



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ARQUITECTURA

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
ARQUITECTURA**

TEMA

**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN PROTOTIPO
DE BLOQUE IMPLEMENTANDO MICELIOS Y FIBRA DEL
PSEUDOTALLO DE BANANO**

TUTOR

MGTR. DIS. MARIA EUGENIA DUEÑAS BARBERÁN

AUTORES

JESSICA ANNABELL ORTEGA CUENCA

SUSAN SOLANGE PUERO SORIANO

GUAYAQUIL

2024

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Determinación de las características de un prototipo de bloque implementando micelios y fibra del pseudotallo de banano.

AUTOR/ES:

Ortega Cuenca Jessica Annabell
Puelo Soriano Susan Solange

TUTOR:

Dueñas Barberán María Eugenia

INSTITUCIÓN:

**Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil**

Grado obtenido:

Arquitecta

FACULTAD:

INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

ARQUITECTURA

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2024

N. DE PÁGS:

191

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y construcción

PALABRAS CLAVE: Arquitectura, Materiales de construcción, Hongo, Sustancia bioquímica.

RESUMEN:

La cantidad de los residuos provenientes de las actividades agrícolas y forestales ha ido aumentando junto con la presencia de materia fúngica en la tierra. Por lo que este trabajo de investigación experimental propone una alternativa sostenible para la construcción, mediante la creación de un bloque a base de materia fúngica como el micelio con sustratos lignocelulósicos y la fibra de pseudotallo de banano (musa x paradisiaca). La extracción de la fibra se realizó mediante métodos físicos artesanales y mecánicos siguiendo los pasos de: corte, separación de vainas foliares, extracción de la savia, cepillado y secado. En este estudio se trabajó con micelio en grano del hongo *Pleurotus Ostreatus* (seta de ostra) el cual fue incubado en sustratos de aserrín, cascarilla de arroz, paja de trigo y cartón. Una vez que el micelio invadió el sustrato, se moldeó junto con la fibra de

pseudotallo de banano en dosificaciones de 30% - 70%, 50% -50% y 70% - 30% respectivamente, las cuales fueron secadas mediante un proceso térmico para detener el crecimiento del hongo y evitar futuras contaminaciones en el material. Estas dosificaciones fueron comparadas con una muestra de micelio al 100% para determinar las características mecánicas, físicas y químicas.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:
---	-----------------------------

DIRECCIÓN URL (Web):

ADJUNTO PDF:	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
---------------------	------------------------------------	------------------------------------

CONTACTO CON AUTOR/ES: Ortega Cuenca Jessica Annabell Puerdo Soriano Susan Solange	Teléfono: 0963295053	E-mail: jessicaortegacuenca99@gmail.com spueros@gmail.com
---	--------------------------------	--

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Ph. D Marcial Calero Amores Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 241 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgtr. Milton Gabriel Andrade Laborde Teléfono: (04)2596500 Ext. 209 E-mail: mandradel@ulvr.edu.ec
------------------------------------	--

TESIS_PUERO_ORTEGA_compressed.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDICE DE SIMILITUD

2%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

< 1%

★ www.residuosprofesional.com

Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo



firmado electrónicamente por:
MARIA EUGENIA
DUENAS BARBERAN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El (Los) estudiante(s) egresado(s) JESSICA ANNABELL ORTEGA CUENCA y SUSAN SOLANGE PUERO SORIANO, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, Determinación de las características de un prototipo de bloque implementando micelios y fibra del pseudotallo de banano, corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)



Jessica Annabell Ortega Cuenca

C.I.1311466054



Susan Solange Puerto Soriano

C.I. 0953015096

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación “**Determinación de las características de un prototipo de bloque implementando micelios y fibra del pseudotallo de banano**” designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: “**Determinación de las características de un prototipo de bloque implementando micelios y fibra del pseudotallo de banano**”, presentado por el (las) estudiante (s) JESSICA ANNABELL ORTEGA CUENCA, SUSAN SOLANGE PUERO SORIANO como requisito previo, para optar al Título de ARQUITECTAS, encontrándose aptas para su sustentación.



María Eugenia Dueñas Barberán

C.C. 1303722365

AGRADECIMIENTO

Iniciando por darle gracias a Dios por ser mi pilar en los momentos que estuve por derrumbarme. A mis padres, Marco Ortega y Monserrat Cuenca, por estar junto a mí en todo momento en que los necesité, por todo el esfuerzo que dieron y dan para que yo haya llegado hasta aquí, gracias por su apoyo incondicional y su amor tan grande que siempre me abrigó. A mi hermana Laura por su apoyo, su compañía en mis amanecidas y por consentirme cada vez que podía. A toda mi familia, que indirectamente me apoyaba, mis tías, tíos, primas y primos, que me brindaron su granito de arena y su motivación. A mi compañera de tesis, Susan, por ser esa persona que me impulsó a cometer locuras y arriesgarme a participar en proyectos que jamás imaginé. A aquellos profesores que compartieron sus enseñanzas y pusieron su confianza en mí, un agradecimiento especial a mi tutora de tesis María Eugenia Dueñas por guiarnos de manera correcta e invitarnos al mundo maravilloso de la investigación y la ciencia y al Arquí Eddie Echeverría por compartirnos sus conocimientos. A los amigos que la vida me regaló, a los amigos de la universidad, los amigos pasajeros y los amigos que aún siguen presentes. Finalmente, le doy gracias a mi Ángel, al amor, a mi persona especial, que llegó e hizo mi recorrido colorido y cálido.

JESSICA ANNABELL ORTEGA CUENCA

DEDICATORIA

A mis abuelitos, Ermel Ortega, Victoria Aguilar e Ida Zambrano, mis ángeles, quienes me brindaron el amor y valor necesario para seguir mis sueños; incluso desde la distancia sentí sus manos ayudándome a continuar.

Papitos Marco Ortega y Monserrat Cuenca, este logro es fruto de sus sacrificios, amor y dedicación.

A mí hermana Laura Ortega, que a pesar de ser polos opuestos nunca ha dejado de confiar en mí.

A mis gatitos Mini, Pelusa, Tom y Jerry (Naru) porque sus abrazos peluditos me quitaban el peso del estrés.

A ti, JAZA, la locura humana convertida en amor puro.

JESSICA ANNABELL ORTEGA CUENCA

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento profundo a mi Dios, por su amor misericordioso, a cada oración escuchada en búsqueda de guía, fortaleza y sabiduría. Por el sueño que puso en mi corazón desde los 9 años y ahora estoy alcanzando en este camino de convertirme en arquitecta.

A mis padres, Boris Puerto y Susana Soriano, quiero extender un agradecimiento inmenso. Ustedes han sido mis pilares fundamentales, y no tengo palabras suficientes para expresar lo agradecida que estoy por su confianza inquebrantable en mí, por su tiempo, amor y cariño. Gracias por su protección constante y por ser el refugio que siempre necesito. A mi mamá en particular, te agradezco de todo corazón por creer en mí más que nadie, por ser mi guía y consejera, y por estar a mi lado en los momentos más difíciles. Sin tu apoyo incondicional, no hubiera podido superar los obstáculos y alcanzar mis metas. A mis queridas hermanas, Ericka Puerto y Milena Puerto, quiero expresar mi gratitud más sincera. Les agradezco por cada gesto de apoyo, cada conversación y cada aventura compartida han sido invaluable. Gracias por estar siempre en la primera fila.

A mi familia extendida, especialmente a mis abuelitos Alejandro Soriano, Mariana Maldonado, Angélica Candela, y mi tía Lorena Soriano, gracias por su amor, apoyo y motivación.

A mi compañera de arquitectura, amiga y confidente, Jessica Ortega, gracias por haberte embarcado en este viaje de experimentos conmigo. Gracias por ser la dupla perfecta en este último proyecto universitario.

Extiendo mi agradecimiento a la mentora de este proyecto, la Dis. María Eugenia Dueñas. Gracias por confiar en mis habilidades y por sumergirnos en el emocionante mundo experimental. Gracias a su excelente orientación y exploración en este proyecto, no sería posible sin su apoyo. Asimismo, quiero expresar mi gratitud a la Arq. Carolina Morales, quien ha sido una fuente constante de inspiración. Gracias por ser un faro de luz en esta carrera. No menos importante, quiero agradecer al Arq. Eddie Echeverría por su paciencia, profesionalismo y guía cuidadosa, compartiendo conocimientos y brindando consejos para mejorar el proyecto.

Agradezco a mis amigas del colegio y amigos de la universidad por su constante apoyo, por celebrar conmigo cada triunfo y derrota. Por último, agradezco el amor y los buenos deseos de todos los que vivieron esto conmigo.

SUSAN SOLANGE PUERO SORIANO

DEDICATORIA

A mi Dios fiel, a quién le otorgo todos mis logros y triunfos.

A mi mamá, a su amor y apoyo incondicional. Este logro es muy nuestro, gracias por estar en cada paso de este proyecto y cada día inspirarme.

A mi papá, con su inteligencia, perseverancia y valentía, me ha inspirado a esforzarme cada día más.

A mis hermanas amadas, a Milena Puero y a Ericka Puero. Mis compañeras de viaje más leales y el motor de mi corazón.

A mis queridos abuelitos, Alejandro Soriano, Mariana Maldonado y Angélica Candela.

A mi tía Lorena Soriano, gracias por ser como una segunda mamá y cuidarme como una hija.

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas.”

Josué 1:9

SUSAN SOLANGE PUERO SORIANO

RESUMEN – ABSTRACT

La cantidad de los residuos provenientes de las actividades agrícolas y forestales ha ido aumentando junto con la presencia de materia fúngica en la tierra. Por lo que este trabajo de investigación experimental propone una alternativa sostenible para la construcción, mediante la creación de un bloque a base de materia fúngica como el micelio con sustratos lignocelulósicos y la fibra de pseudotallo de banano (*musa x paradisiaca*). La extracción de la fibra se realizó mediante métodos físicos artesanales y mecánicos siguiendo los pasos de: corte, separación de vainas foliares, extracción de la savia, cepillado y secado. En este estudio se trabajó con micelio en grano del hongo *Pleurotus Ostreatus* (seta de ostra) el cual fue incubado en sustratos de aserrín, cascarilla de arroz, paja de trigo y cartón. Una vez que el micelio invadió el sustrato, se moldeó junto con la fibra de pseudotallo de banano en dosificaciones de 30% - 70%, 50% - 50% y 70% - 30% respectivamente, las cuales fueron secadas mediante un proceso térmico para detener el crecimiento del hongo y evitar futuras contaminaciones en el material. Estas dosificaciones fueron comparadas con una muestra de micelio al 100% para determinar las características mecánicas, físicas y químicas.

Palabras claves: Arquitectura, Materiales de construcción, Hongo, Sustancia bioquímica.

ABSTRACT

The amount of waste coming from agricultural and forestry activities has been increasing along with the presence of fungal matter in the soil. Therefore, this experimental research proposes a sustainable alternative for construction by creating a block based on fungal matter such as mycelium with lignocellulosic substrates plus pseudostem fiber of the banana (*Musa x paradisiaca*). The fiber extraction was conducted using traditional and mechanical physical methods following these steps: cutting, separating the foliar sheaths, extracting the sap, brushing, and drying. In this study, we used grain mycelium of the *Pleurotus ostreatus* mushroom (oyster mushroom), which was incubated on substrates of sawdust, rice husk, wheat straw and cardboard. Once the mycelium invaded the substrate, it was molded together with the pseudostem fiber of the banana in proportions of 30% - 70%, 50% - 50%, and 70% - 30% respectively, which were dried through a thermal process to halt the fungal growth and prevent future material's contaminations. These dosages were compared with a 100% mycelium sample to determine their mechanical, physical, and chemical characteristics.

Keywords: Architecture, Building materials, Mushroom, Biochemical substance.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Tema.....	3
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Formulación del problema	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Hipótesis	6
1.6 Líneas de la investigación de la Facultad	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL.....	7
2.1 Marco teórico	7
2.2 Antecedentes.....	19
Micelios	19
Tipos de sustratos.....	26
Fibras vegetales.....	30
El banano.....	33
Fibra del pseudotallo de banano	36
Biomaterial	39
Bloque.....	41
Eco-bloques o eco-ladrillos	43
2.3 Marco legal	46
2.3.1 Normativas Nacionales.....	46
Capítulo segundo Derechos de buen vivir	46

2.3.2	Normativas Internacionales	50
CAPÍTULO III.....		51
MARCO METODOLÓGICO		51
3.1	Método y alcance de la investigación:	51
3.1.1	Enfoque de la investigación:.....	51
3.1.2	Tipo de investigación:.....	51
3.1.3	Alcance de la investigación:	52
3.2	Técnica e instrumentos para recopilar información.	53
3.2.1	Variables de la investigación	53
3.2.2	Representación del diseño de investigación.....	55
3.2.3	Población.....	55
3.2.4	Muestra.....	55
3.2.5	Muestreo.....	55
CAPÍTULO IV.....		57
PROPUESTA O INFORME.....		57
4.1	Metodología y técnicas aplicada.....	57
4.2	Obtención de residuos lignocelulósicos	59
4.2.1	Fibra de pseudotallo de banano	62
4.2.2	Descripción de los procesos de obtención de las fibras de pseudotallo de banano	62
4.3	Pre-experimentaciones	67
4.3.1	Micelio en grano con sustrato de cascarilla de arroz.....	67
4.4	Experimentaciones finales	79
4.4.1	Descripción de los procesos de pasteurización del sustrato	79
4.4.2	Descripción del proceso de inoculación del micelio.....	86
4.4.3	Descripción del proceso de incubación del micelio en los sustratos .	88
4.4.4	Descripción del proceso de moldeo del micelio con la fibra de pseudotallo de banano	93

4.4.5	Descripción del proceso de secado de las muestras.....	101
4.4.6	Descripción del proceso de relleno de las muestras	106
4.5	Presentación y análisis de resultados.....	110
4.5.1	Caracterización de los prototipos	110
4.5.2	Resultados de propiedades físicas y mecánicas	127
4.6	Propuesta	129
4.6.1	Diseño del molde.....	129
4.6.2	Elaboración del molde	131
4.6.3	Elaboración del bloque	132
CONCLUSIONES		137
RECOMENDACIONES		138
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		139
ANEXOS		146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones de crecimiento del hongo durante las etapas de crecimiento y fructificación.....	23
Tabla 2. Resultados de cargas en relación con el sustrato utilizado en el hongo tipo Pleurotus Ostreatus.....	27
Tabla 3. Propiedades mecánicas de las fibras textiles	37
Tabla 4. Publicaciones sobre métodos de producción y procesamiento de materiales de micelio.	40
Tabla 5. Medidas estándares de los bloques.....	42
Tabla 6. Dimensiones nominales y efectivas y usos	42
Tabla 7. Propósito y valor de los diferentes tipos de alcances de la investigación.	52
Tabla 8. Diseño de investigación para la recopilación de información de laboratorio.....	55
Tabla 9. Diseño de bitácora	55

Tabla 10. Materiales para primeras pruebas experimentales	67
Tabla 11. Proceso de crecimiento del micelio con la fibra del pseudotallo de banano	69
Tabla 12. Proceso de crecimiento del micelio con sustrato cascarilla de arroz seca.....	72
Tabla 13. Proceso de crecimiento del micelio, sustrato cascarilla de arroz y fibra de pseudotallo de banano	74
Tabla 14. Proceso de crecimiento del micelio con sustrato cascarilla de arroz para crecimiento	76
Tabla 15. Muestra pre-experimental 5; micelio con sustrato de cascarilla de arroz para crecimiento.....	78
Tabla 16. Materiales para proceso de pasteurización del sustrato.....	80
Tabla 17. Dosificación del sustrato y agua	82
Tabla 18. Materiales para utilizar en el proceso de inoculación del micelio en el sustrato	86
Tabla 19. Registro de incubación utilizando sustrato de cartón.....	90
Tabla 20. Registro de incubación utilizando sustrato de aserrín.....	91
Tabla 21. Registro de incubación utilizando sustrato de cascarilla de arroz	92
Tabla 22. Dosificaciones de las muestras para moldear	94
Tabla 23. Proceso de moldeo con dosificación de 70% micelio - 30% fibra de pseudotallo de banano	95
Tabla 24. Proceso de moldeo con dosificación de 50% micelio - 50% fibra de pseudotallo de banano	98
Tabla 25. Proceso de moldeo con dosificación de 10% micelio - 90% fibra de pseudotallo de banano	100
Tabla 26. Proceso de moldeo con dosificación de 100% micelio	101
Tabla 27. Pesos iniciales y finales de las muestras en el proceso de secado	103
Tabla 28. Pesos iniciales y finales de las muestras en el proceso de secado 30-70	104
Tabla 29. Pesos iniciales y finales de las muestras en el proceso de secado 90-10	105

Tabla 30. Pesos iniciales y finales de las muestras en el proceso de secado 100	106
Tabla 31. Resultado de la prueba de resistencia a la flexión de los prototipos	110
Tabla 32. Resultado del experimento de resistencia a la compresión de los prototipos	113
Tabla 33. Resultado de la prueba de absorción a la humedad	115
Tabla 34. Resultado de la prueba de contenido de humedad	116
Tabla 35. Resultado de la prueba de contenido de humedad	117
Tabla 36. Resultados de prueba de densidad	118
Tabla 37. Bloques de hormigón de acuerdo con su densidad	119
Tabla 38. Conductividad térmica de cada prototipo	119
Tabla 39. Variación de la conductividad térmica según el tiempo	120
Tabla 40. Registro de datos prueba acústica real-time graph sonido incorporado en interior	123
Tabla 41. Registro de datos prueba acústica real-time graph dosificación 70% micelio 30%	124
Tabla 42. Registro de datos prueba acústica real-time graph dosificación 50% micelio 50%	124
Tabla 43. Datos prueba acústica real-time graph 10% micelio 90% fibra de pseudotallo de banano	125
Tabla 44. Registro de datos prueba acústica real-time graph dosificación 70% micelio 30%	126
Tabla 45. Criterios valorados en las cuatro dosificaciones	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Rendimiento mecánico y durabilidad de bloque de cemento con fibra de plátano y fibra de coco	7
Ilustración 2. Imagen obtenida con un microscopio electrónico de barrido para vistas de fibras de banano	8
Ilustración 3. Tomas con la cámara termográfica al panel	9
Ilustración 4. Presencia de hongos en las fibras	9
Ilustración 5. Mushroom House	10

Ilustración 6. <i>Panel acústico a base de micelio fúngico</i>	11
Ilustración 7. <i>Prototipo de panel a base de micelio, aserrín y resina</i>	11
Ilustración 8. <i>Probeta de compresión micelio de seta Pleurotus Ostreatus</i>	12
Ilustración 9. <i>Biomaterial a base de micelio y residuos lignocelulósicos</i>	12
Ilustración 10. <i>Estructura autoportante Mycotree</i>	13
Ilustración 11. <i>Crecimiento del micelio en encofrados cubiertos con plástico negro</i>	13
Ilustración 12. <i>Placa de micelio con sustrato de cartón corrugado</i>	14
Ilustración 13. <i>Crecimiento de micelio de Pleurotus Ostreatus en aserrín de pino</i>	14
Ilustración 14. <i>Ladrillos de micelio</i>	15
Ilustración 15. <i>Temporal desvío del ciclo natural del carbono al construir un edificio y luego reintegrarlo al ciclo</i>	15
Ilustración 16. <i>Crecimiento micelial de los cuatro tratamientos</i>	16
Ilustración 17. <i>Crecimiento inicial del Micelio en los Sustrato</i>	17
Ilustración 18. <i>Compuesto a base de micelio: texturas lisas y rugosas</i>	18
Ilustración 19. <i>Asociación Ñucanchi dedicada a la producción de Hongos Ostras "SUMACO"</i>	19
Ilustración 20. <i>Estructura del cuerpo fructífero o esporocarpo del hongo</i>	20
Ilustración 21. <i>Representación visual de los materiales de micelio en diversas escalas</i>	21
Ilustración 22. <i>Probeta de compresión micelio de seta Pleurotus Ostreatus</i> ..	22
Ilustración 23. <i>Desarrollo del hongo Pleurotus Ostreatus</i>	22
Ilustración 24. <i>Moho de telaraña (Dactylium dendroides)</i>	24
Ilustración 25. <i>Síntomas de la enfermedad de la mancha marrón en las plantas infectadas</i>	24
Ilustración 26. <i>Moho verde (Trichoderma)</i>	25
Ilustración 27. <i>Moho de cabeza de alfiler (Rhizopus stolonifer)</i>	25
Ilustración 28. <i>Moho anaranjado del pan (Neurospora crassa)</i>	26
Ilustración 29. <i>Componentes del sustrato</i>	27
Ilustración 30. <i>Método de desinfección alcalina del sustrato</i>	28
Ilustración 31. <i>Proceso de pasteurización con vapor</i>	29
Ilustración 32. <i>Método de desinfección del sustrato por pasteurización en agua caliente</i>	29

Ilustración 33. <i>Método de desinfección del sustrato por esterilización</i>	30
Ilustración 34. <i>Tejido con fibras vegetales en México prehispánico</i>	31
Ilustración 35. <i>Corte transversal de la planta gramínea</i>	31
Ilustración 36. <i>Tipos de fibras naturales</i>	32
Ilustración 37. <i>Características de las fibras textiles</i>	32
Ilustración 38. <i>Auge bananero en Ecuador</i>	33
Ilustración 39. <i>Fase de la planta de banano</i>	33
Ilustración 40. <i>Partes de la planta de banano</i>	34
Ilustración 41. <i>Principales características del pseudotallo del banano</i>	35
Ilustración 42. <i>Fibras del pseudotallo de banano</i>	36
Ilustración 43. <i>Clasificación de métodos de extracción de la fibra del pseudotallo de banano</i>	38
Ilustración 44. <i>Extracción de la fibra del pseudotallo de banano por método físico</i>	38
Ilustración 45. <i>Ciclo de la propuesta BioComposite de micelio</i>	41
Ilustración 46. <i>Ecoblok</i>	43
Ilustración 47. <i>Ladrillo de adobe</i>	44
Ilustración 48. <i>Ladrillo de ceniza de carbón</i>	44
Ilustración 49. <i>Ladrillo de tierra comprimida</i>	45
Ilustración 50. <i>Ladrillos de tierra comprimida</i>	46
Ilustración 51. <i>Ladrillos de plástico reciclado</i>	46
Ilustración 52. <i>Variable de fabricación del bloque</i>	54
Ilustración 53. <i>Proceso metodológico de la investigación; Extracción de la fibra de banano</i>	57
Ilustración 54. <i>Proceso metodológico de la investigación. Ciclo de BioComposite de Micelio</i>	58
Ilustración 55. <i>Mapa del Ecuador identificando las regiones de la costa</i>	59
Ilustración 56. <i>Mapa del área de extracción del pseudotallo de banano: Cantón Santa Ana, Manabí</i>	60
Ilustración 57. <i>Mapa del área de recolección de cascarilla de arroz: Cantón Daule, Petrillo</i>	60
Ilustración 58. <i>Mapa del área de extracción de la paja de arroz, cartón desechado</i>	61
Ilustración 59. <i>Preparación del pseudotallo de banano</i>	62

Ilustración 60. <i>Proceso de separación de las vainas foliares</i>	62
Ilustración 61. <i>Proceso de extracción de savia de las vainas foliares</i>	63
Ilustración 62. <i>Proceso de cepillado de las vainas foliares</i>	63
Ilustración 63. <i>Proceso de descrude y secado de las fibras de pseudotallo de banano</i>	64
Ilustración 64. <i>Proceso de separación de las vainas foliares del pseudotallo</i> 64	
Ilustración 65. <i>Proceso de extracción de la savia de las vainas foliares del pseudotallo de banano</i>	65
Ilustración 66. <i>Proceso de extracción de la fibra de las vainas foliares del pseudotallo de banano</i>	65
Ilustración 67. <i>Proceso de lavado con detergente y secado de la fibra de pseudotallo de banano</i>	66
Ilustración 68. <i>Proceso de lavado y secado por medio de horno de la fibra de pseudotallo de banano.</i>	66
Ilustración 69. <i>Muestras pre experimentales</i>	68
Ilustración 70. <i>Peso inicial y proceso de secado al horno de la muestra 1</i>	71
Ilustración 71. <i>Peso final después del secado</i>	71
Ilustración 72. <i>Muestra 1 secada y terminada</i>	72
Ilustración 73. <i>Peso inicial de la muestra 2 y proceso de secado</i>	73
Ilustración 74. <i>Muestra 2 final después del secado</i>	74
Ilustración 75. <i>Presencia de contaminación en la muestra 3</i>	75
Ilustración 76. <i>Materiales para preparar el sustrato (aserrín)</i>	81
Ilustración 77. <i>Preparación del sustrato de cascarilla de arroz</i>	82
Ilustración 78. <i>Preparación de los frascos de vidrio con sustrato de aserrín</i> ..	83
Ilustración 79. <i>Pasteurización por vapor de los sustratos</i>	83
Ilustración 80. <i>Proceso de esterilización del cartón</i>	83
Ilustración 81. <i>Cartón rasgado esterilizado</i>	84
Ilustración 82. <i>Proceso de esterilización del cartón</i>	84
Ilustración 83. <i>Proceso de esterilización de botellas</i>	85
Ilustración 84. <i>Inoculación con semillas de micelio en el sustrato</i>	88
Ilustración 85. <i>Proceso de inoculación por medio de botellas de plástico</i>	88
Ilustración 86. <i>Elaboración de incubadora con contenedor de plástico-Guardaplatos hermético</i>	89
Ilustración 87. <i>Incubadora de espuma de poliuretano</i>	89

Ilustración 88. <i>Vista macro del micelio a los 2 días de incubación</i>	91
Ilustración 89. <i>Moldes para las pruebas; a) molde elaborado con acetato, b) molde de policarbonato</i>	93
Ilustración 90. <i>Stencil para las muestras</i>	93
Ilustración 91. <i>Proceso de distribución de micelio y fibra de pseudotallo de banano</i>	94
Ilustración 92. <i>Prototipos en la incubadora día 0</i>	95
Ilustración 93. <i>Muestra 3 desmoldeada de sustrato de cartón y fibra de pseudotallo de banano</i>	96
Ilustración 94. <i>Elaboración de tapas de acetato cubiertas con cinta microporo</i>	97
Ilustración 95. <i>Distribución por capas del micelio y la fibra de pseudotallo de banano</i>	97
Ilustración 96. <i>Muestra 1 desmoldada de sustrato de aserrín y fibra de pseudotallo de banano</i>	99
Ilustración 97. <i>Muestra 2 desmoldada de sustrato de cascarilla de arroz y fibra de pseudotallo de banano</i>	99
Ilustración 98. <i>Muestra 3 desmoldada de sustrato de cascarilla de arroz y fibra de pseudotallo de banano</i>	99
Ilustración 99. <i>Proceso de moldeo con dosificación 10% micelio – 90% fibra de pseudotallo de banano</i>	100
Ilustración 100. <i>Proceso de moldeo con dosificación 100% micelio</i>	101
Ilustración 101. <i>Proceso de secado de las muestras en; a) horno de laboratorio y b) horno de cocina a gas</i>	102
Ilustración 102. <i>Cambios de color producto del secado</i>	102
Ilustración 103. <i>Proceso de relleno de las muestras con resina</i>	107
Ilustración 104. <i>Presencia de resina húmeda en el interior del bloque</i>	107
Ilustración 105. <i>Proceso de relleno de las muestras de cola blanca</i>	108
Ilustración 106. <i>Secado del pegamento dosificación 70% micelio 30% fibra de pseudotallo de banano</i>	108
Ilustración 107. <i>Secado del pegamento dosificación 10% micelio 90% fibra de pseudotallo de banano</i>	109
Ilustración 108. <i>Secado del pegamento dosificación 100% micelio</i>	109
Ilustración 109. <i>Curva esfuerzo-deflexión prototipo P1, P3 y P4</i>	111

Ilustración 110. <i>Prototipos P1, P3 y P4 antes y después de la prueba de resistencia a la flexión</i>	111
Ilustración 111. <i>Curva esfuerzo-deflexión prototipo P2</i>	112
Ilustración 112. <i>Prueba de resistencia a la flexión del prototipo P2</i>	112
Ilustración 113. <i>Prueba de resistencia a la compresión de los prototipos</i>	113
Ilustración 114. <i>Curva esfuerzo-deflexión prototipo P1, P3 y P4</i>	114
Ilustración 115. <i>Curva esfuerzo-deflexión prototipo P2</i>	114
Ilustración 116. <i>Prueba de inflamabilidad</i>	118
Ilustración 117. <i>Muestras sumergidas en agua para prueba de densidad</i> ...	118
Ilustración 118. <i>Conductividad térmica de los prototipos en función de la temperatura</i>	120
Ilustración 119. <i>Conductividad térmica de materiales</i>	121
Ilustración 120. <i>Prueba de conductividad térmica mediante pistola de calor y termómetro láser</i>	121
Ilustración 121. <i>Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria.</i>	122
Ilustración 122. <i>Prueba acústica real-time graph sonido incorporado en interior.</i>	123
Ilustración 123. <i>Prueba acústica real-time graph dosificación 70% micelio 30% micelio</i>	124
Ilustración 124. <i>Prueba acústica real-time graph dosificación 50% micelio 50% micelio</i>	125
Ilustración 125. <i>Prueba acústica real-time graph dosificación 10% micelio 90% fibra de pseudotallo de banano</i>	125
Ilustración 126. <i>Prueba acústica real-time graph dosificación 100% micelio</i>	126
Ilustración 127. <i>Ensayo de impedancia casero.</i>	127
Ilustración 128. <i>Gráficos de barras representativo de los resultados logrados en los ensayos realizados.</i>	127
Ilustración 129. <i>Isometría explotada del diseño del molde</i>	129
Ilustración 130. <i>Diseño 3D del funcionamiento del molde</i>	130
Ilustración 131. <i>Vistas del diseño 3D del molde del prototipo</i>	130
Ilustración 132. <i>Medidas del molde del prototipo desde la vista superior</i>	130
Ilustración 133. <i>Medidas del molde del prototipo desde la vista lateral</i>	131
Ilustración 134. <i>Proceso de elaboración del molde del prototipo</i>	131

Ilustración 135. <i>Molde final para el prototipo de bloque</i>	132
Ilustración 136. <i>Proceso de relleno del molde del bloque</i>	132
Ilustración 137. <i>Bloque cubierto con tapa de acetato y cubierto con una funda negra para su crecimiento</i>	132
Ilustración 138. <i>Crecimiento del micelio en el prototipo final</i>	133
Ilustración 139. <i>Resultado del bloque</i>	133
Ilustración 140. <i>Render tipo de pared 1 bloque de micelio con fibra de pseudotallo de banano y sustrato de cartón</i>	134
Ilustración 141. <i>Render pared tipo 1 interior de espacios con bloque de micelios y fibra de pseudotallo de banano con sustrato de cartón</i>	134
Ilustración 142. <i>Render pared tipo 2 bloque de micelio con fibra de banano con sustrato de cascarilla de arroz</i>	135
Ilustración 143. <i>Render pared tipo 2 vista lateral bloque de micelio con fibra de pseudotallo de banano con sustrato de cascarilla de arroz</i>	135
Ilustración 144. <i>Render pared tipo 3 bloque de micelios con fibra de pseudotallo de banano con sustrato de aserrín y paja</i>	136
Ilustración 145. <i>Render pared tipo 3 vista perspectiva con bloque de micelio y fibra de pseudotallo de banano con sustrato de aserrín y paja</i>	136

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	146
Anexo 2	147
Anexo 3	148
Anexo 4	149
Anexo 5	150
Anexo 6	150
Anexo 7	151
Anexo 8	151
Anexo 9	152
Anexo 10	152
Anexo 11	153
Anexo 12	153
Anexo 13	154

Anexo 14	155
Anexo 15	155
Anexo 16	156
Anexo 17	156
Anexo 18	157
Anexo 19	157
Anexo 20	158
Anexo 21	158
Anexo 22	159
Anexo 23	159
Anexo 24	160
Anexo 25	161
Anexo 26	161
Anexo 27	162
Anexo 28	163
Anexo 29	163
Anexo 30	164
Anexo 31	164
Anexo 32	165
Anexo 33	165
Anexo 34	166
Anexo 35	167

INTRODUCCIÓN

En los años recientes se ha percibido una gran preocupación respecto a la sostenibilidad e impacto ambiental en las construcciones tradicionales, dado que se ha impulsado la investigación y el desarrollo de biomateriales como alternativas viables en el campo de la arquitectura. Por tal motivo, se realizará un proyecto de investigación basado en la elaboración de un prototipo de bloque en base de micelios y fibra de pseudotallo de banano. En adicción, se aprovechará los residuos lignocelulósicos tales como el cartón, cascarilla de arroz, aserrín y paja; en sí, el uso significativo de estos materiales no solo reduciría el impacto ambiental, sino que también proporcionarían propiedades innovadoras a los elementos de construcción.

