con la emisión de gases de efecto invernadero. En caso de los residuos madereros según el Inventario Nacional de Producción de dioxinas y furanos, la quema de desechos de manera contribuye con el 3 %, además de causar enfermedades respiratorias como asma, bronquitis crónica y alergias (7).

En la naturaleza existe una continua interacción de factores bióticos y abióticos que cumplen un ciclo biológico, donde los seres vivientes cumplen un rol importante, siendo los descomponedores los que degradan e incorporan al ciclo biológico los restos que se generan constantemente en la naturaleza, por

ello no existen residuos de ningún tipo. Los hongos cumplen un rol importante en el medio natural, tienen la capacidad de secretar enzimas que degradan los desechos de las plantas mediante el micelio. El micelio de hongo crece en materiales lignocelulósicos (lignina, hemicelulosa y celulosa) obteniendo su principal fuente de alimento hasta degradarlo (10). Por lo tanto, se plantea la aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos para obtener biomateriales.

1.1.1. Problema general

- ¿Cómo se aplicará el micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el procedimiento de aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales?
- ¿Cuáles son las proporciones óptimas de aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales?
- ¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas del biomaterial a base de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar la aplicación del micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir el procedimiento de aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales.
- Determinar las proporciones óptimas de aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas del biomaterial generado por la aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación

La preocupación creciente sobre el impacto ambiental y la sostenibilidad ha hecho que los materiales biodegradables sean motivo de investigación, debido a las características podrían jugar un papel muy importante en el futuro, teniendo diferentes usos y aplicaciones, pudiendo reemplazar a los actuales materiales convencionales sintéticos. La generación de residuos en la industria agrícola y maderera genera un crecimiento considerable en la demanda de productos, los residuos son generalmente quemados o desechados en basurales, causando impacto negativo en el medio ambiente (11).

Con esta investigación, se busca utilizar residuos lignocelulósicos como los residuos agrícolas y madereros como sustrato para aplicar el micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" para colonización y obtener biomateriales.

El desarrollo de la investigación sobre obtención de biomateriales busca ser de gran utilidad para que la producción de materiales convencionales sea reaprovechando los residuos lignocelulósicos

generados por diferentes industrias o materiales reciclados, dando aportes relevantes, tales como:

El aporte teórico de la investigación, que está plasmada en esta tesis tiene la finalidad de ser difundida y dar a conocer los resultados e información sobre biomateriales para que diferentes espacios académicos lo tomen como referencia, para futuras investigaciones.

El aporte práctico de la presente investigación es servir de guía para interesados en producción de biomateriales para desarrollar emprendimientos y constituir negocios por la factibilidad de materiales empleados y de bajo costo.

1.3.2. Importancia

La investigación da a conocer una alternativa de aprovechamiento de residuos agrícolas y madereros; que junto a la aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" los residuos lignocelulósicos se transformen en biomateriales que puedan reemplazar materiales convencionales y reducir de manera significativa la contaminación del medio ambiente.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

La aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos puede obtener biomateriales.

1.4.2. Hipótesis específicas

- El procedimiento de aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos se podrá describir para obtener biomateriales.
- Las proporciones óptimas de aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos se podrán determinar para obtener biomateriales.

- Las propiedades fisicoquímicas se podrán determinar de los biomateriales obtenidos de la aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos.

1.4.3. Variables

Variable independiente: se tiene como variable independiente a:

- Aplicación del micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* en residuos lignocelulósicos.

Variable dependiente: se tiene como variable dependiente a:

- Biomateriales

Variable interviniente: se tiene como variables intervinientes:

- Temperatura (°C)
- Humedad relativa (%)
- Contenido de humedad (%)
- Cenizas (%)
- Contenido de grasas (%)
- Densidad (kg/m³)
- Inflamabilidad (%)

1.4.4. Operacionalización de la variable

Tabla 1. Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión de la variable	Indicador	Unidad
Independiente (X)			Temperatura	°C
Micelio de hongo " <i>Pleurotus ostreatus</i> "	Es un conjunto de hifas filamentosas compuestas de quitina formando el cuerpo vegetativo del hongo (12).	Factores de crecimiento micelial	Crecimiento micelial	días
			Humedad relativa	(%)
Residuos lignocelulósicos	Son desechos orgánicos con alto contenido de lignocelulosa que sirve de sustrato para el crecimiento micelial del hongo (1).	Caracterización de residuos lignocelulósicos	Contenido de humedad	%
			Cenizas	%
			Contenido de grasas	%
Dependiente (Y)	Son materiales compuestos de materia prima biológica y orgánica como hongos y residuos forestales o agrícolas, creados y	Propiedades fisicoquímicas	Densidad	kg/m ³
Los biomateriales			Inflamabilidad	%

diseñados para un fin, que al terminar su función y ser desechados no contaminan el medio ambiente (1).

1.5. Limitaciones

- El ámbito geográfico de la investigación se desarrolló en la región de Arequipa, debido a que la zona es de fácil acceso para la obtención de los insumos necesarios para la elaboración de los biomateriales.
- La investigación no tiene un alto costo, por los insumos que se utilizan, pero se necesitan varios materiales de desinfección para tener asepsia en las áreas de trabajo.
- El crecimiento micelial depende mucho de las condiciones climáticas del lugar de crecimiento.
- La medición de crecimiento micelial en centímetros o milímetros del sustrato colonizado es de difícil determinación por el crecimiento irregular.
- La semilla de hongo no es tan comercial en el país, y las empresas de producción de hongos son generalmente escasas.
- Los laboratorios para realizar pruebas fisicoquímicas y mecánicas no dieron apertura a la atención por la pandemia de la Covid-19, además en la ciudad de Arequipa hay pocos laboratorios que realizan mencionadas pruebas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

En el artículo científico “*Biomaterial obtenido a partir de micelio de hongo (Ganoderma lucidum) y residuos agrícolas*” (12), tuvo como objetivo el diseño de un biomaterial mediante la propagación micelial de hongo *Ganoderma lucidum* crecido en residuos agroindustriales como la cáscara de nuez y aserrín de roble. Se formularon cinco sustratos distintos, con diferentes proporciones de cáscara de nuez (CN) y aserrín (AS), siendo TI-CN₁₀₀:AS₀, TII-CN₂₅:AS₇₅, TIII-CN₅₀:AS₅₀, TIV-CN₇₅:AS₂₅ y TV-CN₀:AS₁₀₀; con una incubación de 30 días a una temperatura de 26 °C, y a una humedad relativa del 70 % al 80 %, el TI-CN₁₀₀:AS₀ se mostró con un desarrolló de micelio del hongo *Ganoderma lucidum* y se tuvo como resultado un biomaterial con aspecto aterciopelado blanquecino de una estructura similar a una espuma. El biomaterial tiene alta resistencia a 0.392 MPa según la prueba de compresión, con un porcentaje de deformación máximo de 26 %. Presentó una densidad media de $0.511 \pm 0.169 \text{ g/cm}^{-3}$. En conclusión, el biomaterial obtenido cumple con los parámetros establecidos para las espumas. Por lo tanto, es una alternativa para reemplazar el poliestireno expandido, sin embargo, se requiere una estandarización del proceso y una caracterización amplia (12).

El artículo científico “*Desarrollo tecnológico de paneles multicapa a partir de residuos lignocelulósicos bioligados con micelio de hongos*” (10), propone utilizar residuos lignocelulósicos y el micelio de hongos para generar alternativas sustentables a productos usados actualmente en viviendas, tales como paneles aislantes, generalmente son elaborados a base de poliestireno expandido o lana de vidrio, estos componentes constructivos son fabricados y aglutinados con resinas sintéticas en base a derivados del petróleo. El micelio es el material vegetativo de todos los hongos existentes cuya función es absorber de su alrededor los nutrientes. Se utilizan dos cepas, el *Pleurotus ostreatus* (Gírgola) y *Ganoderma Lucidum* (Reishi), las cuales fueron inoculadas en pruebas de sustratos de hojas secas de roble, viruta de álamo, virutas mixtas de palo amarillo, guatambú y cedro, cartón corrugado de doble onda, cartón de huevos, polypapel, borra de café, restos de yerba mate, bagazo de cebada, chips de poda de vid, lana de oveja, desmote de algodón, hollejo de soja, hojas de palma producto de poda urbana. El método de esterilización fue mediante la pasteurización por inmersión en agua a 80 °C a 100 °C durante 2 horas, y se trató químicamente a una solución alcalina del 0.7 % de volumen del sustrato. Los resultados fueron varias contaminaciones en las pruebas, pero en menor medida las de polypapel y cartón. Se detectó un crecimiento micelial favorable en la pulpa de cartón corrugado de doble onda y el cartón de huevos utilizando como aditivo almidón de maíz en un 10 %, en el desmote de algodón en crudo, observando que podría mejorar en caso de triturarlo para reducir la granulometría, en la viruta de álamo y virutas variadas, principalmente utilizando la cepa *Pleurotus ostreatus* y en los chips de poda de vid y de palma. Las pruebas tienen propiedades técnicas como liviandad, resistencia mecánica y baja conductividad térmica (10).

El artículo científico “*Aplicaciones de empaques sostenibles a base de micelio para sustituir el poliestireno*” (13) da a conocer el estudio sobre el micelio de hongo, que crece rápidamente y producen millones de diminutas fibras ramificadas blancas que envuelven y se adhieren a los residuos agrícolas como las cáscaras de semillas, uniéndolas en un material fuerte y biodegradable. Los materiales basados en micelio tienen el potencial de convertirse y ser alternativa para una gran variedad de aplicaciones, con la ventaja de que su materia prima

tiene bajo costo y está latente la problemática del poliestireno expandido. El producto de espuma a base de hongos tiene que superar el desafío de mantener una densidad constante y la percepción pública de sus productos. Los envases de cultivo orgánico generalmente se consideran un golpe para los equipos de mercadotecnia de las empresas. Varios fabricantes de productos electrónicos son usuarios potenciales del creciente empaque basado en micelio para productos como computadoras portátiles y tabletas. Estos materiales se han probado en cámaras ambientales en condiciones extremas y se consideraron aptos para ser considerados en uso. La espuma a base de hongos que reemplaza al poliestireno podría marcar un hito importante en la historia (13).

El artículo científico “*Cultivando y probando ladrillos de micelio como materiales aislantes de construcción*” (14). A fin de mejorar el acondicionamiento climático y acústico de los edificios, se están usando en gran cantidad materiales aislantes (como vidrio mineral y lanas de roca o espumas plásticas elaboradas a base de derivados de petróleo), ocasionando problemas de agotamiento de materiales y desechos. Una alternativa sostenible es el uso de materiales biodegradables. El objetivo es producir materiales de micelio que puedan utilizarse como aislantes con características físicas y mecánicas parecidas al poliestireno expandido. Se utilizaron tres especies de hongos, el *Oxyporus latermarginatus*, el *Megasporoporia minor* y el *Ganoderma resinaceum* considerando el rápido crecimiento micelial para unirse al sustrato y la actividad lignolítica. Los cultivos utilizados se originaron de un clima subtropical cálido (región del delta del Nilo, Egipto) los cuales crecen bien a 33 °C por lo que podrían cultivarse a 5 °C más caliente que la temperatura usada, permitiendo una colonización más rápida de paja u otro sustrato, en tan solo 4 semanas. El patrón de colonización de la paja de trigo fue similar para OXY y MEG con una colonización mayor, localizado en el centro del biomaterial y donde se encontraban los respiraderos de aire (14).

El artículo científico “*Evaluación de hongos comestibles en láminas de biomaterial que simulan poliestireno expandido*” (15) evaluó y creó un material de base biológica que imita las propiedades físicas y mecánicas del poliestireno expandido (EPS) que contiene benceno y estireno, lo que representa un riesgo

para la salud humana. Este material de base biológica fue desarrollado a partir de residuos de cultivos (*Triticum sp.*), hongos (*Pleurotus sp.*), y películas comestibles (carragenina, quitosano y goma xantana). Los tratamientos difirieron en el tipo de película aplicada sobre la base biológica. Se evaluaron propiedades materiales físicas y mecánicas. La resistencia a la compresión y la flexión varió de 20 a 60 kPa y de 4,6 a 17.9 kPa, respectivamente. La estabilidad dimensional y la densidad relativa variaron de 5.1 a 7.3 % y 178.7 a 198.9 kg/m³, respectivamente. El material de origen biológico aún no representa una alternativa al EPS, y las investigaciones posteriores deben evaluar la absorción de agua y la biodegradabilidad (15).

La tesis titulada como “*Desarrollo y caracterización de un material biodegradable a partir de desechos cerveceros y micelio del hongo Pleurotus ostreatus*” (16) evaluó el desarrollo de un biomaterial a base de desechos de la industria cervecera (polvillo de cebada de malta) y la cepa *Pleurotus ostreatus*, como alternativa a materiales convencionales de empaquetado. Se varió la composición del sustrato y el tiempo de secado del material. Se concluyó que la utilización de afrecho de malta como principal sustrato es inviable para el proceso y la comparación con el poliestireno expandido (icopor) fue similar en comportamiento esfuerzo-deformación. La formulación óptima fue del sustrato de polvillo de cebada al 100 % con 12 horas de secado, dando como resultado un material con propiedades de resistencia y elasticidad, según el ensayo de resistencia a la compresión y superó el valor mínimo de esfuerzo del poliestireno expandido con un porcentaje de 10 % de deformación (16).

El artículo científico “*Encofrado perdido constituido por paja cohesionada con micelio como sustituto del poliestireno expandido*” (17) presentó algunas cualidades físicas y mecánicas de un material a base de micelio en un sustrato de paja de trigo. Tiene como objetivo aprovechar las paredes celulares del hongo, compuestas por quitina, una sustancia orgánica muy abundante en la naturaleza y que presenta unas excelentes propiedades mecánicas que convierten este material en idóneo, no solo para competir con los contaminantes plásticos tan tradicionalmente empleados en construcción, tales como el poliestireno, sino para sustituirlos, puesto que el compuesto es totalmente

biodegradable. Los primeros ensayos a compresión simple efectuados sobre este conglomerado formado por el sustrato y la quitina arrojan resultados de resistencia mecánica prometedores (17).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Hongos

La Micología es la ciencia que estudia a los hongos. El término hongo se deriva de la palabra latina "*fungus*" que significa hongo y de la palabra griega "*sphongos*" que significa esponja. Los hongos son el grupo más grande en la tierra después de los insectos. Son diversos y pueden crecer en diferentes hábitats, posee células eucariotas y rara vez procariotas con pared celular de quitina; se alimentan de los nutrientes de la materia orgánica en la que viven donde secretan ácidos y enzimas que descomponen la materia orgánica en partículas más digeribles a través de la pared celular. Los hongos tienen ciclos de vida, pueden reproducirse a partir de la producción de esporas (sexuales o asexuales) o la fragmentación de hifas (1).

Pueden ser saprofitos que se alimentan de hojas muertas o son parásitos, ya que se alimentan de células vivas que causan enfermedades, de los cuales pueden ser entomopatógenos que afecta a los insectos para regular la población de plagas en cultivos, pero no son dañinos para otros organismos. Los hongos participan en varios procesos biológicos y químicos como la descomposición de la materia orgánica, la fermentación industrial, entre otros (18).

2.2.2. Tipos de hongos

Dentro de los ecosistemas hay tres grupos de hongos, los descomponedores de biomasa vegetal lignocelulósica y los hongos saprofitos de podredumbre blanca, parda y de pudrición blanda. Se clasifican según la degradación enzimática de biomasa lignocelulósica (1).

El grupo de los hongos de pudrición blanca se distingue por su alta capacidad de degradar la lignina, así como los polisacáridos de celulosa

y hemicelulosa que poseen un sistema enzimático extracelular muy activo de degradación de la lignina. La capacidad ligninolítica de los hongos de pudrición blanca para degradar y digerir la pared celular vegetal de plantas lo ha convertido en uno de los principales microorganismos considerados para la obtención de biomateriales a base de micelio (1).

Mediante la inoculación de micelio de hongos de podredumbre blanca en un sustrato orgánico sólido de naturaleza lignocelulósica, se obtiene un compuesto liviano que consiste en una red tridimensional microscópica entrelazada de fibras de refuerzo natural presentes en la materia prima y las células miceliales filamentosas. La materia orgánica es degradada y reemplazada por biomasa fúngica, creando una capa porosa o compactada para tejer al sustrato, moldeando o adhiriéndose a soportes naturales y sintéticos, tales como papel, yute, algodón fieltro de algodón, fibra de vidrio, metal y carbono, para obtener productos de empaquetado y aislamiento, biotextiles, materiales para construcción para viviendas, entre otros usos. Se supone que cuanto mayor sea el potencial ligninolítico de las cepas fúngicas empleadas, mayor será su capacidad de colonizar el sustrato lignocelulósico empleado (1).

Hongos saprofitos

“Son hongos que se alimentan de la materia orgánica muerta y se pueden cultivar en un ambiente controlado, con un buen sustrato lignocelulósico en condiciones de temperatura ventilación, humedad y luz adecuadas para lograr su crecimiento y maduración hasta la fructificación, existen tres subgrupos de hongos saprofitos” (19):

- **Degradadores primarios:** son los hongos saprofitos colonizadores y que inician la degradación. Este grupo incluye especies del género *Pleurotus* setas “Hongo ostra”, *Lentinula edodes* “shiitake” y *Grifola frondosa* “Maitake”. Sin embargo, estas especies tienen diferentes sistemas enzimáticos distintos para degradar la materia orgánica con varios estados de descomposición. Para su cultivo es suficiente un buen sustrato que

tenga una variedad de desechos agroforestales frescos como pajas, aserrines y virutas (19).

- **Degradadores secundarios:** solo pueden degradar materia orgánica más simple y que haya sido degradada previamente por degradadores primarios. Los descomponedores secundarios y los actinomicetos, bacterias y hongos como las levaduras trabajan juntos en el suelo o en el cómpost para el proceso de degradación. El hongo más conocido en este subgrupo es el hongo *Agaricus bisporus* “champiñón”. Para el cultivo se requiere el mismo sustrato, pero con un proceso previo de compostaje (19).

- **Degradadores terciarios:** son hongos que prosperan en hábitats creados por los descomponedores primarios y secundarios durante un periodo de años, fructificando en suelos con poca materia para descomponer. En este grupo se encuentran los hongos de especies de géneros como *Conocybe*, *Agrocybe*, *Mycena*, *Pruteus* y *Agaricus* (19).

2.2.3. Partes del hongo

Los hongos constan de las siguientes partes:

- **Cuerpo vegetativo:** se encuentra bajo el suelo y está formado por las hifas.

- **Cuerpo reproductor:** es conocido como seta o carpóforo, es la parte que sale y constituye el tejido fúngico de los hongos y garantiza la reproducción de la especie.

- *Sombrero o píleo:* tiene generalmente forma de paraguas, aunque puede adoptar diversas formas.

- *Himenio o lamelas*: se encuentra bajo el sombrero y es una membrana que envuelve a los elementos fértiles y se presenta en forma de láminas, tubos, agujijones, pliegues, etc.
- *Estípite*: da lugar al anillo y algunas setas, cuando son jóvenes se ven envueltas por una telilla que se rompe al aumentar de tamaño, quedando restos en el estípite
- *La volva*: es como una envoltura en la parte inferior del estípite.

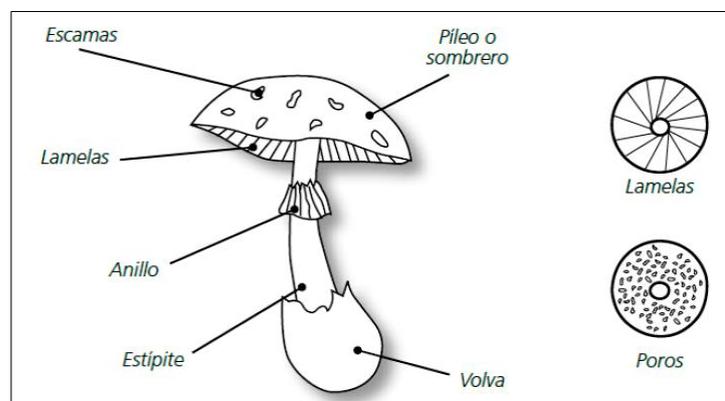


Figura 1. Estructura básica de un hongo de sombrero (20)

2.2.4. Micelio de hongo

El micelio es una red filamentososa bien desarrollada, microscópica interconectada y dinámica, formado por filamentos tubulares y alargados que muestran una considerable ductilidad y flexibilidad de crecimiento. El micelio es el esqueleto del organismo porque es el encargado de conectar y trasladar rápidamente agua, azúcares y minerales, formando un sistema cerrado en respuesta a estímulos o cambios en la composición del medio externo. Diferentes regiones interconectadas del micelio pueden exhibir actividades fisiológicas y bioquímicas, cuyas respuestas varían según la especie y las condiciones nutricionales como el entorno microbiológico local (1).

Según su función y estado del desarrollo, se reconocen dos tipos de micelio:

- **Micelio vegetativo:** suelen vivir en el suelo, coloniza y se alimenta de materia orgánica vegetal y animal viva (Ej. hongos parasíticos), en descomposición (Ej. hongos saprofitos) o tienen la capacidad de unirse de manera recíproca (hongos endófitos y formadores de micorrizas) (1).
- **Micelio aéreo:** desde el sustrato sobre el que coloniza el micelio vegetativo, asciende hacia la superficie por propagación ramificada las hifas aéreas, formando una estructura terciaria que produce esporas asexuales o sexuales en sus extremos. El micelio aéreo también se reconoce como un estado reproductivo del hongo ya que asegura la supervivencia y la transcendencia de genes a nuevos hábitats (1).