Los biomateriales por su naturaleza son biodegradable y renovable, estos representan una solución prometedora para mitigar la acumulación de residuos. Tomando en cuenta que Ecuador se encuentra entre los mayores productores de banano a nivel mundial, las bananeras y distribuidores enfrenta un desafío significativo con la gestión de residuos agrícolas, siendo el pseudotallo uno de los desechos que a menudo no se trata de manera adecuada.

Así mismo, se conoce que los residuos de micelios provienen del creciente sector de producción de hongos y dado que estos representan una alta carga de desechos orgánicos, se proyecta el uso de este desecho en la construcción de bloques para crear un valor en la comunidad. Debido a la falta de conocimiento técnico y al acceso a métodos eficientes para la reutilización de materiales, se ha limitado la aplicación de otros tipos de materias prima en la construcción, haciendo que perpetue el uso de componentes tradicionales que presentan un impacto negativo al medio ambiente.

El principal objetivo de este proyecto consiste en diseñar y evaluar un prototipo de bloque elaborado a partir de micelio y fibra de pseudotallo de banano. En este estudio, las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas del material se identificarán por medio de fórmulas que saldrán por las diferentes ramas de tipología de investigación. No obstante, se formulará una hipótesis en busca de proponer una alternativa viable, sostenible y competitiva frente a los bloques de construcción

convencionales. De esta manera, la propuesta se encuadra en la línea de investigación del desarrollo de materiales innovadores y sostenibles, con un énfasis particular en la reducción de residuos, así como el aprovechamiento de recursos renovables.

La metodología adoptada para esta investigación incluirá tanto un diseño experimental riguroso como un enfoque pre-experimental, permitiendo el control y la observación sistemática de las variables independientes y dependientes, en este caso la proporcionalidad de los componentes principales. Por otro lado, la recolección de datos se efectuará mediante diversas técnicas, incluyendo análisis documental, observación de campo y experimentación en laboratorio. Este enfoque integral está concebido para evaluar de manera exhaustiva la viabilidad de los prototipos desarrollados, garantizando que las conclusiones derivadas sean sólidas y aplicables en contextos reales.

Los hallazgos de este estudio serán presentados mediante una serie de ensayos de laboratorio que evaluarán tanto las propiedades físicas como las mecánicas de los bloques de micelio y fibra de banano. En este proceso, se realizarán pruebas que medirán la resistencia a la flexión y a la compresión, la capacidad de absorción de humedad, la inflamabilidad, así como la conductividad térmica y acústica. Estos análisis permitirán verificar la hipótesis planteada.

Finalmente, la propuesta final del estudio tiene como objetivo identificar la dosificación óptima de materiales que permita obtener un bloque de construcción funcional y sostenible. Esta dosificación se determinará en función de un análisis detallado de las características de cada prototipo, optimizando así su potencial como una alternativa viable para la industria de la construcción en Ecuador y en otros contextos similares.

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Tema

Determinación de las características de un prototipo de bloque implementando micelios y fibra del pseudotallo de banano.

1.2 Planteamiento del problema

La aplicación de los biomateriales en la construcción es una práctica que brinda propiedades sostenibles, biodegradables, flexibles y termoacústicas. A pesar de que ha intervenido en los últimos años en el campo arquitectónico, su adaptación no ha sido replicada en las actuales construcciones, es así como incrementa su ausencia de conocimiento en sus técnicas. Causando una delimitación en sus beneficios innovadores como asimismo la contribución al desarrollo sustentable. No obstante, estas percepciones limitan al constructor a expandirse a nuevas soluciones, en las que terminan con decisiones no viables como los métodos tradicionales no mejorados y contaminantes.

El principal problema que enfrenta esta práctica es que no existe la conciencia ambiental de sus utilidades, por lo que son materiales con índice de baja nocividad que permiten resistir, sustituir y regenerar tejidos orgánicos, produciendo un ahorro energético y económico en su eficacia. Si bien es cierto que el país cuenta con una gran cantidad de recursos naturales, los biomateriales que se implementan en el campo constructivo son limitados. Esto se debe a la falta de manuales, métodos, y acceso a los materiales y mucho menos conocimiento sobre las propiedades impidiendo su aplicación.

Como es el caso de los micelios, al ser un material con una línea de investigación diversa en su uso, se ha vuelto superficial y poco potencial para su masividad. Esto se debe, ante el aumento de su aplicación en diversas industrias, la fabricación de productos a base de micelios presenta un desafío en cuanto a la gestión de los residuos adecuados. Pueden ser restos de cultivos de micelios, subproductos

de la producción o productos desechados en donde la mayoría de estos sobrantes solo son utilizados en la producción de camas para animales, asimismo en la elaboración de ropa tipo cuero. Debido a su falta cognición en su manejo, desecho y respeto al medio ambiente, se crean círculos de basura orgánica no reciclada que a la larga afectan la calidad de vida y el entorno natural.

Por otro lado, se tiene la situación del plátano que, al ser un producto agrícola, de exportación masiva importante del país. Sin embargo, su gran línea de producción genera extensas cantidades de residuos orgánicos como es su tallo. Después de absorber el fruto, se convierte en un sobrante que puede tardar mucho tiempo en descomponerse, al tener acceso a instalaciones de compostaje o de reciclaje frecuentemente son quemados o depositados en vertederos que terminan filtrándose en los suelos agrícolas que contaminan las aguas subterráneas como también de las riberas.

Muchos productores de banano del país carecen de un sistema competente de manejo de restos, lo que lleva a la emisión de gases de efecto invernadero. De la misma manera, atraen plagas y enfermedades que perjudican la calidad de los cultivos de banano y plantíos cercanos al suelo contaminado. Además de los efectos negativos en la economía del sector, esta situación representa un problema de salud pública tanto para los habitantes de las comunidades aledañas como para las personas que consumen el producto.

La falta de comprensión acerca de las propiedades de estos materiales alternativos ha sido una barrera para su uso en proyectos de construcción. Aunque se han realizado algunos estudios sobre las propiedades mecánicas y físicas de estos materiales, aún no se ha investigado lo suficiente sobre sus demás características, lo que a su vez genera desconfianza por parte de los profesionales del sector de la construcción a utilizarlos. Estas propiedades son importantes para evaluar la viabilidad de estos materiales como alternativa a los bloques convencionales.

La ejecución de esta investigación está vinculada en la necesidad de encontrar soluciones eco-sostenibles para lograr alternativas técnicas en la construcción. Es por esta razón, que la composición orgánica de los micelios con las fibras del pseudotallo

del banano se estima crear un elemento que tenga mejores propiedades que los productos tradicionales existentes. De manera que los materiales constructivos sean sostenibles en el país. La producción de estos bloques utilizando estas materias primas puede disminuir significativamente el impacto ambiental de la construcción y, al mismo tiempo, fomentar el uso de materiales biodegradables y renovables que son desechados en campos y cultivos. A partir de lo mencionado anteriormente, se tiene la necesidad de reutilizar elementos orgánicos para mejorar sus propiedades mediante la cohesión entre ellos, con el objetivo final de crear un prototipo que aborde la problemática planteada.

1.3 Formulación del problema

¿De qué manera influirá la elaboración de un prototipo de bloque implementando micelios y fibra del pseudotallo de banano en la determinación de sus características?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar las características de un prototipo de bloque implementando micelios y fibra del pseudotallo de banano como alternativa en el área de la construcción.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar las propiedades de las materias primas.
- Diseñar el molde del prototipo.
- Experimentar diversas fórmulas seleccionando la mejor opción.
- Validar el producto a partir de pruebas físicas, químicas y mecánicas.

1.5 Hipótesis

Con la determinación de las características de un prototipo de bloque implementando micelios y fibra del pseudotallo de banano se conseguirá un material alternativo en la construcción.

1.6 Líneas de la investigación de la Facultad

El presente tema de investigación de elaboración de un prototipo de bloque a partir de materiales innovadores biodegradables se ajusta a las líneas de investigación de la facultad de Ingeniería, Industria y construcción que se basan en:

Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.

CAPÍTULO II

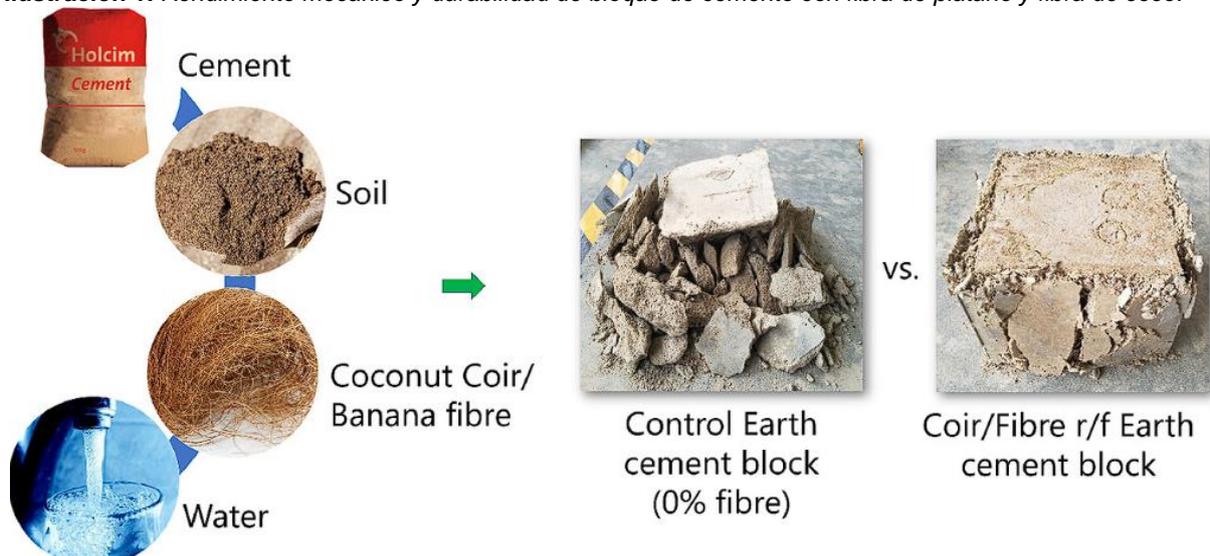
MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

2.1 Marco teórico

En este capítulo se presenta conceptos y fundamentos teóricos trabajados tanto a nivel nacional como internacional, los cuales levantan datos referenciales al presente proyecto a través de experiencias en los procesos, técnicas y elaboración de los materiales investigados y desarrollados.

Un estudio experimental en Sri Lanka sobre bloques de cemento que incorporaron fibra de banano y fibra de coco demostró que la fibra del pseudotallo de banano tenía un mejor comportamiento a compresión a diferencia de la fibra de coco que tuvo un mejor comportamiento a flexión, en donde estos refuerzos de fibras mejoraron la durabilidad del bloque contra la alcalinidad y la erosión. (Kirupairaja & Navaratnarajah, 2022)

Ilustración 1. Rendimiento mecánico y durabilidad de bloque de cemento con fibra de plátano y fibra de coco.



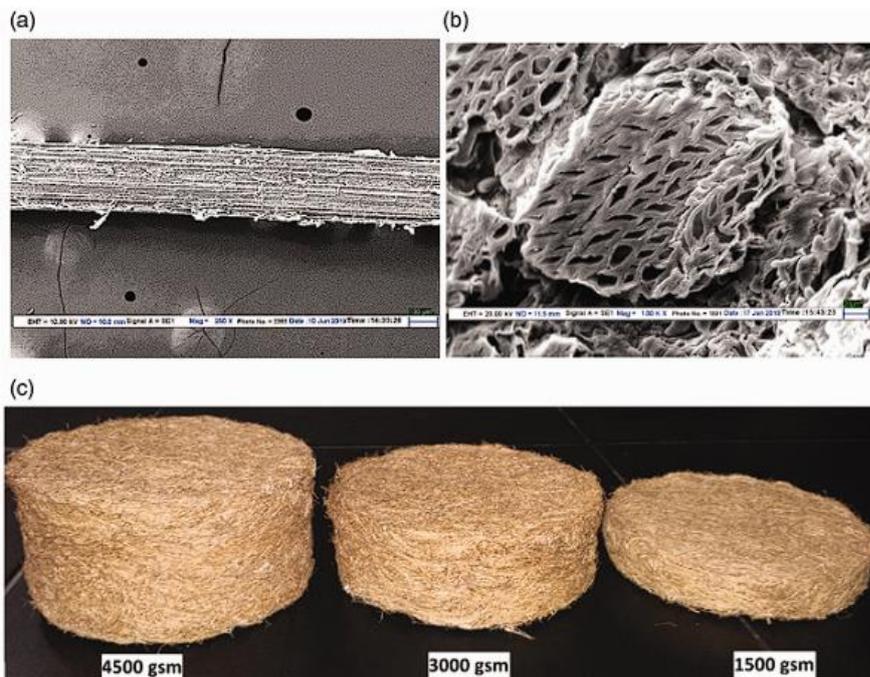
Fuente: Kirupairaja & Navaratnarajah, (2022)

Existen diferentes aplicaciones para la fibra del pseudotallo de banano como material dentro de la construcción. Según Rakesh et al. (2018), en su investigación sobre las propiedades de las fibras como compuesto, mencionaron que fueron utilizadas para aumentar las propiedades de resistencia de los diferentes compuestos,

además analizaron que no fue posible el mejoramiento de todas las propiedades al mismo tiempo, debido a que las fibras presentaron sus propias características.

Otra característica que tiene la fibra del pseudotallo de banano fue la propiedad de aislamiento acústico. A través de un método realizado por Kumar & Mukhopadhyay (2022) demostraron que la absorción y aislamiento de las estructuras dependían de parámetros como la densidad, la compacidad y la disposición de estas, donde fue personalizable tanto la barrera acústica como el comportamiento de absorción. Llegaron a la conclusión de que la fibra contó con un rendimiento igual o incluso mejor que muchos otros materiales acústicos del mercado, observando un coeficiente de reducción de ruido máximo de 0.78 y una pérdida de transmisión de hasta 23 dB.

Ilustración 2. Imagen obtenida con un microscopio electrónico de barrido para vistas de fibras de banano.



Fuente: Kumar & Mukhopadhyay, (2022)

En un proyecto de investigación de Ruiz & Mican (2023), sobre paneles no estructurales a base de micelio mencionaron que el hongo *Pleurotus Ostreatus* era recomendable para usarse como aglutinante de paneles debido a la facilidad que tuvo de alimentarse con varios sustratos, lo que permitió su crecimiento en diferentes temperaturas y ambientes. Además, tuvieron un buen rendimiento en la relación precio/producto debido a los bajos costos en el proceso de elaboración de los paneles de 30x30 cm.

Ilustración 3. Tomas con la cámara termográfica al panel.



Fuente: Ruiz & Mican, (2023)

La fibra del pseudotallo de banano ha tenido distintas condiciones en su proceso de extracción, Pedraza (2019) en su proyecto investigativo sobre el uso de la fibra del pseudotallo de plátano como refuerzo para la fabricación de tejas, evidenció que en climas templados se extrajo una mayor cantidad de fibra a diferencia de los conseguidos en climas fríos, a causa de que estos últimos tenían menor tamaño y presentaron fragilidad lo que dificultó su proceso de extracción. Además, en una de las pruebas que realizó, pudo observar que las fibras tuvieron un mejor secado en un espacio cerrado, debido que al secarlas en un espacio abierto expuesto al ambiente exterior estas mostraron formación de hongos como resultado de la humedad presente en las fibras.

Ilustración 4. Presencia de hongos en las fibras.



Fuente: Pedraza, (2019)

La fibra de pseudotallo de plátano cuenta con propiedades físicas y mecánicas le permitieron tener buena calidad. Según Asmanto & Achmad (2020), esta fibra tuvo un buen módulo de elasticidad, resistencia a tracción y rigidez, baja densidad y gran capacidad y rapidez de absorción y liberación de humedad. Además, presentó capacidades de biodegradabilidad y durabilidad, en donde, se observó que esta última característica tuvo efecto hasta 3 meses de almacenamiento, superior a este periodo la fibra comienza a perder su resistencia.

Una de las propiedades más destacables del micelio fue su capacidad de absorción acústica, Fuentes & Monereo (2020), mencionaron en su trabajo de investigación que este material presentó una fuerte absorción inherente de baja frecuencia (<1500 Hz) superando en rendimiento a materiales como el corcho y tejas comerciales. Además, se mostró que el compuesto de micelio que contenía residuos agrícolas proporcionó una absorción acústica con un mayor rango de absorción del 70-75%.

Ilustración 5. *Mushroom House.*

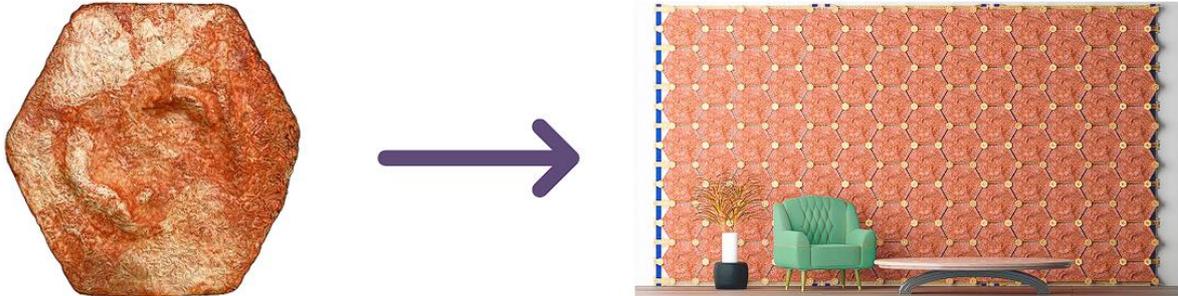


Fuente: Fuentes & Monereo, (2020)

En un estudio dedicado a la investigación y desarrollo de paneles acústico a base de micelio fúngico del hongo *Pycnoporus sanguineus* realizado por Sarmiento & González (2023), demostró que estos paneles lograron mejorar la calidad acústica al reducir los niveles de presión sonora debido a la presencia de cámaras de aire internas, en cuanto a la resistencia, los paneles se vieron influidos por el tamaño de

partícula del sustrato y por la densidad. Recomendaron explorar con otros sustratos de menor tamaño para mejorar la resistencia y competitividad en el mercado.

Ilustración 6. *Panel acústico a base de micelio fúngico*



Fuente: Sarmiento & González, (2023)

En la elaboración de prototipos de paneles a base de micelios, aserrín y resina; un proyecto de investigación a cargo de Garzón & Olvera (2023), demostró a través de 5 pruebas que la resistencia a compresión del panel dependió de como estaban distribuidos los materiales dentro de la mezcla, en donde se evidenció que el bloque que contenía un porcentaje con 80% de resina, 5% de aserrín y 15% de micelio fue el prototipo con resultado más favorable, esto se produjo debido a que estos porcentajes de mezcla permitieron un mejor aglutinamiento de los materiales. Además, este prototipo también tuvo mejores resultados en las pruebas térmicas y acústicas.

Ilustración 7. *Prototipo de panel a base de micelio, aserrín y resina.*



Fuente: Garzón & Olvera, (2023)

El empleo de biomateriales fúngicos, como el micelio, en proyectos arquitectónicos que requieran funciones estructurales y de aislamiento, puede ser logrado mediante sistemas constructivos que integren el micelio con otros materiales complementarios. En ciertos casos, se pueden mezclar membranas orgánicas, laminas o tensores que podrían potenciar su resistencia a factores externos y su capacidad de autoimportancia. (Fuentes & Monereo, 2020)

Ilustración 8. *Probeta de compresión micelio de seta Pleurotus Ostreatus*



Fuente: Cantillana & Fuente, (2020)

El uso del micelio de Pleurotus Ostreatus para producir biomateriales representa una oportunidad para promover una economía más circular y sostenible. Este hongo muestra una gran versatilidad y adaptabilidad al crecer en diversos sustratos lignocelulósicos, como troncos, corteza o aserrín. Su capacidad para degradar la lignina, un componente crucial de la madera, lo hace idóneo para la producción de biomateriales a partir de residuos lignocelulósicos. (Gallegos, 2022)

Ilustración 9. *Biomaterial a base de micelio y residuos lignocelulósicos*



Fuente: Gallegos, (2022)

Aunque los micelios son inherentemente ligeros, los materiales a base de micelios pueden exhibir una sorprendente resistencia a la compresión. Estudios han demostrado que los micelios pueden tener una resistencia comparable a la del hormigón, lo que los hace adecuados para soportar cargas estructurales. Estas propiedades estructurales de los materiales a base de micelios los hacen adecuados para la construcción. Su resistencia, durabilidad y capacidad de aislamiento pueden contribuir a la creación de estructuras que sean tanto sólidas como eficientes en términos energéticos, lo que respalda los principios de sostenibilidad en la arquitectura y la construcción. (Almpiani-Lekka et al., 2021)

Ilustración 10. Estructura autoportante Mycotree



Fuente: Almpiani-Lekka et al., (2021)

La biomasa micelial exhibe una notable agnosticidad formal, destacándose por su versatilidad de crecimiento en diversas matrices fibrosas inoculadas con hongos viables. Esta habilidad, sin embargo, está condicionada por factores biológicos y ambientales. Es crucial mantener una esterilización rigurosa para prevenir la contaminación microbiana, garantizando además un suministro óptimo de nutrientes y condiciones ambientales adecuadas, como oscuridad, calor y humedad. (Dessi-Olive, 2022)

Ilustración 11. Crecimiento del micelio en encofrados cubiertos con plástico negro



Fuente: Dessi-Olive, (2022)

Los micelios, organismos altamente versátiles, tienen la capacidad de cohesionar y adaptarse a diversos materiales, permitiendo la creación de productos como ladrillos y textiles, destacando por su resistencia y cualidades aislantes. Estos materiales, biodegradables por naturaleza, generan nutrientes beneficiosos para el suelo al descomponerse. Los ladrillos elaborados con micelios, particularmente, muestran resistencia a altas temperaturas, humedad y moho, incluso superando al hormigón en durabilidad, lo que los convierte en prometedores componentes para nuevas construcciones. (Fernández et al., 2020)

Ilustración 12. *Placa de micelio con sustrato de cartón corrugado*



Fuente: Dessi-Olive, (2022)

Los materiales derivados de hongos representan una clase de biotecnologías prometedoras para mitigar el impacto de la corta vida útil de los edificios en la era moderna. Estos "micro materiales" se componen principalmente de fibras lignocelulósicas provenientes de recursos agrícolas o forestales, unidas por una matriz de micelios, las estructuras similares a raíces de los hongos. Producidos de manera análoga al cultivo comercial de hongos, estos materiales tienen la capacidad de degradarse en abono al final de su ciclo de vida, siendo una alternativa sostenible y circular para la construcción. (Lanza Alvarado, 2023)

Ilustración 13. *Crecimiento de micelio de *Pleurotus Ostreatus* en aserrín de pino*



Fuente: Lanza Alvarado, (2023)

Los materiales con base en micelios poseen la cualidad de ser biodegradables, lo que significa que, al descomponerse, aportan nutrientes beneficiosos para el suelo. Un ejemplo de estos materiales son los ladrillos fabricados con micelios. Esta innovación se logra debido a la resistencia comprobada de los micelios secos frente a condiciones ambientales adversas, como altas temperaturas, humedad y moho. Inclusive, se ha demostrado que pueden ser más resistentes que el hormigón, lo que los convierte en una opción viable para la construcción de nuevos materiales. (Lancheros Redondo et al., 2022)

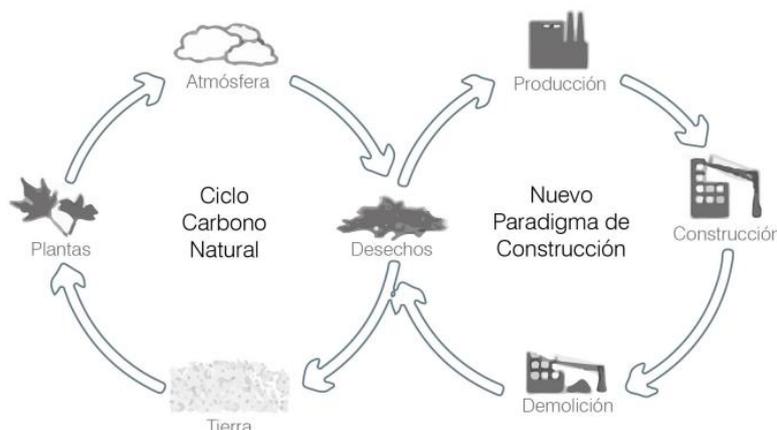
Ilustración 14. Ladrillos de micelio



Fuente: Reid, (2023)

Al hablar de polímeros naturales se debe tener en cuenta que pueden existir diferentes aglutinantes a base de tubérculos (raíces naturales) estos presentan cierta ventaja al compararlos con otros materiales utilizados en la industria. Entre las ventajas de este material tenemos que gracias a su origen son biodegradables y renovables. Con esta materia prima (almidón) se pueden producir productos como el papel, y dentro de la construcción se emplean almidones modificados ya que por su bajo costo representa un beneficio. (Coloma Hohlberg, 2021)

Ilustración 15. Temporal desvío del ciclo natural del carbono al construir un edificio y luego reintegrarlo al ciclo Sustentable



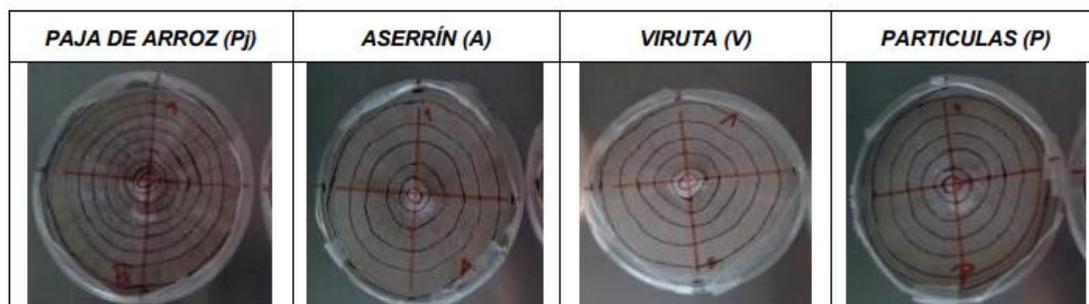
Fuente: Coloma Hohlberg, (2021)

Los materiales hechos con micelio tienen un potencial prometedor para diversas aplicaciones, gracias a su coste reducido en materias primas y a su capacidad de abordar la problemática ambiental asociada al poliestireno. En la actualidad, se investigan los avances y el estado actual de la tecnología basada en el cultivo de hongos para la biorremediación de desechos agroindustriales, resaltando el material basado en micelio como una opción eco amigable en áreas como embalaje y aislamiento, ofreciendo una alternativa sostenible al poliestireno. (Abhijith et al., 2018)

El micelio desempeña un papel fundamental al aportar tanto resistencia como porosidad a la mezcla utilizada en la elaboración del producto. La incorporación de resina epóxica como aglutinante complementa estos elementos, permitiendo la creación de un prototipo que no solo aborda la problemática del proyecto, sino que también promueve principios como el reciclaje y la conservación del medio ambiente. (Bagheriehnajjar & Yousefpour, 2023)

Pleurotus Ostreatus, hongo que puede descomponer la lignina, hemicelulosa y celulosa presentes en la mayoría de los desechos agroindustriales. El cultivo de hongos ostra se presenta como una solución efectiva para reutilizar residuos provenientes dentro la industria agrícola, promoviendo su producción a través de un protocolo específico. Estos hongos suelen ser cultivados en tocones de madera, botellas de vidrio y bolsas, siendo estas últimas las más comunes en el ámbito comercial debido a su practicidad y disponibilidad. El enfoque de esta investigación se dirigió a la estandarización de un protocolo para la generación de semillas de hongo ostra, identificando el sustrato con mayor producción de hifas, el rendimiento óptimo de setas y la menor tasa de contaminación, considerados como variables clave en el estudio. (Albán Márquez, 2018)

Ilustración 16. *Crecimiento micelial de los cuatro tratamientos*



Fuente: Albán Márquez, (2018)

Los materiales estructurales, entre ellos la madera y los metales arquitectónicos como el acero, el cobre y el latón, son valiosos recursos que pueden ser reutilizados y reciclados. Sin embargo, en las actuales construcciones arquitectónicas, estos materiales a menudo se combinan con espumas, plásticos y resinas expandidas, generando compuestos que resultan difíciles de revertir. Por ejemplo, la madera se trata frecuentemente con resinas sintéticas y adhesivos para mejorar su resistencia a la descomposición o su rendimiento estructural. (Valérie Grenon, 2023)

En la contemporaneidad, han surgido múltiples alternativas al uso del plástico, como materiales confeccionados a partir de recursos renovables. Una propuesta innovadora para reemplazar el poliestireno implica la fusión de hongos y residuos agrícolas, generando un compuesto con cualidades aislantes y protectoras equiparables al poliestireno expandido. En la investigación se emplearon residuos agroindustriales de Colombia y micelios con el propósito de desarrollar un compuesto alternativo al poliestireno para aplicaciones en el embalaje. Se llevaron a cabo pruebas físicas y mecánicas en los materiales resultantes, tales como aserrín, tallos de banano y borra de café, inoculados con *Trichoderma asperellum*. Tras el desarrollo del micelio, los materiales fueron sometidos a un proceso de secado y evaluación de sus propiedades. (Aristizábal Gutiérrez, 2022)

Ilustración 17. *Crecimiento inicial del Micelio en los Sustrato*



Fuente: Aristizábal Gutiérrez, (2022)

Los hongos son organismos eucariotas con diversas formas y estilos de vida que tienen la capacidad de colonizar extensas áreas. Los hongos miceliales se

expanden al descomponer nutrientes en sustratos, creciendo interna y externamente para formar una capa compacta o esponjosa conocida como micelio. La fabricación de MBC implica la colonización de sustratos con micelio fúngico, seguido de un proceso de secado o calentamiento para producir un material sólido. Este método de producción de MBC representa una nueva y prometedora forma de utilizar residuos agrícolas en la creación de materiales de construcción. (Alaneme, 2023)

Este estudio presenta una bioespuma elaborada a partir de micelio fúngico. Se examinaron tres métodos de mezcla con diversos sustratos, como pulpa de madera, salvado de trigo, mijo, sulfato de calcio y una fibra natural, utilizando dos técnicas de empaque para crear muestras destinadas a evaluar propiedades térmicas, mecánicas, y físicas. Donde se midieron medidas de conductividad térmica, módulos elásticos densidad seca, relación de Poisson y resistencia a la compresión. Se observó que los modelos densamente empaquetados según el procedimiento mostraron características comparables a las espumas térmicas poliméricas tradicionales, con excepción de la densidad seca. Estos hallazgos resaltan el potencial de este material aislante alternativo en la construcción de edificaciones, sobre todo en regiones frías, y como un material liviano de relleno en aplicaciones de geotecnología. (Sydor et al., 2021)

Ilustración 18. *Compuesto a base de micelio: texturas lisas y rugosas*



Fuente: Sydor et al., (2021)

2.2 Antecedentes

Micelios

Los seres humanos han consumido hongos desde tiempos remotos. Los primeros cultivos darán de la época del Imperio Romano. En 1707, en Francia, los agricultores implementaron una técnica de cultivo más eficiente, similar a la que se utiliza en la actualidad. En Sumaco, Ecuador pequeños productores han estado cultivando *Pleurotus Ostreatus* desde 2007 en pequeñas instalaciones en sus fincas, ubicadas en el área protegida de la Reserva de Biosfera Sumaco y Cayambe-Coca. (Jaramillo Orozco, 2013)

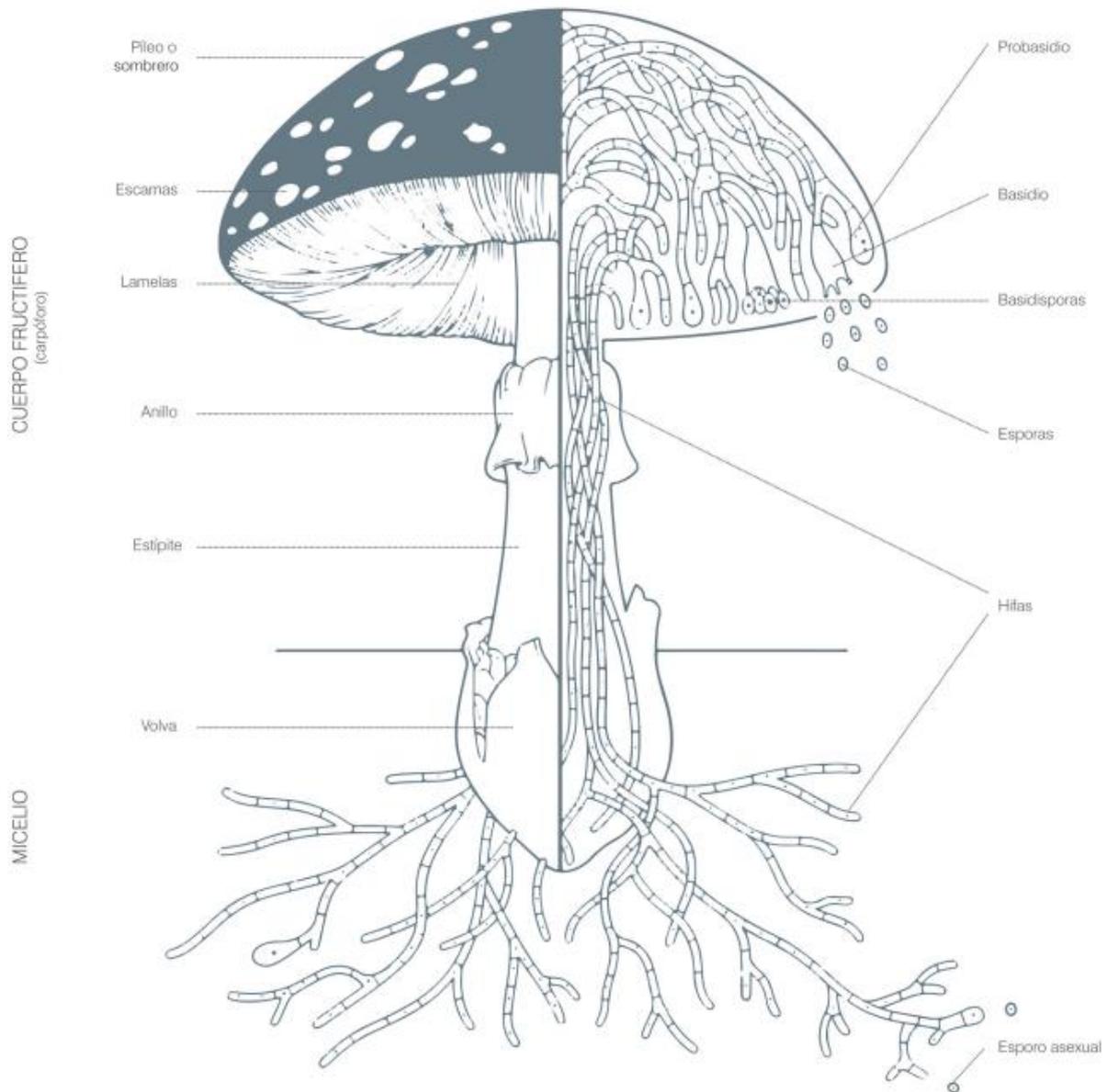
Ilustración 19. Asociación Ñucanchi dedicada a la producción de Hongos Ostras "SUMACO"



Fuente: IEPS, (2023)

El micelio representa la estructura esencial del organismo fúngico. Este se compone de una red de filamentos delgados conocidos como hifas, los cuales se entrelazan y ramifican en el sustrato donde el hongo se desarrolla. Estas hifas desempeñan la función de absorber agua y nutrientes del entorno, nutriendo al hongo y facilitando su crecimiento y progreso. Estas raíces son capaces de crecer en el suelo y a su vez en materia orgánica en proceso de descomposición, como son las hojas caídas, madera, restos vegetales y demás sustratos, encontrando en estas condiciones aptas para su desarrollo. El hongo descompone la materia orgánica a través del micelio, por donde libera esenciales nutrientes que sirven para su crecimiento, además favorecen con reciclaje de nutrientes en el ecosistema.

Ilustración 20. Estructura del cuerpo fructífero o esporocarpio del hongo



Fuente: Nieri, (2021)

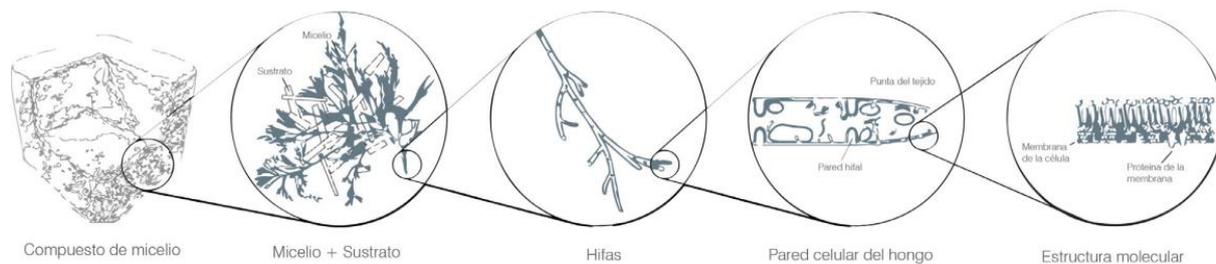
El tipo de cepa utilizada en la síntesis de materiales a partir de micelio influye en gran medida en las propiedades del compuesto resultante. Principalmente, las especies filamentosas de pudrición blanca se utilizan para cultivar materiales a base de micelio. Este grupo de hongos tiene la capacidad de adaptarse a diversos hábitats. Curiosamente, produce materiales no tóxicos al degradar los compuestos tóxicos, como los terpenos, en el sustrato alimentario.

La investigación en este ámbito avanza constantemente, con científicos explorando cepas nuevas y técnicas de cultivo para mejorar las características de los materiales. La capacidad de personalizar las características del micelio mediante la

selección de cepas específicas ofrece numerosas oportunidades para futuras innovaciones.

Feijóo et al. (2021), reconocen dos tipos de micelios, el aéreo y el vegetativos, esto con respecto a la función el estado del desarrollo. El vegetativo normalmente se encuentra habitando en los suelos, hace su proceso de colonización y se alimenta de materia orgánica ya sea vegetal o animal, viva o en descomposición o se asocian de manera mutualista. Por otro lado, el micelio aéreo, surge del sustrato colonizado previamente por el micelio vegetativo, y se extiende a la superficie a través de ramificación de hifas aéreas. Este micelio también es conocido como una etapa reproductiva crucial para la supervivencia del hongo.

Ilustración 21. Representación visual de los materiales de micelio en diversas escalas

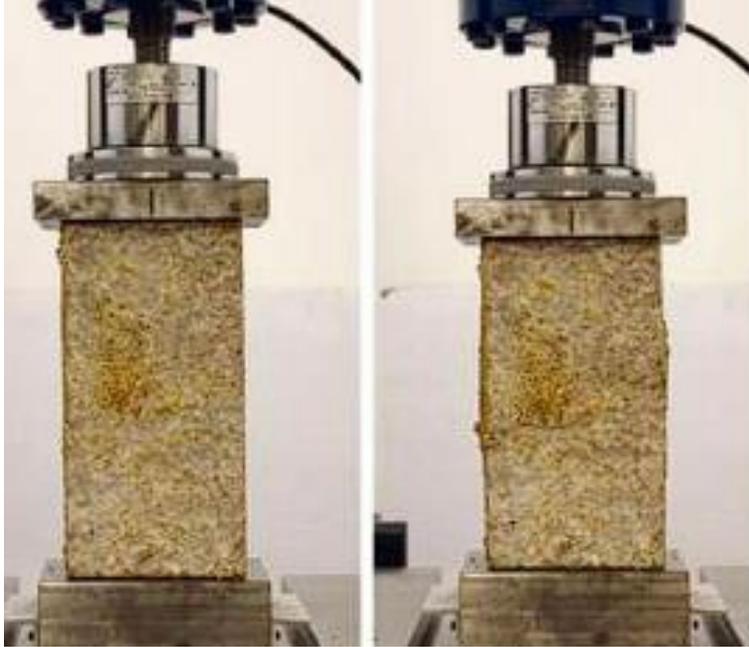


Fuente: Elsacker et al., (2020)

Propiedades

El rendimiento mecánico es influenciado por el aglutinante utilizado, como es el caso de la resina sintética. De igual manera el tipo de hongo afecta al comportamiento mecánico del sustrato, dado que afecta al comportamiento del material. El mismo micelio es un absorbente acústico excelente por naturaleza, supera el rendimiento de las tejas comerciales y del corcho contando con una absorción inherente de baja frecuencia de <math><1500\text{ Hz}</math>, puede mejorar su capacidad de absorción al juntarse con otros materiales específicamente con residuos agrícolas que proporcionan absorción acústica con un margen más amplio que va del 70-75%. Finalmente, los micelios compuestos con fibras naturales tienden a tener un alto rendimiento de aislamiento térmico debido a su baja conductividad térmica que varía entre

Ilustración 22. *Probeta de compresión micelio de seta Pleurotus Ostreatus.*



Fuente: Fuentes & Monereo, (2020)

Hongo seta de ostra (Pleurotus Ostreatus)

Conocida también como gírgola o champiñón ostra. Perteneciente a la familia de los basidiomicetes (hongos capaces de producir esporas en un cuerpo fructífero), además forma parte de las pocas setas carnívoras, ya que matan y consumen nematodos (gusanos microscópicos) a través de una sustancia química que desprende el hongo y los paraliza. El micelio de este tipo de hongo es de cultivo sencillo, debido a que cuenta con un rango de temperatura amplio de crecimiento entre 16 y 30 °C, crecen en una variedad de sustratos de fácil acceso y cuenta con un crecimiento y rendimiento elevado capaz de producir 1kg de setas en cada kilo de sustrato seco. (Rodríguez, 2021)

Ilustración 23. *Desarrollo del hongo Pleurotus Ostreatus*



Fuente: Gallegos Belisario, (2022)

Parámetros de crecimiento micelial

Según Feijóo et al. (2021), el biomaterial obtenido depende de la naturaleza y la clase de sustrato, los factores de crecimiento, las necesidades nutricionales y genómica del hongo empleado. A pesar de que algunos estudios no detallan estos aspectos, son cruciales para su colonización y espesor del micelio, lo que influye en propiedades como la ductilidad, dureza, hidrofobicidad y resistencia a la tracción.

Es crucial que la condición física del sustrato afecte el rendimiento y las propiedades estructurales micelial del biomaterial deseado. Los materiales hechos de micelio necesitan controlar ciertas condiciones físicas como los niveles de CO₂, O₂, exposición a la luz, humedad relativa, temperatura y flujo de aire. A continuación, se muestran los parámetros que pueden influir en el crecimiento de micelio del tipo *Pleurotus Ostreatus*:

Tabla 1. Condiciones de crecimiento del hongo durante las etapas de crecimiento y fructificación

Factor	Crecimiento Micelial	Fructificación
Temperatura	24° a 30°	15° a 18°
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).

Fuente: Sifuentes Vásquez, (2014)

Enfermedades

Distintos factores como la falta de ventilación, la humedad excesiva y temperaturas inadecuadas debilitan al micelio haciéndolo susceptible a enfermedades fúngicas y bacterianas. Están presentes principalmente en la etapa de desarrollo del micelio desde la pasteurización del sustrato hasta su proceso de fructificación. Gallegos (2022), menciona que las principales enfermedades que afectan al micelio son:

- **Dactylium dandroides:** también llamado moho de telaraña es un hongo que coloniza el sustrato formando una capa blanca de moho. Donde las setas

exhibidas a la contaminación se vuelven blandas y comienzan a descomponerse. Para combatir esta enfermedad, se recomienda el uso de cal viva en polvo.

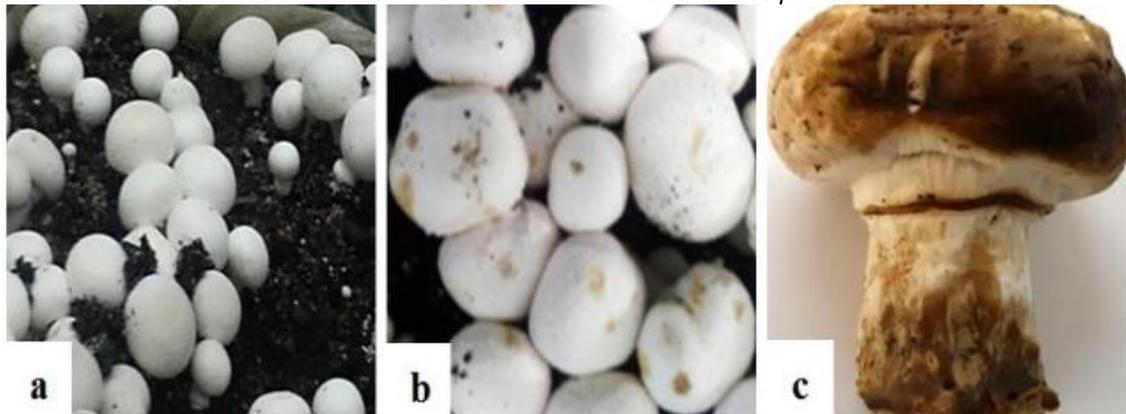
Ilustración 24. *Moho de telaraña (Dactylium dendroides)*



Fuente: Martian mushrooms, (2024)

- **Pseudomona tolaasii:** Son conocidas como bacterias que se transmiten mediante el agua y las plagas. Los signos de infección fúngica incluyen áreas de color amarillo o marrón con tendencia a la putrefacción en esas zonas. Además, la región afectada emite un olor desagradable

Ilustración 25. *Síntomas de la enfermedad de la mancha marrón en las plantas infectadas.*



Fuente: Basim & Basim, (2018)

- **Trichoderma:** tipo de moho color verde que se extiende mediante esporas asexuales conocidas como conidiósporas verdes, una contaminación habitual que puede reducir considerablemente la productividad del cultivo de Pleurotus Ostreatus.

Ilustración 26. *Moho verde (Trichoderma)*



Fuente: Gallegos, (2022)

- **Rhizopus stolonifer:** moho que se puede encontrar creciendo en el pan. Identificado como moho cabeza de alfiler o moho negro del pan o. Integrante del género *Rhizopus*, que incluye hongos con esporangios columnares que se encuentran en la parte aérea, sujetos al sustrato por rizoides. Causa infecciones contagiosas al no tener cuidado. Suele ser transmitidas a través de moscas de la fruta que son atraídas por el olor del micelio.

Ilustración 27. *Moho de cabeza de alfiler (Rhizopus stolonifer)*



Fuente: Shroombox, (s.f.)

- **Neurospora crassa:** moho naranja que aparece en el pan, es reconocido por los productores comerciales de hongos por ser una forma común de

contaminación que se propaga rápidamente. Si un bloque de sustrato está contaminado, puede extenderse un cuarto de cultivo en menos de 48 horas.

Ilustración 28. *Moho anaranjado del pan (Neurospora crassa)*



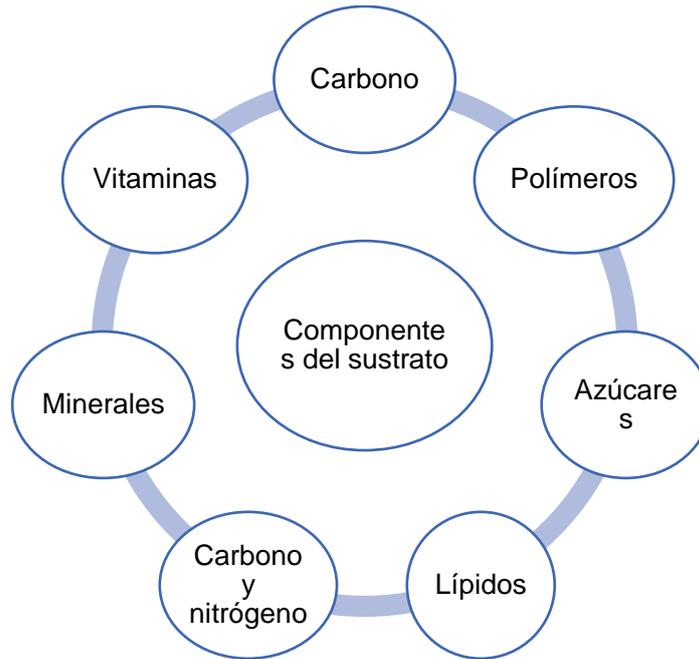
Fuente: Gashler, (2023)

Tipos de sustratos

El tipo de sustrato utilizado para el crecimiento del micelio es otro factor importante que contribuye a las propiedades del material. Los sustratos que tienen fibras naturales intactas dan características de endurecimiento por deformación a los materiales a base de micelio al proporcionar resistencia y prevenir fallas por corte. La naturaleza del sustrato también influye en la inflamación de los compuestos fúngicos. Según Fuentes & Monereo (2020), de acuerdo con el tipo de hongo se escoge el sustrato, ya que cada especie se desarrolla en sustratos o materia distinta.

Por otro lado, la elección del sustrato debe considerar las necesidades específicas de la especie de hongo utilizada, ya que cada tipo de hongo presenta adaptaciones particulares que influyen en su crecimiento óptimo en entornos específicos. La interacción biológica entre el hongo y el sustrato es fundamental, ya que impacta en la eficacia del proceso de colonización y en la calidad del material resultante. Además, la inflamabilidad del material final puede verse influenciada por la composición del sustrato, requiriendo posibles tratamientos adicionales para mejorar su resistencia al fuego.

Ilustración 29. Componentes del sustrato



Fuente: Gallegos, (2022)

El micelio del tipo de hongo *Pleurotus Ostreatus*, ha sido probado con una gran variedad de sustratos para su cultivo, los más utilizados son avena, paja de trigo, algodón y centeno, virutas de madera especial de abedul y residuos de café. Actualmente también se encuentran en mezclas con residuos agrícolas como soja, cascarilla de maíz y arroz, bagazo de caña y hasta desechos de la industria papelera como cartón y periódicos.

Tabla 2. Resultados de cargas en relación con el sustrato utilizado en el hongo tipo *Pleurotus Ostreatus*

Cargas	Tipo de sustrato	Sustrato	"p sobre (kg/m ³)"	"E MPa"	"σ MPa ultimo"
Tensión	Partículas	Paja de colza	115	3,0	0,025
		Aserrín de haya	170	13	0,05
		Aserrín de roble rojo	300	1,3	0,18
Compresión	Fibroso	Viruta de lino	99	0,73	-
		Viruta de cáñamo	94	0,64	-
	Partículas	Paja de trigo	192	-	0,17
		Virutas de pino	87	0,14	-
		Aserrín de roble rojo	300	1,0	0,49
		Aserrín de roble blanco	552	-	1,1
Tracción	Fibroso	Fibras de algodón	130	1,0	0,05
		Paja de colza	115	1,5	0,14
	Partículas	Aserrín de haya	170	9,0	0,29

Fuente: Jones et al., (2020)

Tratamiento de sustratos

Según Gallegos (2022), los sustratos deben someterse a un tratamiento previo, aplicando calor para disminuir la presencia de flora bacteriana perjudicial y prevenir la competencia de microorganismos tanto por nutrientes como espacio mediante el crecimiento del micelio del hongo en el sustrato. El sustrato debe ser enriquecido con nutrientes adicionales, como suplementos de nitrógeno y otros minerales esenciales, que ayudaran a acelerar el desarrollo y productividad del hongo.

Gallegos (2022), menciona algunos métodos para desinfectar sustratos:

- **Alcalino:** Implica el uso de cal viva o cal hidratada con agua para crear una sustancia alcalina que reduce los microorganismos presentes dentro del sustrato. El poder desinfectante que tiene la cal aumenta el pH, volviéndola hostil a los microorganismos sensibles, aunque el hongo *Pleurotus Ostreatus* es capaz de resistirla. Se aconseja utilizar una concentración del 0.5% de cal en un tiempo de 24 horas.

Ilustración 30. Método de desinfección alcalina del sustrato



Fuente: Micosecha, (2021)

- **Pasteurización:** Es una técnica habitual para favorecer el crecimiento efectivo de los hongos y se pueden llevar a cabo de dos formas distintas:

- **Pasteurización con vapor:** Se coloca el sustrato en un área cerrada, como un contenedor metálico. Se utiliza una caldera eléctrica para generar, puede ser gasolina o diésel, mediante tuberías de cobre que son resistentes al calor. Se aconseja alcanzar una temperatura entre 70°C y 80°C, manteniendo el sustrato a esta temperatura durante 2 a 4 horas.

Ilustración 31. *Proceso de pasteurización con vapor*



Fuente: Elliot, (2020)

- **Pasteurización por sumersión en agua caliente:** El sustrato es sumergido en agua caliente a una temperatura de 75°C a 80°C durante una hora.

Ilustración 32. *Método de desinfección del sustrato por pasteurización en agua caliente*



Fuente: Cultivodesetas, (s.f.)

- **Esterilizado:** Durante este procedimiento, se eliminan todos los microorganismos que tiene el sustrato al aplicar altas temperaturas superiores a 100°C se conoce como esterilización, utilizando una autoclave. Los microorganismos no pueden sobrevivir a altas temperaturas, lo que hace de este método una práctica común para esterilizar a pequeña escala.

Ilustración 33. Método de desinfección del sustrato por esterilización



Fuente: Mycelior, (2019)

Fibras vegetales

La humanidad ha empleado las fibras vegetales desde épocas prehispanicas, especialmente en Latinoamérica a sus diversas propiedades y aplicaciones, tuvieron un rol muy importante en la identidad cultural de varios países, material que sirvió para la elaboración de sogas, telas, lazos, hilos, cordeles, canastos, vestidos, entre otros. La llegada de los españoles cambió drásticamente muchas de las formas y usos de las fibras, aunque gran variedad del patrimonio indígena fue borrada, las etnias sobrevivientes o sus descendientes, mantuvieron la tradición del uso de técnicas y materiales, en donde varias fueron mezcladas con lo traído por los españoles. Esta adaptación demuestra la resiliencia y la capacidad de las culturas indígenas para conservar su identidad a través de la innovación y la integración de nuevas influencias. (España Espinoza, 2019)

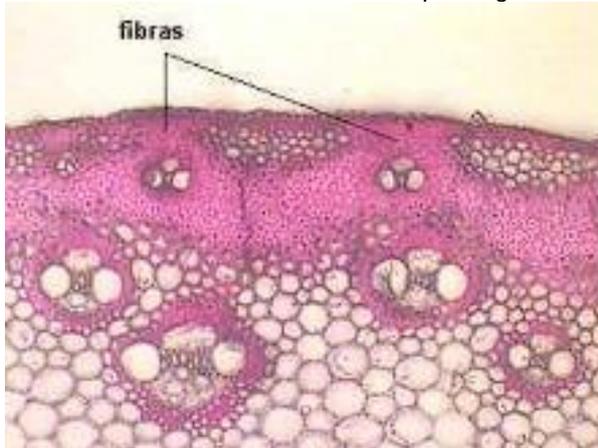
Ilustración 34. Tejido con fibras vegetales en México prehispánico



Fuente: Pacheco, (2014)

Son un grupo de células tipo esclerenquimáticas, compuestas esencialmente por lignina y celulosa, su composición química con elevado porcentaje de celulosa permite su durabilidad debido a su poca asimilabilidad para los microorganismos, mientras que su alto porcentaje de lignina favorecen su soporte a la acción mecánica durante los procesos de tensión (Rendón & Neyra, 2020). Cuentan con forma alargada, esbeltas y estrechas, cuyos extremos son afilados y provienen de las plantas. Las fibras se encuentran ubicadas principalmente en los tallos, pero también pueden encontrarse en las hojas, raíces, frutos y semillas.