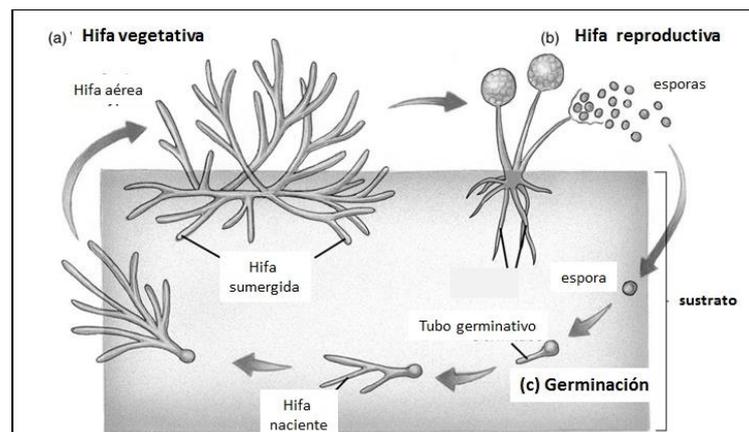


Figura 2. Tipos de micelio de hongos de hifas vegetativas e hifas reproductivas (1) (p. 1639)

El micelio es altamente hidrofóbico debido a una estructura celular que rodea la pared celular. Durante el crecimiento de las células fúngicas, la célula contiene concentraciones más altas de sales y azúcares, lo que crea una diferencia osmótica con el entorno externo y provoca una penetración neta de agua a través de la membrana plasmática, lo que provoca una expansión celular. La pared celular está compuesta de polisacáridos, microfibrillas de quitina unidas covalentemente a polímeros lineales de glucanos y una variedad de glicoproteínas y lípidos. Asimismo, factores extrínsecos afectan en las concentraciones relativas de los componentes de la pared celular; como la edad del cultivo, las condiciones

ambientales de crecimiento, uso de medios sólidos y líquidos, las fuentes de nitrógeno y carbono, la temperatura, el pH, la iluminación, la adición de diferentes componentes. El micelio se vuelve más fibroso y rígido cuando crece sobre celulosa pura (1).

2.2.5. Hongo *Pleurotus ostreatus*

El hongo *Pleurotus ostreatus* es un hongo saprófito, que es considerado un descomponedor primario de materia orgánica, porque poseen aproximadamente 16 enzimas lignocelulósicos, las cuales tienen la capacidad de absorber carbono a partir de diferentes fuentes compuestas de un sustrato como los polímeros y carbohidratos (19).

- **Taxonomía**

La taxonomía del hongo *Pleurotus ostreatus* obtenida de la base de datos de UniProt es la siguiente (21):

- Dominio: Eukaryota
- Reino: Fungi
- Phylum: Basidiomycota
- Clase: Homobasidiomycetes
- Orden: Agaricales
- Familia: Pleurotaceae
- Género: *Pleurotus*
- Especie: *Pleurotus ostreatus*



Figura 3. Hongo *Pleurotus ostreatus* (22) (p. 7)

- **Características**

Esta especie posee un sombrero de un diámetro de 50 a 100 mm, la luz puede determinar su color, variando entre gris y azul. Posee un himenio de láminas blancas, su estípite oscila entre 7 a 18 μm , con una textura lisa. Tiene una apariencia blanquecina, sabor agradable, olor ligero. Sus esporas poseen una pared delgada entre 9 a 10.4 por 3.2 a 4 μm (19).

- **Hábitat**

El hongo *Pleurotus ostreatus* es una especie degradadora de madera, que está ampliamente distribuida en diferentes lugares alrededor del mundo, como Europa, América, Norte de África y Asia. En condiciones naturales, crece sobre tocones y ramas de árboles de hojas anchas muertas o debilitadas, en bosques de ribera, parques y jardines. Su crecimiento se produce en otoño y principios de primavera, aunque en lugares húmedos también se pueden encontrar en otras estaciones del año. Posee una alta versatilidad y adaptabilidad, ya que soporta un rango amplio de temperaturas; además, es resistente a plagas y enfermedades, y se puede cultivar en casi cualquier sustrato lignocelulósico como troncos, corteza o aserrín (23).

- **Usos**

a) **Alimento humano:** el hongo ostra "*Pleurotus ostreatus*" es producido y consumido a nivel nacional en algunas regiones del país, debido a su alto valor nutritivo. La composición principal de hongos es el agua de un 70 % al 95 %, dependiendo de su consistencia. En el caso de grasas posee un 0.05 % a 2 %, en carbohidratos contiene de 43 % a 78 %, por lo que se considera bajo en calorías. En minerales contiene un 2.6 % al 6.5 %, siendo rico en calcio, fósforo, hierro, sodio y potasio (24).

Tabla 2. Contenido nutricional del hongo *Pleurotus ostreatus*

Sustancia	%
Agua	92.2
Materia seca	7.8
Ceniza	9.5
Grasa	1
Proteína bruta	39
Fibra	7.5
Fibra cruda	1.4
Nitrógeno total	2.4
Calcio	33 mg / 100 g
Fósforo	1.34 mg / 100 g
Potasio	3793 mg / 100 g
Hierro	15.20 mg / 100 g
Ácido fólico	65 mg / 100 g

Nota: tomada de Herreros (24) (p. 31)

b) **Propiedades medicinales:** el hongo ostra es considerado como un probiótico, que ayuda a combatir enfermedades, restaurar y formar el sistema inmunológico para que funcione correctamente y eliminar factores malignos que pueden ser perjudiciales para la salud. El consumo del hongo ostra es recomendado para personas con problemas cardiovasculares, hipertensión y obesidad, ya que es muy beneficioso su consumo debido a su bajo contenido de grasa y sodio, con un alto contenido de potasio. Según experimentos de laboratorio en ratones, se ha demostrado un efecto hepatoprotector y su efecto antioxidante el cual retrasaría el proceso de envejecimiento (24).

- **Enfermedades**

Las enfermedades que afecta el crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus* generalmente son otros hongos, virus, bacterias, entre otros.

Factores como la humedad y temperatura, además de una inadecuada pasteurización del medio promueve la proliferación de contaminantes (19).

- *Dactylium dandroides*: este hongo invade el sustrato con moho color blanco. Las setas expuestas a contaminación pierden dureza e inician un ciclo de putrefacción. La cal viva en polvo permite contrarrestar los efectos de esta enfermedad (19).
- *Pseudomona tolaasii*: son bacterias que se transportan por medio del agua y plagas. Los síntomas que presenta el hongo contaminado son zonas de color amarillento o marrón, con tendencia a putrefacción en las áreas de color. Además, presenta un olor poco agradable la zona contaminada (19).
- *Trichoderma*: es un moho verde que se reproduce por esporas asexuales-conidiósporas verdes (25).



Figura 4. *Trichoderma* (25) (p. 21)

- *Rhizopus stolonifer*: es un tipo de moho que generalmente crece en el pan, posee esporas que flotan por el aire (26).



Figura 5. *Rhizopus stolonifer* (26) (p. 17)

- **Plagas**

Las plagas las constituyen los que, atraídos por el olor del sustrato, atacan los cultivos, estos insectos son llamados “moscas de los hongos” como los dípteros del género *Lycoriella* que ponen sus huevecillos en el sustrato donde en un principio se alimentan del micelio del hongo y después de las fructificaciones. Otros insectos comunes en los cultivos de setas son las llamadas “catarinas”: pequeños escarabajos de los géneros *Mycotretus* y *Pseudyschirus* que se comen los hongos en desarrollo (27).

2.2.6. Sustratos

- **Características de sustratos**

Para tener una buena producción de hongos, hay que tener en cuenta las características nutricionales de cada tipo de vegetal o planta utilizada como sustrato. Dependiendo de los requisitos alimenticios del hongo, las fuentes vegetales adecuadas pueden ser de gran potencial para el crecimiento micelial y fructificación del hongo. Por ejemplo, para el hongo *Pleurotus spp.* es muy importante que su sustrato sea rico en polisacáridos específicamente celulosa y hemicelulosa con una concentración de entre 60 % y 70 %, que son fuentes de carbono al igual que la lignina, presentes en desechos agroindustriales como bagazo de caña de azúcar, pulpa de café, entre otros; residuos forestales como pajas, rastrojos, aserrín y virutas de madera que mediante las enzimas utilizan estos polisacáridos para su crecimiento abundante. Algunos de los sustratos más utilizados para el cultivo de estos hongos son las pajas de

cebada, trigo, centeno, avena, arroz y sorgo, y en menor cantidad la pulpa de café y bagazos de caña de azúcar, entre otros. En ocasiones, es recomendable mezclar en distintas porciones los sustratos, para incrementar la producción de hongos. Los factores como el tamaño de los elementos vegetales (menor a 2 cm), la temperatura, el pH, la humedad (alrededor del 70 %), aireación, luminosidad, relación C/N va a afectar en el crecimiento micelial del hongo, por lo que es necesario tomarlos en cuenta para obtener un sustrato adecuado (27).

- **Componentes del sustrato**

- **Carbono:** el carbono en altas relaciones C/N que oscila entre el 50 % - 60 % del material orgánico favorece al crecimiento micelial, ya que es una fuente energética (19).
- **Polímeros:** los polímeros que componen un sustrato son naturales como la celulosa, hemicelulosa y lignina, estas forman parte de la pared celular vegetal, ya que sirve de estructura y soporte. Están compuestos por carbono y azúcares que son importantes nutrientes para el crecimiento micelial del hongo (19).
- **Azúcares:** la glucosa, la manosa y la galactosa son buenos sustratos para el crecimiento micelial, mientras que la xilosa y arabinosa producen un crecimiento deficiente (24).
- **Lípidos:** la adición de aceite vegetal tiene un efecto beneficioso sobre el crecimiento micelial (19).
- **Carbono y nitrógeno:** el nitrógeno es utilizado por el hongo para formar nuevas células y aumentar el crecimiento micelial en el sustrato. Los requerimientos de nitrógeno pueden ser sustituidas por proteínas y aminoácidos producidos por la descomposición químico-biológica de la materia orgánica. El carbono también es considerado como un

nutriente al igual que el nitrógeno, pero este favorece de igual manera al crecimiento micelial (19).

- **Minerales:** los minerales son absorbidos del sustrato por el hongo, estos son necesarios cuando llega la fructificación para que tenga un elevado porcentaje al momento de la ingesta humana (19).
- **Vitaminas:** la tiamina es la vitamina esencial para el crecimiento del hongo, si el sustrato posee esta vitamina no es necesario que posea otra (19).

- **Tratamiento de sustratos**

Los sustratos deben tratarse previamente, con la aplicación de calor para reducir la flora bacteriana dañina presente y evitar que los microorganismos compitan por el espacio y los nutrientes con el micelio del hongo que crecerá en el sustrato (27).

- **Métodos de desinfección de sustratos**

- **Alcalino:** es una técnica reciente que consiste en aplicar cal $[Ca(OH)_2]$ con agua, creando una sustancia alcalina, reduciendo microorganismos que puedan contaminar el sustrato. La capacidad desinfectante de la cal eleva el pH, haciéndola intolerante a otros microorganismos susceptibles, mientras que el hongo *P. ostreatus* puede tolerarla. Se recomienda una concentración de 0.5 % de cal durante 24 horas. Esta técnica tiene una gran ventaja sobre otras, porque es un método en frío, por lo que evita las altas temperaturas y por lo ende el consumo de energía (25).
- **Pasteurización:** es una técnica común de tratar el sustrato para el crecimiento efectivo del hongo y se pueden realizar de dos maneras diferentes:
 - **Pasteurización con vapor:** implica colocar el sustrato en un área cerrada, este puede ser un pequeño cuarto de concreto o un

recipiente metálico, se le aplica vapor generado por una caldera eléctrica, de diésel o gasolina a través de tuberías o mangueras de cobre resistentes al calor. Se recomienda que la temperatura alcance de 70 °C a 80 °C y que el sustrato se mantenga de 2 a 4 horas (27).

- **Pasteurización por inmersión en agua caliente:** el sustrato se sumerge en agua caliente de 75 °C a 80 °C de temperatura durante 1 hora (27).

- **Esterilizado:** se denomina esterilización al proceso mediante el cual se elimina todos los microorganismos del sustrato con la aplicación de altas temperaturas superiores a los 100 °C, mediante el uso de una autoclave. Los microorganismos pierden su capacidad de sobrevivir a temperaturas muy altas. Este método se usa comúnmente para esterilizar sustratos a pequeña escala (25).

2.2.7. Residuos lignocelulósicos

Los materiales lignocelulósicos suelen ser un sistema recalcitrante, debido a la integración fuerte de tres constituyentes poliméricos de proporciones variables de: celulosa, hemicelulosa y lignina que sirven de soporte estructural y confieren resistencia a la pared celular de células vegetales. Los polímeros lignocelulósicos son ampliamente utilizados en una serie de procesos industriales como la producción de alimentos, papel / pulpa, textiles, biocombustibles, detergentes, compuestos poliméricos, etc. Sin embargo, la velocidad y grado de degradación de lignocelulosa depende de enzimas ligninolíticas como herramientas biológicas (1).

2.2.8. Análisis FTIR

El análisis por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier es una técnica que proporciona un espectro de reflexión de grupos funcionales mediante bandas de sustancias inorgánicas y orgánicas. Proporciona información sobre los espectros de absorción infrarroja de la estructura y concentración molecular. Las moléculas manifiestan una

serie de bandas de absorción con un movimiento de vibración en el enlace específico, como los carbohidratos, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos (28).

Según el número de onda que da como resultado el análisis FTIR se tiene los siguientes grupos funcionales:

Tabla 3. Grupos funciones según el número de onda y banda espectral

Grupo funcional	Banda	(cm ⁻¹)
Alcanos	C-H t	2950-2800
	CH ₂ d	~1465
	CH ₃ d	~1375
	CH ₂ d (4 o más)	~720
Alquenos	=CH t	3100-3010
	C=C t (aislado)	1690-1630
	C=C t (conjugado)	1640-1610
	C-H d (en el plano)	1430-1290
	C-H d (mono-sustituído)	~990 y ~910
	C-H d (disustituído - E)	~970
	C-H d (disustituído - 1,1)	~890
	C-H d (disustituído - Z)	~700
	C-H d (tri-sustituído)	~815
Alquinos	C-H t (acetilénico)	~3300
	CC t (triple enlace)	~2150
	C-H d (acetilénico)	650-600
Aromáticos	C-H t	3020-3000
	C=C t	~1600 y ~1475
	C-H d (mono)	770-730 y 715-685
	C-H d (orto)	770-735
	C-H d (meta)	~880 y ~780 y ~690
	C-H d (para)	850-800
Alcoholes	O-H t	~3650 o 3400-3300
	C-O t	1260-1000
Éteres	C-O-C t (dialquil)	1300-1000
	C-O-C t (diaril)	~1250 y ~1120
Aldehídos	C-H t (aldehído)	~2850 y ~2750
	C=O t	~1725
Cetonas	C=O t	~1715
	C-C t	1300-1100
Ácidos carboxílicos	O-H t	3400-2400
	C=O t	1730-1700
	C-O t	1320-1210
	O-H d	1440-1400
Ésteres	C=O t	1750-1735
	C-C(O)-C t (acetatos)	1260-1230
	C-C(O)-C st (el resto)	1210-1160
Cloruros de ácidos	C=O t	1810-1775
	C-Cl st	730-550
Anhídridos	C=O t	1830-1800 y 1775-1740
	C-O t	1300-900
Aminas	N-H t	3500-3300
	N-H d	1640-1500
	C-N t (alquil)	1200-1025
	C-N t (aril)	1360-1250
	N-H d	~800

Amidas	N-H t	3500-3180
	C=O t	1680-1630
	N-H d	1640-1550
	N-H d (1°)	1570-1515
Haluros de alquilo	C-F t	1400-1000
	C-Cl t	785-540
	C-Br t	650-510
	C-I t	600-485
Nitrilos	C, N t (triple enlace)	~2250
Isocianatos	-N=C=O t	~2270
Isotiocianatos	-N=C=S t	~2125
Iminas	R ₂ C=N-R t	1690-1640
Grupos nitro	-NO ₂ (alifático)	1600-1530 y 1390-1300
	-NO ₂ (aromático)	1550-1490 y 1355-1315
Mercaptanos	S-H t	~2550
Sulfóxidos	S=O t	~1050
Sulfonas	S=O t	~1300 y ~1150
	S=O t	~1350 y ~11750
Sulfonatos	S-O t	1000-750
	S-O t	1000-750
Fosfinas	P-H t	2320-2270
	PH d	1090-810
Óxidos de fosfina	P=O t	1210-1140

Nota: t = vibración de tensión, d = deformación. Tomada de Quiored (29)

Para bandas de componentes mayoritarios como proteínas, carbohidratos, lípidos y agua se presentan algunas regiones espectrales:

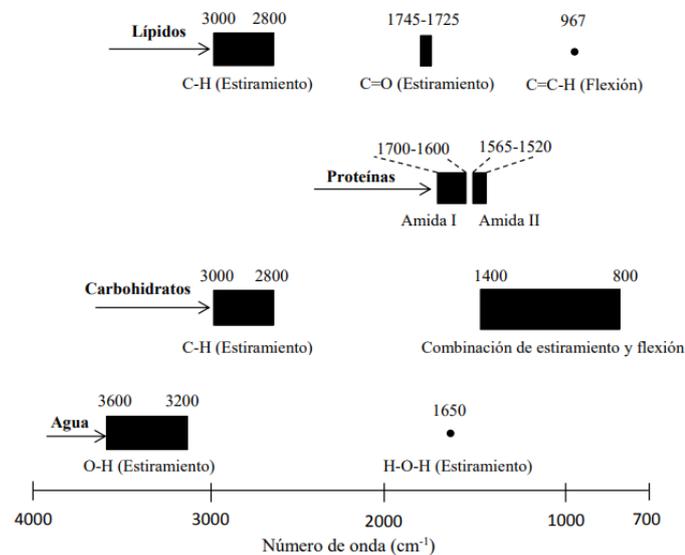


Figura 6. Resumen de regiones espectrales de bandas de absorción de componentes mayoritarios (28) (p. 70)

Para bandas de fibra dietéticas como celulosa, hemicelulosa y lignina se tienen los grupos funcionales y la posición de la absorción:

Tabla 4. Grupos funcionales característicos en estructuras químicas de fibras dietéticas

Fibra dietética	Grupo funcional
Celulosa	Alcoholes
	Alcanos
	Éteres
	Ácidos carboxílicos
Hemicelulosa	Alcoholes
	Ácidos carboxílicos
	Alcanos
	Éteres
Lignina	Grupo carboxílico y sus derivados
	Alcoholes
	Alcanos
	Aromático
	Éteres
	Ácidos carboxílicos y sus derivados

Nota: tomada de Arroyo et al. (30) (p. 277)

2.2.9. Parámetros de crecimiento micelial

El tipo de biomaterial obtenido depende de la naturaleza y el tratamiento del sustrato a utilizar, los parámetros de crecimiento, los requerimientos nutricionales y la genética del hongo utilizado. Aunque estos parámetros no han sido detallados en algunos estudios, son importantes en el nivel de colonización y el espesor del micelio para la determinación de la dureza, ductilidad, resistencia a la tracción, hidrofobicidad, entre otras (1).

La condición física del sustrato es crítica para su desempeño y sus propiedades estructurales del desarrollo micelial del biomaterial que se espera obtener. Las condiciones físicas requeridas a controlar para los materiales a base de micelio son los niveles de O₂, CO₂, humedad relativa, exposición a la luz, flujo de aire y la temperatura. De acuerdo a la evolución del micelio, se predice su clasificación en materiales biofabricados a partir del micelio vegetativo o micelio aéreo, tal como se explica a continuación (1).

Algunos factores que pueden afectar el crecimiento micelial del *Pleurotus ostreatus*:

a) La temperatura: a mayor temperatura de 18 °C – 28 °C el desarrollo micelial será más rápido, a menos temperatura 4 °C – 8 °C se tendrá un lento crecimiento (24).

b) La humedad relativa: es un factor de importancia para el correcto crecimiento micelial de las especies de *Pleurotus ostreatus*. Por ello, es necesario que la humedad relativa en el ambiente sea la suficiente para un buen desarrollo micelial, los valores deben oscilar entre 60 % a 70 % (24).

c) Tamaño de partícula: los tamaños de partículas muy pequeños dificultarán en la ventilación requerida para la respiración, mientras que las grandes obstaculizan la compactación del sustrato y la nutrición fúngica (24).

d) La aireación: el oxígeno es un elemento importante para el crecimiento de los primordios, por ser organismos aeróbicos. En el caso de *Pleurotus ostreatus*, se ha observado que altas concentraciones de dióxido de carbono pueden ayudar con la germinación de esporas y crecimiento micelial (24).

e) La luz: para la fructificación y formación de carpóforos debe tener una luz de intensidad 50 a 1000 lux (24).

Tabla 5. Parámetros de condiciones de crecimiento del hongo en la fase de crecimiento y fructificación

Factor	Crecimiento Micelial	Fructificación
Temperatura	24° a 30°C	15 °C a 18 °C
Luminosidad	Oscuridad	Luz indirecta (longitudes de onda menores a 600 nm) y un fotoperiodo de 12 horas
Humedad relativa	30 a 40 %	85 % a 90 %
Aireación	28 % de CO ₂ , 20 % de oxígeno en el ambiente.	20 % de oxígeno y menos de 700 ppm de CO ₂ en el ambiente.
pH	5 a 6 (bajo 4 existe inhibición)	5 a 6 (bajo 4 existe inhibición)

Nota: tomada de Sifuentes (21) (p. 21)

2.2.10. Biomateriales

Los biomateriales pueden ser:

- Los biobasados, que son materiales que tienen un porcentaje de componentes biológicos en su estructura (1).
- Los biofabricados, que son productos que utilizan microorganismos vivos, ya sea como materia prima o en el proceso de fabricación (1).

A pesar de que el último tipo de biomaterial también puede reconocerse como biobasado, este se distingue por crecer, adherirse y moldearse a una superficie con ciertos tipo de organismos vivos (1).

Los materiales biológicos deben cumplir con ciertos criterios, como tener una densidad y un peso apropiados, deben ser inertes, tener una resistencia mecánica apropiada, ser fáciles de fabricar y producir a gran escala (1).

2.2.11. Biomateriales a base de micelio fúngico

En el caso de los biomateriales a base de micelio, se hace referencia a aquellos materiales que son autogenerados por la estructura micelial del hongo, entendiéndose, así como materiales biofabricados. Los sustratos lignocelulósicos son ideales para la producción de biomateriales a base de micelio fúngico (1).

Los materiales compuestos a base de micelio son el resultado del crecimiento micelial vegetativo o aéreo en materiales orgánicos como desechos agrícolas. Entre los sustratos más utilizados se encuentran los residuos agroindustriales, forestales y la biomasa residual de bosques (1).

2.2.12. Aplicaciones de los biomateriales

Las aplicaciones de biomateriales derivan de las diferentes necesidades, generando soluciones innovadores y amigables, creando patentes en distintas regiones del mundo para la industria automotriz,

textil, embalaje, entre otros. Una de las empresas con mayor cantidad de patentes ha sido producida por “Ecovative” de origen norteamericano y está dirigida al desarrollo de tecnología basada en micelio (2).



Figura 7. Embalaje a base de micelio de hongo de la empresa de Ecovative Desing (31)

“Biohm” es una empresa de origen británico que realiza investigaciones sobre el micelio como material aislante para aplicación en construcción sustentable (10).



Figura 8. Material de construcción de la empresa Biohm (32)

Una de las patentes más revolucionarias fueron los ladrillos de Philip Ross, micólogo de la Universidad de Stanford, que descubrió la resistencia al fuego, agua y humedad cuando el micelio de hongo se seca, creando un material de construcción fuerte, ligero y ecológico (10).



Figura 9. Estructura con ladrillos de micotectura realizada por Phil Ross (33)

Finalmente, las empresas como “*Mycoworks INC*”, “*Bolt Threads*”, “*Mycotech Lab*”, son pioneros en la generación de alternativas para la industria textil como el cuero, logrando crear el cuero micelial que tiene la apariencia y propiedades similares al del cuero convencional (1).



Figura 10. "Mylo" es el cuero a base de micelio (34)

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Biodegradabilidad

La biodegradabilidad es la capacidad que tienen los compuestos orgánicos o inorgánicos de ser absorbidos por los ecosistemas, lo que no genera contaminación y puede ser degradado bajo condiciones naturales por microorganismos, el sol, la lluvia, el viento, humedad, etc., en un tiempo relativamente corto. El proceso de biodegradación está relacionado con la estructura molecular del polímero (35).

2.3.2. Biomaterial

Un material funcional que ha sido diseñado y construido a partir de materia prima biológica, tales como plantas, algas, bacterias, hongos, asociaciones simbióticas mutualistas de microorganismos o bióticos microbianos. Estos biomateriales, considerados productos finales, pueden o no estar mezclados con materiales naturales, compuestos o residuos orgánicos. Se trata de materiales que son autogenerados por un determinado tipo de organismo vivo y se basan en nuevos modelos alternativos de la fabricación, ya que parten de la lógica de desarrollar nuevos materiales en lugar de extraerlos, combinando principios de la economía circular, asegurando la susceptibilidad de estos a ser degradados y volver a su estado original en la naturaleza (12).

2.3.3. Celulosa

La celulosa está formada por hidratos de carbono, siendo las más abundantes sobre la Tierra y constituye aproximadamente el 45 % del peso seco de la madera. Cada cadena de celulosa está ligada a otras cadenas mediante enlaces de hidrógeno y fuerzas de *van der Waals* que aportan rigidez. De acuerdo al número de enlaces de hidrógeno, si son pocas, la celulosa se considera amorfa; mientras que si son abundantes generan diferentes formas cristalinas denominadas celulosa I, II, III y IV. La celulosa I se encuentra normalmente en la pared celular (1).

2.3.4. Lignina

La lignina es una sustancia química difícil de degradar, que tiene la propiedad de dar rigidez y brindar protección contra el ataque de los microorganismos. Es el polímero aromático más abundante, esta se mantiene unida a la celulosa y la hemicelulosa entre sí rellenando, pegando y reforzando toda la estructura. La molécula de lignina está conformada por varios ácidos y alcoholes, con radicales de estructura tridimensional (36).

2.3.5. Hemicelulosa

Las hemicelulosas, al igual que la celulosa, se han perfilado como fuentes de carbohidratos que son estructurales. La hemicelulosa suele ser un polímero de menor masa molar que la celulosa y más fácilmente hidrolizable debido a su estructura predominantemente amorfa. Los polímeros de hemicelulosa forman una estructura polimérica compleja, ramificada y tienen una mayor diversidad estructural que consiste en la unión de diferentes unidades de azúcares que incluyen xilano, xiloglucano, manano, glucomanano, galactoglucomanano y calosa (7).

2.3.6. Desinfección

Son métodos utilizados con el fin de controlar el crecimiento microbiano, reduciendo o eliminando la carga microbiana (25).

2.3.7. Esterilización

Es un método de desinfección que elimina en su totalidad el crecimiento microbiano alcanzando la esterilidad (25).

2.3.8. Sustrato

Un sustrato es un medio sólido e inerte que protege y da soporte el crecimiento de los organismos que habita en él, lo que permite que la solución nutritiva esté disponible para el desarrollo. Es una materia prima en la producción de hongos, que está compuesto con desechos orgánicos provenientes de la industria agrícola, sobre los cuales crece el micelio del hongo. Algunos hongos pueden usar diferentes sustratos, mientras que otros son muy selectivos. Esta selectividad depende de los nutrientes disponibles en el sustrato. Un sustrato selectivo es aquel que satisface los requerimientos nutricionales de un tipo de hongo específico y no satisface la de otros. Las pajas de gramíneas son un buen ejemplo de sustrato selectivo (24).

2.3.9. Aserrín

El aserrín es un residuo forestal, conformado por partículas o polvillo que se desprenden de la madera en procesos de transformación

como el aserrado, además del polvo, también se genera viruta que es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o en espiral. El aserrín oscila en tamaño de partícula de 1 a 10 mm, con un 25 % a 40 % de contenido de humedad y de cenizas del 0.5 % a 2.0 %. En caso de la viruta oscila en tamaño de partícula de 1 a 12 mm, con un contenido de humedad de 10-20 % y contenido de cenizas 0.1 a 1.0 %. Tiene una densidad alta de 87-300 kg/m³ (37).

2.3.10. Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es un residuo agrícola procedente de la cosecha del cultivo del arroz. Recubre al grano de arroz, está constituido de celulosa y sílice, es de consistencia quebradiza, posee una densidad baja, el tamaño de partícula oscila de 5 a 11 mm, el contenido de humedad es de 8 %, tiene una densidad de 0.1 kg/m³ (38).

2.3.11. Harina de trigo

Se entiende por harina de trigo como producto elaborado con granos de trigo que fueron procesados mediante la trituración o molienda. Presenta un alto contenido de proteínas, lípidos, calcio, fósforo, vitaminas B1 y B2 (39).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método

El método de la investigación puede tener un enfoque cuantitativo o cualitativo. El enfoque cuantitativo se fundamenta en la revisión analítica del marco teórico, orientado en la predicción y explicación, siendo específico, centrado en variables, dirigido hacia datos medibles u observables, y poder probar la hipótesis. El enfoque cualitativo está basado en las experiencias iniciales, orientado hacia la exploración y entendimiento, orientándose de forma abierta según se desarrolla el proceso, generándose una hipótesis durante o al final (40).

El método hipotético-deductivo consiste en determinar una hipótesis de las posibles soluciones al problema planteado y comprobar mediante datos disponibles (41).

El método de la presente investigación es cuantitativo, debido al fundamento teórico, la explicación de la relación entre variables el micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* y residuos lignocelulósicos, con datos observables y medibles para comprobar la hipótesis y poder deducir conclusiones.

3.1.2. Tipo de investigación

Existen diferentes tipos de investigación, las cuales depende del objetivo, problema y la hipótesis que se formule (42). Algunos tipos de investigación son:

- Histórica: analiza y relaciona eventos pasados con los futuros.
- Descriptiva: describe cualidades o atributos del objeto de estudio.
- Correlacional: mide la relación entre variables.
- Explicativa: da razones sobre fenómenos.
- Experimental: analiza la acción o manipulación de una o más variables independiente sobre otras dependientes.

La presente investigación es de tipo experimental, debido al análisis en la manipulación de variables como el micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* y residuos lignocelulósicos para elaborar los biomateriales.

3.1.3. Nivel de investigación

Los niveles de investigación pueden ser causales o no, las no causales no pretenden descubrir relaciones entre variables y las causales sí pretenden descubrir las relaciones entre variables. Algunos niveles de investigación no causales pueden ser exploratorio, descriptivo y correlacional; causales pueden ser explicativo, predictivo o experimental (43).

La presente investigación es de nivel explicativo, porque explica el comportamiento de variables como el micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* y residuos lignocelulósicos en función de la variable de los biomateriales mediante estudios de causa y efecto que requiere un control.

3.1.4. Alcance

La delimitación o alcance de la investigación se refiere a la dimensión, espacio geográfico, periodo de tiempo y perfil sociodemográfico del objeto de estudio (42).

La investigación tuvo como alcance la región de Arequipa, obteniendo ahí los residuos lignocelulósicos y se realizó el biomaterial en el 2021. Arequipa es una región con un gran territorio agrícola y presencia de empresas madereras; en diferentes distritos de la región de Arequipa se determinaron puntos de recolección o venta de residuos lignocelulósicos.



Figura 11. Región de Arequipa. Área de obtención de los residuos lignocelulósicos. Tomada de Google Maps

El lugar donde se obtienen los residuos agrícolas como la cascarilla de arroz, entre otros, es en tiendas de insumos agropecuarios. En la Av. Villa Hermosa en el distrito de Paucarpata se ubica una de las tiendas vendedoras de cascarilla de arroz.



Figura 12. Distrito de Paucarpata. Área de obtención de cascarilla de arroz en tienda distribuidora. Tomada de Google Maps

El lugar donde se obtienen los residuos lignocelulósicos del sector maderero como el aserrín y viruta son de las carpinterías. En la Av. Jesús del distrito de Arequipa se ubican diferentes carpinterías y empresas madereras.

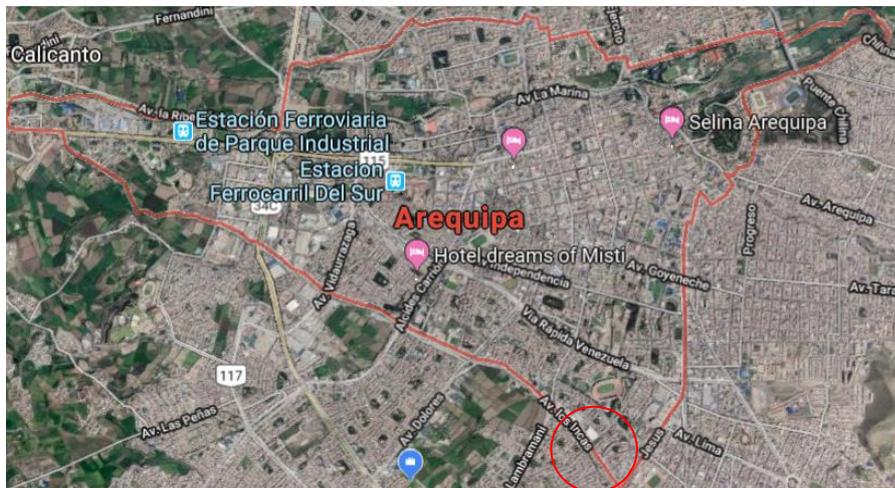


Figura 13. Distrito de Arequipa. Área de obtención de aserrín y viruta en madereras. Tomada de Google Maps

3.2. Diseño de la investigación

La investigación cuantitativa tiene diferentes diseños, como la investigación experimental y no experimental. En la investigación experimental existen categorías: preexperimentales, cuasiexperimentales y experimentales verdaderas o puras; esta clasificación está fundamentada en el grado de control que se ejerce sobre las variables del objeto de estudio y el grado aleatorio que se asignan a los sujetos de la investigación a varios de ellos (42).

La presente investigación es de diseño experimental puro con dos grupos aleatorios. “Es un diseño con un grupo experimental y uno de control, que incluye la asignación aleatoria a las unidades de análisis a ambos grupos, no efectuando medición previa a la variable dependiente” (42). Los residuos lignocelulósicos que se utilizaron como insumos son la cascarilla de arroz, el aserrín y viruta y el control de las variables intervinientes como la temperatura, la humedad y la luminosidad para la elaboración de los biomateriales.

3.2.1. Esquematización del diseño de investigación

Grupo experimental: (R) → X → O1

Grupo control: (R) → - → O2

Donde

(R): asignación aleatoria de los residuos lignocelulósicos.

X: variable independiente (aplicación del micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* en residuos lignocelulósicos)

O1: medición de la variable dependiente (biomaterial)

O2: medición de la variación (residuos lignocelulósicos)

- : ausencia del estímulo experimental (aplicación del micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* en residuos lignocelulósicos)

3.2.2. Representación del diseño de investigación

Tabla 6. Diseño de la investigación

Número de pruebas	Bloque	Tratamiento	CA (%)	AS (%)	SE (%)	HA (%)	AG (%)
1	1	CA ₁₀₀ :AS ₀	100	0	50	10	40
2	1	CA ₀ :AS ₁₀₀	0	100	50	10	40
3	1	CA ₅₀ :AS ₅₀	50	50	50	10	40

Nota: CA: cascarilla de arroz, AS: aserrín y viruta, HA: harina de trigo (suplemento alimenticio), SE: semilla de hongo. En los tratamientos T#-CN_x:AS_y el índice X representa a la concentración de la cascarilla de arroz y el subíndice Y la concentración de aserrín. Tomada de Oliveros y Bautista (44) (p. 326)

3.2.3. Metodología de la investigación

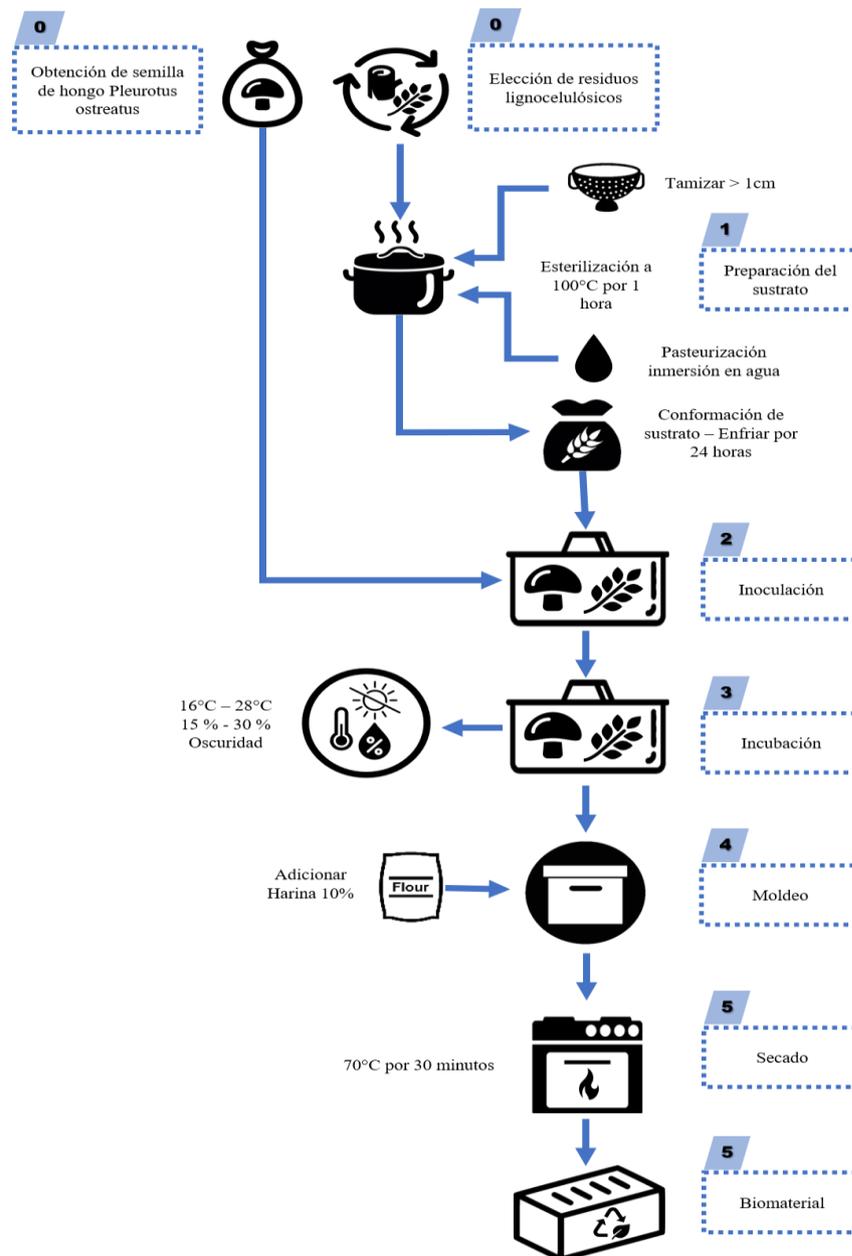


Figura 14. Proceso metodológico de la investigación

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población es el conjunto de elementos con ciertas características similares a los cuales se desea inferir en la investigación (42). En la presente investigación se toma como población los residuos lignocelulósicos generados en la región de Arequipa.

3.3.2. Muestra

La muestra es parte de la población que se selecciona para obtener información para el desarrollo de la investigación y sobre la cual se efectúa la medición y observación de variables (42).

Se tomó como muestras de residuos lignocelulósicos agrícolas la cascarilla de arroz, el aserrín y viruta de madereras, los cuales fueron obtenidos de diferentes distritos de la región de Arequipa.

3.3.3. Muestreo

El muestreo no probabilístico está dirigido a una selección por las características de la investigación y no por un criterio estadístico (40).

Para la obtención de las muestras de residuos lignocelulósicos agrícolas como la cascarilla de arroz, el aserrín y viruta del sector maderero en la región de Arequipa, se realizó mediante un muestreo no probabilístico intencional o deliberado, debido a que se conocen las características de lo que se quiere estudiar de la población.

El primer punto de muestreo para la obtención de la cascarilla de arroz, se dio lugar en una tienda de insumos agropecuarios ubicado en la Av. Villa Hermosa en el distrito de Paucarpata, provincia y departamento de Arequipa.

El segundo punto de muestreo para obtener el aserrín y viruta, se dio lugar en el sector maderero en una carpintería ubicada en la Av. Jesús en el distrito de Arequipa.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de la investigación

Las técnicas de investigación son procedimientos mediante los cuales se obtienen datos e información, algunas técnicas pueden ser la encuesta, entrevista, análisis documental, observación de campo, etc.

(43). En la presente investigación se utilizaron técnicas como el análisis documental y observación de campo.

3.4.2. Instrumentos de la investigación

Los instrumentos son el medio por el cual los datos van a ser obtenidos y recolectados para su posterior análisis e interpretación, algunos instrumentos de investigación pueden ser el cuestionario, guía de entrevista, documentos, guía de observación de campo, etc. (43). Según las técnicas a utilizar se emplearon los siguientes instrumentos para esta investigación:

- Para la técnica de análisis documental: se tiene como instrumento una computadora portátil donde se almacena toda información (libros, artículos científicos, tesis, etc.) referida a la investigación.
- Para la técnica de observación de campo: se tiene como instrumentos, un diario de campo y una cámara fotográfica para recolectar información y fotografías referidas a la investigación.
- Para la técnica de experimentación: se tiene como instrumentos al termohigrómetro digital, balanza gramera digital, recipientes de diferentes tamaños, tamizador, atomizador, alcohol, agua destilada, algodón, saga, guantes quirúrgicos, olla de cocina, gas, vela, recipiente graduado, pinzas, bolsas de polipropileno, ensayo de análisis FTIR (espectrofotómetro FTIR- *PerkinElmer Spectrum IR* Versión 10.6.0) realizado en laboratorio LABINVSERV-UNAS. Los resultados fueron registrados en el programa Microsoft Excel.