Ilustración 35. Corte transversal de la planta gramínea

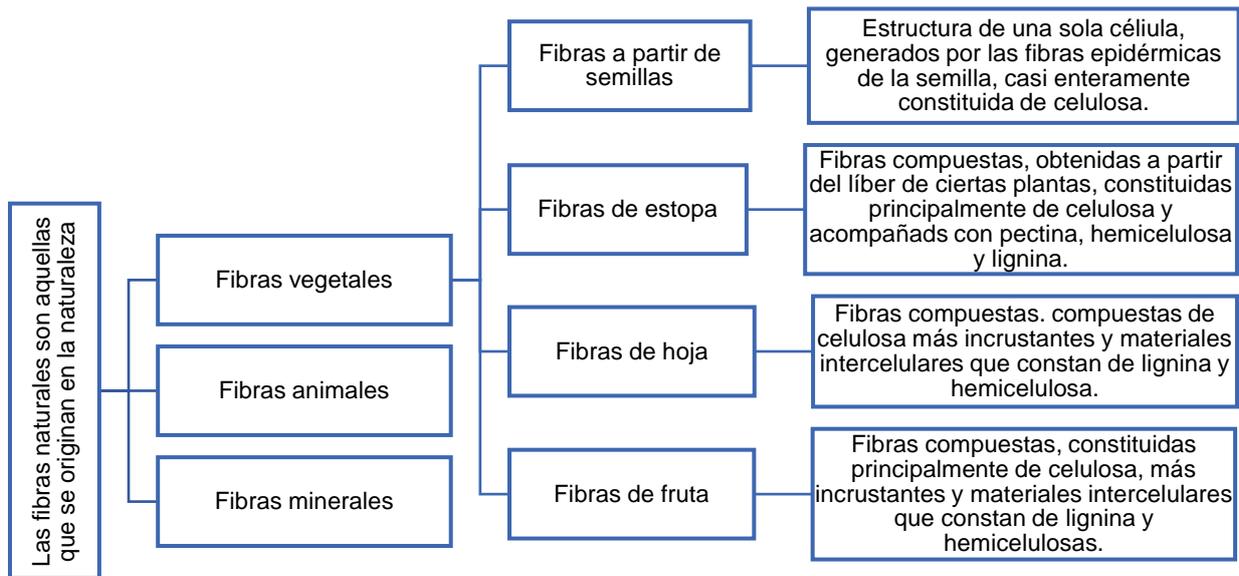


Fuente: Hernández et al., (2019)

Tipos de fibras vegetales

De acuerdo con el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN (2017), las fibras se clasifican en naturales y artificiales principalmente según su origen. A continuación, se detallan los tipos de fibras naturales:

Ilustración 36. Tipos de fibras naturales

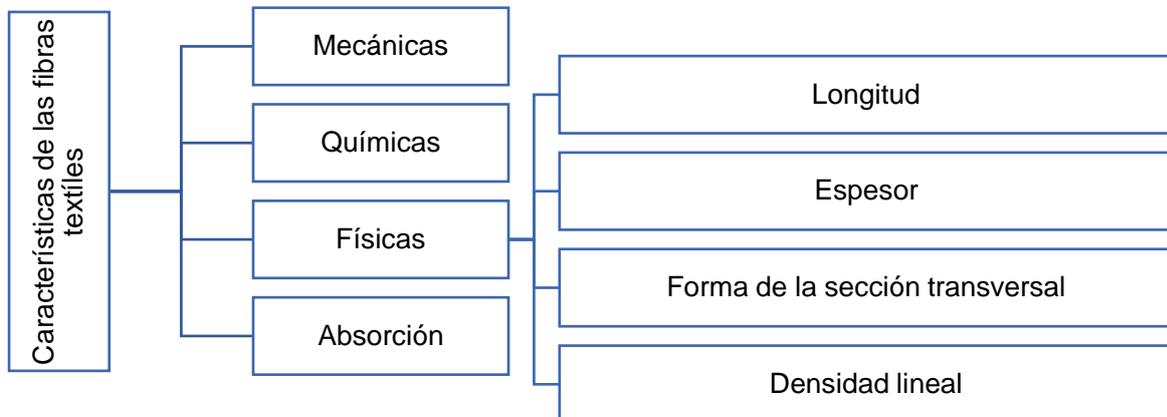


Fuente: INEN, (2017)

Propiedades mecánicas de las fibras vegetales

Cada tipo de fibra tiene atributos inherentes que definen su utilidad al usarse como refuerzo en matrices poliméricas. Estas características están vinculadas a propiedades mecánicas que pueden mejorar el material, como resistencia a la tracción, flexión, compresión e impacto. Es crucial considerar ciertos parámetros al seleccionar una fibra como refuerzo, ya que afectarán la facilidad de producción y el rendimiento esperado. (Pedraza, 2019)

Ilustración 37. Características de las fibras textiles



Fuente: Carrera, (2017)

El banano

El banano ocupa el cuarto lugar en importancia como cultivo para la producción de alimentos a nivel internacional y a nivel nacional es el mayor producto de exportación. Es originario del subcontinente hindú en Asia siendo posteriormente trasladado a América por comerciantes europeos en el siglo XVI, gracias a los factores políticos y agrícolas Ecuador se ha convertido en el principal productor mundial, lo que presenta una de las fuentes de ingresos más importantes para el país.

Ilustración 38. *Auge bananero en Ecuador*



Fuente: Lífider, (2021)

Su denominación científica es *Musa x paradisiaca* o *Musa paradisiaca*. Esta es una planta herbácea perenne de considerable tamaño. Presenta un tallo real subterráneo que actúa como órgano de reserva, conocido como cormo o rizoma. El cormo genera un solo tallo visible no lignificado, denominado pseudotallo, formado por la unión de vainas foliares en espiral que terminan en punta con las hojas, dando la apariencia de una corona. Dentro del cormo se encuentran yemas de las que brotan más cormos, lo que resulta en un crecimiento radial de la planta. Tiene la capacidad de llegar a una altura de 3,5 y 7 metros. (Ortega, 2022)

Fases de la planta

Se compone de tres fases: La vegetativa, floral y de fructificación.

Ilustración 39. *Fase de la planta de banano*



Fuente: Álvarez, (2022)

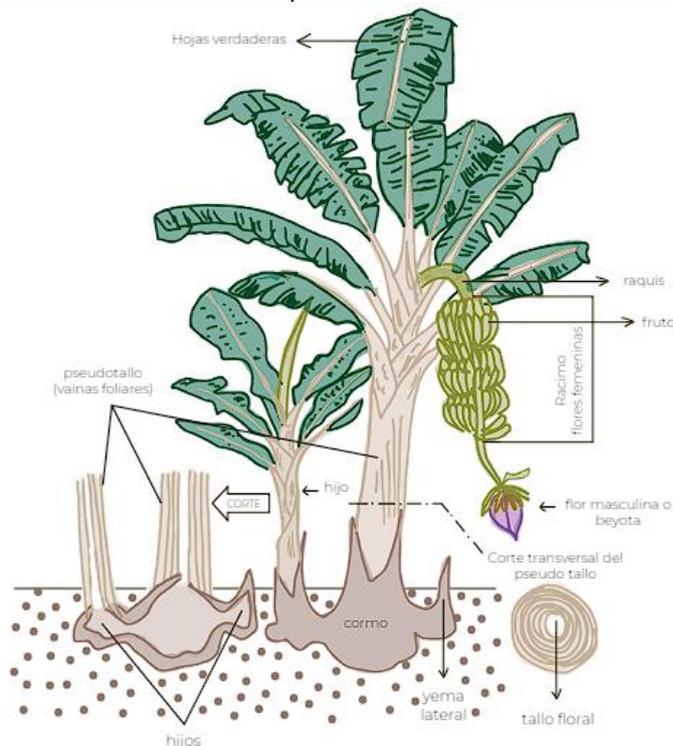
Fase vegetativa: La etapa vegetativa se extiende de 24 a 26 semanas antes de que la planta arroje la bellota, momento en el que el pseudotallo crece y surgen las raíces principales y secundarias, pudiendo alcanzar hasta 4 metros en horizontal.

Fase Floral: Una vez finalizada la etapa de vegetación, la fase floral dura aproximadamente 12 semanas. El tallo floral surge del cormo a través del pseudotallo y solo es visible cuando la flor florece. En este punto, aún faltan desarrollarse entre 10 y 12 hojas.

Fase de fructificación: Para que la fruta se desarrolle por completo, se necesita un período de aproximadamente entre 81 y 90 días después de la floración de la bellota. Durante la floración, se distinguen las flores masculinas y femeninas (dedos), y este proceso culmina con la cosecha, cuando se corta el racimo. En esta etapa, el tamaño y la cantidad de frutos están determinados por factores ambientales como la luz, el agua, el suelo y la temperatura.

Partes de banano

Ilustración 40. Partes de la planta de banano

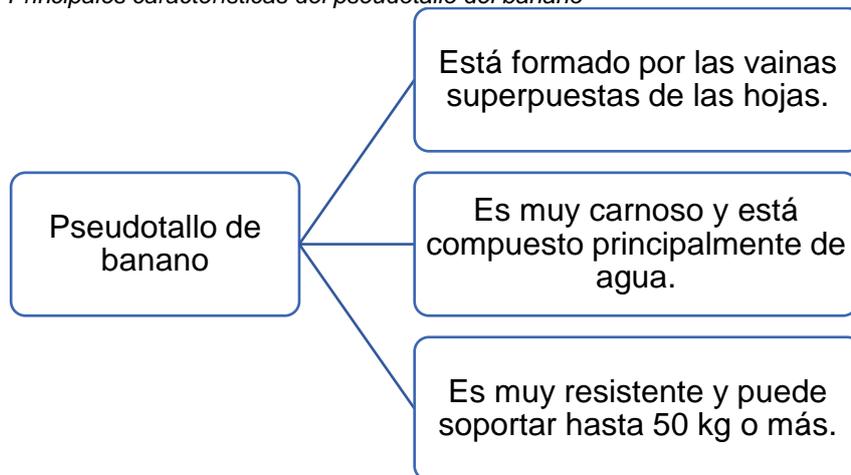


Fuente: Ortega, (2022)

El cormo o rizoma: Es conocido como el rizoma real de la planta, situado bajo tierra y tiene una estructura de manera córnea y asimétrica. Este rizoma cuenta con yemas alrededor que generan cormos nuevos.

Pseudotallo: Cada cormo produce un pseudotallo compuesto por hojas dispuestas en espiral, unidas de manera firme. El primer conjunto se llama madre, y el segundo conjunto que surge de la madre se conoce como hijo.

Ilustración 41. Principales características del pseudotallo del banano



Fuente: Vézina et al., (2020)

El hijo: Es la aparición de una nueva planta que surge de otro cormo, se distinguen dos tipos de brotes: los brotes de agua, que son superficiales, y los brotes de espada, que son más profundos. La robustez de la estructura del pseudotallo permite que la planta se mantenga en su lugar, incluso soportando el peso del racimo y las hojas.

Tallo floral o raquis: Cuando la planta ha desarrollado aproximadamente 20 hojas, el tallo floral emerge desde el centro del pseudotallo, conocido como raquis.

Hojas: Las hojas de plátano son consideradas de las más grandes en el reino vegetal. De forma lisas, oblongas, tiernas y con base redondeada, extendiéndose hasta abarcar una longitud de 3 metros de largo y un ancho de 60 centímetros. A lo largo del crecimiento de la planta de banano, se pueden distinguir distintos tipos de hojas, como las hojas estrechas con forma de espada, hojas rudimentarias, y las hojas

anchas o verdaderas. Una hoja verdadera se compone de cinco partes: la vaina, la lámina, el pecíolo, el apéndice y la nervadura central.

Vaina: Sección basal que protege a la hoja que integra el pseudotallo.

Flor o bellota: Una vez que el tallo floral ha emergido de la planta, se forma la flor o bellota, compuesta por flores femeninas en la base del tallo y flores masculinas en su extremo.

Fruto: Baya alargada formada del ovario de una flor con pistilo. Al mencionar el banano, nos referimos a la fruta que se puede consumir sin necesidad de cocinarla.

Fibra del pseudotallo de banano

Se encuentra ubicada en la parte del tallo o tronco de la planta de banano. Es una fibra celulósica de origen vegetal natural, con características físicas y químicas distintivas. Es una fibra de alta calidad con propiedades únicas, con anverso y reverso, a diferencia de la paja toquilla que solo tiene un lado. Su apariencia es parecida a la de la fibra de ramio y la del bambú, pero su finura y capacidad para adaptarse es superior a ambas.

Ilustración 42. *Fibras del pseudotallo de banano*



Fuente: Pedraza, (2019)

Características de la fibra del pseudotallo de banano

Material natural que posee varias características notables. En primer lugar, es conocida por ser extremadamente resistente y duradera, esto la convierte en un material perfecto para la creación de diversos productos textiles y artesanales. Además, la fibra del pseudotallo de banano es biodegradable, lo que la hace una opción respetuosa con el medio ambiente. Otra característica importante de esta fibra es su versatilidad, ya que se puede emplear en la creación de una variedad extensa de productos, desde bolsos y accesorios de moda hasta papel y materiales de construcción sostenibles.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de las fibras textiles

Propiedades mecánicas de la fibra de pseudotallo de banano y otras fibras textiles			
Fibras	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tensión (MN/m ²)	Módulo de elasticidad (MN/m ²)
Banano	1.98 – 2.77	690	57.02
Cabuya	1.3	305.15	7.5
Yute	1.3	393 - 773	26.5
Coco	1.2	175 - 220	4 - 6
Sisal	1.5	511 - 635	9.4 - 22
Algodón	1.5	393 - 773	27.6
Ramio	1.5	400 - 938	61.4 - 128
Lino	1.5	345 - 1035	27.6
Cáñamo	1.4	690	35

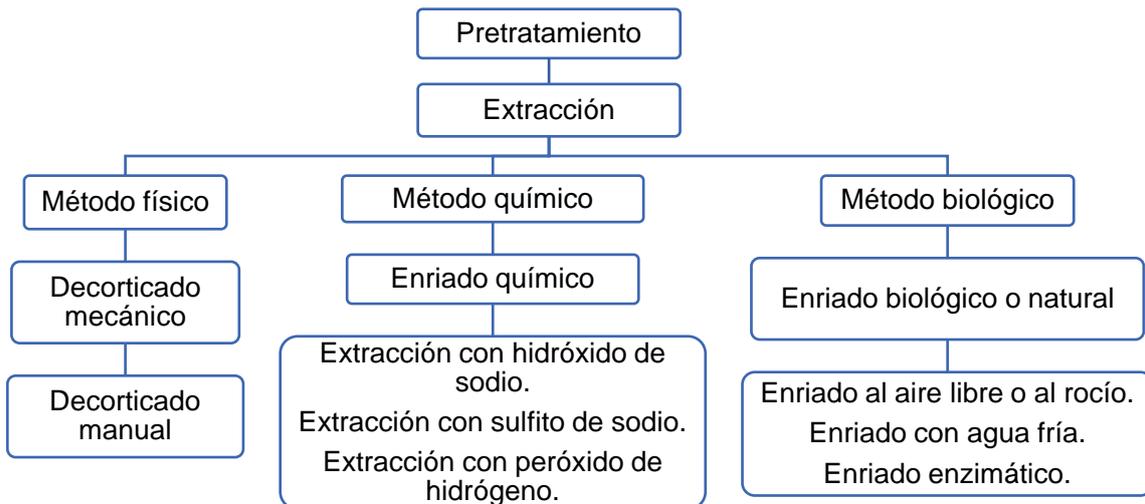
Fuente: Ortega, (2022)

Métodos para la extracción de la fibra del pseudotallo de banano

Antes de establecer los métodos de extracción de la fibra del pseudotallo, se debe aplicar un pretratamiento a la materia prima para aumentar el rendimiento en la obtención de las fibras deseadas. Este pretratamiento implica limpiar el pseudotallo para eliminar residuos e impurezas, y asegurarse de que la materia prima esté en óptimas condiciones. Se recomienda cortar el pseudotallo y extraer las fibras de inmediato para evitar la oxidación.

Según (Moreno Saenz & Neusa Rey, 2021) existen tres métodos de extracción:

Ilustración 43. Clasificación de métodos de extracción de la fibra del pseudotallo de banano



Fuente: Moreno & Neusa, (2021)

Método biológico: El proceso implica sumergir el tallo en agua para extraer las fibras, permitiendo que los microorganismos (hongos, bacterias) descompongan los tejidos celulares que rodean las fibras, lo que facilita su extracción.

Método físico: Por lo general, se utilizan métodos mecánicos para obtener fibras, aunque hay varias técnicas disponibles para su extracción. Este proceso se lleva a cabo justo después de cortar el pseudotallo, mediante una combinación de lavado con agua y raspado, que puede realizarse de forma manual o mecánica.

Ilustración 44. Extracción de la fibra del pseudotallo de banano por método físico



Fuente: Moncayo, (2020)

Método químico: Este proceso implica un tratamiento químico en el que se diluyen soluciones alcalinas o ácidas para separar las fibras del pseudotallo. Se utilizan diferentes concentraciones y tiempos para este propósito. En este caso, la separación se lleva a cabo con una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) ya que el

uso de una solución ácida resultaría más abrasivo y no es recomendable para este tipo de materia prima.

Biomaterial

Feijóo et al. (2021), lo definen como material funcional elaborado a partir de materias primas biológicas como plantas, bacterias, hongos, algas, biopolímeros microbianos o asociaciones simbióticas mutualistas de microorganismos. Donde el producto final, podría estar combinado con desechos orgánicos, materiales naturales y compuestos. Estos materiales se consideran autogenerados por organismos vivos que siguen los principios de la biotecnología material y de la economía circular.

Los biomateriales se clasifican en bio-basados y bio-fabricados. Los Bio-basados cuentan en su estructura con un porcentaje de composición biológica. Mientras que los bio-fabricados utilizan un microorganismo vivo en su materia prima o durante su producción, pueden crecer, adherirse y adaptarse a una superficie específica. Los biomateriales deben cumplir con los siguientes criterios, poseer un peso y densidad adecuado, tener una resistencia mecánica adecuada, ser inertes, contar con facilidad en su fabricación y producción a gran escala. (Feijóo et al., 2021)

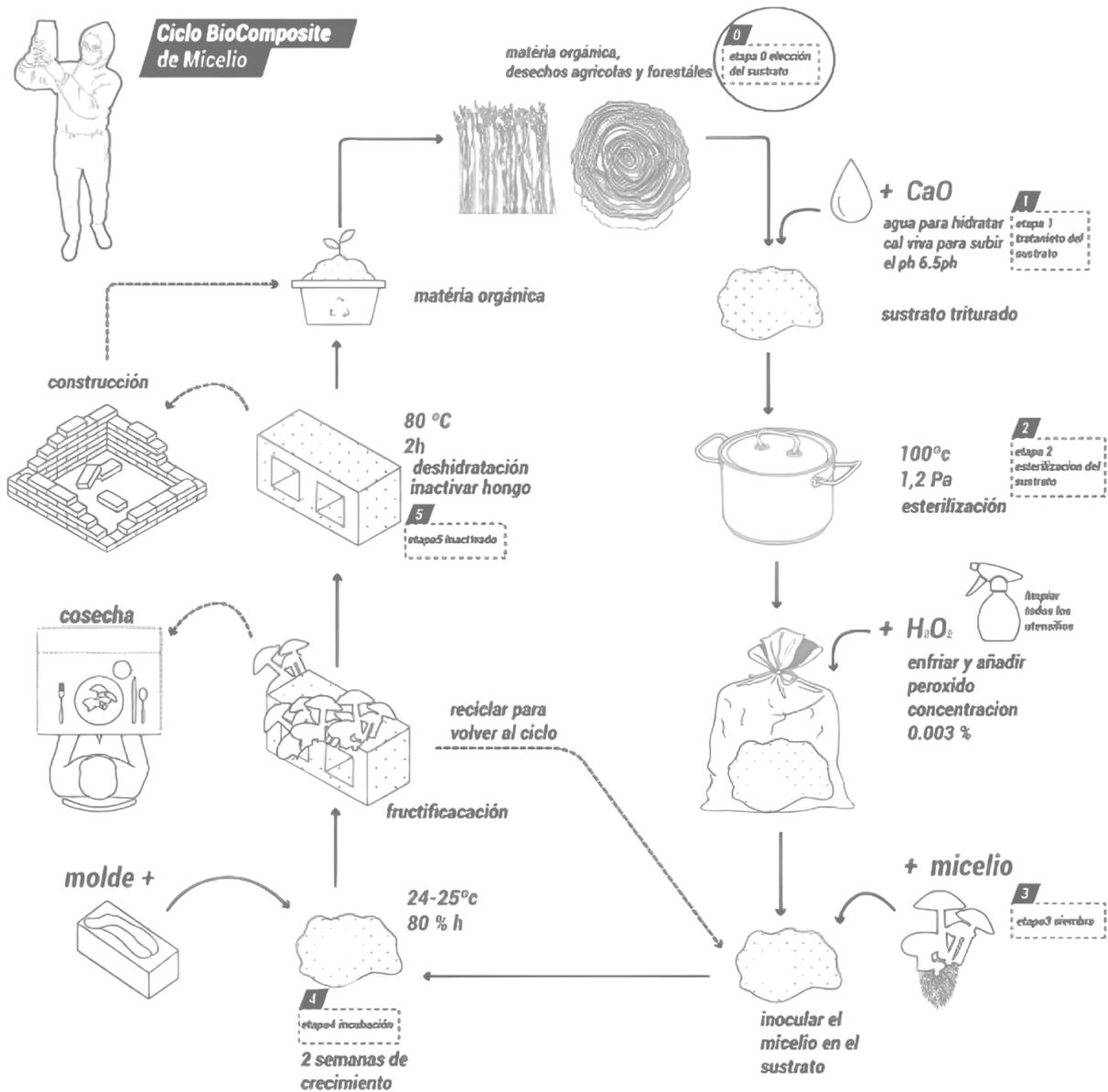
Los biomateriales compuestos por micelio fúngico entran en la clasificación de bio-fabricados, debido a que se generan automáticamente a partir de la estructura micelial del hongo. Los sustratos ideales para este material son los lignocelulósicos, los más usados son los residuos agroindustriales y forestales. Con estos sustratos, de acuerdo con el nivel de colonización y la densidad del micelio, determinaran la rigidez, resistencia a la tracción, hidrofobicidad, flexibilidad, propiedad ignífuga, entre otros. Para el buen rendimiento de las propiedades de biomateriales a partir del micelio se debe cumplir con las condiciones físicas, como los niveles de CO₂, O₂, exhibición a la luz, humedad relativa, temperaturas y flujo de aire. (Feijóo et al., 2021)

Tabla 4. Publicaciones sobre métodos de producción y procesamiento de materiales de micelio.

Especie	Sustrato	Esterilización/ Pasteurización	Inoculación	Molde	Incubación	Secado	Producto
T. versicolor P. Ostreatus	Cáñamo Viruta de madera	Hervir agua 100°C o H2O2 0.3%	10-20% de SFS (centeno)	Moldes plásticos	Oscuridad total 90- 100% HR. Temperatura ambiente. 30 días	Horno 125°C 2 horas	Espumas
G. lucidum P. Ostreatus	Celulosa Celulosa-PDB	Autoclave 120°C x 15 min	Placas de Agar	N/A	25-30 °C 70-80%HR 20 días	Horno 60°C 2 horas	Capas fibrosas
Irpex lacteus	Aserrín de abedul ≤ 5mm, grano de mijo salvado de trigo, fibras naturales y CaSO4	Pasteurización	Placas de Agar	Moldes cilíndricos	14-42 días	Horno 60°C 24 horas Antes de desmoldar	Espumas
T. versicolor	Lino/Polvo de lino/Fibras de lino tratadas Fibras de lino sin tratar Desechos de lino Polvo de paja de trigo Paja de trigo	Autoclave 121°C 20 min	70% sustrato seco 20% agua autolavado desmineraliz ada 10% SPS (mezcla de granos)	Moldes PVC	28°C 8 días en el molde 8 días fuera del molde	70°C 5-10 horas	Aislamiento térmico
G. lucidum	Regolita Granos de café Astillas de madera Mezcla de granos Cereal de quinua	Autoclave	Inóculo en PDYA	Bolsas plásticas y moldes	20-30 °C 14 días	Horno 120°C	Arquitectura aeroespacial
T. versicolor Neurospora crassa	Mariz de yute, PDB	Autoclave 30 min	Inóculo en PDA	Recipientes de plástico	25°C Cada 2-3 días humedecer la matriz con PDB 30 días	Glicerina 15 h Recubrimiento de proteína de soja, agua destilada (10% p/p) y NaOH 2,5 M pH10 Baño maría 80°C 30 min Secar al ambiente 15 horas	Micotextiles
P. Ostreatus T. multicolor	Fibra de algodón no tejida (HR 55%) Aserrín de haya, paja de colza 1-3 cm y salvado (HR 65-70%)	Autoclave	SFS	Moldes de plástico (34x34x4 cm, PET- G). Los moldes son cubiertos con láminas de celofán (0,35 µm)	25°C 14 días en el molde 10 días fuera del molde Oscuridad	Presión F<30 kN cliente 150°C o fría 20°C 20 min *Los materiales expuestos a la presión en frío fueron secadas 24-48 h a temperatura ambiente	Espumas

Fuente: Feijóo et al., (2021)

Ilustración 45. Ciclo de la propuesta BioComposite de micelio.



Fuente: Fuentes & Monereo, (2021)

Bloque

La definición de la Real Academia Española describe este término como una pieza compacta que tiene forma de paralelepípedo rectángulo. Su palabra se deriva de dos vocablos del francés “bloc” y del neerlandés “blok”, que alude a un trozo grande de material compacto (RAE, 2023). De igual manera esta palabra es usada en la construcción para los bloques fabricados de hormigón o concreto que pueden tener una o varias cavidades huevas y contar con diseños en sus costados o estar completamente lisos.

Bloque de hormigón o concreto

Material constructivo aplicado en diversas estructuras, por lo que es crucial elegir un material adecuado dependiendo de la función que desempeñará en la edificación. Las medidas del bloque dependerán de los requerimientos y situaciones, por esta razón poseen medidas distintas, pero estándares con el fin de tener uniformidad en la construcción de los edificios. BLOQUERAS.ORG (2018), detalla tres tipos de medidas estandarizadas acorde al tipo de bloque.

Tabla 5. Medidas estándares de los bloques

Medidas estándares	Imagen referencial del bloque		
			
Ancho (cm)	10	15	20
Alto (cm)	20	20	20
Largo (cm)	40	40	40

Fuente: Castro & Farfán, (2020)

La norma NTE INEN 638 menciona que en los tipos de bloques A y B su espesor de paredes no debe ser menor a 25mm, y en los bloques tipo C, D y E no deben ser menor a 20mm. En donde el largo, ancho y alto de los bloques son los que determinan su espesor y de igual forma el de la pared. Los bloques deberán de cumplir con las dimensiones nominales y efectivas mostradas en la tabla para cada clase de bloque. (INEN, 2014)

Tabla 6. Dimensiones nominales y efectivas y usos

Tipo	Dimensiones nominales (cm)			Dimensiones efectivas (cm)			Uso
	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	
A							Paredes exteriores de carga, sin revestimiento.
B	40	20,15,10	20	39	19,14,09	19	Paredes exteriores de carga, con revestimiento. Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento.
C							Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento.
D	40	10,15,20	20	39	09,14,19	29	Paredes divisorias exteriores con revestimiento. Predes divisorias interiores, con o sin revestimiento.
E	40	10,15,20,25	20	39	09,14,19,24	20	Losas alivianadas de hormigón armado.

Fuente: Norma NTE INEN 638, (2014)

Eco-bloques o eco-ladrillos

Denominado también ladrillo sustentable o verde, se produce con materiales más sostenibles y menos contaminantes que los materiales tradicionales, incluso su proceso de extracción, elaboración y producción se realizan con bajo consumo de energía. Los eco-bloques cumplen con las mismas funciones que los bloques tradicionales, pero con un impacto ambiental casi nulo y un modelo de economía circular. (Isan, 2018)

Ilustración 46. *Ecoblok*



Fuente: Arnaiz et al., (2016)

Tipología de eco-bloques o eco-ladrillos

Existen distintos tipos de bloques ecológicos de acuerdo con el material sostenible o materia prima empleado, los cuales pueden contener diferentes niveles de sustentabilidad que dependen de su composición, forma de fabricación y por último de su aplicación. La versatilidad que tiene no solo se limita a su composición, sino que se extiende a su aplicación de edificios comerciales, viviendas sostenibles y espacios públicos. Pérez (2018), menciona 5 principales tipos de ladrillos ecológicos que están disponibles en el mercado actual.

Ladrillo de adobe

Material utilizado desde hace más de nueve mil años, forma parte de los materiales más antiguos empleados en la construcción. Tiene un proceso de fabricación a partir de la combinación de arcilla, agua y arena, los cuales son secados mediante exposición solar en vez de ser sometidos a cocción. Se suele añadir materiales fibrosos para evitar el agrietamiento durante su secado. Es una técnica de

elaboración aplicada a nivel mundial, además de que el producto es creada in situ (en el lugar de construcción), convirtiéndolo en una alternativa eficiente y amigable con el medio ambiente.

Ilustración 47. *Ladrillo de adobe*



Fuente: Isan, (2023)

Ladrillo de ceniza de carbón

Los ladrillos de este tipo se elaboran utilizando cenizas de carbón procedentes de plantas termoeléctricas. En 1999, el ingeniero civil Henry Liu ideó estos ladrillos como una solución innovadora para reciclar los desechos generados por combustión de carbón. Por consiguiente, representa un enfoque sostenible para la utilización de subproductos industriales en el área de la construcción, sirviendo además como un reemplazo parcial de la arcilla en la fabricación de ladrillos convencionales. Sin embargo, es crucial que se continúe investigando y desarrollando tecnologías que permitan optimizar aún más sus propiedades y ampliar su uso en diferentes tipos de construcciones, desde viviendas hasta infraestructuras más complejas.

Ilustración 48. *Ladrillo de ceniza de carbón*



Fuente: Isan, (2023)

Ladrillo de cáñamo, paja u otras fibras

Otra perspectiva que considerar son los ladrillos elaborados con materiales sostenibles a partir de fibras como el cáñamo, la paja y otras fibras vegetales, que sobresalen por su durabilidad y excelentes capacidades aislantes que proporcionan. Estos recursos no solo promueven la eficiencia energética al reducir la dependencia de sistemas de refrigeración y calefacción, sino que también juegan un rol fundamental en la conservación del entorno al usar recursos reciclados. Esta práctica no solo disminuye el impacto ambiental asociado con la extracción y procesamiento de materiales de construcción tradicionales, sino que también apoya la economía circular al dar una nueva vida a materiales que de otro modo serían desechados.

Ilustración 49. *Ladrillo de tierra comprimida*



Fuente: Isan, (2023)

Ladrillo de tierra comprimida

Son elaborados de la combinación de arena, arcilla, tierra y estabilizantes naturales o biodegradables, como la cal, que se compactan mediante equipos especializados para obtener su forma. Este método de fabricación elimina la etapa de cocción en hornos, lo que resulta en una notable disminución del consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. A pesar de tener mayor costo, su capacidad de aislamiento acústico supera ampliamente a otras alternativas tradicionales disponibles.

Ilustración 50. *Ladrillos de tierra comprimida*



Fuente: Isan, (2023)

Ladrillo plástico reciclado

Son también llamados ladrillos PET, elaborados a partir de plástico reciclado materia prima que ha ganado gran aceptación como una opción popular para su producción. Estos bloques elaborados únicamente de desechos plásticos de diversas procedencias no solo las emisiones de CO₂ se disminuyen en un porcentaje del 41%, sino que, además, muestran una mayor resistencia al compararlos con otros materiales disponibles, ya que no sufren de desconchados o grietas.

Ilustración 51. *Ladrillos de plástico reciclado*



Fuente: Isan, (2023)

2.3 Marco legal

2.3.1 Normativas Nacionales

Capítulo segundo Derechos de buen vivir

Sección segunda – Ambiente sano

Art 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad y el buen vivir. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas,

la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales.

Art 15.- El Estado promoverá en el sector público y privado, el uso de tecnologías limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento, y uso de armas químicas, biológicas y nucleares orgánicas persistentes altamente tóxicas.

Sección sexta – Hábitat y Vivienda.

Art. 30.- Las personas tiene derecho a un habitad seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica.

Art. 31.- Las personas tienen derecho al disfrute pleno de la ciudad y de sus espacios públicos, bajo los principios de sustentabilidad, justicia social, respeto a las diferentes culturas urbanas y equilibrio entre lo urbano y lo rural. El ejercicio del derecho a la ciudad se basa en la gestión democrática de esta, en la función social y ambiental de la propiedad y de la ciudad, y en el ejercicio pleno de la ciudadanía.

Capítulo séptimo. – Derecho de la naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pacha mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente, su existencia, mantenimiento y regeneración de sus ciclos de vitales, estructura, funciones, y procesos evolutivos. Toda persona comunidad o pueblo podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento del derecho de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos a la constitución en lo que proceda.

Art. 73.- El estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético natural.

Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

Plan Nacional de Desarrollo – Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024 – 2025

Este plan garantiza el derecho de los ciudadanos a través de cuatro ejes fundamentales. El eje de infraestructura, energía y medio ambiente para atender y mejorar la infraestructura vial, portuaria y energética, precautelando el uso adecuado de los recursos naturales. (PND, 2023)

Eje Infraestructura, Energía y Medio Ambiente

Es fundamental precautelar el uso responsable de los recursos naturales con el objetivo de preservar la sostenibilidad ambiental. Esto implica promover su conservación y regeneración; y al hacerlo se contribuye a mantener un equilibrio en los ecosistemas, se preserva la biodiversidad y se asegura que las generaciones futuras también puedan beneficiarse de estos recursos. La adopción de tecnologías sostenibles, la gestión eficiente de residuos y la concientización sobre la importancia de cuidar el medio ambiente son pasos clave para lograr un entorno ambientalmente sostenible.

Política 7.4, Conservar y restaurar los recursos naturales renovables terrestres y marinos, fomentando modelos de desarrollo sostenibles, bajos en emisiones y resilientes a los efectos adversos del cambio climático. Menciona en la estrategia **a)** Promover la conservación, restauración, protección, uso y aprovechamiento sostenible del patrimonio natural, con mecanismos y medios regulatorios establecidos para su gestión. **b)** Promover los modelos circulares que contribuyan a la reducción de la contaminación de los recursos naturales e hídricos.

Política 7.6, Fomentar a implementación de normas y estándares de construcciones resilientes y sostenibles en infraestructuras nuevas y existentes.

Norma Ecuatoriana de Construcción

La Norma Ecuatoriana de construcción, se presentan los requerimientos y metodologías que deberán ser aplicados al diseño sismo resistente de edificios principalmente, y, en segundo lugar, a otras estructuras, complementadas con normas extranjeras reconocidas. (NEC, 2023)

Tenemos las siguientes normas que se deben aplicar según el documento oficial del NEC-SE-DS Norma Ecuatoriana de la construcción:

- NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)
- NEC-SE-DS: Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente
- NEC-SE-RE: Rehabilitación Sísmica de estructura
- NEC-SE-GM: Geotecnia y Diseña de Cimentaciones
- NEC-SE-HM: Estructura de Hormigón Armado
- NEC-SE-AC: Estructuras de Acero
- NEC-SE-MP: Estructura de Mampostería Estructural
- NEC-SE-MD: Estructura de Madera.

Norma Técnica Ecuatoriana

Para la elaboración del prototipo de bloque se basará en los siguientes apartados de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN, tanto a nivel descriptivo como experimental.

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 638, tipos de bloques de hormigón y los usos para los cuales están fabricados.

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 639, se deberán usar bloques enteros tomados de forma aleatoria de las muestras seleccionadas.

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 640, resistencia mínima a la compresión.

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 640, absorción a la humedad, los bloques no deberán exceder el porcentaje de absorción del 15%.

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 641, consiste en la medición de la longitud del bloque hueco que ha sido saturado de agua, una segunda medición del mismo bloque seco y la repetición sucesiva de este proceso para lograr determinar el máximo valor de retracción.

Norma Técnica Ecuatoriana INEN basada en la norma internacional ISO 10140, consta de la medición de ruido en decibelios mediante un prototipo de pared con el material a ser usado.

2.3.2 Normativas Internacionales

ISO 717, ISO 12354 e ISO 16283, son normas internacionales relacionadas con la acústica de edificios y la evaluación del aislamiento acústico en edificios y elementos de construcción.

ISO 717, se ocupa específicamente de la evaluación del aislamiento acústico en los edificios y el aislamiento acústico de los elementos de construcción.

ISO 12354, se centra en la determinación de las propiedades acústicas de los edificios en función de las propiedades de los elementos individuales.

ISO 16283, cubre las mediciones de campo del aislamiento acústico en edificios y elementos de construcción.

ISO 925, aislamiento térmico - Condiciones de transmisión térmica y propiedades de los materiales.

ISO 834, resistencia al fuego, establece que los bloques sometidos a una temperatura de 1200°C deben resistir al menos seis horas antes de carbonizarse.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Método y alcance de la investigación:

3.1.1 Enfoque de la investigación:

El enfoque de este estudio es de naturaleza cuantitativa, centrado en la elaboración de un prototipo de bloque compuesto de micelio y fibra de pseudotallo de banano. Este proyecto se fundamentará en principios teóricos sólidos para explicar la relación entre las variables del micelio, los residuos lignocelulósicos, así como las fibras vegetales. Mediante datos medibles y observables, se verificará la hipótesis planteada. Posteriormente, se emitirán conclusiones y recomendaciones pertinentes.

3.1.2 Tipo de investigación:

En el ámbito de la investigación cuantitativa, se encuentran diversos diseños, como la investigación experimental y no experimental. Además, se pueden mencionar subcategorías como preexperimentales, cuasiexperimentales y experimentales verdaderas o puras. Estas clasificaciones se fundamentan en el nivel de control ejercido sobre las variables del objeto de estudio, manteniendo la consideración del grado de aleatoriedad asignado a los sujetos de investigación.

Para esta investigación, se empleará tanto el diseño experimental puro como el pre-experimental. En el diseño experimental puro, se enfocará en la manipulación de las variables independientes, controlando las variables dependientes, tales como los residuos lignocelulósicos y la fibra de banano. Por otro lado, se llevará a cabo una pre-experimentación que permitirá un acercamiento no controlado con el producto, con el objetivo de observar el comportamiento del micelio durante un período de un mes. Esto ayudará a identificar las modificaciones y características pertinentes para las muestras oficiales en la investigación.

Sin perder de vista que los residuos lignocelulósicos actuarán como sustratos, los cuales incluyen cascarilla de arroz, paja, cartón y aserrín, el control de las variables

relevantes en este proceso se centrará en la temperatura, la humedad y la luminosidad. Esto permitirá la obtención de biomateriales como resultado final.

3.1.3 Alcance de la investigación:

Para comprender el alcance de la investigación, esta puede clasificarse en exploratoria, descriptiva, explicativa y correlacional, cada una con un enfoque y propósito particulares. En el contexto del estudio, se alinea a tres alcances como es el exploratorio que es investiga las posibilidades que ofrecen las combinaciones innovadoras de materiales, en este caso, el micelio del hongo "Pleurotus Ostreatus" y la fibra del pseudotallo de banano. Este enfoque busca identificar si estas combinaciones pueden resultar en un biomaterial viable para la fabricación de bloques, así como explorar los desafíos y oportunidades que presenta el uso de residuos lignocelulósicos como sustrato. Por consiguiente, el alcance descriptivo, se enfoca en se detallar las propiedades y características específicas del prototipo creado. Finalmente, el alcance explicativo busca comprender y explicar cómo las diferentes variables involucradas, como el micelio, los residuos lignocelulósicos y las fibras vegetales, interactúan para influir en la calidad y funcionalidad del biomaterial.

Tabla 7. Propósito y valor de los diferentes tipos de alcances de la investigación.

Tipo de Alcance	Propósito	Valor
Exploratorio	Investigar nuevas combinaciones de materiales para la producción de biomateriales, identificando potenciales beneficios y limitaciones.	Permite identificar áreas nuevas de investigación y posibles aplicaciones prácticas de los materiales estudiados. Ofrece una visión preliminar sobre la viabilidad del prototipo y los desafíos asociados.
Descriptivo	Documentar las propiedades y características del prototipo de bloque fabricado con micelios y fibra del pseudotallo de banano.	Facilita una comprensión detallada y documentada de las propiedades del material, contribuyendo a su evaluación y posible mejora. Ofrece una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.
Explicativo	Analizar y explicar cómo las diferentes variables afectan la formación y calidad del biomaterial, probando y verificando hipótesis relacionadas con el comportamiento del prototipo.	Proporciona una comprensión profunda de los mecanismos subyacentes en la creación del biomaterial. Permite formular conclusiones y recomendaciones basadas en datos observables y medibles, y validar o refutar hipótesis planteadas.

Nota: Metodología de la investigación

Fuente: Hernández Sampieri, (2014)

Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

3.2 Técnica e instrumentos para recopilar información.

Las técnicas aplicadas en la investigación son los procesos para recopilar datos e información, y pueden incluir encuestas, entrevistas, análisis de documentos, observación en el campo, entre otros. En este estudio se emplearon técnicas como el análisis de documentos e investigaciones ya existentes y la observación de campo. Además, la validación de prototipos a través de las diferentes dosificaciones de mezclas.

Para el análisis documental: Se indago artículos científicos, tesis, revistas y guías referidas a la exploración.

Para la observación de campo: Como herramienta principal se utilizará bitácoras físicas y digitales, junto con una cámara de celular para recopilar información y registrar los sucesos diarios mientras se lleva a cabo la investigación.

Para la experimentación: Para llevar a cabo la técnica de experimentación y ensayos de laboratorio, se requieren instrumentos como el termohigrómetro digital, balanza gramera de precisión digital, guantes quirúrgicos, alcohol, agua destilada, atomizador, fundas de polipropileno transparentes, ollas de cocina, recipientes con medida, aguja, estilete, vela, sonómetro, termómetro digital profesional, horno y máquinas para realizar las pruebas mecánicas.

3.2.1 Variables de la investigación

Variables dependientes

En la siguiente investigación se analizarán las variables que contribuyan a definir las características del grupo experimental. Por ende, se emplearán las siguientes variables dependientes:

- Resistencia a la flexión y compresión.
- Ensayo de absorción.
- Conductividad Térmica e inflamabilidad del bloque.

- Ensayo acústico.
- Fabricación del material de micelio.

Variables independientes

Dentro de la experimentación hay muchas características que se puede manipular para obtener un mejor resultado para denominar el tratamiento. A continuación, las siguientes variables independientes.

Ilustración 52. Variable de fabricación del bloque



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

En cuanto a las variables independientes que intervienen en la producción del bloque de micelio con fibra de pseudotallo de banano, se contempla la utilización de cuatro tipos de sustrato. Además, se empleará el hongo *Pleurotus Ostreatus*. Se destacan como variables de gran relevancia la humedad, la temperatura y la exposición a la luz solar. Por último, se considerará el proceso de esterilización, teniendo en cuenta los diversos métodos a aplicar para cada tipo de sustrato utilizado.

3.2.2 Representación del diseño de investigación

Tabla 8. Diseño de investigación para la recopilación de información de laboratorio.

Número de ensayos	Prototipo	Método (incubación)	FB (%)	MS (%)
1	1	CT ₁₀₀	30	70
2	1	CA ₅₀ ; AS ₅₀	50	50
3	1	CT ₅₀ ; PA ₅₀	90	10

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Nota: CA: cascarilla de arroz, AS: Aserrín, CT: cartón, PA: paja de trigo (sustratos con los que se realizara el proceso de inoculación e incubación), FB: fibra de banano, MS: micelios para moldear. En los tratamientos esta la mezcla de sustratos utilizados para el crecimiento de los micelios.

Tabla 9. Diseño de bitácora

Día	Imagen	Humedad	Temperatura	Observaciones
Día 1		89%	26°	
Día 4		89%	26°	

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

3.2.3 Población

En este estudio, se considera como población los residuos lignocelulósicos generados en la región costera de Ecuador.

3.2.4 Muestra

Se seleccionaron como muestra residuos lignocelulósicos como fibra de pseudotallo de plátano, cascarilla de arroz, cartón, aserrín y paja, los cuales se recolectaron de diferentes distritos de la región costera de Ecuador.

3.2.5 Muestreo

La obtención de muestras de residuos lignocelulósicos agrícolas, como cascarilla de arroz, aserrín, paja, cartón y fibra de pseudotallo de plátano, se llevó a

cabo mediante un muestreo no probabilístico intencional o deliberado, ya que se conocen las características que se desean estudiar en la población

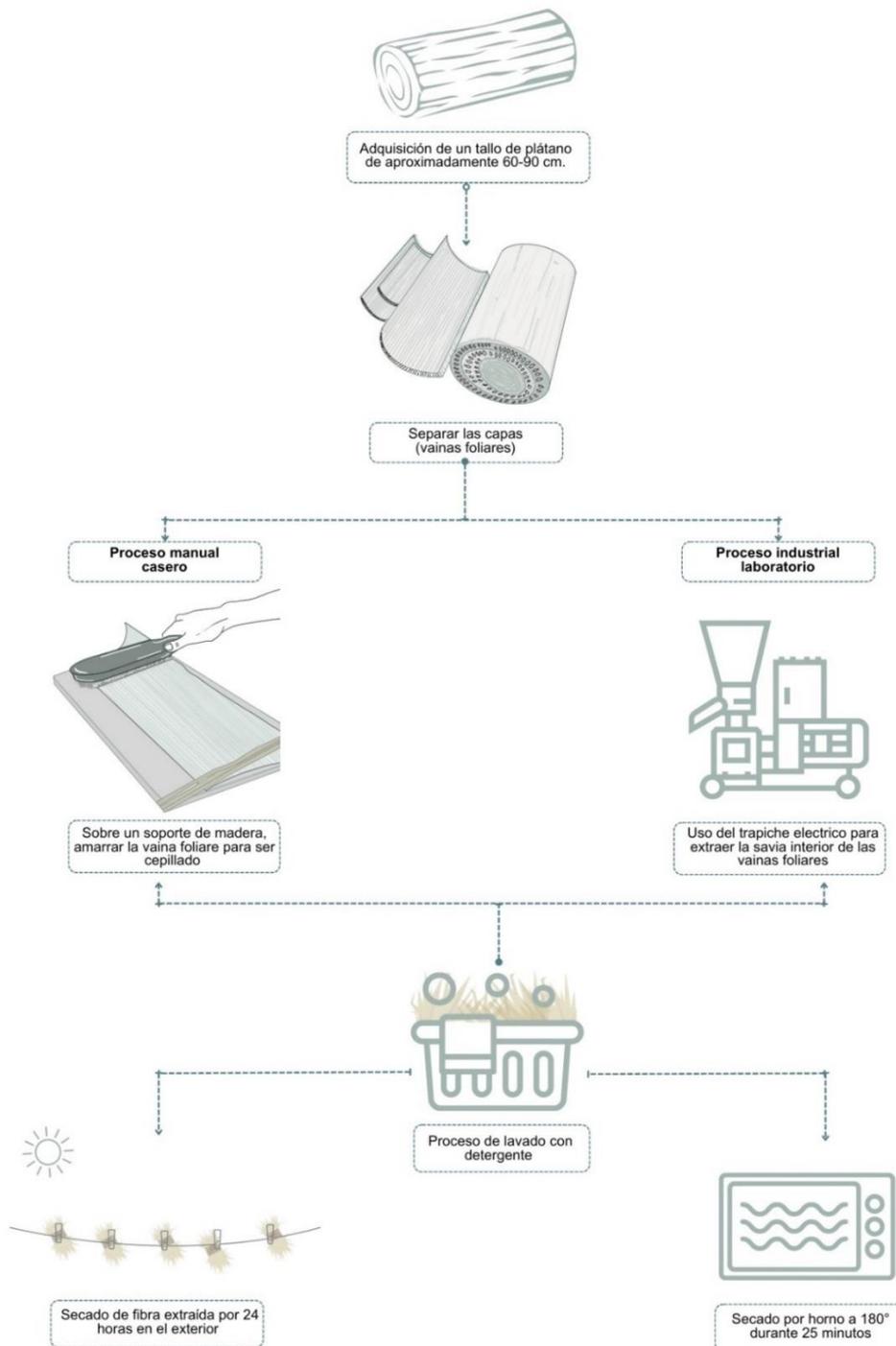
El primer punto de recolección de cáscara de arroz se ubicó en una finca agrícola en Petrillo, Nobol. El segundo punto de recolección para obtener fibra de pseudotallo de plátano también se encontró en la finca agrícola "Lolita", en Las Balsas, vía Sacán-Sucre, Santa Ana, Manabí. Por último, el tercer punto se localizó en el cantón Salitre, en la Hacienda y piladora Maldonado, vía Salitre, recinto Roque.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

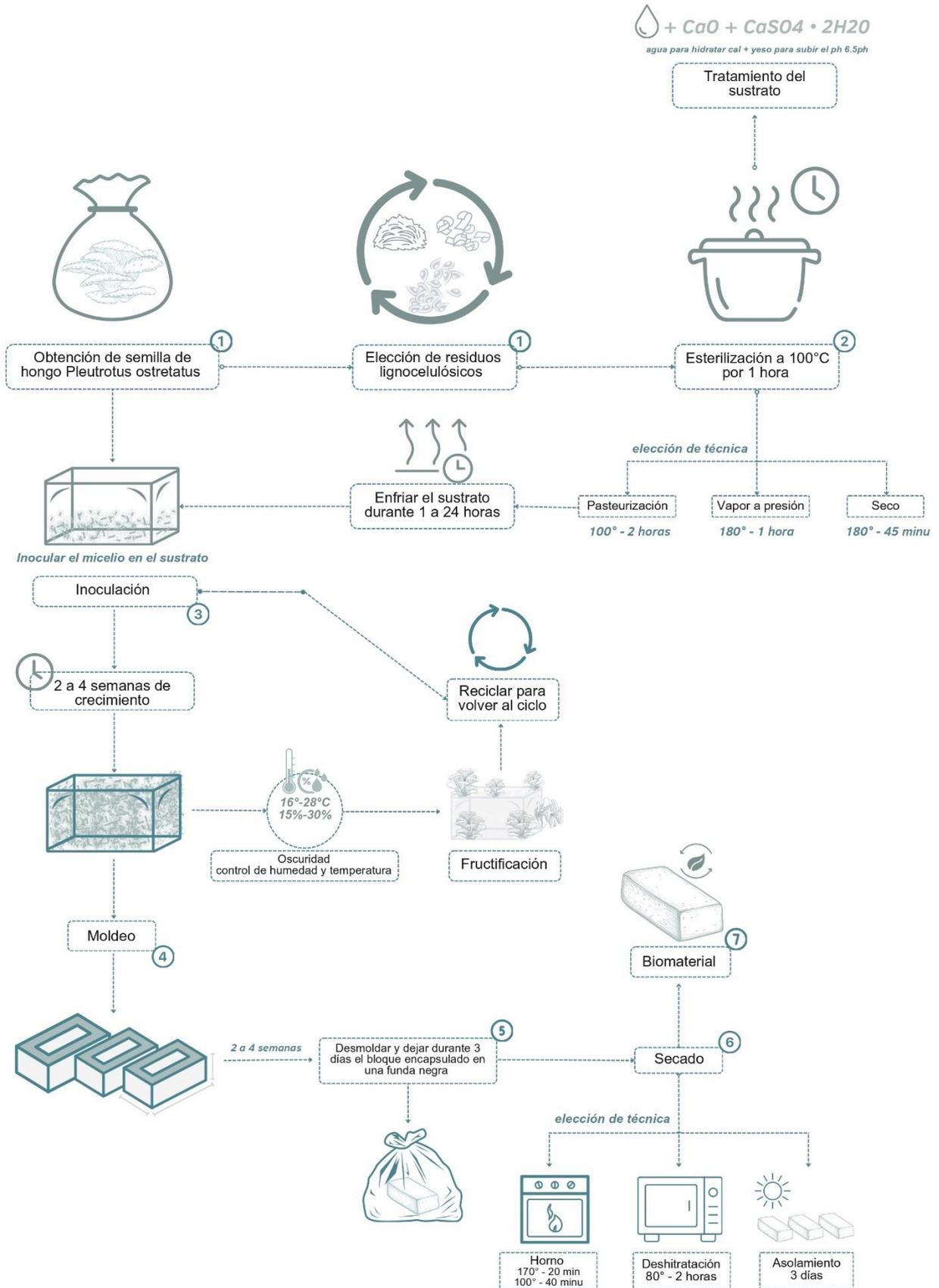
4.1 Metodología y técnicas aplicada.

Ilustración 53. Proceso metodológico de la investigación; Extracción de la fibra de banano



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Ilustración 54. Proceso metodológico de la investigación. Ciclo de BioComposite de Micelio

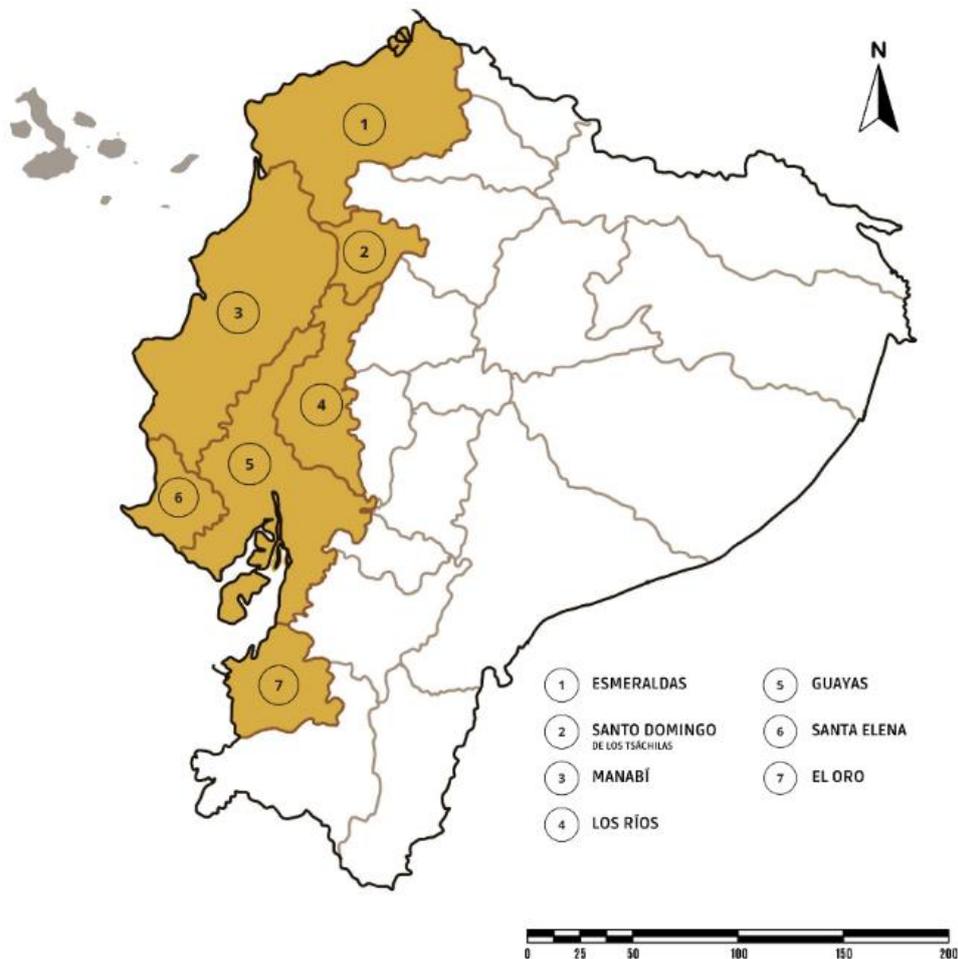


Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

4.2 Obtención de residuos lignocelulósicos

La investigación subsiguiente se enfocó en el territorio costero de Ecuador, adquiriendo ahí los desechos lignocelulósicos, como la fibra de pseudotallo de banano, cascarilla de arroz, paja, cartón desechado y aserrín. La región Costa se la reconoce por sus extensos territorios agrícolas, ya sean fincas o empresas enfocadas en estas actividades.

Ilustración 55. Mapa del Ecuador identificando las regiones de la costa.



Fuente: Mapstyle, (s.f)

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

De las seis provincias que transigen la zona costa, se extrajo los residuos lignocelulósicos de dos provincias que son Manabí, Los Ríos y Guayas.

Ilustración 56. Mapa del área de extracción del pseudotallo de banano: Cantón Santa Ana, Manabí



Fuente: Mapstyle-Google maps, (s.f)
Modificado por: Ortega & Puerto, (2024)

Para la recolección de fibras de banano, nos dirigimos a la provincia de Manabí, entre Las balsas, vía Sacán-Sucre-Santa Ana, hasta llegar a la “Finca Lolita” donde se encuentra hectáreas aproximadamente 3 hectáreas de cultivo de banano y plátano. La recolección no solo brinda un recurso valioso para la investigación, sino que también fomenta el aprovechamiento eficiente de los desechos agrícolas, impulsando prácticas sostenibles y contribuyendo a la economía circular en la zona.

Ilustración 57. Mapa del área de recolección de cascarilla de arroz: Cantón Daule, Petrillo



Fuente: Mapstyle-Google maps, (s.f)
Modificado por: Ortega & Puerto, (2024)

Asimismo, para obtener la cascarilla de arroz, se seleccionó una ubicación estratégica en una finca agrícola entre Nobol y Daule, reconocida por su intensa actividad en el cultivo y distribución de arroz. Considerando que se trata de áreas con una alta demanda para el cultivo y distribución de arroz, los propietarios optan por desechar estos residuos al no contar con un propósito futuro para su utilización. Su utilización en la investigación puede transformar un desecho agrícola en un componente valioso para la fabricación de nuevos materiales, contribuyendo tanto a la reducción de residuos como a la innovación en el sector de materiales sostenibles.

Ilustración 58. Mapa del área de extracción de la paja de arroz, cartón desechado.



Fuente: Mapstyle, (s.f)

Modificado por: Ortega & Puerto, (2024)

Por último, tenemos la hacienda y piladora “Maldonado” situada en el norte del cantón Salitre, en el recinto Roque. Esta hacienda se dedica principalmente al cultivo de arroz, lo cual representa su actividad económica fundamental. Sus actividades primarias es el cultivo de arroz, del cual se recolecto la paja para usarla como sustrato. Además, la hacienda produce desechos de cartón derivados de las compras realizadas para el mantenimiento y operación de la finca, como empaques y materiales de embalaje. Estos desechos de cartón, junto con la paja de arroz, representan recursos valiosos para el estudio, ya que pueden ser empleados en la producción de micelios y la creación de nuevos biomateriales.