3.4.3. Procesamiento estadístico de la información

3.4.3.1. Estadísticos

Es necesario realizar un análisis estadístico de valores y factores, sus efectos e interacciones relacionados que van a influir en el resultado final de las pruebas de experimentación, y así explicar la relación causa – efecto (45).

3.4.3.2. Representación

La representación de la presente investigación se realizó mediante tablas y figuras estadísticas obtenidas en el programa de Statgraphics XVIII. Se emplearon tablas como, la tabla de análisis de varianza (Anova) que contiene p-valor que es usado para evaluar cada uno de los efectos estadísticos significativos. La figura de Pareto estandarizado de efectos, muestra los efectos en orden decreciente de importancia, con una línea que determina qué efecto es estadísticamente significativo. La figura de efectos principales, que muestra el cambio estimado en la variable respuesta cuando cada factor cambia de nivel alto a nivel bajo. La tabla de coeficientes de regresión, que da a conocer la ecuación de regresión. La tabla de respuesta óptima, que brinda los valores óptimos y su representación gráfica en el contorno o superficie estimada de respuesta (45).

3.4.3.3. Técnica de comprobación de la hipótesis

La técnica empleada para la comprobación de la hipótesis de la presente investigación se realizó mediante la tabla de análisis de varianza conocido también como Anova (*Analysis of Variance*), evalúa la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable respuesta en los niveles de dichos factores, es empleada cuando se quiere probar la hipótesis nula o alternativa. La hipótesis nula es cuando los niveles de los factores elegidos son iguales y la alternativa se da cuando al menos una es diferente (45).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Resultados

4.1.1.1. Descripción del procedimiento de aplicación de micelio de hongo “*Pleurotus ostreatus*” en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales

a) Obtención de la semilla de Hongo “*Pleurotus ostreatus*”

El micelio de hongo “*Pleurotus ostreatus*” se adquirió mediante la semilla de hongo, que es la inoculación de la cepa de hongo en granos de trigo, que fue obtenida de la empresa de Agromati E. I. R. L. “La Aldea” productora de diferentes hongos comestibles ubicada en Independencia, comité 5 D-2 Cusco, departamento de Cusco. La semilla de hongo fue almacenada a una temperatura de 4 °C hasta su uso (12).



Figura 15. 1 kg de semilla de hongo *Pleurotus ostreatus* inoculado en granos de trigo por la empresa de productora de hongos “La Aldea”

b) Obtención de los residuos lignocelulósicos

Los residuos lignocelulósicos empleados en esta investigación, cascarilla de arroz, aserrín y viruta son residuos disponibles, abundantes, de bajo precio y de fácil adquisición y transporte en la región de Arequipa; obtenidos de las siguientes fuentes: la cascarilla de arroz se obtuvo de una distribuidora de alimentos balanceados “San Bernardo” ubicada en la Av. Villa Hermosa, Paucarpata. El aserrín se obtuvo de la maderera Ochoa ubicado en la Av. Jesús del distrito de Arequipa.



Figura 16. Residuos lignocelulósicos obtenidos en la provincia de Arequipa

c) Caracterización de residuos lignocelulósicos

Se realizó un análisis por espectrometría infrarrojo FTIR, con grupos funcionales y análisis de humedad, ceniza y grasas de la cascarilla de arroz, el aserrín y viruta, en el laboratorio “LABINVSERV” de la Universidad San Agustín. Donde se obtuvieron los siguientes resultados:

– Contenido de humedad (%)

Tabla 7. Resultados de la concentración de humedad en los residuos lignocelulósicos

Humedad (%)	
Cascarilla de arroz 4.97	Aserrín y viruta 5.78

El aserrín y viruta tienen un ligero porcentaje de concentración de humedad más alto que la cascarilla de arroz.

– Contenido de cenizas (%)

Tabla 8. Resultados de la concentración de cenizas de los residuos lignocelulósicos

Ceniza (%)	
Cascarilla de arroz 18.71	Aserrín y viruta 0.89

La cascarilla de arroz tiene un mayor porcentaje de ceniza que el aserrín o viruta.

– Contenido de grasas (%)

Tabla 9. Resultados de la concentración de grasas de los residuos lignocelulósicos

Grasa (%)	
Cascarilla de arroz 0.67	Aserrín y viruta 0.31

La cascarilla de arroz tiene un ligero porcentaje de contenido de grasa más alto que el aserrín y la viruta.

– **Grupos funcionales**

Los resultados del análisis por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier de los residuos lignocelulósicos cascarilla de arroz, aserrín y viruta obtenidos en la ciudad de Arequipa utilizados en la presente investigación fueron los siguientes:

Tabla 10. Componentes y grupos funcionales de la cascarilla de arroz según el análisis FTIR

Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional cascarilla de arroz	Componentes
3343.23	-OH (Alcohol)	Agua
1727	C=O (Ácido carboxílico)	Lípido
1634.67	N-H (Amina)	Proteína
1605.40	N-H (Amina)	Proteína
1509.60	C=C (Aromático)	Proteína
1420.90	C-H (Alqueno)	Carbohidrato
1369.80	C=C (Alqueno)	Carbohidrato
1319.00	C-O (Ácido carboxílico)	Carbohidrato
1034.95	SiO ₂ (Sílice o cuarzo)	Mineral
791.32	SiO ₂ (Sílice o cuarzo)	Mineral

Tabla 11. Componentes y grupos funcionales de aserrín y viruta según el análisis FTIR

Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional aserrín y viruta	Componentes
3340.01	-OH (Alcohol)	Agua
2882.39	C-H (Alcano)	Carbohidrato
1734.80	C=O (Aldehído)	Lípido
1594.11	C=C (Aromático)	Proteínas
1507.73	C=C (Aromático)	Proteínas
1420.54	C-H (Alqueno)	Carbohidrato
1320.40	C-O (Ácido carboxílico)	Carbohidrato
1263.75	C-O-C (Éter)	Carbohidrato
1226.00	C-O-C (Éter)	Carbohidrato
1023.77	C-O (Anhídrido)	Carbohidrato
895.95	-C-C (Alqueno)	Carbohidrato

Según los resultados del análisis FTIR de los residuos lignocelulósicos de cascarilla de arroz, aserrín y viruta como sustratos para el crecimiento micelial del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Se denota que la cascarilla de arroz tiene una variedad de compuestos, siendo las proteínas y los carbohidratos los componentes predominantes, seguido de minerales como el sílice, lípidos y agua. Según los grupos funcionales de alcoholes y varios

ácidos denota la presencia de lignina, los carbohidratos complejos denotan la hemicelulosa y la celulosa con los hidratos de carbono. El mineral como la sílice le dan la facultad de dureza y resistencia.

A comparación con la cascarilla de arroz, el aserrín y viruta tienen una gran cantidad de carbohidratos seguido de proteínas, lípido y agua. Según los grupos funcionales predomina la hemicelulosa con los carbohidratos complejos, seguido de la celulosa con los hidratos de carbono y por los alcoholes, el ácido y la lignina.

d) Determinación de proporciones óptimas de aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales

Las proporciones óptimas para obtener biomateriales en la aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos se van a enfocar en las cantidades de los componentes del sustrato, teniendo un equilibrio entre los residuos lignocelulósicos, semilla de hongo suplemento y agua; determinando la composición porcentual del sustrato (46).

La semilla de hongo es un factor determinante en la expansión del hongo, a más porcentaje el crecimiento se incrementa con mayor rapidez. Para ello, se realizó un experimento adicional con las mismas pautas de la descripción del procedimiento detallado en el ítem 4.1.1.1, para poder determinar las proporciones óptimas.

Para determinar las proporciones óptimas se realizaron dos pruebas con diferentes proporciones (38):

Tabla 12. Prueba 1 para obtener biomateriales

Sustrato			
Residuos Lignocelulósicos	Semilla de hongo	Suplemento (harina)	Líquido (agua)
40 %	20 %	10 %	40 %

Tabla 13. Prueba 2 para obtener biomateriales

Sustrato			
Residuos Lignocelulósicos	Semilla de hongo	Suplemento (harina)	Líquido (agua)
40 %	10 %	10 %	40 %

e) Preparación del sustrato

Primero, se verificó el tamaño de partícula de los residuos lignocelulósicos. En caso del aserrín y viruta, se trituró y tamizó reduciendo su tamaño, utilizando una partícula menor a 2 cm. La cascarilla de arroz no se trituró ni tamizó, ya que tiene la granulometría correcta de 5 mm.

Se prepararon los sustratos con las mezclas de residuos lignocelulósicos, utilizando distintas proporciones de cascarilla de arroz, aserrín y viruta para incubarlos. Se pesó 300 g de cascarilla de arroz, aserrín y viruta y la mezcla de ambas.

Tabla 14. Composición de sustratos según tratamiento

Tratamiento	Peso AS (g)	Peso CA (g)
CA ₀ :AS ₁₀₀	300	0
CA ₁₀₀ :AS ₀	0	300
CA ₅₀ :AS ₅₀	150	150

Nota: CA: cascarilla de arroz, AS: aserrín y viruta, SE: semilla de hongo. En los tratamientos T#-CN_x:AS_y el índice X representa a la concentración de la cascarilla de arroz y el subíndice Y la concentración de aserrín.

Según las proporciones establecidas en la Tabla 11 y 12 se procedió a sacar los porcentajes de suplemento y agua para añadirlo en cada sustrato según el tratamiento:

Para cada tratamiento corresponde un 10 % de suplemento según ambas proporciones, agregando 30 g de harina como suplemento alimenticio de nitrógeno para un mayor

crecimiento (44). Teniendo como total 330 g se sustrato seco en cada tratamiento. El 40 % de agua según ambas proporciones se añadirá al total del sustrato en seco obtenido. Teniendo como resultado 132 ml para añadir en cada sustrato según tratamiento. Una vez conformados los sustratos deberán ser mezclados hasta conseguir una consistencia húmeda en todo el sustrato.

Tabla 15. Composición del sustrato según las pruebas 1 y 2

Tratamiento	Peso AS (g)	Peso CA (g)	HA (g)	AG (ml)
CA ₀ :AS ₁₀₀	300	0	30	132
CA ₁₀₀ :AS ₀	0	300	30	132
CA ₅₀ :AS ₅₀	150	150	30	132

Nota: CA: Cascarilla de Arroz, AS: Aserrín y Viruta, HA: Harina de Trigo (suplemento alimenticio), AG: Agua. En los tratamientos T#-CN_x:AS_y, el índice X representa a la concentración de la cascarilla de arroz y el subíndice Y la concentración de aserrín

El sustrato obtenido en cada tratamiento es embolsado y pesado en bolsas de plástico que tengan resistencia a altas temperaturas como el polipropileno y se rotula según el tratamiento y número de prueba.

Para la esterilización se eligió el método de pasteurización por vapor o baño maría, se añadió un litro de agua en una olla alta con base metálica y se colocaron las bolsas de sustrato envueltos en gasa, se tapó y a alto fuego se sometió a temperaturas mayor a 100 °C durante una hora. Luego se dejó enfriar durante 24 horas.

f) Inoculación

Para la siembra o inoculación del hongo en el sustrato, el área de trabajo y los utensilios fueron desinfectados previamente con alcohol al 70 % y papel toalla.

Según las proporciones establecidas en las tablas 11 y 12, la semilla de hongo debe ser añadida en un 20 % y 10 % del peso total de los sustratos obtenidos en cada tratamiento. Cada bolsa de tratamiento obtenido tiene un peso de 462 g, por lo que

corresponde 92.4 g y 46.2 g añadir en las bolsas según las pruebas 1 y 2.

Tabla 16. Composición del sustrato según la prueba 1

Tratamiento	Peso AS (g)	Peso CA (g)	HA (g)	AG (ml)	SE (g)
CA ₀ :AS ₁₀₀	300	0	30	132	92.4
CA ₁₀₀ :AS ₀	0	300	30	132	92.4
CA ₅₀ :AS ₅₀	150	150	30	132	92.4

Nota: CA: cascarilla de arroz, AS: aserrín y viruta, HA: harina de trigo (suplemento alimenticio), AG: agua, SE: semilla de hongo

En los tratamientos T#-CN_x:AS_y el índice X representa a la concentración de la cascarilla de arroz y el subíndice Y la concentración de aserrín.

Tabla 17. Composición del sustrato según la prueba 2

Tratamiento	Peso AS (g)	Peso CA (g)	HA (g)	AG (ml)	SE (g)
CA ₀ :AS ₁₀₀	300	0	30	132	46.2
CA ₁₀₀ :AS ₀	0	300	30	132	46.2
CA ₅₀ :AS ₅₀	150	150	30	132	46.2

Nota: CA: cascarilla de arroz, AS: aserrín y viruta, HA: harina de trigo (suplemento alimenticio), AG: agua, SE: semilla de hongo.

En los tratamientos T#-CN_x:AS_y el índice X representa a la concentración de la cascarilla de arroz y el subíndice Y la concentración de aserrín.

g) Incubación

Para la incubación, las bolsas inoculadas fueron cerradas con un tapón de algodón y un anillo de cartón reciclable para el intercambio gaseoso, además se dejó una porción de aire adentro para la oxigenación. En algunos casos se observó sudoración, por ello se vertieron en recipientes, los cuales fueron tapados con papel aluminio y con una aguja desinfectada se hicieron huecos en la parte superior para el intercambio gaseoso. Luego, se colocaron en un ambiente oscuro para la expansión del micelio.



Figura 17. Sudoración excesiva del sustrato

Se tuvieron en cuenta algunos parámetros de crecimiento micelial como la temperatura, la humedad relativa, luminosidad para obtener un mayor factor de crecimiento posible.

Mediante un termohigrómetro se registraron la temperatura y humedad relativa del ambiente de incubación. Se acondicionó un cuarto prefabricado de madera como ambiente de incubación; donde durante la mañana y tarde recibe toda la radiación solar alcanzando temperaturas altas dentro del ambiente; por la noche las temperaturas bajan alcanzando temperaturas relativamente moderadas por la absorción de energía solar acumulada en las paredes del cuarto de madera.

Para la luminosidad se acondicionó un estante cubierto con plásticas negras para mantener la oscuridad durante el crecimiento, y se mantuvo las ventanas abiertas para un buen intercambio gaseoso en el ambiente.

Tabla 18. Promedios de temperatura y humedad del ambiente de incubación

Tiempo	Temperatura	Humedad relativa
Mañana	28 °C	24 %
Tarde	30 °C	18 %
Noche	16 °C	27 %

Nota: el registro completo de temperatura y humedad relativa está en el anexo 5

Durante el transcurso de los días se monitoreó la colonización de los sustratos hasta el día 30, donde se observó un crecimiento micelial en los diferentes tratamientos de las pruebas establecidas, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19. Crecimiento total en tratamientos - prueba 1

Prueba 1	
Tratamiento	Día de crecimiento total
CA ₀ :AS ₁₀₀	Día 26
CA ₁₀₀ :AS ₀	Día 29
CA ₅₀ :AS ₅₀	Día 27

Nota: el registro completo de crecimiento está en el anexo 6

Tabla 20. Crecimiento total en tratamientos - prueba 2

Prueba 2	
Tratamiento	Día de crecimiento total
CA ₀ :AS ₁₀₀	Día 28
CA ₁₀₀ :AS ₀	Día 30
CA ₅₀ :AS ₅₀	Día 29

Nota: el registro completo de crecimiento está en el anexo 6

Se observó un rápido crecimiento en el aserrín, terminando la colonización del sustrato a los 26 días en la prueba 1 y 28 días en la prueba 2, a comparación de la cascarilla de arroz que tuvo una colonización a los 29 días la prueba 1 y 30 días en la prueba 2 y la mezcla de ambos a los 27 días en la prueba 1 y 29 días en la prueba 2 de la inoculación. Siendo el crecimiento más rápido en los tratamientos de la prueba 1.

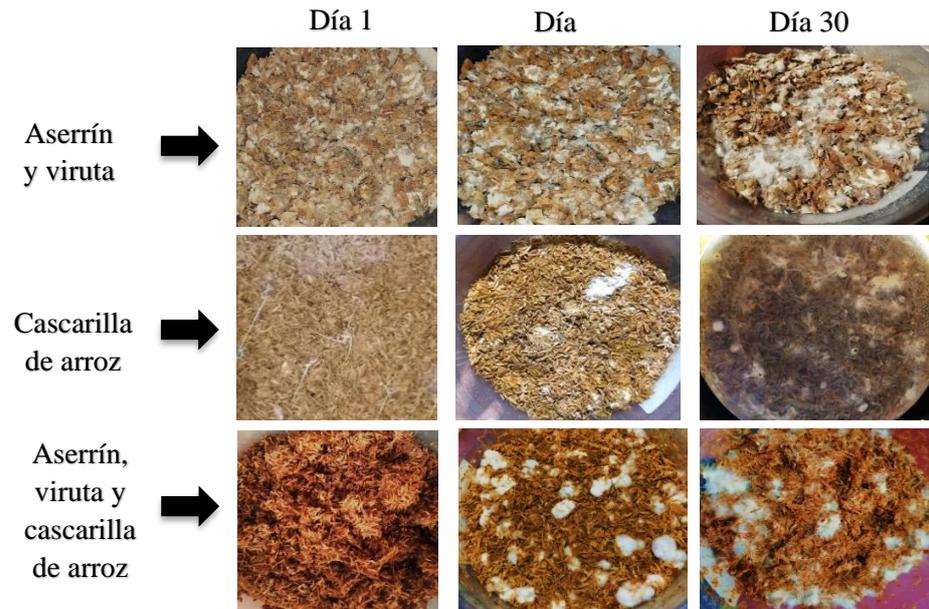


Figura 18. Comparación de colonización de micelio en sustratos

h) Moldeado

Cuando el micelio invadió todo el sustrato, se realizó el moldeado en envases de plástico (44). Las bolsas con los sustratos colonizados se vaciaron en un recipiente grande, como estaban aglomerados por el micelio se desmenuzó hasta quedar de consistencia suelta. Luego, se vertieron de a pocos y ejerciendo fuerza para que puedan quedar compactos en los envases de plásticos o de aluminio para su fácil desmolde, dejando que se desarrolle el micelio durante 7 días.



Figura 19. Moldeado en envases de plástico y aluminio

i) Secado

Finalmente, las muestras se desmoldaron y secaron en un horno convencional para quitar la humedad del material a 70° durante 30 min para detener el crecimiento del micelio y obtener el biomaterial. Algunas piezas durante el desmolde se fracturaron, por lo que se tuvo mucho cuidado al realizar mencionada operación.



Figura 20. Desmolde de biomateriales

Al someter a altas temperaturas para la deshidratación de las piezas de biomateriales, se quemaron las partes de la pieza que el micelio no logró colonizar en el sustrato, tornándose negras, generando un olor a madera quemada. En cuanto a las piezas donde se había desarrollado un micelio fuerte, se tornó de color beige, sin muestras de quemadura.



Figura 21. Biomateriales secados

En ambas pruebas 1 y 2 se obtuvo el biomaterial deseado, con la diferencia que el biomaterial obtenido de la prueba 1 tiene una superficie irregular, porque sobresalen los granos de la semilla de hongo utilizada en la inoculación; en comparación al biomaterial de la prueba 2, donde no se notan los granos de la semilla del hongo dándole una superficie más prolija.

4.1.1.2. Determinación de propiedades fisicoquímicas de los biomateriales generados por la aplicación de micelio de hongo “*Pleurotus ostreatus*” en diferentes residuos lignocelulósicos

j) Densidad

Se tomó una porción de cada biomaterial obtenido según el tratamiento y pruebas, para ser pesados y colocados en un vaso graduado de agua, para registrar el volumen de agua desplazado al introducir el biomaterial. Los resultados fueron calculados en la siguiente formula (12):

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Tabla 21. Datos de prueba de densidad en agua

Tratamiento	Biomaterial	Peso (g)	Agua (ml)
CA ₁₀₀ :AS ₀	CA	5	500
CA ₀ :AS ₁₀₀	AS	5	500
CA ₅₀ :AS ₅₀	CS	5	500

Nota: CA: cascarilla de arroz, AS: aserrín y viruta, CS: cascarilla de arroz, aserrín y viruta

Una vez introducido en agua el primer biomaterial obtenido según el tratamiento, este flotó; esto se debe por que la densidad del biomaterial es menor al del agua 1 g/cm³, el mismo resultado se tuvo de los otros biomateriales.