4.2.1 Fibra de pseudotallo de banano

4.2.2 Descripción de los procesos de obtención de las fibras de pseudotallo de banano

Primer proceso

La extracción de las fibras del pseudotallo de banano se realizó mediante métodos físicos manuales y mecánicos. Inicialmente, se adquirió la materia prima, y se procedió a cortar y separar el pseudotallo del rizoma en un segmento de aproximadamente 60 cm de longitud. Se eliminaron las zonas del pseudotallo que se pudrieron por el tiempo y posteriormente se separaron las capas (vainas foliares) que lo componen para dar paso al proceso de extracción y desfibrado.

Ilustración 59. *Preparación del pseudotallo de banano*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Se obtuvieron entre 17 y 20 vainas foliares del pseudotallo, las cuales fueron cuidadosamente separadas y clasificadas según su tamaño y estado. Se identificaron capas afectadas por pudrición, considerando la rápida oxidación de la fruta del banano. Es fundamental proceder con su manipulación de forma inmediata.

Ilustración 60. *Proceso de separación de las vainas foliares*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

En el primer proceso, se realizó de manera manual la extracción del agua que contienen en su interior. Se colocó la vaina sobre una tabla y fue amarrada en uno de sus extremos para evitar cualquier movimiento y facilitar su manejo. Sobre la vaina foliar, con la ayuda de un palo de madera, se ejercieron movimientos repetitivos de presión de arriba hacia abajo en una dirección vertical hasta extraer la mayor cantidad de savia posible.

Ilustración 61. *Proceso de extracción de savia de las vainas foliares*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Mediante el uso de un cepillo de cerdas metálicas, se procedió a separar los residuos del pseudotallo de las fibras. Fue necesario cepillar repetidamente hasta lograr que las fibras quedaran separadas entre sí.

Ilustración 62. *Proceso de cepillado de las vainas foliares*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Se realizó el descruce de la fibra con el método clásico, utilizando agua y detergente, lo que posibilitó la separación y estabilización de las impurezas dispersas. Finalmente, se llevó a secar las fibras con el método de secado al aire libre en sol y sombra, se lo dejó 24 horas tendido en cordeles para garantizar un óptimo proceso de secado.

Ilustración 63. *Proceso de descruce y secado de las fibras de pseudotallo de banano*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Segundo proceso

La segunda extracción de fibra de pseudotallo se realizó en un laboratorio, utilizando instrumentos y maquinarias que agilizaron el proceso. Permitieron obtener una mayor cantidad de fibra en comparación con el primer proceso de extracción. De manera manual se separaron las vainas foliares del rizoma una por una, encontrando que las vainas foliares externas eran más fáciles de extraer que las internas, las cuales estaban más adheridas al tallo floral del pseudotallo.

Ilustración 64. *Proceso de separación de las vainas foliares del pseudotallo*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Se empleó la máquina de trapiche eléctrico para extraer la savia del interior de las vainas foliares, se descartaron las capas internas que no fueron útiles debido a su fragilidad, las cuales se fracturaban con facilidad. Para poder pasarlas por la máquina, se las cortó en tamaños reducidos. Se logró extraer un significativo volumen de líquido

en una sola operación, dejando a las vainas más manejables para el proceso de desfibrado.

Ilustración 65. *Proceso de extracción de la savia de las vainas foliares del pseudotallo de banano*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Para separar las fibras de las vainas foliares que tenían una estructura completa, se utilizó un cepillo de cerdas metálicas para el cepillado, mientras que las vainas foliares irregulares se extrajeron de manera manual. Se optó por el proceso manual debido a que con el cepillo provocaba su ruptura, complicando su separación. Las fibras de las vainas foliares que se oxidaron con el tiempo resultaron más sencillas de extraer, puesto que presentaban una textura más suave que permitía el paso fácil del cepillo.

Ilustración 66. *Proceso de extracción de la fibra de las vainas foliares del pseudotallo de banano*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Una vez obtenida la fibra, se llevó a cabo el método clásico de descruce. Este proceso implicó sumergirla en un recipiente con agua y detergente, seguido de tres enjuagadas iniciales y un reposo de 24 horas para eliminar la suciedad y las impurezas. Al día siguiente, las fibras se desenredaron debido al detergente y se

procedió a secar con el método de secado al aire libre, alternando entre exposición directa al sol y sombra, durante un periodo de 24 horas.

Ilustración 67. *Proceso de lavado con detergente y secado de la fibra de pseudotallo de banano*



Elaborado por: Ortega & Puelo (2024)

El segundo proceso resultó ser más eficaz en la extracción de fibras del pseudotallo de banano, permitiendo obtener una mayor cantidad en menos tiempo en todas las vainas, a diferencia del primer proceso, donde solo se obtuvo fibra solo de una vaina foliar debido a la demora en la extracción. Además, el segundo proceso no solo mejoró la eficiencia en términos de calidad y tiempo, sino que tuvo mejor calidad.

Ilustración 68. *Proceso de lavado y secado por medio de horno de la fibra de pseudotallo de banano.*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Por otro lado, se optó también el método de secado en horno a 80° durante 30 minutos como una alternativa para acelerar la extracción.

4.3 Pre-experimentaciones

4.3.1 Micelio en grano con sustrato de cascarilla de arroz

Inicialmente se experimentó con el micelio en grano solo en sustrato de cascarilla de arroz y micelio puro, se realizaron muestras pequeñas para observar el comportamiento del micelio en el sustrato durante 1 mes aproximadamente.

Materiales

Para el desarrollo del proceso, se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 10. Materiales para primeras pruebas experimentales

No.	Material	Ilustración
1	Hongo cultivado grano "Pleurotus Ostreatus"	
2	Sustrato de cascarilla de arroz	
3	Tarrinas circulares de plástico PET	
4	Jarra metálica pequeña	
5	Guantes quirúrgicos	

6	Alcohol	
---	---------	---

Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Inicialmente se realizaron 4 muestras pre experimentales al mismo tiempo. Estas muestras estuvieron incubándose la mitad del mes dentro de un refrigerador con una temperatura de 5-7°C y cubiertas con una funda negra para evitar el paso de la luz.

Ilustración 69. Muestras pre experimentales



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

En el estudio, se trabajó con cuatro variables distintas para cada una de las muestras. La muestra 1 consistió en micelios junto con cascarilla de arroz, la muestra 2 estaba compuesta de micelios, cascarilla de arroz y fibra de pseudotallo de banano, la muestra 3 incluyó micelios con fibra de pseudotallo de banano, y finalmente la muestra 4 se combinó con cascarilla de arroz cocida y micelios. En cada una de estas muestras se evaluaron aspectos como la actividad relacionada con la temperatura, la humedad y la contaminación.

Tabla 11. Proceso de crecimiento del micelio con la fibra del pseudotallo de banano

Muestra pre-experimental 1		
Micelio puro con fibra de pseudotallo de banano		
Día	Imagen	Observaciones
1		<p>Se distribuyó el micelio junto con la fibra de pseudotallo de banano en un recipiente plástico. Se realizaron pequeños hoyos en la tapa para mejorar su oxígeno.</p>
3		<p>Se notó un pequeño crecimiento del micelio en los granos y presencia de humedad dentro del recipiente.</p>
7		<p>Los granos comenzaron otra vez a recubrirse de micelio y se notó mayor presencia de humedad.</p>
15		<p>El micelio comenzó a crecer mucho más rápido en las partes laterales e inferior del recipiente. Se notó poca presencia de micelio en la parte superior.</p>
18		<p>El micelio se comenzó a combinar con la fibra de pseudotallo de banano y se observó mayor presencia de micelio en la parte superior.</p>

19		<p>El micelio creció en casi el 90% del recipiente.</p>
26		<p>Se desmoldó el micelio del recipiente para que creciera uniformemente en los restos faltantes. Además, se lo dejó dentro de un recipiente más grande que sirva de contenedor hermético.</p>
27		<p>Se notó un crecimiento mínimo de micelio en la parte superior.</p>
29		<p>El micelio comenzó a cambiar de color debido a los cambios de temperatura, humedad y tiempo de maduración.</p>
30		<p>Se notó un porcentaje menor de pérdida de micelio en todo su volumen.</p>

Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Al notar que la muestra comenzaba a perder micelio y presentar un tipo de oxidación por el tiempo, se procedió con el secado de la muestra por medio del horno.

Para este proceso se trabajó con el manual de “biofabricación con hongos del Laboratorio de Biofabricación FADEU”.

Se tomó el peso de la muestra antes de ser introducida al horno, teniendo como peso inicial 37g. Se secó el micelio en un horno convencional a una temperatura de 170°C por 20 minutos y después a una temperatura de 100°C por 40 minutos. (Fuentes Palacios & Rodríguez Jara, 2019)

Ilustración 70. *Peso inicial y proceso de secado al horno de la muestra 1*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Una vez sacado del horno se tomó el peso de la muestra dando 20g, se observa que pierde el 54% del peso inicial, el secado permite que se preserve el micelio y pierda el exceso de humedad impidiendo el crecimiento de bacterias una vez terminado el material.

Ilustración 71. *Peso final después del secado*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Después del proceso de secado, el micelio adquiere un tono más oscuro, el cual varía en función del tiempo de exposición en el horno, ofreciendo una gama de colores naturales. Al tacto, se percibe como un material resistente, compacto, y con una textura que recuerda a la espuma rígida. Visualmente, se pueden identificar claramente los componentes de la muestra: el micelio, la fibra del pseudotallo de banana y los granos utilizados en la fase inicial.

Ilustración 72. Muestra 1 secada y terminada



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Tabla 12. Proceso de crecimiento del micelio con sustrato cascarilla de arroz seca

Muestra pre-experimental 2		
Micelio con sustrato de cascarilla de arroz sin pasteurizar		
Día	Imagen	Observaciones
3		Se observa pequeños crecimientos del micelio en la cascarilla de arroz sin hervir.
7		El micelio solo crece en la parte media y baja del recipiente, debido a que ahí se concentra mayor cantidad de grano inoculado.

10		Presencia de micelio en la parte superior de la muestra.
15		Mayor crecimiento en la parte superior de la muestra y un pequeño crecimiento en los laterales.

Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Al notar que el micelio no crecía en la cascarilla de arroz seca sin hervir se procedió a desmoldar y mandar a secar al horno, en este caso se usó secado en una freidora de aire con el mismo proceso de la muestra 1 de 170°C por 20 minutos y después a una temperatura de 100°C por 40 minutos. El peso inicial de la muestra 2 fue de 23g.

Ilustración 73. *Peso inicial de la muestra 2 y proceso de secado.*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Una vez sacado del horno, se toma el peso, dando 10 g, dando un 43.47% de pérdida de peso en comparación con el peso inicial. Se observó que las partes de la cascarilla de arroz donde el micelio no se había colonizado se desprendían con facilidad de la muestra. Este hallazgo sugiere que la colonización del micelio no fue uniforme en toda la muestra de cascarilla de arroz. Para mejorar la uniformidad del

cultivo, sería recomendable ajustar las condiciones de humedad y temperatura, así como garantizar una distribución más homogénea del micelio durante la inoculación.

Ilustración 74. Muestra 2 final después del secado



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Tabla 13. Proceso de crecimiento del micelio, sustrato cascarilla de arroz y fibra de pseudotallo de banano

Muestra pre-experimental 3		
Micelio con sustrato de cascarilla de arroz sin pasteurizar y fibra de pseudotallo de banano		
Día	Imagen	Observaciones
5		No se observa presencia de micelio en la muestra.
13		Presencia de micelio en los laterales y centro de la muestra. No se observa micelio en la parte superior.
15		Nula presencia de micelio en la parte superior y ligero cambio de color del micelio en la muestra.

16		<p>Sin presencia de micelio en el superior de la muestra y cambio de color a tono amarillo grisáceo. Se observa pérdida de micelio en las zonas anteriormente colonizadas.</p>
22		<p>La muestra se contaminó con varios tipos de mohos <i>Dactylium dendroides</i>, <i>Trichoderma</i> y <i>Rhizopus stolonifer</i>.</p>

Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

La falta de desinfección del sustrato y de la fibra de pseudotallo de banano crearon un ambiente apto para la contaminación de la muestra, mostrando la presencia de enfermedades como: *Dactylium dendroides*, *Trichoderma* y *Rhizopus stolonifer*.

Ilustración 75. Presencia de contaminación en la muestra 3



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Por lo tanto, es clave realizar el proceso de pasteurización o esterilización para librar los sustratos de azúcares, bacterias, hongos entre otras características que posee la materia prima. Este procedimiento no solo garantiza la seguridad del producto final, sino que también mejora su calidad y vida útil.

**Tabla 14. Proceso de crecimiento del micelio con sustrato cascarilla de arroz para crecimiento
Muestra pre-experimental 4**

Micelio con sustrato de cascarilla de arroz para crecimiento		
Día	Imagen	Observaciones
1		La cascarilla de arroz se esterilizó para prevenir posibles contaminaciones.
5		No existe presencia del crecimiento micelial.
10		Escasa presencia de crecimiento micelial en el sustrato.
20		Se observó una mayor presencia de micelio en la parte superior del sustrato.

22		<p>Se observó una notable presencia de micelio en el sustrato en su totalidad, con una apariencia similar al algodón.</p>
23		<p>El micelio comenzó a asentarse en el sustrato.</p>
24		<p>El sustrato fue colonizado completamente por el micelio.</p>
25		<p>A día siguiente se traspasó el sustrato colonizado a bolsas de plástico con un nuevo sustrato esterilizado.</p>
30		<p>Tras 5 días, se detectó contaminación en la muestra, posiblemente debido al material de la funda o al manejo inadecuado del sustrato.</p>

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Un mes después de las primeras muestras, se llevó a cabo una última pre-experimentación, en la que se esterilizó sustrato de cascarilla de arroz para poner a crecer más micelio. Antes de su preparación, el sustrato presentaba un olor semejante al de las cucarachas, aunque se interpretó como un aroma natural derivado del tiempo que estuvo almacenado. Del mismo modo, el color del sustrato antes y después de esterilizarlo era más oscuro que en las muestras previas.

Tabla 15. Muestra pre-experimental 5; micelio con sustrato de cascarilla de arroz para crecimiento

Muestra pre-experimental 5		
Micelio con sustrato de cascarilla de arroz para crecimiento		
Día	imagen	observaciones
1		La cascarilla de arroz exhibió un tono oscuro y emanaba un olor peculiar a cucaracha.
2		El micelio experimentó un rápido crecimiento en el sustrato en solo un día.
3		La presencia de micelio en el sustrato es notable en todo el recipiente, mientras que el olor permanecía inalterado desde el inicio.

4		<p>Se observa una mayor colonización del micelio y un cambio de color hacia tonalidades grisáceas.</p>
5		<p>Se detectó contaminación en la muestra con <i>Rhizopus stolonifer</i>, presumiblemente debido a la contaminación previa del sustrato con cucaracha.</p>

Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

4.4 Experimentaciones finales

4.4.1 Descripción de los procesos de pasteurización del sustrato

Se llevó a cabo el proceso de reproducción del micelio con distintos sustratos como aserrín, cascarilla de arroz, paja y cartón. Antes de inocular el micelio, se pasteurizó el sustrato para eliminar la presencia de hongos y bacterias. Esta etapa es crucial para garantizar un entorno lo más estéril posible, lo que favorece el crecimiento del micelio sin competencia. La inoculación se realizó en un ambiente limpio y con herramientas esterilizadas para reducir al mínimo el riesgo de contaminación.

Materiales

Para su desarrollo, se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 16. Materiales para proceso de pasteurización del sustrato

No.	Material	Ilustración
1	Frascos de vidrio con tapa metálica	
2	Botellas plásticas	
3	Cal	
4	Yeso	
5	Olla grande metálica	
6	Cinta microporo	

7	Gramera	
8	Sustratos (cascarilla de arroz, aserrín, paja y cartón)	
9	Papel aluminio	

Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 76. *Materiales para preparar el sustrato (aserrín)*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Inicialmente, se preparó el sustrato a utilizar en un recipiente grande, humedeciéndolo con una proporción del 60% de agua por cada 40% de sustrato. Para el primer proceso, se llevó a cabo la pasteurización tanto por el método térmico, que consistió en la utilización de vapor, como el método químico, que implicó el uso de cal y yeso. Estos últimos se mezclaron directamente en el agua para humedecer el sustrato, lo que eleva el pH del agua y facilita eliminar las bacterias y contaminantes del sustrato sin perjudicar el micelio.

Tabla 17. Dosificación del sustrato y agua

Materiales	Cantidad
Sustrato (Aserrín)	40% (1.35 kg)
Agua	60% (810 ml)
Cal	5.74 g
Yeso	26.33 g
Sustrato (cascarilla de arroz)	40% (0.18 kg)
Agua	60% (270 g)
Cal	0.77 g
Yeso	5.76 g

Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 77. Preparación del sustrato de cascarilla de arroz



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Después de humedecer el sustrato, se llenaron los frascos de vidrio, los cuales fueron sellados con tapas metálicas perforadas. Los agujeros en las tapas se cubrieron con cinta microporo para facilitar la respiración del micelio mientras se minimizaba el riesgo de contaminación externa. Adicionalmente, se envolvieron las tapas con papel aluminio, lo que optimizó la esterilización por vapor al crear una barrera adicional contra agentes contaminantes. Este proceso aseguró un ambiente adecuado para el desarrollo seguro y controlado del micelio.

Ilustración 78. Preparación de los frascos de vidrio con sustrato de aserrín



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Finalmente, en el proceso de pasteurización, los frascos fueron colocados en una olla grande, asentados sobre un recipiente metálico para evitar el contacto directo con el agua. Se mantuvieron a fuego medio-alto durante aproximadamente dos horas, permitiendo la completa evaporación del agua. Tras este periodo, se dejaron enfriar para proceder con la inoculación del micelio.

Ilustración 79. Pasteurización por vapor de los sustratos



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 80. Proceso de esterilización del cartón



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Continuando, el proceso de preparación del sustrato de cartón, se empleó un pliego de 42 cm x 59,4 cm que se rasgó en fragmentos más pequeños. Esta técnica facilita la preparación para la inoculación posterior.

Ilustración 81. *Cartón rasgado esterilizado*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Por otro lado, se preparó una olla de 15 litros con agua, la cual se dejó hervir en un tiempo de 30 minutos, obteniendo el agua a una temperatura de 85° grados centígrados. A continuación, se colocó el sustrato de cartón en capas, facilitando su compactación en las botellas. Posteriormente, se recomienda hervirlo a 120°C durante una hora. Es necesario escurrir el sustrato para quitar el exceso de agua y permitir que se enfríe durante una hora antes de su utilización.

Ilustración 82. *Proceso de esterilización del cartón*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

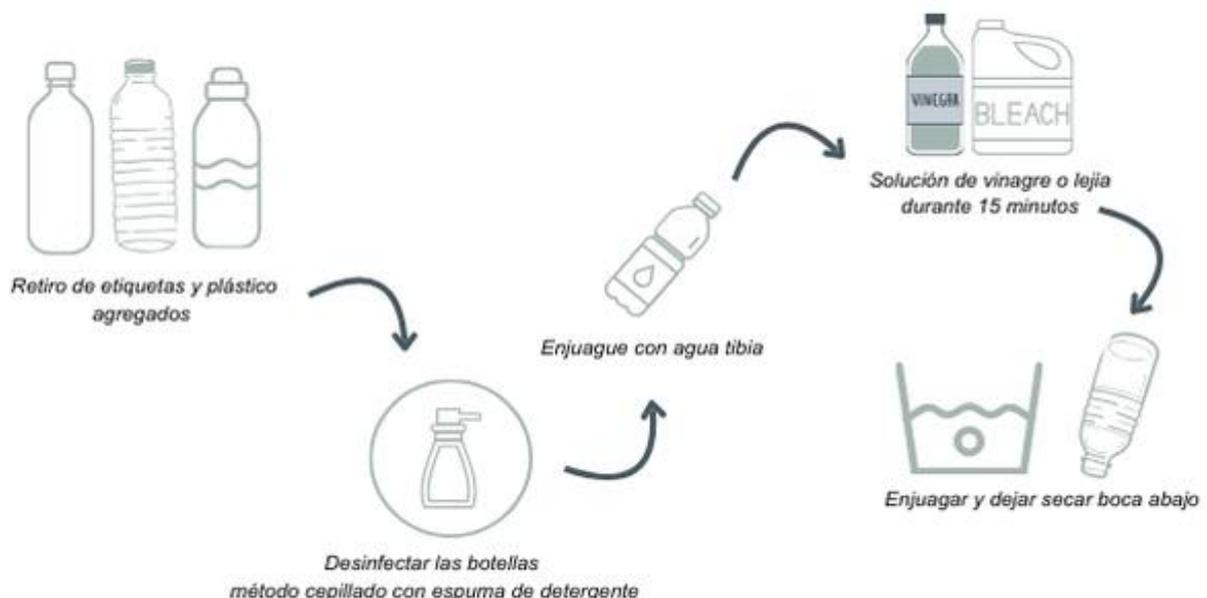
Para la esterilización del sustrato de paja, se preparó una mezcla de yeso y cal con proporciones iguales, un paso crucial en el proceso para incrementar el pH. Al

mismo tiempo, es necesario colocar la paja de arroz cuando la temperatura del agua haya alcanzado 60° y luego dejar que hierva durante una hora a 120°. Es importante agregarle un objeto pesado sobre la paja para que se mantenga inmersa en el baño caliente. Una vez transcurrido el tiempo indicado, se debe dejar escurrir y enfriar durante una hora o hasta alcanzar la temperatura ambiente. Es fundamental que ambos sustratos se encuentren a temperatura ambiente antes de su inoculación, ya que una temperatura excesivamente alta podría resultar letal para el micelio.

Es elemental que las botellas de plástico pasen por un proceso de esterilización para prevenir la presencia de microorganismos en su interior. En primer lugar, se debe retirar cualquier etiqueta o plástico adherido a la botella, seguido de un enjuague con agua tibia, evitando que llegue a hervir para evitar dañar el material por cambios bruscos de temperatura.

Se sugiere emplear un cepillo especializado para botellas, con el propósito de limpiar a fondo el interior y garantizar la higiene de todas las superficies internas. Para finalizar, es imprescindible enjuagar cuidadosamente con agua caliente, eliminando cualquier rastro de jabón y asegurando una limpieza completa.

Ilustración 83. *Proceso de esterilización de botellas*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

El siguiente paso consiste en desinfectar la botella mediante el llenado de esta con una solución de agua y vinagre blanco, o bien, con agua que contenga una pequeña proporción de lejía (una cucharadita de lejía por cada litro de agua). Se recomienda dejar reposar la solución en la botella durante al menos 10-15 minutos. Posteriormente, enjuagar abundantemente con agua potable para asegurarse de eliminar por completo cualquier vestigio de vinagre o lejía. Finalmente, se debe dejar secar la botella, preferiblemente boca abajo, para evitar la acumulación de humedad.

4.4.2 Descripción del proceso de inoculación del micelio

Materiales

Para el desarrollo del proceso, se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 18. Materiales para utilizar en el proceso de inoculación del micelio en el sustrato

No.	Material	Ilustración
1	Hongo cultivado grano "Pleurotus Ostreatus"	
2	Fascos con sustrato pasteurizado	
3	Guantes quirúrgicos	

4	Mascarilla	
5	Alcohol	
6	Cuchara metálica	
7	Funda plástica negra	

Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Para realizar este proceso, se requirió esterilizar el área de trabajo mediante la limpieza con alcohol y la utilización de todos los elementos de protección necesarios antes de proceder con la inoculación. Se depositó un 10% de semillas de micelio, distribuyendo por todo el recipiente en cada uno de los frascos con una cuchara esterilizada, asegurándose de esterilizar la cuchara en cada inserción de semilla. Finalmente, se cerraron los frascos y se envolvieron con una funda negra para evitar la exposición de luz directa a los frascos. Para preservar la humedad y la temperatura adecuadas, se colocaron los frascos dentro de un recipiente o lugar hermético.

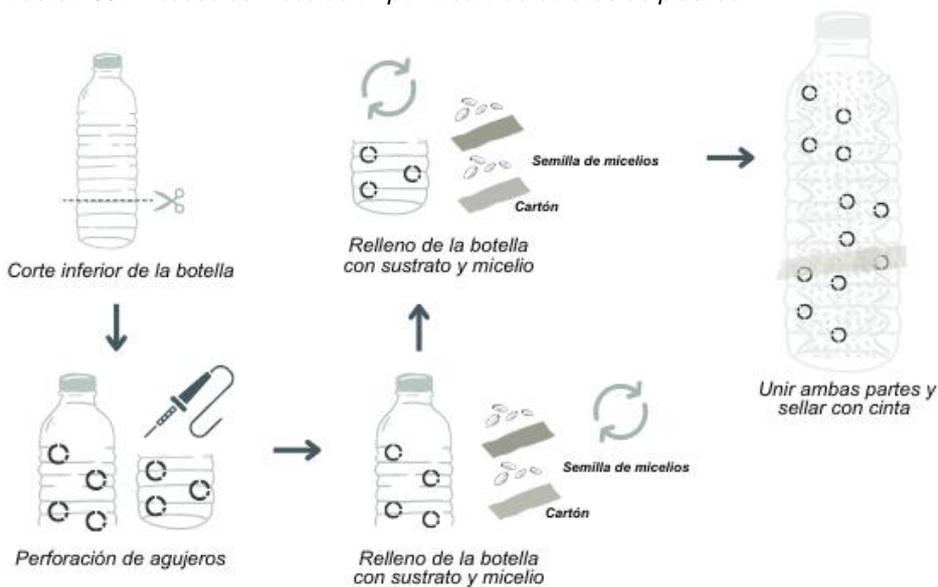
Ilustración 84. Inoculación con semillas de micelio en el sustrato



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Asimismo, se tomó tres botellas de plástico con una capacidad de 1000 a 2000 ml. Se les marco con un marcador una línea de corte en la parte inferior, asimismo con la ayuda de un cautín 60w tipo lápiz, se realizaron agujeros de 0.1 milímetros alrededor de la botella para su salida de aire.

Ilustración 85. Proceso de inoculación por medio de botellas de plástico.



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Teniendo el sustrato listo, se procede a colocar una capa de cartón con cinco semillas de micelios. Este proceso es repetitivo hasta llenar la botella a un 100% con sustrato y micelios.

4.4.3 Descripción del proceso de incubación del micelio en los sustratos

Para obtener un buen proceso de incubación, se tiene que disponer de un espacio propicio para el crecimiento del micelio, por la cual se armó una incubadora

de bajo costo. Donde, se adquirió un contenedor de plástico (guardaplatos hermético). En la parte superior se colocó una funda negra para generar calor y humedad dentro del contenedor. Asimismo, es crucial mantener un alto nivel de esterilización, tal como se detalla en el proceso de esterilización de botellas ilustrado en la **Ilustración 8**.

Ilustración 86. *Elaboración de incubadora con contenedor de plástico-Guardaplatos hermético*



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Por otro lado, se empleó incubadora de espuma de poliuretano (esplumafon), que se destaca por su capacidad de aislar térmicamente, protección contra contaminantes, su diseño brinda un entorno controlado y seguro para el crecimiento del micelio.

Ilustración 87. *Incubadora de espuma de poliuretano*



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Tabla 19. Registro de incubación utilizando sustrato de cartón

Día	Imagen	Humedad	Temperatura	Observaciones
Día 1		49%	25.3°	Se observan los primeros indicios de colonización del micelio en el sustrato, creando un entorno agradable y tropical.
Día 4		58%	27.7°	Ya se presencia esporas o hifas colonizando el sustrato, los que forman el micelio.
Día 8		62%	28.3°	De las tres incubaciones, la primera tiene un crecimiento más rápido que los restantes.
Día 12		68%	28.1°	Pasando los 12 días se pudo apreciar un 25% de crecimiento en dos de las tres incubaciones.
Día 16		65%	27.7°	El tercer cultivo crece lentamente, por lo que se lo coloco en un recipiente de plástico para proporcionarle más calor.
Día 20		67%	28.5°	Se colocó una funda negra dentro de la incubadora, dado que el micelio ya se encontraba colonizado en un 80%.
Día 24		65%	28.5°	El proceso de colonización ha alcanzado un 90% de avance y está listo para ser moldeado.
Día 28		67%	28.7°	Después de 28 días, se logró una colonización del 96%, lo que indica que está listo para dar moldear con la fibra.

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Tabla 20. Registro de incubación utilizando sustrato de aserrín

Día	Imagen	Humedad	Temperatura	Observaciones
Día 1		76%	27°	El micelio se esparció dentro del sustrato.
Día 3		72%	26.7°	Se observa un pequeño crecimiento del micelio en el sustrato.
Día 6		69%	26.9°	El color del sustrato ha adquirido una tonalidad grisácea blanquecina debido al desarrollo del micelio.
Día 10		69%	27.4°	Se observa un mayor desarrollo del micelio en los frascos de menor tamaño.
Día 15		68%	27.7°	El crecimiento del micelio es más notable en los recipientes pequeños, donde existe una mayor colonización del sustrato.
Día 30		62%	28.2°	El sustrato ha sido colonizado en gran medida, adquiriendo un tono blanquecino grisáceo debido a la integración del aserrín y el micelio.

Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 88. Vista macro del micelio a los 2 días de incubación



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Tabla 21. Registro de incubación utilizando sustrato de cascarilla de arroz

Día	Imagen	Humedad	Temperatura	Observaciones
Día 1		68%	27.7°	El micelio se esparció dentro del sustrato distribuyendo por todos los lados del recipiente.
Día 3		63%	28.2°	El micelio se propagó rápidamente en la cascarilla de arroz.
Día 6		65%	28.1°	Ausencia de micelio en áreas de recipiente, requiriendo ser envuelto con una funda negra para garantizar la ausencia de luz.
Día 10		69%	27.2°	Se observa crecimiento de micelio en las zonas inferiores del recipiente que aún no habían sido colonizadas.
Día 15		62%	28.2°	El micelio ha logrado colonizar el 85% del sustrato, presentando un tono blanquecino en gran parte del recipiente.
Día 30		69%	27.4°	El sustrato ha sido colonizado un 90% de la cascarilla de arroz.

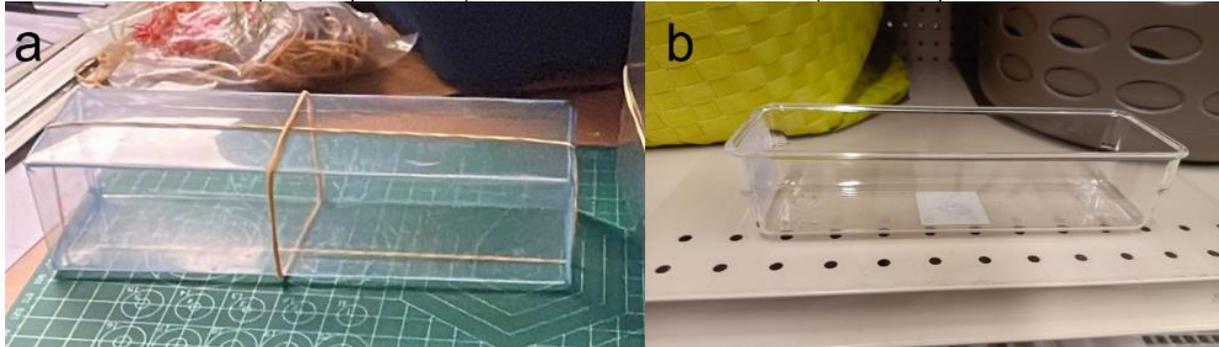
Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Una vez que el micelio ha colonizado adecuadamente una porción considerable del sustrato, se encuentra preparado para el siguiente paso: el proceso de moldeo en combinación con la fibra de pseudotallo de banano. En esta etapa, el micelio y la fibra se mezclan cuidadosamente para crear una masa homogénea, la cual se introducirá en moldes específicos.

4.4.4 Descripción del proceso de moldeo del micelio con la fibra de pseudotallo de banano

Para este proceso se emplearon dos tipos de moldes tipo ladrillo con dimensiones de 20x5x5 cm; uno fue elaborado a partir de láminas de acetato y el otro molde de policarbonato comprado con medidas aproximadas.

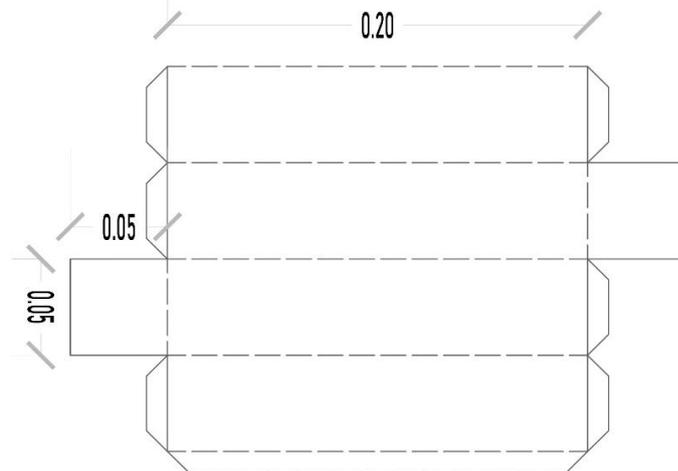
Ilustración 89. Moldes para las pruebas; a) molde elaborado con acetato, b) molde de policarbonato



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Para la elaboración del prisma, se realizó un estencil de esa manera el moldeo adopte la forma con mayor precisión.

Ilustración 90. Stencil para las muestras



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Se elaboraron 12 moldes con 4 dosificaciones diferentes de micelio y fibra de pseudotallo de banano, con 3 muestras para cada combinación. A continuación, se describen las dosificaciones empleadas:

Tabla 22. Dosificaciones de las muestras para moldear

Muestra	% Fibra de pseudotallo de banano	% Micelio	%Humedad
1	30	70	10
2	50	50	10
3	90	10	10
4	0	100	10

Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Dosificación 70% micelio 30% fibra de pseudotallo de banano

Para esta dosificación, se trabajó con los moldes de acetato previamente perforados y revestidos con microporos para facilitar el intercambio de gases sin que se produzca contaminantes externos.

Ilustración 91. Proceso de distribución de micelio y fibra de pseudotallo de banano.



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

El procedimiento comenzó con la aplicación de una capa inicial del 10% de fibra de pseudotallo de banano, que se distribuyó de manera uniforme en todo el molde. Una vez establecida la primera capa, se procedió a añadir una capa de sustrato de cartón previamente inoculado, el cual había sido incubado durante 28 días. Este sustrato, impregnado con micelio activo, fue colocado cuidadosamente para promover la colonización del material y asegurar una integración adecuada entre las capas.

El proceso de distribución de capas es tanto repetitivo como meticuloso, con cada capa requiriendo una aplicación de presión controlada. Esta presión es fundamental para alcanzar una compresión óptima del material y para prevenir la formación de espacios vacíos. Además, una aplicación uniforme de presión asegura una distribución homogénea del material, lo que contribuye a la estabilidad y durabilidad del producto final.

Ilustración 92. Prototipos en la incubadora día 0



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Una vez que el contenido ha sido vertido y distribuido en el molde, es crucial asegurar la estabilidad de la forma del prototipo mediante la aplicación de ligas de caucho. Se deben colocar cuatro ligas en dirección horizontal y cuatro en dirección vertical alrededor del molde. Este sistema de sujeción garantiza una presión uniforme, lo que es esencial para evitar cualquier deformación durante el proceso de colonización y crecimiento del micelio. Sin omitir, que antes de ser guardado en la incubadora, debe ser humedecido con agua utilizando un rociador. Durante el proceso de inoculación, es necesario mantener el ambiente en completa oscuridad, con una humedad que oscile entre el 40% y el 70%, y una temperatura de 23° a 27°.

Tabla 23. Proceso de moldeo con dosificación de 70% micelio - 30% fibra de pseudotallo de banano

Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Observaciones
Día 1				Micelio y fibras dispersas en el molde.
Día 10				Se observa una mayor concentración de micelio en la muestra 1.



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Después de 30 días de colonización en el cual el micelio ha invadido la matriz de fibra de pseudotallo de banano, el proceso ha avanzado al siguiente paso: el desmolde. Esta fase es crucial para el desarrollo óptimo del prototipo, ya que se transfiere el material a una funda negra, diseñada para crear un entorno controlado de calor y humedad. Estos factores son esenciales para fomentar un crecimiento vigoroso y uniforme del micelio, asegurando que la estructura se fortalezca y se consolide adecuadamente.

Ilustración 93. Muestra 3 desmoldeada de sustrato de cartón y fibra de pseudotallo de banano.



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Dosificación 50% micelio 50% fibra de pseudotallo de banano

Para esta dosificación se trabajó con los moldes de policarbonato, fue necesario armar tapas para cerrar los moldes, a los cuales se les realizó perforaciones pequeñas que fueron cubiertas con microporo para permitir el intercambio adecuado de gases sin la entrada de contaminantes.

Ilustración 94. *Elaboración de tapas de acetato cubiertas con cinta microporo*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Dentro de los moldes, se distribuyó en capas la fibra de pseudotallo del banano y el micelio para lograr una mezcla homogénea de los materiales. Se diseñaron dos combinaciones con el micelio con sustrato de cascarilla de arroz y una con el sustrato de aserrín.

Ilustración 95. *Distribución por capas del micelio y la fibra de pseudotallo de banano*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

En cada capa, es esencial desinfectar tanto la fibra como su entorno para prevenir la absorción de contaminantes externos durante la inoculación. Además, se ha establecido un orden específico para la disposición de la fibra del pseudotallo de banano, con el fin de lograr una colonización adecuada. Este enfoque facilita una integración efectiva del sustrato con el micelio.

Tabla 24. Proceso de moldeo con dosificación de 50% micelio - 50% fibra de pseudotallo de banano

Día	Muestra 1 Aserrín	Muestra 2 Cascarilla de arroz	Muestra 3 Cascarilla de arroz	Observaciones
Día 1				Micelio y fibras distribuidas en el molde.
Día 10				Mayor presencia de micelio en la muestra 2.
Día 15				Poca presencia de micelio en la muestra 1 con crecimiento segmentado.
Día 20				Presencia del 85% de micelio dentro del molde.
Día 25				Muestras 100% colonizadas por el micelio.

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Para el día 30, el micelio detuvo su proceso de colonización tanto del sustrato como de la fibra de pseudotallo de banano, lo que llevó al desmolde de cada muestra. Estas adoptaron la forma del molde. La muestra 1 se destacó por presentar un desarrollo superior del micelio en la superficie externa. Esta muestra exhibió una textura lisa y uniforme, señal de una colonización eficaz y un crecimiento consolidado. Debido a su sustrato de aserrín, su peso supera el de las dos muestras con sustrato de cascarilla de arroz, teniendo un peso de 374 g.

Ilustración 96. *Muestra 1 desmoldada de sustrato de aserrín y fibra de pseudotallo de banano*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

La muestra 2 presentó un buen crecimiento del micelio en los laterales; sin embargo, en la parte inferior, se observó una escasa presencia de micelio, lo que permite visualizar la cascarilla de arroz y la fibra de pseudotallo de banano, quedando susceptible a desprendimiento de estas. Tuvo una textura es más rugosa y poco lisa, con un peso de 245 g.

Ilustración 97. *Muestra 2 desmoldada de sustrato de cascarilla de arroz y fibra de pseudotallo de banano*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

La muestra 3, a diferencia de las dos muestras presentó un escaso crecimiento en los laterales, dejando visible y susceptible su interior. En la parte inferior, su desarrollo de micelio fue mejor, dejando una textura más uniforme que sus laterales, con un peso de 252 g.

Ilustración 98. *Muestra 3 desmoldada de sustrato de cascarilla de arroz y fibra de pseudotallo de banano*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Dosificación 10% micelio 90% fibra de pseudotallo de banano

Ilustración 99. Proceso de moldeo con dosificación 10% micelio – 90% fibra de pseudotallo de banano.



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Tabla 25. Proceso de moldeo con dosificación de 10% micelio - 90% fibra de pseudotallo de banano

Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Observaciones
Día 1				En el primer día, el micelio ha comenzado a colonizar la fibra de banano.
Día 10				Es posible que las primeras hebras de micelio se entrelacen con la fibra, comenzando a crear una red más densa y visible.
Día 15				El micelio comenzó a cubrir una parte considerable de la fibra de banano.
Día 20				El micelio habrá formado una capa más gruesa, cubriendo la mayoría del material.
Día 25				El micelio terminó de colonizar toda la fibra de banano, resultando en un prototipo compacto y homogéneo.

Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Dosificación 100% micelio

Ilustración 100. Proceso de moldeo con dosificación 100% micelio



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Tabla 26. Proceso de moldeo con dosificación de 100% micelio

Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Observaciones
Día 1				El micelio ha mostrado signos limitados de colonización en el cartón.
Día 10				Se observa un aumento en la actividad, con algunas áreas mostrando una cobertura blanca más evidente.
Día 15				La estructura sigue siendo frágil y menos densa de lo esperado.
Día 20				Las áreas colonizadas son más extensas, pero el proceso sigue siendo incompleto.
Día 25				El micelio ha colonizado la mayor parte del cartón, pero la estructura del bloque muestra inconsistencias debido al crecimiento inicial lento.

Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

4.4.5 Descripción del proceso de secado de las muestras

Una vez que se extrajeron las muestras de los moldes, se procedió a secarlas en un horno a 170°C durante 20 minutos y a 100°C durante 40 minutos para eliminar la humedad y prevenir el crecimiento de bacterias.

Fue necesario llevar a cabo un segundo ciclo de secado en un horno de cocina a gas, ya que el horno de laboratorio no alcanzaba la temperatura requerida. Al concluir el proceso de secado, se percibía la humedad de los bloques.

Ilustración 101. Proceso de secado de las muestras en; a) horno de laboratorio y b) horno de cocina a gas



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Se puede observar como las muestras presentan variaciones en color y peso, características físicas que se surgen tras un proceso de secado de dos horas utilizando dos métodos distintos.

Ilustración 102. Cambios de color producto del secado



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Dosificación 50% micelio 50% fibra de pseudotallo de banano

Se observó la reducción del peso de los prototipos:

Tabla 27. Pesos iniciales y finales de las muestras en el proceso de secado

Muestra	Peso inicial	Peso final
1	 374 g	 296 g
2	 245 g	 159 g
3	 252 g	 165 g

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

En promedio, la dosificación 50% micelios – 50% fibra tiene un peso inicial promedio de 290,33 g y un peso final promedio de 206,66 g. Asimismo, se calculó el porcentaje de peso final dando un 71,16% respecto al peso inicial. Sin omitir, su pérdida de peso final en porcentaje promedio fue del 28.89%.

Dosificación 30% micelio 70% fibra de pseudotallo de banano

Tabla 28. Pesos iniciales y finales de las muestras en el proceso de secado 30-70

Muestra	Peso inicial	Peso final
1	 <p>238 g</p>	 <p>181 g</p>
2	 <p>285 g</p>	 <p>200 g</p>
3	 <p>275 g</p>	 <p>195 g</p>

Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

En cambio, la dosificación 30% micelios – 70% fibra tiene un peso inicial promedio de 266 g y un peso final promedio de 192 g. Asimismo, se calculó el porcentaje de peso final dando un 72,18% respecto al peso inicial. Sin omitir, su pérdida de peso final en porcentaje promedio fue del 27.81%.

Tabla 29. Pesos iniciales y finales de las muestras en el proceso de secado 90-10

Muestra	Peso inicial	Peso final
1	 <p data-bbox="582 566 655 595">213 g</p>	 <p data-bbox="1098 566 1171 595">137 g</p>
2	 <p data-bbox="582 969 655 999">197 g</p>	 <p data-bbox="1098 969 1171 999">162 g</p>
3	 <p data-bbox="582 1310 655 1339">186 g</p>	 <p data-bbox="1098 1310 1171 1339">169 g</p>

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Continuando con, la dosificación 90% micelios – 10% fibra de pseudotallo de banano, tiene un peso inicial promedio de 198,67 g y un peso final promedio de 156 g. Asimismo, se calculó el porcentaje de peso final dando un 78,52% respecto al peso inicial. Sin omitir, su pérdida de peso final en porcentaje promedio fue del 21.47%.

Tabla 30. Pesos iniciales y finales de las muestras en el proceso de secado 100

Muestra	Peso inicial	Peso final
1	 264 g	 221 g
2	 263 g	 195 g
3	 286 g	 151 g

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Por último, la dosificación 100% tiene un peso inicial promedio de 271 g y un peso final promedio de 189 g. Asimismo, se calculó el porcentaje de peso final dando un 69,74% respecto al peso inicial. Sin omitir, su pérdida de peso final en porcentaje promedio fue del 30,25%.

4.4.6 Descripción del proceso de relleno de las muestras

Una vez concluido el proceso de secado, se observó la presencia de espacios vacíos en el interior de las muestras, lo que las hacía más susceptibles al daño al tacto. Por ese motivo, se optó por realizar pruebas de relleno en las muestras utilizando dos alternativas: resina poliéster pura y pegamento de cola plástica.

Dosificación 50% micelio 50% fibra de pseudotallo de banano

Ilustración 103. *Proceso de relleno de las muestras con resina*



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Dado el carácter tóxico de la resina, se experimentó una considerable pérdida de micelio en las muestras. La muestra 1 destacó al presentar menos pérdida de micelio, lo que permitió la observación de la presencia de estos organismos únicamente en esta muestra.

Hubo inconvenientes con el secado de la resina internamente debido a una incorrecta dosificación de la preparación, lo que resultó en que los bloques permanecieran húmedos en su interior.

Ilustración 104. *Presencia de resina húmeda en el interior del bloque*



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Ilustración 105. *Proceso de relleno de las muestras de cola blanca.*



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Para las siguientes dosificaciones se tomó en cuenta la cola plástica de Bioplast para su recubrimiento y relleno. El uso de esta cola plástica contribuyó a mitigar la porosidad y los vacíos ocasionados por la compresión insuficiente o el crecimiento parcial del micelio. Esta adhesión plástica añade cohesión adicional, fortaleciendo la integridad estructural del bloque. Su aplicación está orientada a asegurar una resistencia y durabilidad superiores, potenciando así el desempeño del material sostenible en contextos constructivos.

Dosificación 70% micelio 30% fibra de pseudotallo de banano

Ilustración 106. *Secado del pegamento dosificación 70% micelio 30% fibra de pseudotallo de banano.*



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Dosificación 10% micelio 90% fibra de pseudotallo de banano

Ilustración 107. Secado del pegamento dosificación 10% micelio 90% fibra de pseudotallo de banano.



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Dosificación 100% micelio

Ilustración 108. Secado del pegamento dosificación 100% micelio.



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

4.5 Presentación y análisis de resultados

4.5.1 Caracterización de los prototipos

Resistencia a la flexión

Esta prueba se ejecutó en un equipo de ensayo modelo Shimadzu F500KNX, donde, la norma INEN ASTM C-78/ NTE INEN 2554 recomienda ensayar 3 muestras de cada prototipo. Se usó la siguiente fórmula:

$$Sf = 0.0028 * P$$

Donde

Sf = Resistencia a la flexión

P = Carga máxima

Tabla 31. Resultado de la prueba de resistencia a la flexión de los prototipos

Prototipo	Peso (g)	Medida (cm)	Espesor (cm)	P (N)	Sf (MPa)
P1 30 - 70	133.17	19 x 5	4.2	168.72	0.47
	111.55	19 x 5		145.52	0.41
	120.55	19 x 5		202.26	0.57
				172.17	0.48
P2 50 - 50	977.27	24 x 8	5.5	2073.84	5.81
	899.50			2857.53	8.00
	882.43			1627.76	4.56
				2186.38	6.12
P3 90 - 10	86.80	18.70 x 5	4	107.45	0.30
	86.47	18.5 x 3.5		87.42	0.24
	82.24	19.1 x 3.6		101.17	0.28
				98.68	0.27
P4 0 - 100	113.89	19 x 5	4.5	143.13	0.40
	111.49	19.5 x 5		133.91	0.37
	117.70	19.2 x 5		126.52	0.35
				134.52	0.37

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

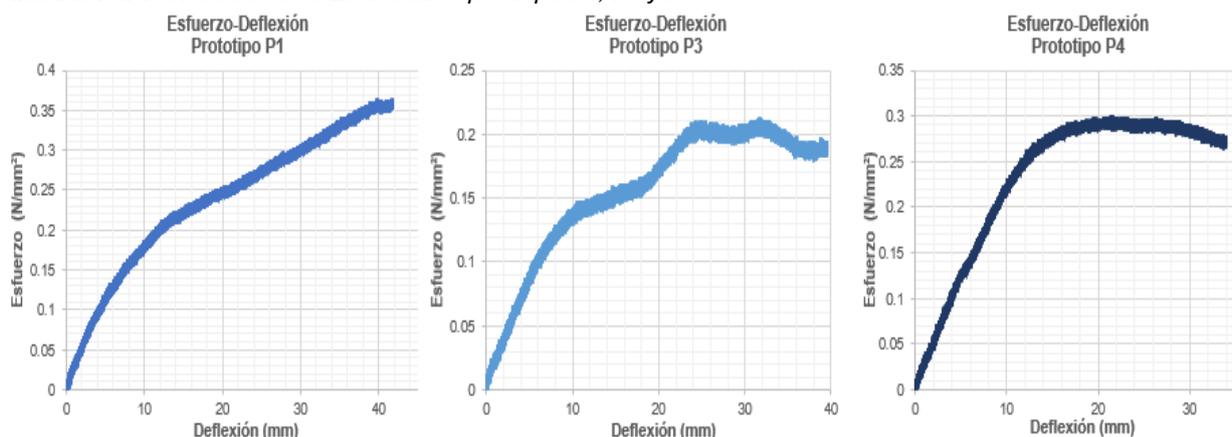
El prototipo P2 mostró una mejor resistencia a la flexión debido a su composición con resina. Por otro lado, los prototipos P1, P3 Y P4 presentaron un comportamiento

elástico una vez que la carga fue removida, atribuible a las características elásticas del micelio y la fibra de pseudotallo de banano. A continuación, se puede observar en gráficos de curva el módulo de elasticidad de cada prototipo. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$E = \frac{FL^3}{48I\delta}$$

En los gráficos de esfuerzo-deformación de los prototipos P1, P3 y P4, la curva no desciende, sugiriendo que el material continúa mostrando un comportamiento elástico, lo que implica que su deformación sigue siendo proporcional al esfuerzo aplicado y que, al eliminar dicho esfuerzo, el material recuperará su forma inicial.

Ilustración 109. Curva esfuerzo-deflexión prototipo P1, P3 y P4



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

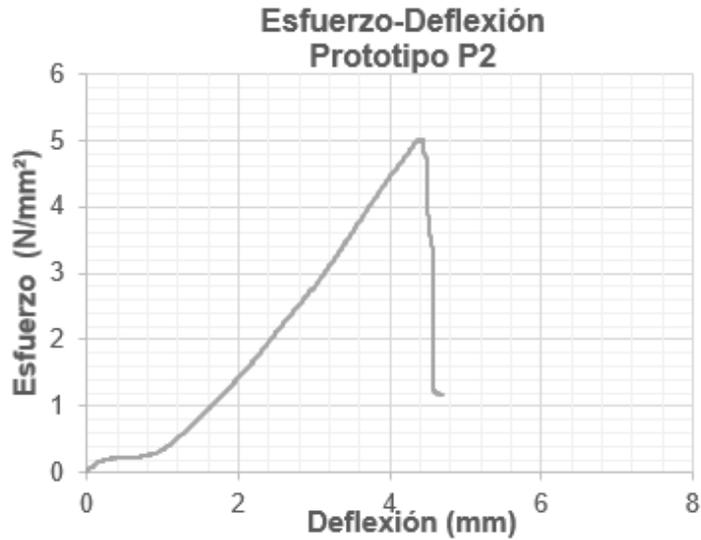
Ilustración 110. Prototipos P1, P3 y P4 antes y después de la prueba de resistencia a la flexión



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

El prototipo 2, en cambio, alcanzó su límite elástico y presenta una deformación plástica, perdiendo la capacidad de recuperar su forma original al retirarse la fuerza aplicada, lo que resulta en una deformación permanente.

Ilustración 111. Curva esfuerzo-deflexión prototipo P2



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Ilustración 112. Prueba de resistencia a la flexión del prototipo P2



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Resistencia a la compresión

De igual manera este ensayo se ejecutó en la maquina modelo Shimadzu F500KNX, donde se ensayaron 3 muestras de cada prototipo. Se usó la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde

P = Carga o fuerza

A= Área determinada

σ = Esfuerzo

Tabla 32. Resultado del experimento de resistencia a la compresión de los prototipos

Prototipo	a (mm)	l (mm)	Área (mm ²)	Fuerza (N)	Compresión (MPa)
P1 30 - 70	50.00	40.00	2000.00	592.23	0.30
	54.00	40.00	2160.00	611.62	0.28
	48.00	51.00	2448.00	606.40	0.25
			603.42	0.28	
P2 50 - 50	73.50	52.00	3822.00	5612.53	1.47
	75.00	53.00	3975.00	3693.58	0.93
	73.50	54.00	3969.00	1909.65	0.48
			3738.59	0.96	
P3 90 - 10	51.00	45.00	2295.00	503.22	0.22
	53.00	45.00	2385.00	525.08	0.22
	53.00	47.00	2491.00	500.52	0.20
			509.61	0.21	
P4 0 - 100	56.00	42.00	2352.00	268.14	0.11
	51.70	41.30	2135.21	151.95	0.07
	47.30	52.10	2464.33	439.88	0.18
			286.66	0.12	

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

El prototipo P2 demostró una mejor resistencia a la compresión debido a su composición con resina, un material rígido y resistente que genera una matriz más sólida y cohesiva con el micelio y la fibra de pseudotallo de banano. A diferencia con los prototipos P1, P3 y P4, cuya resistencia fue considerablemente menor al utilizar goma blanca, un material más suave.

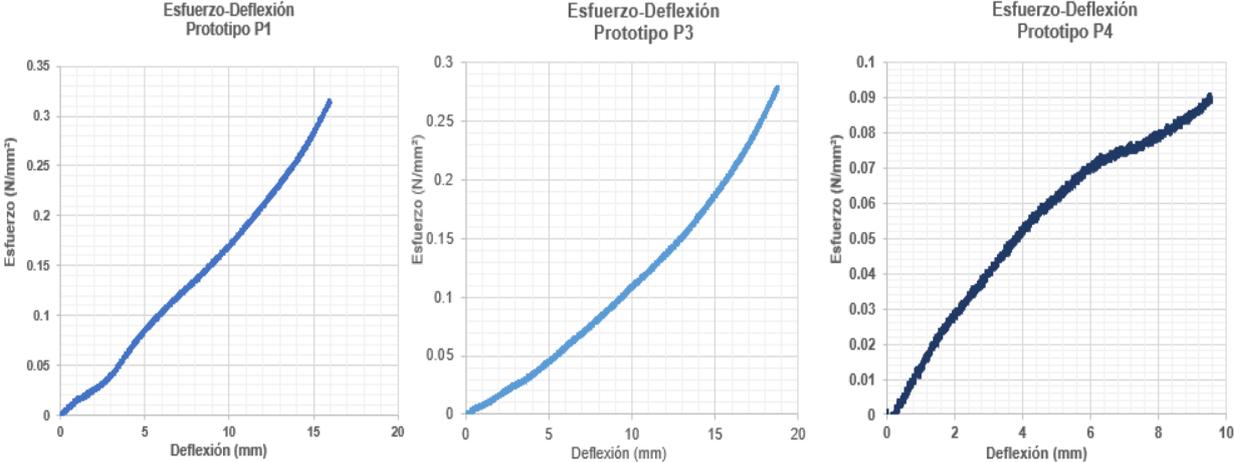
Ilustración 113. Prueba de resistencia a la compresión de los prototipos



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

En los prototipos P1, P3 y P4 presentan una curva de esfuerzo-deflexión con ascendencia, lo que indica que el material es más dúctil y capaz de deformarse sin fallar, siendo beneficioso en aplicaciones donde se requiera flexibilidad. Sin embargo, esto también indica que el material es menos resistente a la compresión.

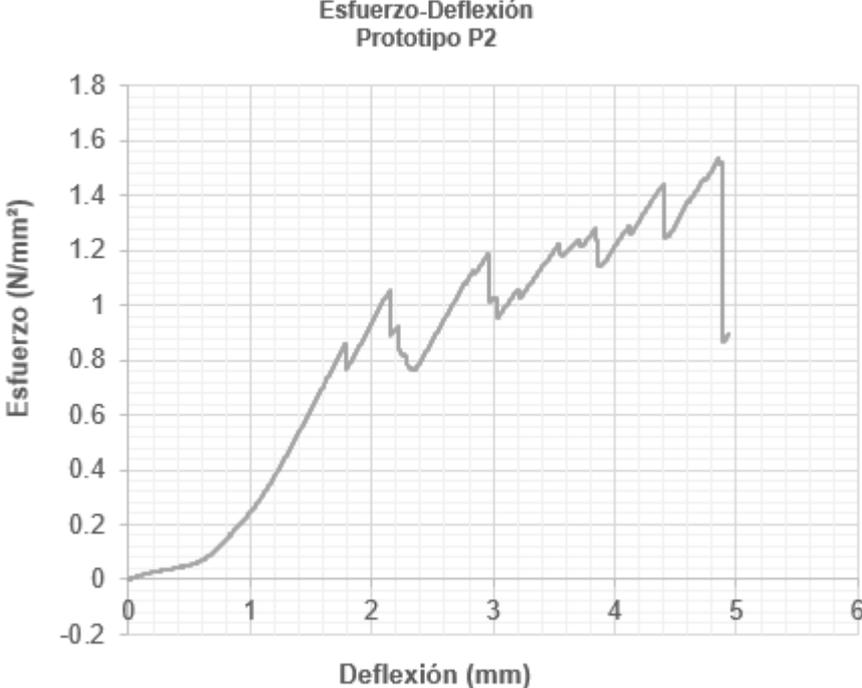
Ilustración 114. Curva esfuerzo-deflexión prototipo P1, P3 y P4



Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Por otro lado, la curva de esfuerzo-deflexión del prototipo P2 sugiere que el material es más frágil y propenso a fallar de manera repentina. No obstante, es un material con mayor resistencia que los otros 3 prototipos.