Figura 22. Prueba de densidad con agua, el biomaterial flotó

Para tener resultados de la prueba de densidad, se utilizó alcohol de 70° debido a que posee una densidad menor que el agua (0.83 g/cm^3), teniendo los siguientes resultados:

Tabla 22. Resultados de densidad en alcohol en tratamientos de prueba 1

Tratamiento	Biomaterial	Peso (g)	Alcohol (cm^3)	D (cm^3)	Total (cm^3)	Densidad (g/cm^3)
CA ₁₀₀ :AS ₀	CA	11	250	275	25	0.44
CA ₀ :AS ₁₀₀	AS	12	250	280	30	0.40
CA ₅₀ :AS ₅₀	CS	10	250	275	25	0.40

Nota: CA: cascarilla de arroz, AS: aserrín y viruta, CS: cascarilla de arroz, aserrín y viruta, DE: desplazamiento del alcohol al introducir el biomaterial

Tabla 23. Resultados de densidad en alcohol en tratamientos de prueba 2

Tratamiento	Biomaterial	Peso (g)	Alcohol (cm^3)	D (cm^3)	Total (cm^3)	Densidad (g/cm^3)
CA ₁₀₀ :AS ₀	CA	11	250	276	26	0.42
CA ₀ :AS ₁₀₀	AS	12	250	281	31	0.39
CA ₅₀ :AS ₅₀	CS	10	250	276	26	0.38

Nota: CA: cascarilla de arroz, AS: aserrín y viruta, CS: cascarilla de arroz, aserrín y viruta, DE: desplazamiento del alcohol al introducir el biomaterial



Figura 23. Biomaterial sumergido en alcohol para prueba de densidad

Se observó que los biomateriales puestos en alcohol flotaron bajo el nivel del líquido, el cual causó un ligero desplazamiento para

poder calcular la densidad aproximada. Los biomateriales de las pruebas 1 y 2 a base de cascarilla de arroz, aserrín y viruta tienen una densidad promedio de 0.4 g/cm³, al igual que el biomaterial con una mezcla de ambos sustratos, que comparado con la densidad del agua (1 g/cm³) y el alcohol 70° (0.83 g/cm³), tienen una densidad menor, por lo tanto, tienden a flotar y ser más ligeros.

k) Inflamabilidad

La inflamabilidad de los biomateriales se determinó sometiendo a una vela encendida cada biomaterial según el tratamiento. Se tomaron los datos del volumen inicial, el volumen final y el tiempo que es consumido al fuego con ayuda de un cronómetro. Luego se determinó el porcentaje de inflamabilidad en un tiempo determinado.

$$\% \text{ Inflamabilidad} = \frac{\text{volumen inicial} - \text{volumen final}}{\text{volumen inicial}} * 100$$

Se encendió la vela sobre una superficie estable y mediante unas pinzas se tomó cada biomaterial según el tratamiento para ser sometido a la llama de la vela durante 2 minutos, teniendo los siguientes resultados:

Tabla 24. Resultados de inflamabilidad en tratamientos de la prueba 1

Tratamiento	Biomaterial	PI (g)	T (min.)	PF (g)	I %
CA ₁₀₀ :AS ₀	CA	9	2	6	33
CA ₀ :AS ₁₀₀	AS	10	2	8	20
CA ₅₀ :AS ₅₀	CS	10	2	7	30

Nota: CA: cascarilla de arroz, AS: aserrín y viruta, CS: cascarilla de arroz, aserrín y viruta, PI: peso inicial del biomaterial, T: tiempo de sometimiento a la llama, PF: peso final, I: inflamabilidad

Tabla 25. Resultados de inflamabilidad en tratamientos de la prueba 2

Tratamiento	Biomaterial	PI (g)	T (min.)	PF (g)	I %
CA ₁₀₀ :AS ₀	CA	9	2	7	22
CA ₀ :AS ₁₀₀	AS	10	2	9	10
CA ₅₀ :AS ₅₀	CS	10	2	8	20

Nota: CA: cascarilla de arroz, AS: aserrín y viruta, CS: cascarilla de arroz, aserrín y viruta, PI: peso inicial del biomaterial, T: tiempo de sometimiento a la llama, PF: peso final, I: inflamabilidad



Figura 24. Prueba de inflamabilidad del biomaterial

Se observó que los biomateriales al ser sometidos a una llama de fuego no se encienden, conservando su forma original, consumiéndose lentamente, mostrando solo una decoloración negra como el carbón. Por lo cual, los biomateriales obtenidos no son inflamables.

Los biomateriales en proporciones 1 y 2 a base de cascarilla de arroz es el que más se consumió con un 33 % y 22 % respectivamente; en comparación del de aserrín y viruta que tuvo un 20 % y 10 % respectivamente, siendo el biomaterial a base de ambos sustratos el intermedio con un 30 % y 20 % respectivamente.

I) Prueba de hipótesis

i. Hipótesis general

H₀: la evaluación de la aplicación del micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos puede obtener biomateriales (no aprobada).

H₁: la evaluación de la aplicación del micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos puede obtener biomateriales (aprobada).

Decisión: la evaluación de la aplicación del micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos como la cascarilla de arroz, aserrín y viruta, se determinó mediante la descripción de un procedimiento, la determinación de proporciones para obtener biomateriales que fueron sometidos a diferentes pruebas para determinar propiedades fisicoquímicas, obteniendo resultados en cada objetivo específico (3/3) haciendo exitosa la evaluación, por lo que se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que afirma que se puede evaluar la aplicación del micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos.



Figura 25. Biomaterial con forma de recipiente a base de micelio de hongo y residuos lignocelulósicos

ii. Hipótesis específicas

1. H_0 : el procedimiento de aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos no se podrá describir para obtener biomateriales (no aprobada).

H_1 : el procedimiento de aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos se podrá describir para obtener biomateriales (aprobada).

Decisión: según la descripción del procedimiento detallado en el diagrama de flujo descrito en la figura 14. Proceso metodológico de la investigación; se descarta la hipótesis nula y se

aprueba la hipótesis alternativa donde se afirma que se puede describir un procedimiento de aplicación de micelio de hongo “*Pleurotus ostreatus*” en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales.

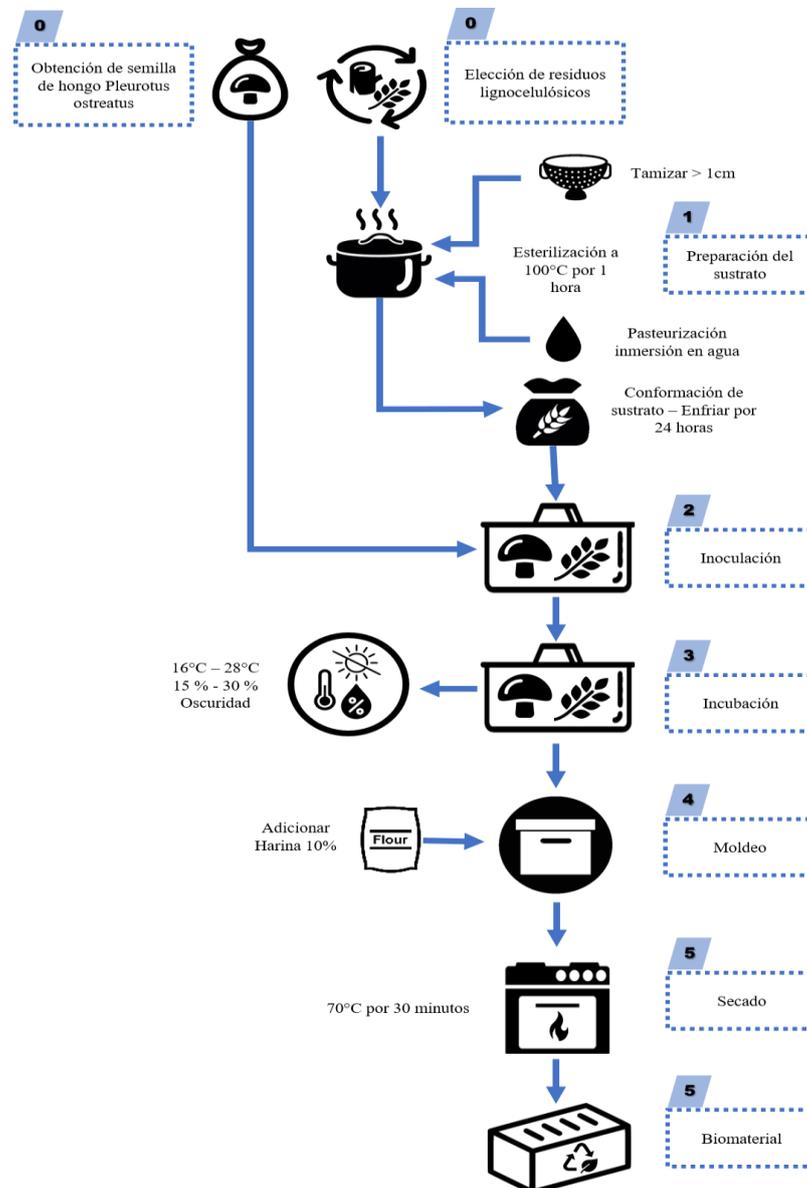


Figura 26. Proceso metodológico de la investigación

2. H₀: las proporciones óptimas de aplicación de micelio de hongo “*Pleurotus ostreatus*” en diferentes residuos lignocelulósicos no se podrán determinar para obtener biomateriales (no aprobada).

H₁: las proporciones óptimas de aplicación de micelio de hongo “*Pleurotus ostreatus*” en diferentes residuos lignocelulósicos se podrán determinar para obtener biomateriales (aprobada).

La determinación de proporciones óptimas para la obtención de biomateriales en la aplicación de micelio de hongo “*Pleurotus ostreatus*” en diferentes residuos lignocelulósicos se realizó mediante dos pruebas de diferentes proporciones, teniendo en cuenta la variación la proporción de semilla de hongo, ya que es un factor determinante en la experimentación.

En primera instancia, se determinó el porcentaje de proporciones que se aplicaron en cada prueba:

Tabla 26. Pruebas de proporciones de sustrato

Sustrato	Prueba 1	Prueba 2
Residuos lignocelulósicos	40 %	40 %
Semilla de hongo	20 %	10 %
Suplemento (harina)	10 %	10 %
Líquido (agua)	40 %	40 %

Para determinar la mejor proporción óptima para la obtención de biomateriales se evaluó el crecimiento micelial, características ópticas y las propiedades fisicoquímicas del biomaterial obtenido en cada prueba.

a) Crecimiento micelial

La expansión del micelio en el sustrato se evaluó mediante una escala de observación, el cual fue registrado diariamente (anexo 6). Con esta evaluación se determinaron los días que el micelio pudo colonizar en su totalidad el sustrato, teniendo el siguiente resultado:

Tabla 27. Escala de criterios del crecimiento micelial

Criterios	Valor
No hay crecimiento	+0 %
Crecimiento lento	+2 %
Crecimiento normal	+3 %
Crecimiento rápido	+4 %

Tabla 28. Resultados del crecimiento micelial en cada tratamiento y prueba
Crecimiento micelial (días)

Tratamiento	Prueba 1	Prueba 2
CA ₀ :AS ₁₀₀	26	28
CA ₁₀₀ :AS ₀	29	30
CA ₅₀ :AS ₅₀	27	29

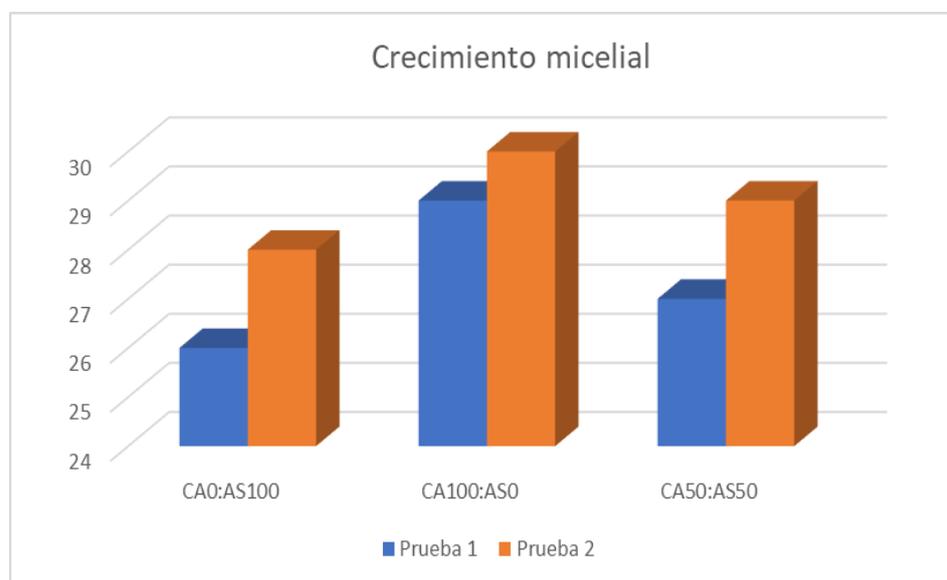


Figura 27. Gráfico comparativo del crecimiento micelial

Según los resultados de la evaluación realizada al crecimiento micelial en cada prueba, se puede comprobar que la prueba 1 denotó un crecimiento más rápido que la prueba 2, siendo la prueba 1 la óptima en crecimiento micelial.

b) Propiedades fisicoquímicas del biomaterial

– Observables

Para evaluar las propiedades observables de los biomateriales, se utilizaron los siguientes criterios cualitativos para poder determinar la mejor prueba de proporciones y el mejor tratamiento en la obtención de los biomateriales:

Tabla 29. Criterios de calificación de características observables

	Bueno	Regular	Malo
Dureza	Se fractura con dificultad	No se fractura con facilidad	Se fractura con facilidad
Color	Blanquecino	Amarillento	Café
Textura	Superficie lisa	Superficie semilisa	Superficie irregular

Calificación	15 puntos	10 puntos	5 puntos
Evaluación	40 a 45 puntos	30 a 35 puntos	5 a 25 puntos

Tabla 30. Calificación de características observables

Tratamiento	Dureza		Color		Textura	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2
CA ₁₀₀ :AS ₀	10	10	15	15	5	15
CA ₀ :AS ₁₀₀	10	15	15	15	5	15
CA ₅₀ :AS ₅₀	10	15	15	15	5	15

Tabla 31. Evaluación de características observables

Tratamiento	Prueba 1		Prueba 2	
CA ₁₀₀ :AS ₀	30	Regular	40	Bueno
CA ₀ :AS ₁₀₀	30	Regular	45	Bueno
CA ₅₀ :AS ₅₀	30	Regular	45	Bueno

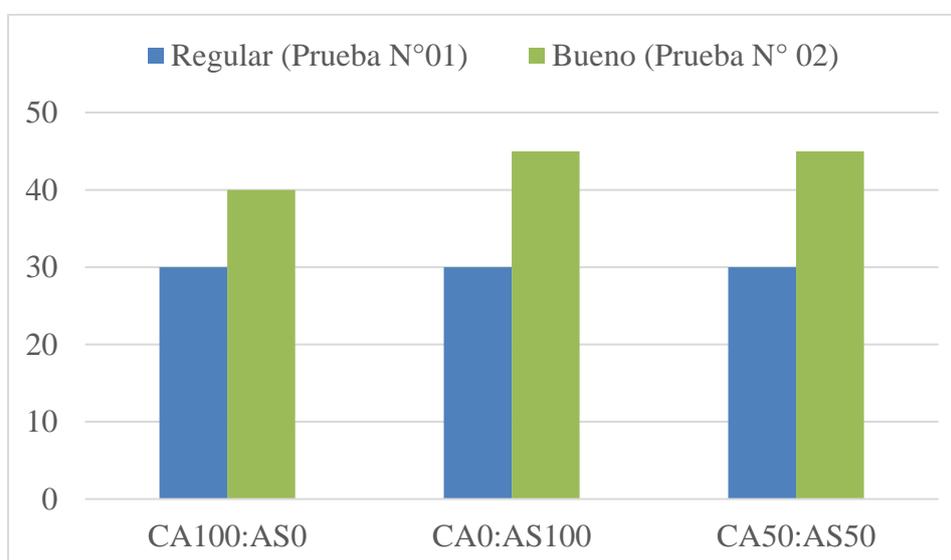


Figura 28. Gráfico de comparación de características observables entre pruebas

Los resultados de la evaluación de las características observables indican que el mejor biomaterial obtenido fue del tratamiento del aserrín y la mezcla de aserrín y cascarilla de arroz. En cuanto a las pruebas de proporciones, la prueba 2 fue el mejor en sacar biomateriales con mejores características observables.

– Medibles

Para evaluar las propiedades fisicoquímicas como la densidad y la inflamabilidad se realizó según el ítem 4.1.1.2. de los resultados, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 32. Resultados de densidad e inflamabilidad de las pruebas

Tratamiento	Densidad (g/cm ³)		Inflamabilidad (%)	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2
CA ₁₀₀ :AS ₀	0.44	0.42	33	22
CA ₀ :AS ₁₀₀	0.40	0.39	20	10
CA ₅₀ :AS ₅₀	0.40	0.38	30	20

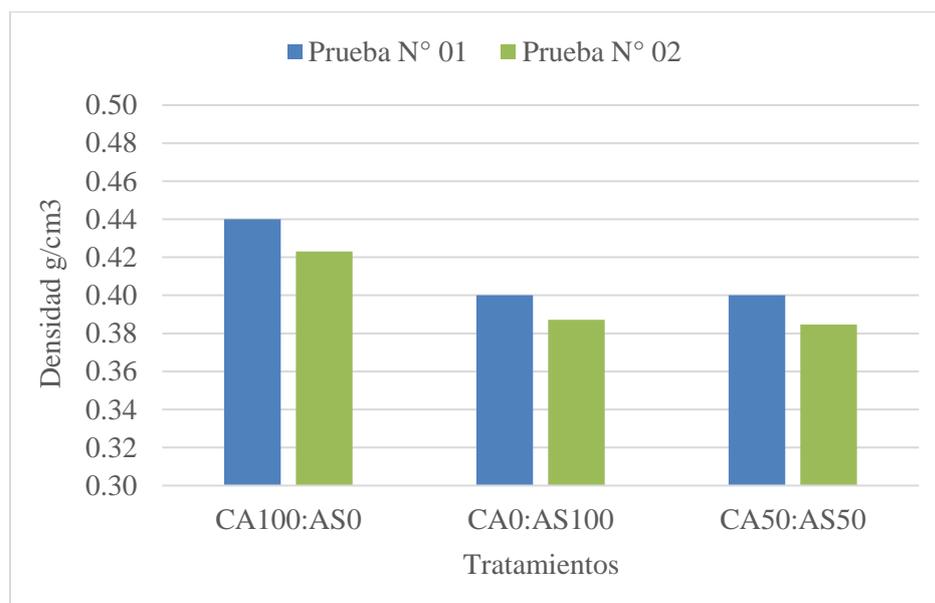


Figura 29. Gráfico comparativo entre pruebas de densidad

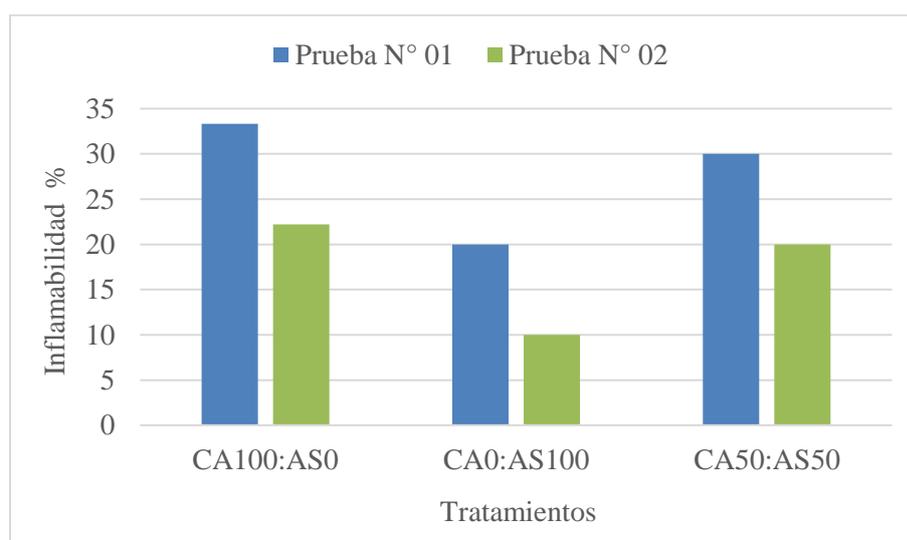


Figura 30. Gráfico comparativo entre pruebas de inflamabilidad

Los resultados determinaron que la densidad es similar entre las pruebas, la prueba 2 denota una diferencia de decimales, por lo

que sería la mejor. En caso del mejor tratamiento, el aserrín y la mezcla de la cascarilla de arroz obtuvieron una menor densidad.

Los resultados en cuanto a la inflamabilidad determinaron que la prueba 2 sería la mejor, debido a su bajo porcentaje de pérdida de masa del biomaterial. En cuanto a los tratamientos el mejor fue el de aserrín y la mezcla de cascarilla de arroz y aserrín.

Decisión: para determinar la mejor prueba con proporciones óptimas para la obtención del biomaterial se realizó un cuadro para una mejor evaluación de resultados anteriormente detallados:

Tabla 33. Criterios evaluados en las pruebas 1 y 2

Criterios evaluados	Bueno	Regular
Crecimiento micelial	Prueba 2	Prueba 1
Características observables	Prueba 2	Prueba 1
Densidad	Prueba 2	Prueba 1
Inflamabilidad	Prueba 2	Prueba 1

Según la evaluación de los criterios aplicados, dando como resultado que las mejores proporciones para elaborar biomateriales fueron los de la prueba 1 que comprende el sustrato con 40 % de residuos lignocelulósicos, 10 % de harina, 40 % de agua y 10 % de semilla de hongo, se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que afirma que se pueden determinar las proporciones óptimas de los biomateriales obtenidos.

3. H_0 : las propiedades fisicoquímicas se podrán determinar de los biomateriales obtenidos de la aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos (no aprobada).

H_1 : las propiedades fisicoquímicas se podrán determinar en los biomateriales obtenidos de la aplicación de micelio de hongo

“*Pleurotus ostreatus*” en diferentes residuos lignocelulósicos (aprobada).

Para determinar las propiedades fisicoquímicas se determinó la densidad y la inflamabilidad de los biomateriales obtenidos, para evaluarlo se realizó un análisis unidireccional de la varianza para densidad. Construye varias pruebas y gráficos para comparar los valores medios de densidad e inflamabilidad para los 3 niveles diferentes de biomateriales. La prueba F en la tabla Anova comprobó si hay cualquier diferencia significativa entre los medios.

a) Densidad

Tabla 34. Análisis de varianza (Anova) de la densidad – prueba 1

Origen	Suma de cuadrados	Df	Media cuadrática	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	0.0008333333	2	0.0004166667	2.78	0.2076
Dentro de grupos	0.00045	3	0.00015		
Total (Corr.)	0.00128333	5			

Nota: tomada de Statgraphics XVIII

La tabla Anova descompone la varianza de densidad en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro del grupo componente. La relación F, que en este caso es igual a 2,77778, es una relación de la estimación entre grupos a la estimación dentro del grupo.

Dado que el valor P de la prueba F es mayor o igual a 0,05, no hay una diferencia estadísticamente significativa entre la densidad media de un nivel de biomateriales a otro en el nivel de significación del 5 %.

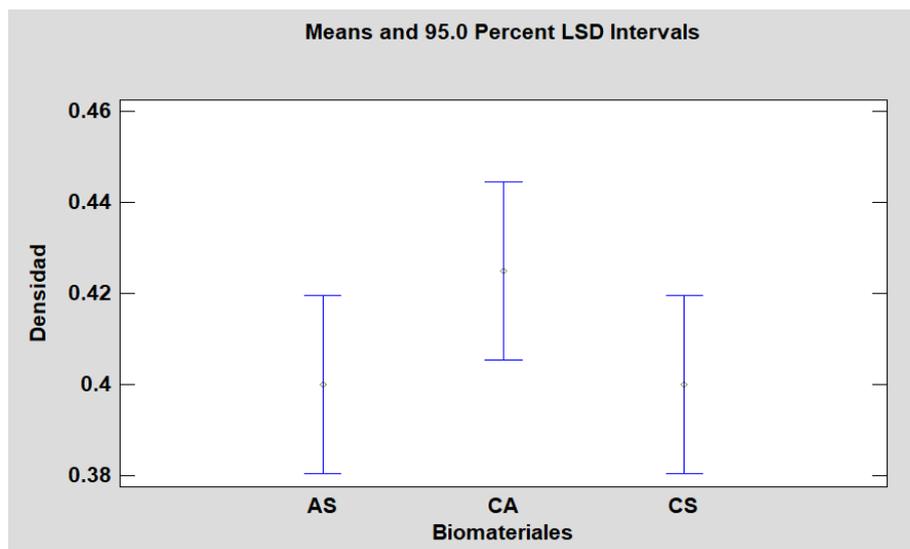


Figura 31. Gráfico de medias del análisis de varianza de densidad – prueba 1. Tomada de Statgraphics XVIII

Tabla 35. Análisis de varianza (Anova) de la densidad – prueba 2

Origen	Suma de cuadrados	Df	Media cuadrática	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	0.00213333	2	0.00106667	8.00	0.0627
Dentro de grupos	0.0004	3	0.000133333		
Total (Corr.)	0.00253333	5			

Nota: tomada de Statgraphics XVIII

La tabla Anova descompone la varianza de densidad en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La relación F, que en este caso es igual a 8.0, es una relación de la estimación entre grupos a la estimación dentro del grupo. Dado que el valor P de la prueba F es mayor o igual a 0,05, no hay una diferencia estadísticamente significativa entre la media de densidad de un nivel de biomateriales a otro en el nivel de significación del 5 %.

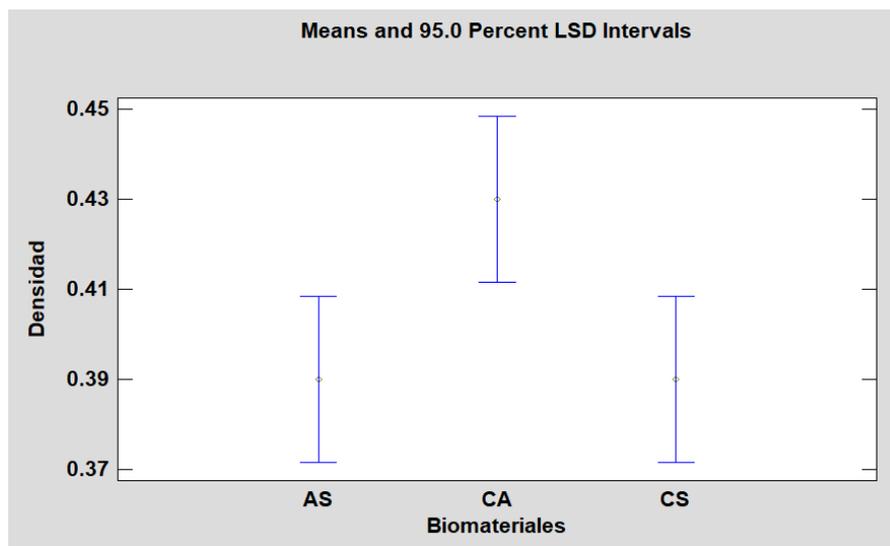


Figura 32. Gráfico de medias del análisis de varianza de densidad – prueba 2. Tomada de Statgraphics XVIII

b) Inflamabilidad

Tabla 36. Análisis de varianza (Anova) de inflamabilidad – prueba 1

Origen	Suma de cuadrados	Df	Media cuadrática	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	108.333	2	54.1667	2.69	0.2145
Dentro de grupos	60.5	3	20.16667		
Total (Corr.)	168.833	5			

Nota: tomada de Statgraphics XVIII

La tabla Anova descompone la varianza de inflamabilidad en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro del grupo. La F-ratio, que en este caso es igual a 2.68595, es una relación de la estimación entre grupos a la estimación dentro del grupo. Dado que el valor P de la prueba F es mayor o igual a 0,05, no hay una diferencia estadísticamente significativa entre la media de inflamabilidad de un nivel de biomateriales a otro en el nivel de significación del 5 %.

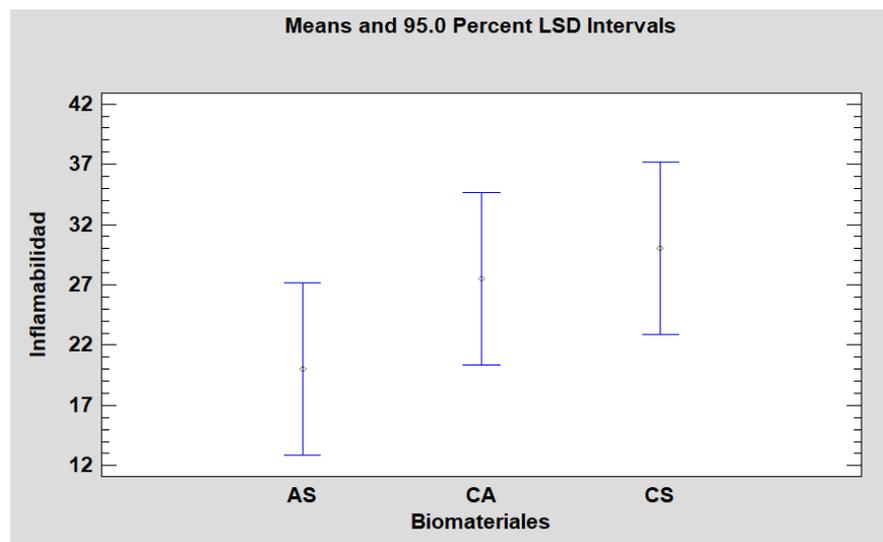


Figura 33. Gráfico de medias del análisis de varianza de inflamabilidad – prueba 1. Tomada de Statgraphics XVIII

Tabla 37. Análisis de varianza (Anova) de inflamabilidad – prueba 2

Origen	Suma de cuadrados	Df	Media cuadrática	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	145.333	2	72.6667	4.36	0.1295
Dentro de grupos	50.0	3	16.6667		
Total (Corr.)	195.333	5			

Nota: tomada de Statgraphics XVIII

La tabla Anova descompone la varianza de inflamabilidad en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro del grupo. La relación F, que en este caso es igual a 4,36, es una relación de la estimación entre grupos a la estimación dentro del grupo. Dado que el valor P de la prueba F es mayor o igual a 0,05, no hay una diferencia estadísticamente significativa entre la media de inflamabilidad de un nivel de biomateriales a otro en el nivel de significación del 5 %.

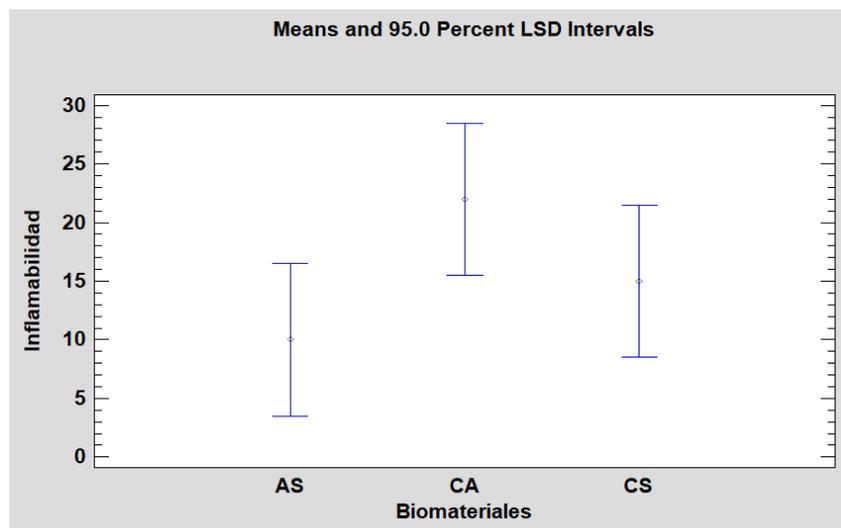


Figura 34. Gráfico de medias del análisis de varianza de inflamabilidad – prueba 1. Tomada de Statgraphics XVIII

Decisión: según los resultados de las tablas y graficas de Anova la densidad e inflamabilidad determina que estadísticamente no hay una diferencia entre los resultados obtenidos en los tratamientos de los biomateriales obtenidos, se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que afirma que se pueden determinar las propiedades fisicoquímicas de los biomateriales obtenidos.

c) Discusión de resultados

En los resultados de caracterización de residuos lignocelulósicos se notó una ligera diferencia entre cascarilla de arroz, aserrín y viruta. Siendo ambos residuos lignocelulósicos ricos en proteínas, carbohidratos y lípidos, destacando la cascarilla de arroz con la presencia del mineral sílice, además de contener más ceniza y grasa que el aserrín. Por otro lado, el aserrín contiene más humedad, menos ceniza y grasa. Por lo tanto, ambos residuos lignocelulósicos contienen celulosa, hemicelulosa y lignina; nutrientes adecuados para conformar un sustrato enriquecido para el desarrollo micelial. Generalmente, la cascarilla de arroz y el aserrín son utilizados en la producción de hongos (27). La cascarilla de nuez también ha sido usada para elaborar biomateriales,

teniendo características similares a los residuos lignocelulósicos utilizados en la presente investigación (12).

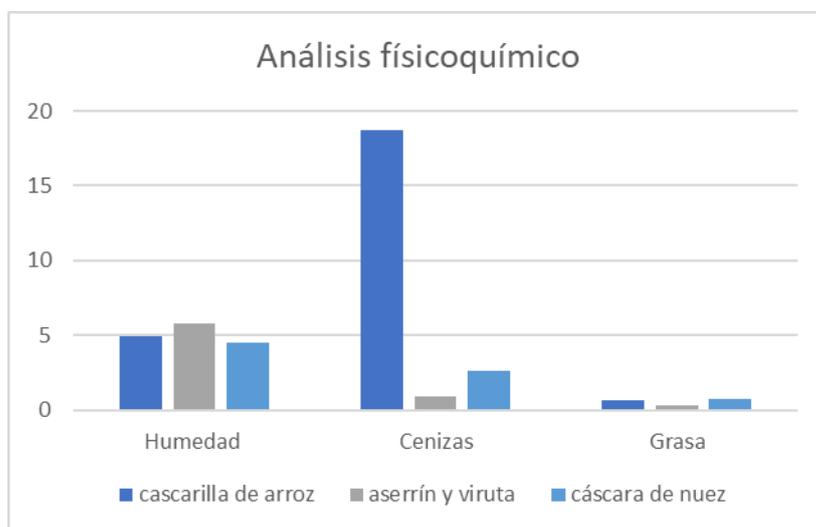


Figura 35. Gráfico comparativo de los sustratos usados en la presente investigación y un sustrato referente (12) (p. 4668)

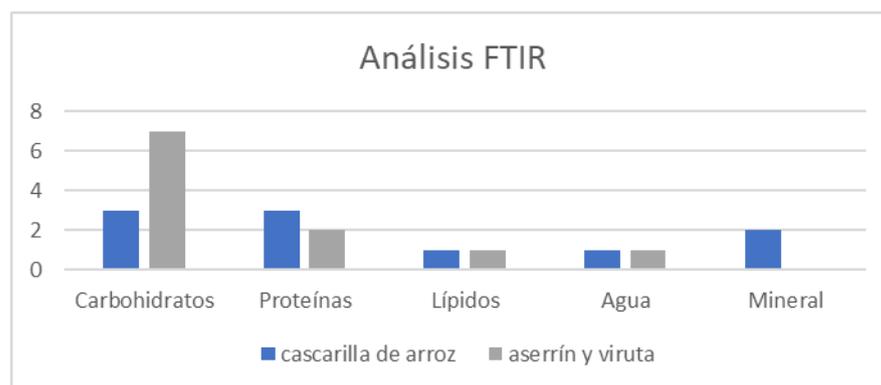


Figura 36. Gráfico comparativo de los sustratos usados en la presente investigación

En la preparación del sustrato se recomienda la esterilización del sustrato para evitar que microorganismos pudieran invadirlo e inhibir el crecimiento de algún hongo no deseado. Por lo tanto, se realizó el método de pasteurización por vapor, sumergiendo las bolsas del sustrato en agua en una olla durante una hora; para luego ser enfriados durante 24 horas, asegurando la esterilización del sustrato (27). La humedad recomendada del sustrato es de 60 % a 70 % (47). Durante la incubación hubo contaminaciones debido a la humedad, se tuvo

diferentes tipos de moho como el *Trichoderma* y el *Rhizopus stolonifer*.

En el proceso de inoculación se recomienda echar el 10 % del peso del residuo lignocelulósico del sustrato para un buen desarrollo micelial (44). Para obtener la proporción óptima y el rápido desarrollo micelial se optó por echar 10 % y 20 %, observándose que el biomaterial de 10 % de semilla de hongo tiene mejores características observables que la de 20 %.

Los parámetros de crecimiento micelial fueron medidos en el proceso de incubación siendo recomendable temperaturas de 18 °C a 28 °C con humedad relativas del 60 % a 70 % en completa oscuridad y con ligeras corrientes de aire para la oxigenación (24). La incubación se manejó en un ambiente prefabricado de madera con temperaturas de 16 °C a 28 °C con humedad relativa del 18 % al 27 % debido a que la madera suele absorber la humedad. Se adecuaron áreas oscuras y las corrientes de aire estuvieron habilitadas. La incubación duró un tiempo de 30 días.

El moldeado del biomaterial se realiza para darle la forma del recipiente y obtener diferentes materiales (44). En este caso se utilizaron bandejas pequeñas o recipientes rectangulares para darle una forma más accesible como la de un ladrillo, que al momento de ser moldeado se ejerció cierta presión para darle al biomaterial cierta compactación. Durante la segunda incubación de 7 días se observó un crecimiento más parejo y rápido.

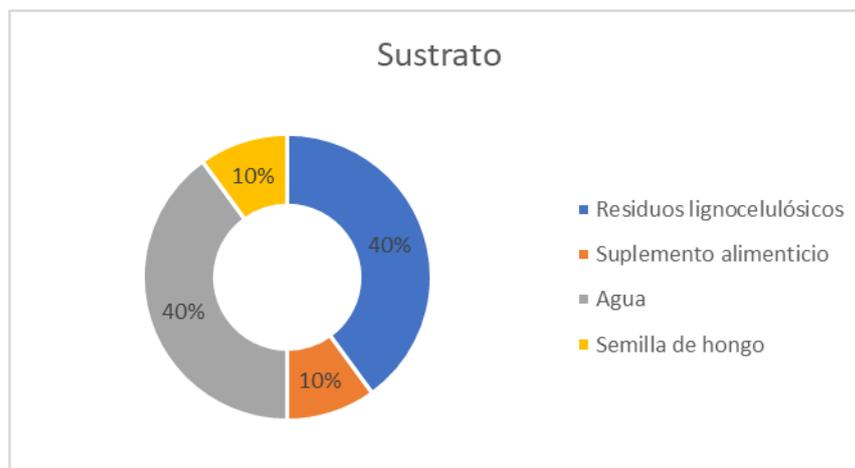


Figura 37. Gráfico representativo de porcentajes del sustrato

En el proceso del secado del biomaterial se recomienda sacar toda la humedad del biomaterial para inhibir el crecimiento micelial y llegar a la fructificación del hongo (48). Por ello, el secado se puede realizar mediante dos métodos; un horno convencional a 70 °C durante una hora o ser expuesto a la radiación solar durante 72 horas (12). Los biomateriales obtenidos fueron secados en un horno convencional a 70 °C durante 30 min, debido que se observaron quemaduras en los biomateriales, en las partes donde el crecimiento micelial había sido débil.

Los resultados de las propiedades fisicoquímicas de los biomateriales en cuanto a densidad oscilan entre los 60 a 300 kg/m³. Los biomateriales están siendo comparados con diferentes materiales de la industria como alternativa ecológica de reemplazo, en caso de la construcción como el tablero de virutas (OSB) tiene una densidad de 0.55 a 0.70 g/cm³ (12). Tableros de madera tornillo para encofrado en construcción tienen una densidad de 0.45 a 0.59 g/cm³ (6). Placas de yeso usadas como revestimientos para paredes tienen una densidad de 1 g/cm³ (36). El poliestireno con diferentes aplicaciones en el sector construcción y empaques tiene una densidad de 0.02 a 0.06 g/cm³ (46). Los biomateriales obtenidos en la presente investigación a base de cascarilla de arroz, aserrín y viruta, tiene como densidad promedio de 0.4 g/cm³, haciendo un biomaterial de baja densidad, por lo

tanto, podría ser una alternativa ecológica frente a materiales de construcción como el OSB, placas de yeso o tableros de encofrado. Biomateriales usados como sustratos, cáscaras de algodón reportando densidades de 0.06 a 0.2 g/cm³, inclinándose más como alternativa frente al poliestireno, por su baja densidad.

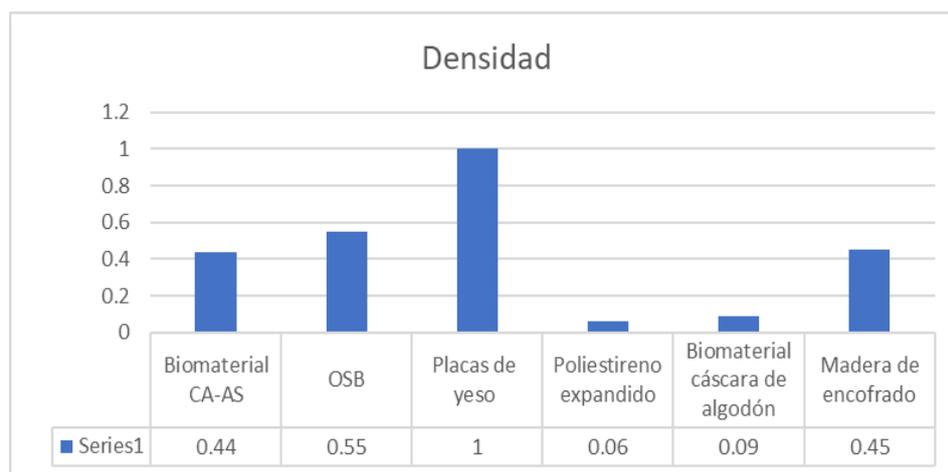


Figura 38. Gráfico comparativo de densidades del biomaterial obtenido con diferentes materiales similares (12, p. 4676; 36, p. 12; 46, p. 30; 6, p. 28)

La inflamabilidad es una característica importante en los materiales, ya que se requieren materiales que en caso de accidentes con incendios no lo propaguen. Los materiales ecológicos son poco inflamables y no emiten gases tóxicos (49). Los materiales de construcción como los tableros de OSB y tornillo para encofrado, suelen ser inflamables por contener madera; para lo cual suelen utilizar placas de yeso y lograr una resistencia al fuego, ya que este no tiene un comportamiento inflamable (50). A diferencia del poliestireno que es un tipo de plástico derivado de petróleo, el cual es altamente inflamable (19). En los biomateriales obtenidos en la presente investigación no son inflamables debido al promedio de consumo del 19 % del biomaterial durante 2 minutos al fuego, conservando su forma original. El biomaterial a base de cascarilla de algodón tiene una baja inflamabilidad (46). Por lo cual, los biomateriales a base de residuos lignocelulósicos y micelio de hongo tienen la característica de no ser inflamables, convirtiéndose

en alternativas competitivas frente a materiales convencionales de construcción o empaques.

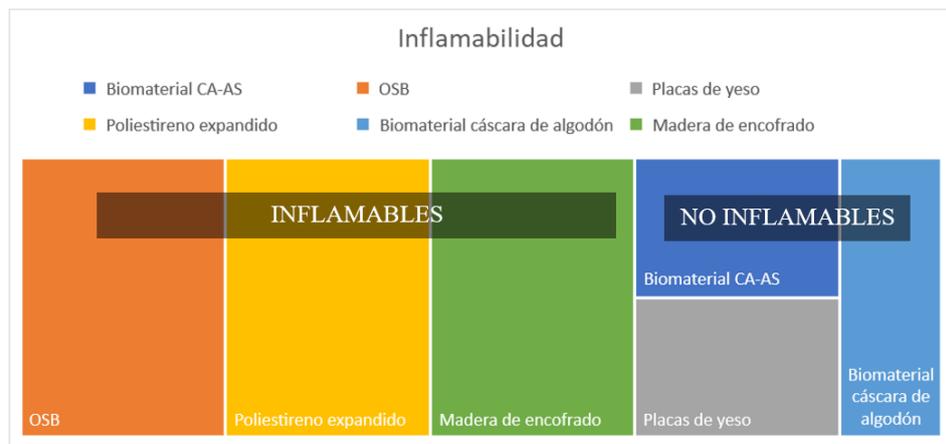


Figura 39. Gráfico comparativo de la característica de inflamabilidad de diferentes materiales (50, p. 12; 46, p. 31; 19, p. 40)

CONCLUSIONES

1. Se obtuvieron biomateriales al aplicar micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos, como la cascarilla de arroz, aserrín y viruta, siendo residuos agrícolas y madereros comúnmente generados en la localidad. El biomaterial obtenido, tiene un gran potencial como alternativa ecológica frente a diferentes materiales de construcción, como tableros de OSB, placas de yeso, tableros para encofrado, debido a la baja densidad que posee y por ser un material no inflamable. En cuanto a materiales para empaque como poliestireno expandido, no aplicaría su uso debido a que este material posee una densidad aún más baja con otras características particulares, pero favoreciendo en la capacidad de no ser inflamable.
2. Se determinó un procedimiento de aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales, el cual consta de los siguientes procesos: obtención de la semilla del hongo, obtención de los residuos lignocelulósicos, preparación del sustrato, inoculación, incubación, moldeado y secado.
3. Se concluye que, las proporciones óptimas para la obtención de biomateriales, según la evaluación de las pruebas de proporciones: la mejor prueba fue la 2, que está conformada por un sustrato con una fuente lignocelulósica de un 40 %, 10 % del suplemento alimenticio, el 40 % de agua y como factor de crecimiento un 10 % semilla de hongo. Es importante considerar los factores ambientales como la temperatura (25 °C) y humedad relativa (23 %), ya que influyen en el crecimiento micelial o puede generar contaminaciones.
4. Se concluye que, las propiedades fisicoquímicas de los biomateriales obtenidos de la aplicación de micelio de hongo "*Pleurotus ostreatus*" en diferentes residuos lignocelulósicos, según el análisis de varianza Anova realizado, demuestra que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre los resultados de densidad e inflamabilidad de los tratamientos de los residuos de aserrín y la cascarilla de arroz, por lo tanto, la densidad promedio

de los biomateriales obtenidos es 0.40 g/cm^3 , este valor es bajo, por lo que se puede deducir que los biomateriales sean ligeros y livianos, a su vez poseen una inflamabilidad promedio del 19 %, por lo tanto, son biomateriales no inflamables.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar otros tipos de hongos o residuos lignocelulósicos para la elaboración de biomateriales. El hongo *Ganoderma lucidum* es un hongo con características para elaborar biomateriales (12). El cartón reciclado de doble onda, los casilleros de huevos entre otros materiales son usados y recomendados para elaborar biomateriales (48).
2. En cuanto a la formulación de sustratos se recomienda utilizar suplementos alimenticios para mejorar el desarrollo micelial en el sustrato, como harina, afrecho, pulpa de café pasado, entre otros; como fuente de nitrógeno están el yeso, cáscara de huevo u otras fuentes de calcio, la melaza como fuente de azúcar (44).
3. Se recomienda realizar una investigación de diferentes proporciones de suplemento alimenticio, para evaluar su influencia en la obtención de los biomateriales.
4. Se recomienda que, para la inoculación de la semilla de hongo, solo se utilice un rango de 8 % a 10 % del peso del sustrato para evitar que en el biomaterial se vean los granos de semilla y le da una forma con relieve, lo que podría producir agrietamientos.
5. Se recomienda experimentar con otros residuos lignocelulósicos para obtener biomateriales que puedan tener características similares al poliestireno expandido.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **FEIJÓO, K.; BERMÚDEZ, S.; REBOLLEDO, H.; FIGUEROA, J.; ZAMORA, P.; NARANJO, L.** *Bioproductos desarrollados a partir de micelio de hongos: una nueva cultura material y su impacto en la transición hacia una economía sostenible*. 1, Revista Bionatura, Vol. 6, págs. 1637-1652.
2. **MUÑOZ, F. .** *Sistematización de pruebas de crecimiento en medios de cultivo sólido para hongos silvestres descomponedores de madera en el contexto del desarrollo de biomateriales de micelio. Caso de estudio: Monumento Abierto*. Universidad de Chile. 2020.
3. **CHÁVEZ, Á.; RODRÍGUEZ, A.** *Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica*. 2, 2016, Academia y Virtualidad, Vol. 9, págs. 90-107.
4. **Instituto Nacional de Estadística.** *IV Censo Nacional Agropecuario*. 2012.
5. **Ministerio del Ambiente.** *Sexto Informe Nacional de Residuos Sólidos de la Gestión del Ámbito Municipal y no Municipal 2013*. 2014. págs. 1-137.
6. **CARRIÓN M., Rolando; SOLANO C., Jesús.** *La industria maderera en el Perú*. 2014.
7. **VINCES, R.; POGGI, J.** *Aprovechamiento sostenible de los residuos forestales para la producción de pellets de biomasa leñosa torrefactada*. 2014, Revista de Ingeniería de la USIL, Vol. 1, pág. 36.
8. **Municipalidad Provincial de Arequipa.** Plan de gestión ambiental de residuos solidos (Pigars). [En línea] 2017.
<https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/gestionmanejoresiduos/PIGARS 2017-2028/PIGARS>.
9. **Ministerio del Ambiente.** *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Ingei)*. Perú : s.n., 2012.
10. **FERNÁNDEZ, N.; GAGGINO, R.; KREIKER, J.; POSITIERI, M.** *Desarrollo tecnológico de paneles multicapa a partir de residuos lignocelulósicos bioligados con micelio de hongos*. 4, 2019, Ajea, pág. 8.
11. **FUENTES-CANTILLANA, I.** *Biofabricación: Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos*. Universidad Politécnica de Madrid. 2020.

12. **GUTIERREZ, E.; HERNANDEZ, E.; ESTRADA, A.; ALVAREZ, J.; ROMO, L.; MENDOZA, B.** *Biomaterial obtenido a partir de micelio de hongo (ganoderma lucidum) y residuos agrícolas.* 3, 29 de julio de 2021, South Florida Journal of Development, Vol. 2, pág. 19.
13. **ABHIJITH, R.; ASHOK, A.; REJEESH, C.** *Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: a review.* 1, 2018, Materials Today: Proceedings, Vol. 5, pág. 7.
14. **XING, Yangang; BREWER, Matthew; EL-GHARABAWY, Hoda; GRIFFITH, Gareth; JONES, Phil.** *Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials.* 2, febrero de 2018, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 121, pág. 8.
15. **ATTIAS, Noam; GROBMAN, Jacob Yasha.** *Developing novel applications of mycelium based bio-composite materials for design and architecture Design in the Middle View project Waterfront design View project, ResearchGate, setiembre, 2017.*
16. **BOHÓRQUEZ, B.; RAMÍREZ, N.; REYES, H.; PORRAS, A.** *Desarrollo y caracterización de un material biodegradable a partir de desechos cerveceros y micelio del hongo Pleurotus ostreatus.* Universidad Nacional Agraria de la Selva. 2015.
17. **ROMÁN-RAMOS, J. D.; LUNA-MOLINA, F. J.; BAILÓN-PÉREZ, L. J.** *Encofrado perdido constituido por paja cohesionada con micelio como sustituto del poliestireno expandido.* Extra 1, 30 de diciembre de 2014, Informes de la Construcción, Vol. 66, pág. 8.
18. **FLORES, A.; CONTRERAS, M.** *Manual de cultivo de hongo seta (Pleurotus ostreatus) de forma artesanal.* México D. F. : s.n., 2012.
19. **ESPINOSA, A.; PAZMIÑO, V. .** *Elaboración de productos agroindustriales a partir de Pleurotus ostreatus, djamor, como alternativa al poliestireno expandido.* Universidad de las Américas. 2016.
20. **JAMANGAPÉ, R.** *Cultivo y elaboración de productos a base de setas.* 2018. pág. 9. Vol. 12.
21. **SIFUENTES, E. .** *Producción de inóculo de Pleurotus ostreatus para uso en biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo.* Universidad Nacional Agraria La Molina. 2014.
22. **LÓPEZ M.** *Hongos alimento del futuro.* 2016. pág. 7.

23. **ALBÁN MÁRQUEZ, Lissete.** *Cultivo del Hongo Ostra (Pleurotus Ostreatus) en tres tipos de residuos de la madera de bolaina blanca (Guazuma crimita).* Universidad Nacional Agraria La Molina. 2014.
24. **HERREROS, C.** *Producción de hongos ostra (Pleurotus ostreatus) en sustratos agrícolas en Vilcabamba, Grau, Apurímac.* Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Apurímac : s.n., 2020.
25. **MUÑOZ, E.** *Comparativo de dos sustratos y cuatro paquetes tecnológicos utilizados en la producción comercial de Pleurotus ostreatus.* Universidad Nacional Agraria La Molina. 2017.
26. **PINEDA, J.; DUARTE, A.; PONCE, C.** *Champiñón ostra: guía de producción artesanal / Pleurotus ostreatus.* 2016. ISBN en trámite.
27. **GAITÁN, Rigorberto; SALMONES, Dulce; PÉREZ, Rosalia; MATA, Gerardo.** *Manual práctico del cultivo de setas.* México : s.n., 2006. ISBN 1599051494.
28. **LARKIN, P.** *Espectroscopia infrarroja: principios e interpretación espectral.* 2. s.l. : Elsevier.
29. **QuioRed.** Tabla de Espectroscopía. *Recursos Educativos de Química Orgánica.* [En línea] QuioRed, agosto de 2002.
https://www.ugr.es/~quioRed/lab/tablas_espec/ir.htm.
30. **ARROYO SALAS, Yoni; CARRASCO COLQUE, Mercedes; BUENO LAZO, Antonio; CARDEÑA CCORYMANYA, Rubén; LUÍZAR OBREGÓN, Celina.** Obtención y caracterización fisicoquímica y funcional de las fibras dietéticas del níspero común (*Mespilus germanica*). 4, 2008, *Revista Sociedad Química*, Vol. 74, págs. 269-281.
31. **Ecovative.com.** Ecovative Desing. *Ecovative LLC.* [En línea] 2022.
<https://ecovative.com/packaging>.
32. **Biohm.co.uk.** Biohm. *Materials.* [En línea] Biohm Limited, 2016.
<https://www.biohm.co.uk/materials>.
33. **Mycoworks.com.** Our-heritage. *Mycoworks.* [En línea] 2022.
<https://www.mycoworks.com/our-heritage>.
34. **Boltthreads.com.** Technology Mylo. *Meet Mylo.* [En línea] 2022.
<https://boltthreads.com/technology/mylo/>.

35. **Ministerio del Ambiente.** *Glosario de términos para la gestión ambiental peruana.* Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental. 2012. pág. 396.
36. **RODRÍGUEZ, S.** *Material biobasado compuesto por el micelio de hongos descomponedores de madera y residuos agroindustriales.* 5, 2018, RChD: creación y pensamiento, Vol. 3, págs. 1-14.
37. **SERRET, N.; GIRALT, G.; QUINTERO, M.** Characterization of Sawdust of different Woods. 2016, *Tecnología Química. Scielo*, Vol. 36, págs. 1-9.
38. **AVALOS, A.; TORRES, I.** *Modelo de negocio para la producción y comercialización de envases biodegradables a base de cascarilla de arroz.* Universidad de Piura. 2018.
39. **GONZÁLES, Enrique; MARTÍNEZ, Antony.** *Sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) por la harina kiwicha (*Anarabthus caudatus*) y la harina de cascara de maracuyá (*Pasiflora edulis*) en las características fisicoquímicas y sensorial de galletas fortificadas.* Universidad Nacional del Santa. 2017.
40. **HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C.; BAPTISTA, P.** *Metodología de la Investigación.* 6. México D. F. : MC Graw Hill Education, 2014. ISBN 9781456223960.
41. **CEGARRA, José.** *Metodología de la investigación científica y tecnológica.* Madrid : Diaz de Santos, 2004. ISBN 84-7978-624-8.
42. **BERNAL, C.** *Metodología de la investigación.* 3. s.l. : Pearson Educación, 2010. ISBN 9789586991285.
43. **CABALLERO, AI.** *Metodología integral innovadora para planes y tesis: La metodología del cómo formularlos.* México D. F. : Cengage Learning, 2014. ISBN 978-607-519-182-9.
44. **OLIVEROS, C.; BAUTISTA, L.** Material ecológico con fines de embalaje a partir del hongo *Pleurotus ostreatus* y residuos orgánicos agroindustriales. 2018, *ResearchGate*, pág. 16.
45. **GUTIERREZ, H.; DE LA VARA, R.** *Análisis y diseño de experimentos.* 2. 2008. ISBN 9789701065266.
46. **GARRIDO, F.** *Comparación de distintas composiciones granulométricas en la formulación de sustratos para el crecimiento de *Pleurotus spp.* en la*

- fabricación de materiales biodegradables de empaque*. Universidad de las Fuerzas Armadas. 2019.
47. **CANCHIS, C.; LÓPEZ, M.** *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de hongo ostra (Pleurotus ostreatus) fresco para comercialización en Lima metropolitana*. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2016.
 48. **FERNÁNDEZ, N.; GAGGINO, R.; POSITIERI, M.; KREIKER, J.** *Materiales biopoliméricos desarrollados a partir de micelio y residuos lignocelulósicos. Estado de la técnica actual y perspectivas de aplicación en el campo del hábitat*. 5, 5 de octubre de 2020, AJEA, pág. 6.
 49. **OLIVERA, A.; ORTEGA, E.; DIAZ, P.; ARANDA, E.; RAMOS, J.; MENDOZA, G.** *Efecto de Pleurotus ostreatus en la degradación de los residuos agrícolas*. 2019. págs. 25–34.
 50. **GARAY, R.; HENRIQUEZ, M.** *Comportamiento frente al fuego de tableros y madera de pino radiata con y sin pintura retardante de llama*. 1, 2010, Maderas: Ciencia y Tecnología, Vol. 12, págs. 11-24.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Tabla 38. Matriz de consistencia

PROBLEMÁTICA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema General ¿Cómo se aplicará el micelio de hongo "<i>Pleurotus ostreatus</i>" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales?</p>	<p>Objetivo general Aplicar el micelio de hongo "<i>Pleurotus ostreatus</i>" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales.</p>	<p>Hipótesis general La aplicación de micelio de hongo "<i>Pleurotus ostreatus</i>" en diferentes residuos lignocelulósicos puede obtener biomateriales.</p> <p>Hipótesis específicas El procedimiento de aplicación de micelio de hongo "<i>Pleurotus ostreatus</i>" en diferentes residuos lignocelulósicos se podrá describir para obtener biomateriales. Las proporciones óptimas de aplicación de micelio de hongo "<i>Pleurotus ostreatus</i>" en diferentes residuos lignocelulósicos se podrán determinar</p>	<p>Variable X independiente Aplicación del micelio de hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> en residuos lignocelulósicos.</p> <p>Variable Y dependiente Biomateriales</p>	<p>- Temperatura -Crecimiento micelial -Humedad Relativa -Contenido de humedad -Cenizas -Contenido de grasas -Densidad -Inflamabilidad</p>	<p>Tipo de investigación La presente investigación es de tipo experimental, debido al análisis en la manipulación de variables como el micelio de hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> y residuos lignocelulósicos para elaborar los biomateriales.</p> <p>Nivel de Investigación La presente investigación es de nivel explicativa porque explica el comportamiento de variables como el micelio de hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> y residuos lignocelulósicos en función de la variable de los biomateriales mediante estudios de causa y efecto que requiere un control.</p> <p>Diseño de investigación La presente investigación es de diseño experimental puro con dos grupos aleatorios. "Es un diseño con un grupo experimental y uno de control, que incluye la asignación aleatoria a las unidades de análisis a ambos grupos, no efectuando medición previa a la variable dependiente" (34).</p> <p>Método de investigación La metodología de la investigación va a constar de los siguientes procesos: Obtención de la semilla de hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>, Obtención de los residuos lignocelulósicos,</p>
<p>Problemas Específicos ¿Cuál es el procedimiento de aplicación de micelio de hongo "<i>Pleurotus ostreatus</i>" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales? ¿Cuáles son las proporciones óptimas de aplicación de micelio de hongo "<i>Pleurotus ostreatus</i>" en diferentes residuos lignocelulósicos para la</p>	<p>Objetivos específicos Describir el procedimiento de aplicación de micelio de hongo "<i>Pleurotus ostreatus</i>" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales. Determinar las proporciones óptimas de aplicación de micelio de hongo "<i>Pleurotus ostreatus</i>" en diferentes residuos lignocelulósicos para la</p>	<p>El procedimiento de aplicación de micelio de hongo "<i>Pleurotus ostreatus</i>" en diferentes residuos lignocelulósicos se podrá describir para obtener biomateriales. Las proporciones óptimas de aplicación de micelio de hongo "<i>Pleurotus ostreatus</i>" en diferentes residuos lignocelulósicos se podrán determinar</p>	<p>Variable Y dependiente Biomateriales</p>	<p>- Temperatura -Crecimiento micelial -Humedad Relativa -Contenido de humedad -Cenizas -Contenido de grasas -Densidad -Inflamabilidad</p>	<p>Tipo de investigación La presente investigación es de tipo experimental, debido al análisis en la manipulación de variables como el micelio de hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> y residuos lignocelulósicos para elaborar los biomateriales.</p> <p>Nivel de Investigación La presente investigación es de nivel explicativa porque explica el comportamiento de variables como el micelio de hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> y residuos lignocelulósicos en función de la variable de los biomateriales mediante estudios de causa y efecto que requiere un control.</p> <p>Diseño de investigación La presente investigación es de diseño experimental puro con dos grupos aleatorios. "Es un diseño con un grupo experimental y uno de control, que incluye la asignación aleatoria a las unidades de análisis a ambos grupos, no efectuando medición previa a la variable dependiente" (34).</p> <p>Método de investigación La metodología de la investigación va a constar de los siguientes procesos: Obtención de la semilla de hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>, Obtención de los residuos lignocelulósicos,</p>

<p>obtención de biomateriales?</p> <p>¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas del biomaterial a base de micelio de hongo "Pleurotus ostreatus" en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales?</p>	<p>de obtención de biomateriales.</p> <p>Determinar las propiedades fisicoquímicas del biomaterial generado por la aplicación de micelio de hongo "Pleurotus ostreatus" en diferentes residuos lignocelulósicos.</p>	<p>de para obtener biomateriales.</p> <p>Las propiedades fisicoquímicas se podrán determinar de los biomateriales obtenidos de la aplicación de micelio de hongo "Pleurotus ostreatus" en diferentes residuos lignocelulósicos.</p>	<p>Caracterización de Residuos Lignocelulósicos, Preparación de Sustratos, Inoculación, Incubación, Moldeado, Secado, Determinación de propiedades fisicoquímicas de los biomateriales.</p> <p>Población En la presente investigación toma como población los residuos lignocelulósicos generados en la región de Arequipa.</p> <p>Muestra Para la obtención de las muestras de residuos lignocelulósicos agrícolas como la cascarilla de arroz, el aserrín y viruta del sector maderero en la región de Arequipa, se realizó mediante un muestreo no probabilístico intencional o deliberado, debido a que se conoce las características de lo que se quiere estudiar de la población.</p>
---	--	---	---

Anexo 2
Panel fotográfico



Figura 40. Semilla de hongo *Pleurotus ostreatus* en grano de trigo



Figura 41. Aserrín y virutas triturados y tamizados menor a 2 cm



Figura 42. Pasteurización por inmersión en agua de los residuos lignocelulósicos



Figura 43. Aserrín y viruta pasteurizados y escurridos



Figura 44. Cascarilla de arroz pasteurizada



Figura 45. Aserrín y cascarilla de arroz pasteurizados



Figura 46. Inoculación de la semilla de hongo en los sustratos



Figura 47. Recipiente inoculado tapado con papel aluminio con orificios



Figura 48. Termohigrómetro ambiental registrando la temperatura y la humedad relativa



Figura 49. Desarrollo micelial en sustratos



Figura 50. Crecimiento de primordios en sustratos



Figura 51. Vaciado de mezcla de suplemento alimenticio a sustrato colonizado



Figura 52. Moldeado de sustrato en envase de aluminio



Figura 53. Formación de biomateriales



Figura 54. Desmolde de biomateriales



Figura 55. Secado de biomaterial en el horno convencional



Figura 56. Desarrollo del hongo *Pleurotus ostreatus* en el biomaterial



Figura 57. Contaminación del sustrato por exceso de humedad identificando el moho *Trichoderma*



Figura 58. Agrietamiento, ruptura y notables quemaduras de biomateriales



Figura 59. Biomateriales en prueba de densidad



Figura 60. Biomateriales en prueba de inflamabilidad

Anexo 3

Constancia de semilla de hongo

AGROCAMANTI E.I.R.L.

INDEPENDENCIA COMITÉ 5 D-2 CUSCO – CUSCO – CUSCO CEL. 940230890

CONSTANCIA DE INOCULO

ESPECIE: INOCULO DE *Pleurotus Ostreatus*

CARACTERISTICAS DEL INOCULO.
Micelio de seta ostra en granos de trigo esterilizado. Con un rango óptimo de crecimiento de 15°C a 25°C en fase de incubación y fructificación.

POSICIÓN TAXONÓMICA DE *Pleurotus ostreatus*. Según fuente bibliográfica (Alexopoulos 1996, Stamets 2003)

Reino: Fungi
Phylum: Basidiomycota.
Clase: Basidiomycetes
Orden: Agaricales.
Familia: Tricholomataceae
Género: *Pleurotus*
Especie: *Pleurotus ostreatus*.



La Aldea
SETAS Y CHAMPIÑONES

NC: Hongo ostra, Sachakallampa, orellanas, girgolas.

AGROCAMANTI E.I.R.L.


Blgo. Milton Olarte Bautista

BLGO. MILTON OLARTE BAUTISTA
GERENTE DE AGROCAMANTI E.I.R.L.

Anexo 4

Análisis de residuos lignocelulósicos



Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE:	22864-21
CLIENTE:	ADALY GALLEGOS BELISARIO
DIRECCIÓN:	AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER
PRODUCTO	CASCARILLA DE ARROZ
CANTIDAD DE MUESTRA	01
FECHA DE RECEPCION:	Martes, 07 de diciembre de 2021
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES:	BOLSA PLASTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Jueves, 23 de diciembre de 2021
REFERENCIA	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	ALIMENTOS BALANCEADOS "SAN BERNARDO".
CÓDIGO DE MUESTRA	29059

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

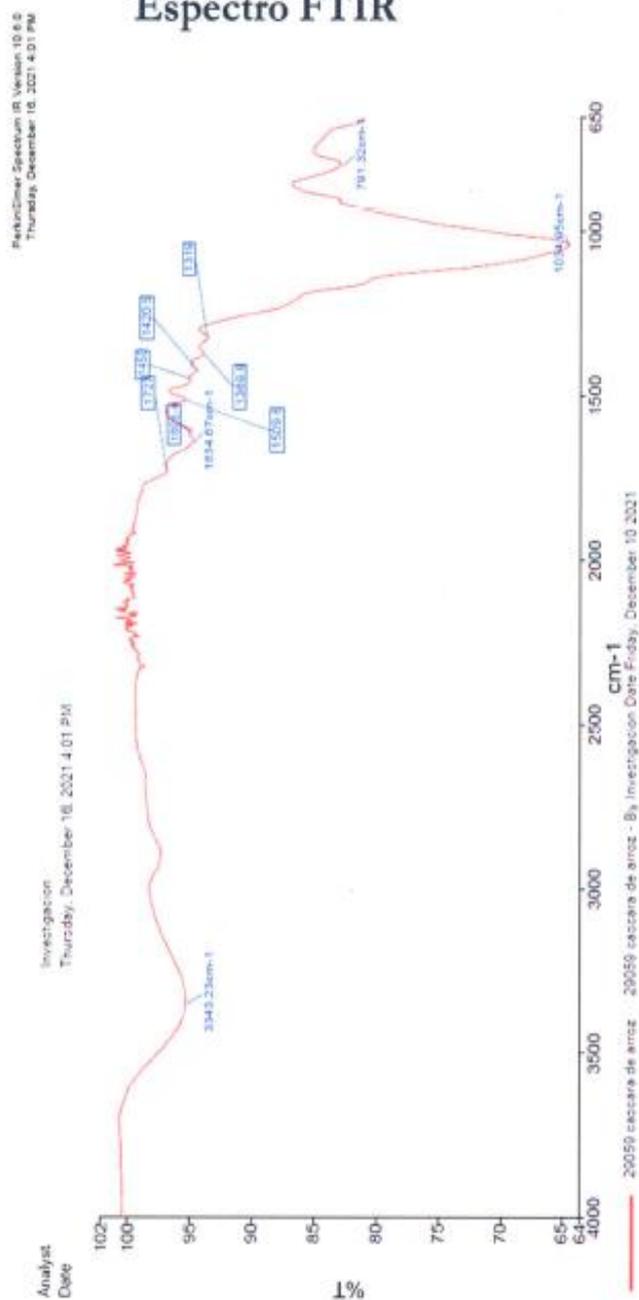
Página 1 de 3



INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 22864-21

Espectro FTIR





INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 22864-21

Número de onda (cm-1)	Grupo funcional
3343.23	-OH
1727	C=O
1634.67	N-H
1605.40	N-H
1509.60	C=C
1420.90	C-H
1369.80	C=C
1319.00	C-O
1034.95	SiO ₂
791.32	SiO ₂

Página 3 de 3

Emitido en Arequipa, el 23 de diciembre de 2021.

Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348



Anal. Qm. Ruth Begazo Guillén
Químico Responsable

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE: 22879-21
CLIENTE: ADALY GALLEGOS BELISARIO
DIRECCIÓN: AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
PRODUCTO: CASCARILLA DE ARROZ
CANTIDAD DE MUESTRA: 01
FECHA DE RECEPCIÓN: Martes, 07 de diciembre de 2021
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES: BOLSA PLÁSTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: Jueves, 30 de diciembre de 2021
REFERENCIA: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA: ALIMENTOS BALANCEADOS "SAN BERNARDO".
CÓDIGO DE MUESTRA: 29059

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 22879-21

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Humedad	%	4.97	Método NTP 209.085
Cenizas	%	18.71	Método 2.173 de la AOAC
Grasa	%	0.67	Método NTP 209.093
OBSERVACIONES:			

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 30 de diciembre de 2021.



Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348




Anal. Qm. Ruth Begazo Guillén
Químico Responsable

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE:	22865-21
CLIENTE:	ADALY GALLEGOS BELISARIO
DIRECCIÓN:	AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER
PRODUCTO	ASERRIN
CANTIDAD DE MUESTRA	01
FECHA DE RECEPCION:	Martes, 07 de diciembre de 2021
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES:	BOLSA PLASTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Jueves, 23 de diciembre de 2021
REFERENCIA	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	MADERERA OCHOA AREQUIPA
CÓDIGO DE MUESTRA	29060

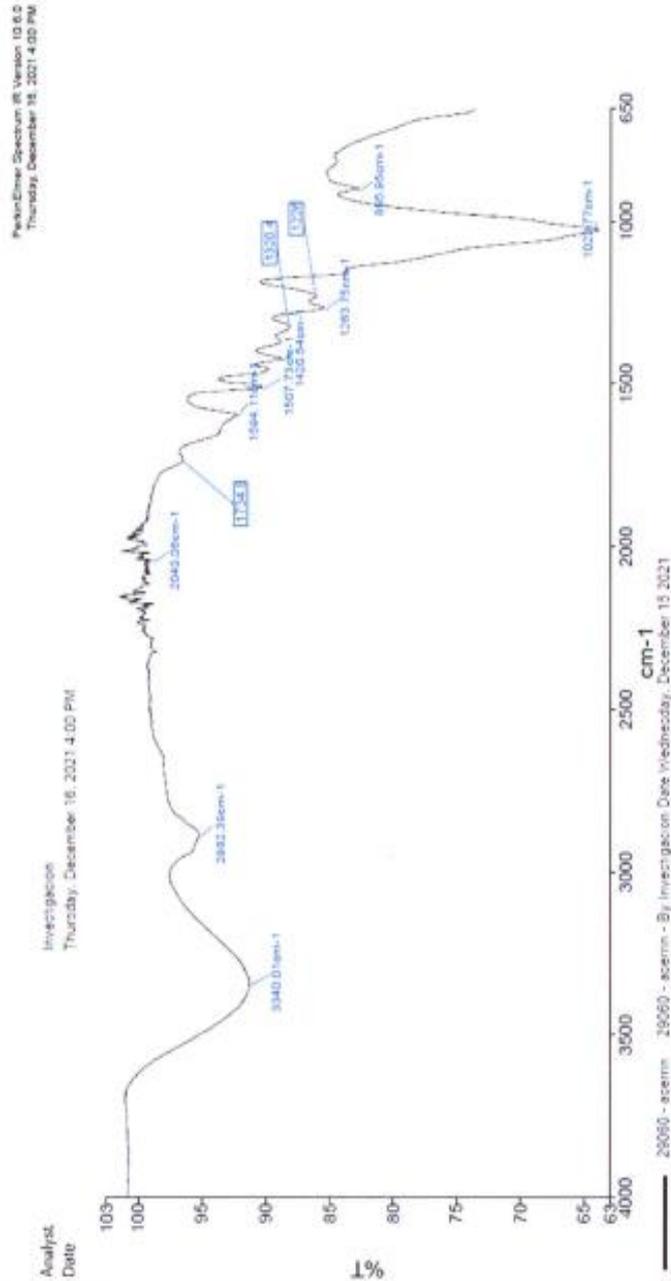
LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV



INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 22865-21

Espectro FTIR





INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 22865-21

Número de onda (cm-1)	Grupo funcional
3340.01	-OH
2882.39	C-H
1734.80	C=O
1594.11	C=C
1507.73	C=C
1420.54	C-H
1320.40	C-O
1263.75	C-O-C
1226.00	C-O-C
1023.77	C-O
895.95	-C-C

Página 3 de 3

Emitido en Arequipa, el 23 de diciembre de 2021.

Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348



Anal. Qm. Ruth Begazo Guillén
Químico Responsable



INFORME DE ENSAYOS

Nº DE REPORTE: 22880-21
CLIENTE: ADALY GALLEGOS BELISARIO
DIRECCIÓN: AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
PRODUCTO ASERRIN
CANTIDAD DE MUESTRA 01
FECHA DE RECEPCIÓN: Martes, 07 de diciembre de 2021
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES: BOLSA PLÁSTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: Jueves, 30 de diciembre de 2021
REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA MADERERA OCHOA AREQUIPA
CÓDIGO DE MUESTRA 29060

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV



INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 22880-21

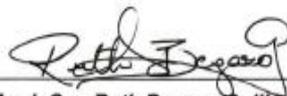
ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Humedad	%	5.78	Método NTP 209.085
Cenizas	%	0.89	Método 2.173 de la AOAC
Grasa	%	0.31	Método NTP 209.093
OBSERVACIONES:			

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 30 de diciembre de 2021.


Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348




Anal. Qm. Ruth Begazo Guillen
Químico Responsable

Anexo 5

Certificados de calibración de los equipos utilizados en el análisis de residuos lignocelulósicos

 PerkinElmer,
Chalfont Road, Seer Green,
Beaconsfield, HP9 2FX, UK

Certificate of Calibration

NIR Polystyrene Traceable Reference Material

This to certify that the polystyrene TRM has been measured on a PerkinElmer Spectrum 100 instrument calibrated using a certified¹ polystyrene sample. The calibration results of the TRM are tabulated below. The wavenumber values in the left-hand column are the certified values for those peaks. Band locations were obtained using the Centre of Gravity (or Centroid) method, with a band fraction of 0.5.

Traceable Reference Material
TRM Serial Number: **PA02951**

Standard Reference Material
SRM Serial Number: **JR95**

Calibration Record

NPL SRM nominal nm	NPL SRM measured nm	TRM measured nm	Tolerance (from nominal) nm
1763.60	1763.67	1763.57	+/-0.4
2187.00	2187.53	2187.42	+/-0.4
cm ⁻¹	cm ⁻¹	cm ⁻¹	cm ⁻¹
5670.22	5670.01	5670.32	+/-1.5
4572.47	4571.37	4571.59	+/-1.0

Operator : **Spencer Fossett**
Calibration Date: **16 October 2017**

.....*Spencer Fossett*.....
Signed

Calibration expiry date: **16 October 2020**

1. The polystyrene sample is certified by the National Physical Laboratory (NPL), Teddington, Middlesex, TW11 0LW, U.K.

Copyright 2011 PerkinElmer, Inc.
PerkinElmer is a registered trademark of PerkinElmer, Inc.



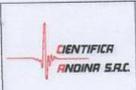
CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN DE RENDIMIENTO FRONTIER FT - IR/NIR

CÓDIGO: FGPV_CVR_FRONTIERFTIR/NIR
 REVISIÓN : 04
 APROBADO : GOC
 ELABORADO: ST
 FECHA : 28/10/14

ESPECTROFOTÓMETRO INFRARROJO

PERKIN ELMER FRONTIER FT-IR/NIR S/N: 110523

Compañía:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
Dirección:	AV. INDEPENDENCIA SN, CERCADO
Área:	ESCUELA DE QUIMICA
Responsable:	ADRIANA LARREA VALDIVIA
Teléfono:	987882315
Código del Cliente:	
Fecha de Evaluación:	Enero 26, 2021
Próxima Certificación:	
Periodo recomendado:	12 meses
Fecha Sugerida:	Enero 2022
No. de Certificado:	VZ024C
Fecha Ultimo Certificado:	-
Teléfono de Consultas:	(01) 201 5800 / 444 9993



CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN DE RENDIMIENTO FRONTIER FT - IR/NIR

CÓDIGO: FGPV_CVR_FRONTIERFTIR/NIR
 REVISIÓN : 04
 APROBADO : GOC
 ELABORADO: ST
 FECHA : 28/10/14

CERTIFICADO No: VZ024C FECHA DE EVALUACIÓN: Enero 26, 2021

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
CONFIGURACIÓN EVALUADA: ACCESORIOS / COMPONENTES, NO INCLUIDOS		
Modelo	No. Serie	Modelo
FRONTIER DUAL	110523	
Estándares Utilizados	Número de Lote	Fecha de Expiración
Suministrado por Cliente	Observaciones	Iniciales de Cliente

	CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN DE RENDIMIENTO FRONTIER FT - IR/NIR		CÓDIGO: FGPV_CVR_FRONTIERFTIR/NIR REVISIÓN : 04 APROBADO : GOC ELABORADO: ST FECHA : 28/10/14
	CERTIFICADO No : <u>VZ024C</u> FECHA DE EVALUACIÓN: <u>Enero 26, 2021</u>		
PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO	
Amplitud de Igram			
Max. Amplitud de Igram	0.6 a 0.95 V	0.64v	
Calibración de Longitud de Onda	Error de Calibración < 0.1 cm ⁻¹ (a 3060.02)	-0.005 cm-1	
Prueba de Background			
%Cut-off de Energía (norm)	Promedio 320 – 100 cm ⁻¹ < 0.2%	0.0083 %	
Prueba Señal a Ruido	Detector TGS > 9500 : 1	10232	
Razón Señal a Ruido Típica SNR			
Prueba de Polystyrene			
Registrar los picos en las siguientes posiciones	3082.22 ± 0.5 cm ⁻¹	3082.16	
	3060.14 ± 0.5 cm ⁻¹	3060.12	
	1601.38 ± 0.5 cm ⁻¹	1601.39	
	1583.04 ± 0.5 cm ⁻¹	1583.20	
	1028.42 ± 0.5 cm ⁻¹	1028.56	

	CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN DE RENDIMIENTO FRONTIER FT - IR/NIR		CÓDIGO: FGPV_CVR_FRONTIERFTIR/NIR REVISIÓN : 04 APROBADO : GOC ELABORADO: ST FECHA : 28/10/14
	CERTIFICADO No : <u>VZ024C</u> FECHA DE EVALUACIÓN: <u>Enero 26, 2021</u>		
PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO	
Amplitud de Láser			
Amplitud de Láser	0.3 a 0.95 V	0.33v	
Amplitud de Igram			
Max. Amplitud de Igram	0.5 a 0.7 V	0.64 V	
Calibración de Longitud de Onda	Error de Calibración < 0.1 cm ⁻¹ (a 5669.3 cm ⁻¹)	-0.034 cm-1	
Prueba de Background			
%Cut-off de Energía (norm)	Promedio 160 – 100 cm ⁻¹ < 0.2%	0.0054 %	
Prueba Señal a Ruido	NIRTGS > 4000 : 1	9203	
Razón Señal a Ruido Típica SNR			
Prueba de Polystyrene			
Registrar los picos en las sgte. posiciones	5669.30 ± 0.5 cm ⁻¹	5669.27 cm-1	

OBSERVACIONES:

Este documento CERTIFICA que las pruebas realizadas y la configuración evaluada

cumple

no cumple

las especificaciones de PERKIN ELMER, indicadas en este Certificado.

Este documento no modifica los términos estándar y las condiciones de venta de PERKIN ELMER, incluyendo los términos de garantía. PERKIN ELMER no asume compromiso por los resultados de las pruebas.



Ing. VICTOR ZAFERSON QUIROZ

Dpto. de Servicio. Firma de Cliente

Anexo 6

Control de temperatura y humedad relativa

Tabla 39. Registro de temperatura y humedad relativa por 30 días

CM	Mañana		Tarde		Noche	
	T	HR	T	HR	T	HR
DÍAS	°C	%	°C	%	°C	%
1	28	23	30	17	16	26
2	27	24	29	18	15	27
3	28	24	30	18	16	27
4	27	22	29	16	15	25
5	27	23	29	17	15	26
6	28	23	30	17	16	26
7	27	24	29	18	15	27
8	28	22	30	16	16	25
9	28	23	30	17	16	26
10	28	27	30	21	16	30
11	27	23	29	17	15	26
12	28	22	30	16	16	25
13	28	23	30	17	16	26
14	27	27	29	21	15	30
15	28	25	30	19	16	28
16	27	24	29	18	15	27
17	28	23	30	17	16	26
18	27	23	29	17	15	26
19	28	28	30	22	16	31
20	28	23	30	17	16	26
21	27	27	29	21	15	30
22	28	23	30	17	16	26
23	25	22	27	16	13	25
24	28	23	30	17	16	26
25	28	22	30	16	16	25
26	28	24	30	18	16	27
27	27	23	29	17	15	26
28	28	22	30	16	16	25
29	28	23	30	17	16	26
30	27	22	29	16	15	25
PROMEDIO	28	24	30	18	16	27

Nota: CM: crecimiento micelial, T: temperatura y HR: humedad relativa

Anexo 7

Control de crecimiento micelial

Tabla 40. Control de crecimiento micelial de tratamientos y pruebas

Día	Prueba 1						Prueba 2					
	CA ₀ :AS ₁₀₀		CA ₁₀₀ :AS ₀		CA ₅₀ :AS ₅₀		CA ₁₀₀ :AS ₀		CA ₀ :AS ₁₀₀		CA ₅₀ :AS ₅₀	
N.º	Valor	%										
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	4	4	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2
3	4	8	2	4	3	6	2	4	2	4	2	4
4	4	12	2	6	3	9	3	7	2	6	2	6
5	4	16	3	9	3	12	3	10	2	8	2	8
6	4	20	3	12	4	16	3	13	2	10	3	11
7	4	24	3	15	4	20	3	16	3	13	3	14
8	4	28	3	18	4	24	4	20	3	16	3	17
9	4	32	3	21	4	28	4	24	3	19	3	20
10	4	36	3	24	4	32	4	28	3	22	4	24
11	4	40	4	28	4	36	4	32	3	25	4	28
12	4	44	4	32	4	40	4	36	3	28	4	32
13	4	48	4	36	4	44	4	40	4	32	4	36
14	4	52	4	40	4	48	4	44	4	36	4	40
15	4	56	4	44	4	52	4	48	4	40	4	44
16	4	60	4	48	4	56	4	52	4	44	4	48
17	4	64	4	52	4	60	4	56	4	48	4	52
18	4	68	4	56	4	64	4	60	4	52	4	56
19	4	72	4	60	4	68	4	64	4	56	4	60
20	4	76	4	64	4	72	4	68	4	60	4	64
21	4	80	4	68	4	76	4	72	4	64	4	68
22	4	84	4	72	4	80	4	76	4	68	4	72
23	4	88	4	76	4	84	4	80	4	72	4	76
24	4	92	4	80	4	88	4	84	4	76	4	80
25	4	96	4	84	4	92	4	88	4	80	4	84
26	4	100	4	88	4	96	4	92	4	84	4	88
27			4	92	4	100	4	96	4	88	4	92
28			4	96			4	100	4	92	4	96
29			4	100					4	96	4	100
30									4	100		