Ilustración 115. Curva esfuerzo-deflexión prototipo P2



Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Absorción de humedad

Calcular la absorción de la siguiente manera:

Absorción, (%) =

$$\frac{PM_s - PM_d}{PM_s} \times 100$$

Donde

PM_s = Peso saturado (g)

PM_t = Peso sumergido (g)

PM_d = Peso secado al horno (g)

Se realizó cuatro ensayos con la siguiente dosificación P1: 30% fibra de pseudotallo de banano-70% micelio, P2: 50% fibra de pseudotallo de banano-50% micelio, P3: 90% fibra de pseudotallo de banano-10% micelio, P4: 100% micelio. Fueron colocados en un recipiente de 20cm x 40 cm, lleno de agua potable. A los prototipos P1, P3 y P4 se les añadió peso para evitar que flotarán. Para obtener el peso sumergido, los prototipos fueron sumergido durante 24 horas con una profundidad de 15 cm. Posteriormente, se dejaron secar al aire libre durante 24 horas con eso conseguir el peso saturado. Finalmente, se realizó la medición del peso seco en un intervalo de tres horas por razones de seguridad en el laboratorio donde se llevó a cabo la práctica.

Tabla 33. Resultado de la prueba de absorción a la humedad

Prototipo	Peso inicial PM_r (g)	Peso sumergido PM_s (g)	Peso saturado PM_s (g)	Peso secado al horno PM_d (g)	Contenido de absorción %
P1 30-70	40	76	38	32	15,79
P2 50-50	215	219	218	207	5,05
P3 90-10	25	58	21	18	14,29
P4 100	36	70	31	26	16,13

Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Contenido de humedad

Calcular el contenido de humedad de la unidad completa al momento de recibir la masa (cuando se mide PM_x) de la siguiente forma.

Contenido de humedad, (%) =

$$\frac{PM_r - PM_d}{PM_s - PM_d} \times 100$$

Donde

PM_r = Peso inicial (g)

PM_s = Peso saturado (g)

PM_i = Peso sumergido (g)

PM_d = Peso secado al horno (g)

Tabla 34. Resultado de la prueba de contenido de humedad

Prototipo	Peso inicial PM_r (g)	Peso sumergido PM_s (g)	Peso saturado PM_s (g)	Peso secado al horno PM_d (g)	Contenido de humedad %
P1 30-70	40	76	38	32	18,18
P2 50-50	215	219	218	205	66,67
P3 90-10	25	58	21	18	17,50
P4 100	36	70	31	26	22,72

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Se puede observar en la tabla 25 se evidencia que el prototipo P2 (50% micelio - 50% otro material) exhibe un contenido de humedad significativamente más alto (66,67%) en comparación con los otros prototipos. Este alto nivel de humedad se atribuye a un secado insuficiente de la resina utilizada, lo que provoca la retención de agua y sugiere un riesgo elevado de deterioro del material con el tiempo.

Por otro lado, los prototipos P1, P3 y P4 muestran un contenido de humedad más bajo y estable, lo que indica un mejor proceso de secado y menor riesgo de deterioro. Además, estos niveles de humedad han contribuido a la maleabilidad de los bloques, facilitando su proceso de moldeado y fabricación, y subrayando la importancia de un control adecuado del contenido de humedad para la durabilidad y manejabilidad de los materiales a base de micelio.

Ensayo de inflamabilidad

La inflamabilidad de los bloques en la categoría de biomateriales se evaluó exponiendo cada uno de los prototipos a una hornilla encendida. Se registraron los volúmenes inicial y final, así como el tiempo que tardó en consumirse el fuego con la asistencia de un cronómetro. Posteriormente, se calculó el porcentaje de inflamabilidad en un intervalo de tiempo específico.

% Inflamabilidad=

$$\frac{\text{volumen inicial} - \text{volumen final}}{\text{volumen inicial}} \times 100$$

Se realizó la práctica por medio de una hornilla de cocina de gas procurando su estabilidad. Cada prototipo fue agarrado con pinza para registrar su interacción con el fuego en un intervalo de dos minutos.

Tabla 35. Resultado de la prueba de contenido de humedad

Prototipo	Biomaterial	PI (g)	T (min)	PF (g)	I %
P1 30-70	Cartón	62	2	56	9,68
P2 50-50	Aserrín-Cascarilla de arroz	117	2	105	10,26
P3 90-10	Cartón-Paja	56	2	42	25,00
P4 100	Cartón	60	2	54	10,00

Nota: CA: cascarilla de arroz, AS: aserrín, CT: cartón, PA: paja de trigo, PI: peso inicial del biomaterial, T: tiempo de sometimiento a la llama, PF: peso final, I: Inflamabilidad.

Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

El prototipo P3, compuesto de 90% cartón y 10% paja, mostró la mayor inflamabilidad con un 25%, indicando que es más susceptible al fuego que los otros materiales. En contraste, el prototipo P1 (30% micelio - 70% cartón) presentó la menor inflamabilidad con un 9,68%, lo que sugiere una mejor resistencia al fuego. Los prototipos P2 y P4 mostraron niveles de inflamabilidad similares, alrededor del 10%, indicando una resistencia moderada. Estos resultados sugieren que la composición del biomaterial, especialmente la presencia de paja influye significativamente en la inflamabilidad, y que la combinación de micelio con cartón podría ofrecer una mayor protección contra el fuego.

Ilustración 116. Prueba de inflamabilidad



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Densidad

Se tomó una muestra por cada dosificación, que fueron pesados y medidos inicialmente. Para los resultados se usó la siguiente fórmula, donde la densidad se verá afectada por el volumen de las muestras, el tipo y cantidad de aglutinante de relleno, y sus propiedades.

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

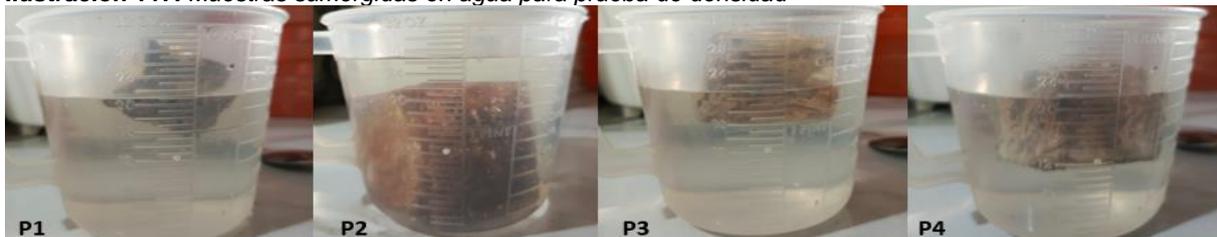
Tabla 36. Resultados de prueba de densidad

Prototipo	Peso (g)	medida (cm)	espesor (cm)	volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
P1 30 - 70	31	5.3 x 4.5	4.2	100.17	0.31
P2 50 - 50	218	7.5x5.5	5.2	214.5	1.02
P3 90 - 10	20	5.5x4.5	4	99	0.20
P4 0 - 100	30	5x5	4.5	112.5	0.27

Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Adicional, se colocaron las muestras en una jarra con agua para observar visualmente el comportamiento de cada prototipo. El prototipo 3 mostró una menor densidad al estar compuesto por un 90% de fibra de pseudotallo de banano. Por el contrario, el prototipo 2, elaborado con resina, demostró una mayor densidad.

Ilustración 117. Muestras sumergidas en agua para prueba de densidad



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Tabla 37. Bloques de hormigón de acuerdo con su densidad

BLOQUES DE HORMIGÓN DE ACUERDO A SU DENSIDAD	
Tipo	Densidad del hormigón (g/cm³)
Liviano	< 1.68
Mediano	1.68 a 2
Normal	> 2

Fuente: NTE INEN 3066, (2016)

Todas las muestras de los prototipos sometidos a la prueba de densidad se encuentran en tipo de bloque liviano, dado que su densidad es inferior a 1.68 g/cm³.

Conductividad térmica

La norma ISO 10456, considera un material aislante térmico cuando tiene conductividad térmica ≤ 0.10 W/m K. Para llevar a cabo esta prueba, se efectuaron mediciones térmicas en intervalos de 30 segundos hasta alcanzar una temperatura estable. Se aplicó una temperatura de 100°C directamente al material mediante una pistola de calor. El cálculo se basa en la siguiente fórmula:

$$K = \frac{Qd}{A \Delta T}$$

Donde

K o λ = Conductividad térmica

Q = Cantidad de calor transferido a través del material (W)

d o Δx = Distancia entre dos caras del material o espesor

A = Área de la superficie del material en m²

ΔT = Diferencia entre las temperaturas de ambas caras (Tcalor – Tfrío)

Tabla 38. Conductividad térmica de cada prototipo

Prototipo	Q (W)	t (s)	Distancia (cm)	Área (cm²)	ΔT (°C)	K (W/mK)
P1 30 - 70	1500	150	4.5	40.5	29.14	0.0381
P2 50 - 50	1500	150	7.5	27.5	24.34	0.1120
P3 90 - 10	1500	150	4	36	26.16	0.0425
P4 0 - 100	1500	150	4.5	40.5	27	0.0412

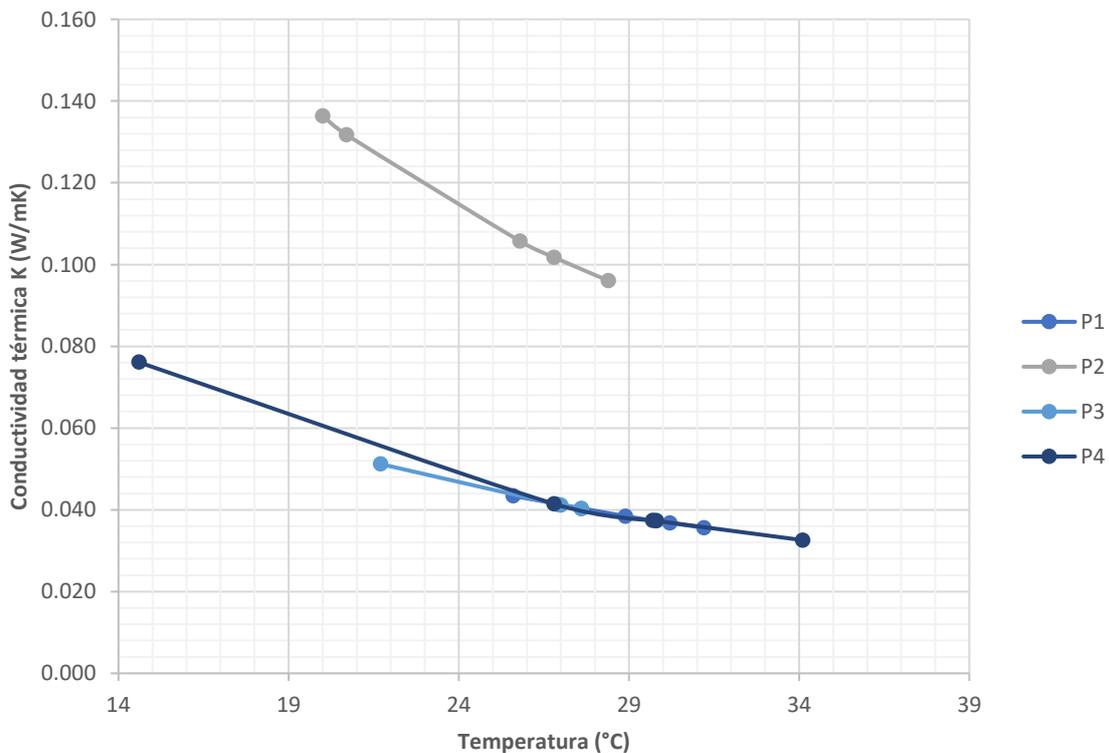
Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Tabla 39. Variación de la conductividad térmica según el tiempo

Prototipo	Tiempo (s)	Tcalor	Tfrío	K (W/mK)
P1 30 - 70	30	51.6	26	0.043
	60	55.6	26.7	0.038
	90	57	26.8	0.037
	120	57.4	27.6	0.037
	150	58.3	27.1	0.036
				0.038
P2 50 - 50	30	43.4	23.4	0.136
	60	44.5	23.8	0.132
	90	49.4	23.6	0.106
	120	50.9	24.1	0.102
	150	51.8	23.4	0.096
				0.112
P3 90 - 10	30	47.9	26.2	0.051
	60	53	26.1	0.041
	90	54.1	27.1	0.041
	120	54.7	27.1	0.040
	150	53.8	26.2	0.040
				0.042
P4 0 - 100	30	35.6	21	0.076
	60	52	25.2	0.041
	90	54	24.2	0.037
	120	54.9	25.2	0.037
	150	62.5	28.4	0.033
				0.041

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Ilustración 118. Conductividad térmica de los prototipos en función de la temperatura



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

A medida que la relación de micelio acrecienta en las muestras con fibras, su transmitancia térmica disminuye. Esto es evidente en los prototipos 1 y 3 que presentan valores de 0.038 a 0.043 W/m K, con una conductividad térmica similar a los materiales tipo aislantes. A diferencia, el prototipo 2 tiene un valor de 0.11 W/m K debido a su composición con resina, lo que lo asemeja al material tipo madera.

Ilustración 119. Conductividad térmica de materiales

	MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (λ) W/(mK)
ESTRUCTURA	ACERO	47-58
	MADERA LAMINADA	0.047
	HORMIGÓN ARMADO	1.40
	HORMIGÓN PRETENSADO	1.40
ENVOLTURAS DE ALTO RENDIMIENTO (PAREDES Y CIELO RASO)	LADRILLO	0.80
	PANELES HORMIGÓN PREFABRICADO	1.40
	PIEDRA	0.55
	PANELES FIBROCEMENTO	0.93
	PANELES YESO-CARTÓN	0.29-0.58
ENVOLTURAS DE ALTO RENDIMIENTO (TECHO)	VIDRIO	0.81
	CIELO RASO YESO-CARTÓN	0.29-0.58
	CIELO RASO ENDUELADO DE MADERA	0.209
	CUBIERTA CON MATERIAL DE TIERRA	0.76
PISOS	HORMIGÓN PULIDO	1.7
	PORCELANATO	0.81
AISLANTES	FIBRA DE VIDRIO	0.035
	LANA MINERAL	0.036-0.040
	ESPUMA DE POLIURETANO	0.029

Fuente: NEC-HS-EE, (2023)

Ilustración 120. Prueba de conductividad térmica mediante pistola de calor y termómetro láser



Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Ilustración 121. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria.

Tipo de material	Material	Propiedades térmicas			
		K [W/mK]	R [m ² K/W]	Cp [J/kg K]	q [kg/m ³]
Piedra	Piedra – piedra compacta	3.49	-	840	2880
	Roca compacta	3.50	-	880	2750
	Piedra	1.83	-	712	2200
Asbestos, hormigón, bloques de hormigón	Hormigón	1.40	-	837	2220
	Concreto de mediana densidad	1.35	-	1000	1800
	Hormigón armado	1.63	-	1050	2400
	Asbesto	0.36	-	1050	1500
	Fibro cemento	0.93	-	1250	2000
	Bloque de concreto	0.62	-	840	1040
	Concreto muy baja densidad	0.05	-	-	305
	Bloque de concreto	0.49	-	-	-
	Bloque hormigón celular vapor L	0.35	-	-	600
	Bloque hormigón celular vapor M	0.41	-	-	800
	Bloque hueco hormigón L	0.44	-	-	1000
	Bloque hormigón celular vapor P	0.47	-	-	1000
	Bloque hueco hormigón M	0.49	-	-	1200
	Bloque hueco hormigón P	0.56	-	-	1400
	Bloque hormigón ligero macizo	0.33	-	1050	1000
Bloque hormigón ligero	0.56	-	1050	1400	
Materiales aislantes	Lana mineral (panel)	0.042	-	1030	12
	Lana mineral (manta/rollo)	0.038	-	1030	25
	Poliestireno expandido (EPS)	0.04	-	1450	15
	Poliestireno extruido (XEPS)	0.035	-	1400	40
	Espuma de poliuretano	0.025	-	1400	30
	Espuma de urea formaldehído (UF)	0.04	-	1400	10
	Fibra de vidrio (panel)	0.046 a 0.048	-	800	7.5 a 8.2
	Lana de roca o lana de escoria (panel)	0.036 a 0.037	-	800	32 a 37
	Celulosa en spray para cavidades en paredes	0.033 a 0.035	-	800	45
	Fibra de vidrio en spray para cavidades en paredes	0.039 a 0.040	-	-	26 a 42
Ladrillos, adobes	Fibra de vidrio en spray para cavidades en paredes o áticos	0.039 a 0.042	-	-	16
		0.033 a 0.037	-	-	29 a 37
	Ladrillo común	0.80	-	840	1800
	Ladrillo de sílice	1.07	-	-	1900
	Ladrillo de magnesita	2.68	-	1130	2000
	Ladrillo macizo	0.87	-	1330	1800
	Ladrillo aireado	0.30	-	840	1000
Ladrillo quemado	0.85	-	840	1500	
Ladrillos, adobes	Ladrillo	0.75	-	880	1730
	Ladrillo al cromo	2.32	-	840	3000
	Adobe	0.95	-	920	1600
	Adobe	0.58	-	850	1280
	Ladrillo hueco	0.49	-	-	1200
	Ladrillo perforado	0.76	-	-	1600
	Ladrillo sílico-calcáreo	0.79	-	-	1600
	Ladrillo cerámico macizo	0.87	-	-	1800
Yesos	Gypsum	0.25	-	1000	900
	Placas de escayola	0.3	-	-	800
	Mortero de yeso	0.76	-	-	1000
	Placas de yeso	0.29-0.58	-	-	600-1200
	Yeso	0.81	-	837	1800
Madera	Maderas frondosas	0.21	-	-	800
	Madera de coníferas	0.14	-	-	600
	Contrachapado	0.14	-	-	600
	Plywood 19.0 mm	0.10	-	1880	450
	Tablero de partículas de madera	0.14	-	1700	600
	Tablero aglomerado de partículas	0.08	-	-	650
	Tableros de fibra orientada - OSB	0.13	-	1700	650
	Madera de roble	0.19	-	2390	700
	Madera	0.13	-	1381	840
	Madera de abedul	0.14	-	1884	650
	Madera de alerce	0.11	-	1298	650
	Madera de arce	0.34	-	1591	750
	Madera de chopo	0.15	-	1340	650
	Madera de fresno	0.34	-	1591	750
	Madera de haya	0.14	-	1340	800
	Madera de haya blanca	0.14	-	1340	700
	Madera de pino	0.16	-	1298	650
Madera de pino blanco	0.11	-	1465	550	
Madera de roble	0.20	-	2386	850	
Plásticos	Policarbonato	0.19-0.22	-	1200	1200
	Policarbonato alveolar		1.25 - 3.9 W/m2 k		

Fuente: NEC-HS-EE, (2023)

Ensayo acústico

La medición de la conductividad acústica se lo realizo mediante un sonómetro utilizando el método de impedancia. Este método permite evaluar cómo se propagan las ondas sonoras a través de un material, proporcionando datos sobre su capacidad para conducir el sonido.

Se seleccionaron los prototipos de bloques de micelios que se iban a evaluar. Estos bloques fueron diseñados específicamente para estudiar su capacidad de aislamiento acústico. Se eligieron dos tubos de PVC, uno de 2 pulgadas y otro de 1 pulgada, para dirigir el sonido a través de los bloques y analizar cómo el sonido se transmite o se bloquea por el material. El sonómetro se calibró para asegurar la precisión en las mediciones de sonido. Este se conectó a una laptop equipada con el software SE390, el cual se utilizaría para capturar y almacenar los datos de las mediciones.

Prueba 1 – Muestra sin prototipo solo ruido implementado.

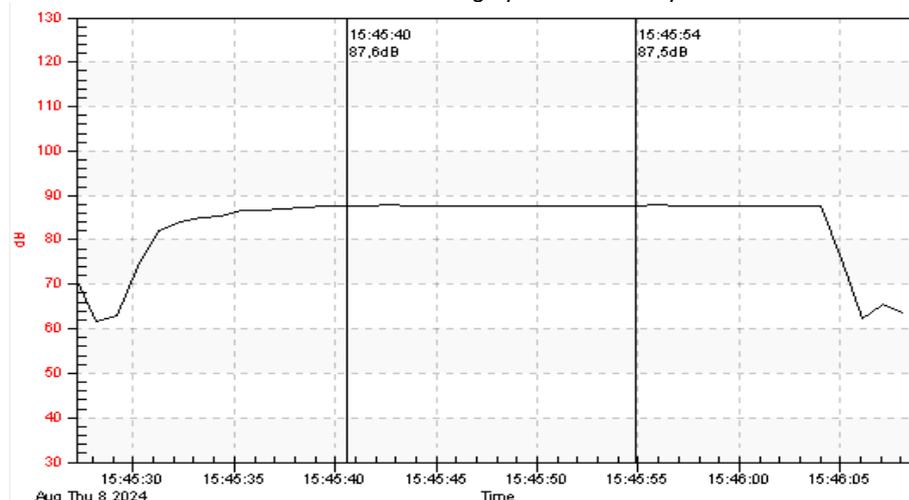
Tabla 40. Registro de datos prueba acústica real-time graph sonido incorporado en interior.

Máximo	Mínimo	Promedio entre cursores A y B	Promedio
77.1 dB	55.7 dB	70.9 dB	68.8 dB

Fuente: SE390, (2024)

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Ilustración 122. Prueba acústica real-time graph sonido incorporado en interior.



Fuente: SE390, (2024)

Prueba 2 – Muestra prototipo con dosificación 70% micelio 30% micelio

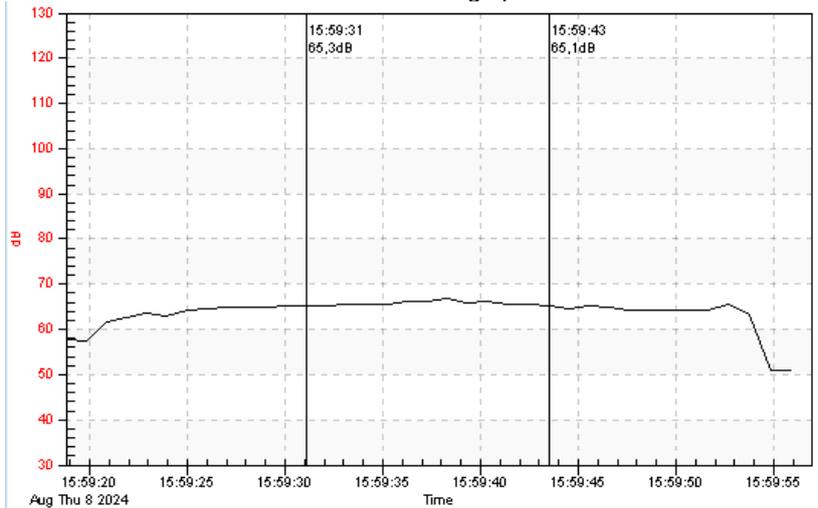
Tabla 41. Registro de datos prueba acústica real-time graph dosificación 70% micelio 30%

Máximo	Mínimo	Promedio entre cursores A y B	Promedio
66.7 dB	50.9 dB	65.7 dB	63.6 dB

Fuente: SE390, (2024)

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Ilustración 123. Prueba acústica real-time graph dosificación 70% micelio 30% micelio



Fuente: SE390, (2024)

El prototipo compuesto por un 70% de micelios y un 30% de fibra demuestra una notable eficacia en aislamiento acústico, con un promedio de 63.6 dB, el valor más bajo registrado. Esto indica que esta combinación específica maximiza la capacidad de aislamiento del material. La alta eficacia se debe probablemente a la optimización de la densidad y la estructura porosa proporcionada por el micelio, que, en combinación con la fibra, mejora significativamente la capacidad del material para absorber y confinar el sonido dentro de sus cavidades internas.

Prueba 3 – Muestra prototipo con dosificación 50% micelio 50% micelio

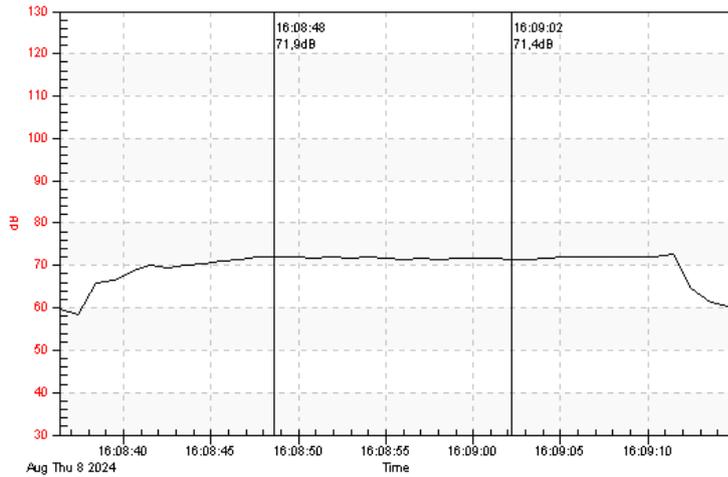
Tabla 42. Registro de datos prueba acústica real-time graph dosificación 50% micelio 50%

Máximo	Mínimo	Promedio entre cursores A y B	Promedio
72.7 dB	58.5 dB	71.7 dB	69.8 dB

Fuente: SE390, (2024)

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Ilustración 124. Prueba acústica real-time graph dosificación 50% micelio 50% micelio



Fuente: SE390, (2024)

Sin embargo, el prototipo con una composición del 50% de micelios y 50% de fibra, sobre un sustrato de aserrín y una cobertura de resina poliéster que no logró secarse por completo, presenta una capacidad de aislamiento acústico moderada, con un promedio de 69.8 dB. Este resultado sugiere que la combinación de materiales y el problema con la resina afectaron el rendimiento del aislamiento.

Prueba 4 – Muestra prototipo con dosificación 10% micelio 90% micelio

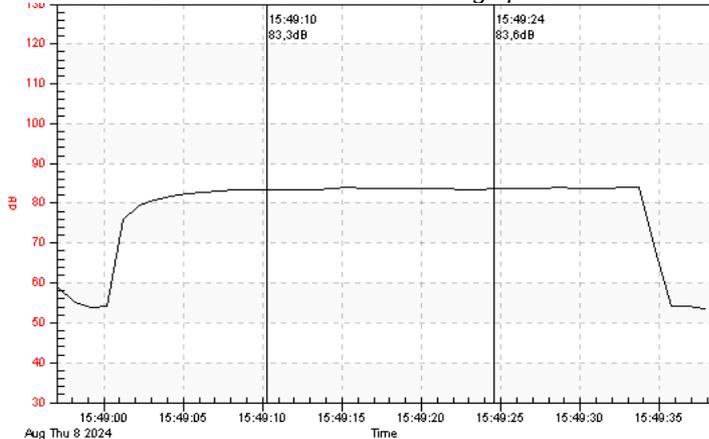
Tabla 43. Datos prueba acústica real-time graph 10% micelio 90% fibra de pseudotallo de banano

Máximo	Mínimo	Promedio entre cursores A y B	Promedio
84.1 dB	53.4 dB	83.6 dB	77.9 dB

Fuente: SE390, (2024)

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Ilustración 125. Prueba acústica real-time graph dosificación 10% micelio 90% fibra de pseudotallo de banano



Fuente: SE390, (2024)

Esta muestra tuvo un promedio de 77.9 dB en aislamiento acústico. Pero esto se debe a que el prototipo no completo sus propiedades de absorción del micelio. Teniendo en cuenta que fue una de las muestras con crecimiento interrumpido y lento del prototipo, junto con la alta proporción de fibra y el secado que afectó el tamaño de la fibra, puede haber impedido una adecuada densificación del material. Como resultado, las ondas sonoras pueden penetrar más fácilmente, reduciendo la eficacia del aislamiento acústico.

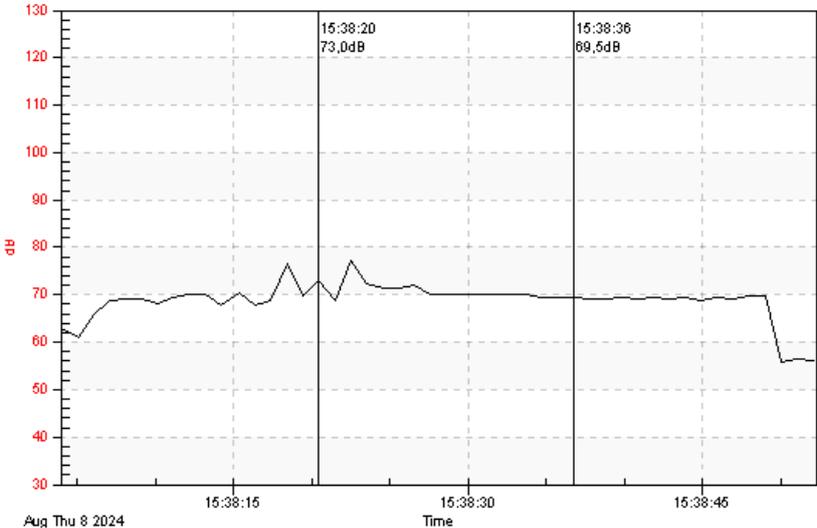
Prueba 5 – Muestra prototipo con dosificación 100% micelio

Tabla 44. Registro de datos prueba acústica real-time graph dosificación 70% micelio 30%

Máximo	Mínimo	Promedio entre cursores A y B	Promedio
70.9 dB	55.7 dB	77.1 dB	68.8 dB

Fuente: SE390, (2024)
 Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Ilustración 126. Prueba acústica real-time graph dosificación 100% micelio



Fuente: SE390, (2024)

El prototipo compuesto en su totalidad por micelios, con un sustrato de cartón, presenta un promedio de 68.8 dB en aislamiento acústico. Este valor indica un nivel básico de aislamiento, lo que sugiere que la capacidad del material para absorber el sonido es razonable pero no excepcional. La moderada conductividad acústica observada sugiere que el prototipo tiene una capacidad moderada para transmitir sonido.

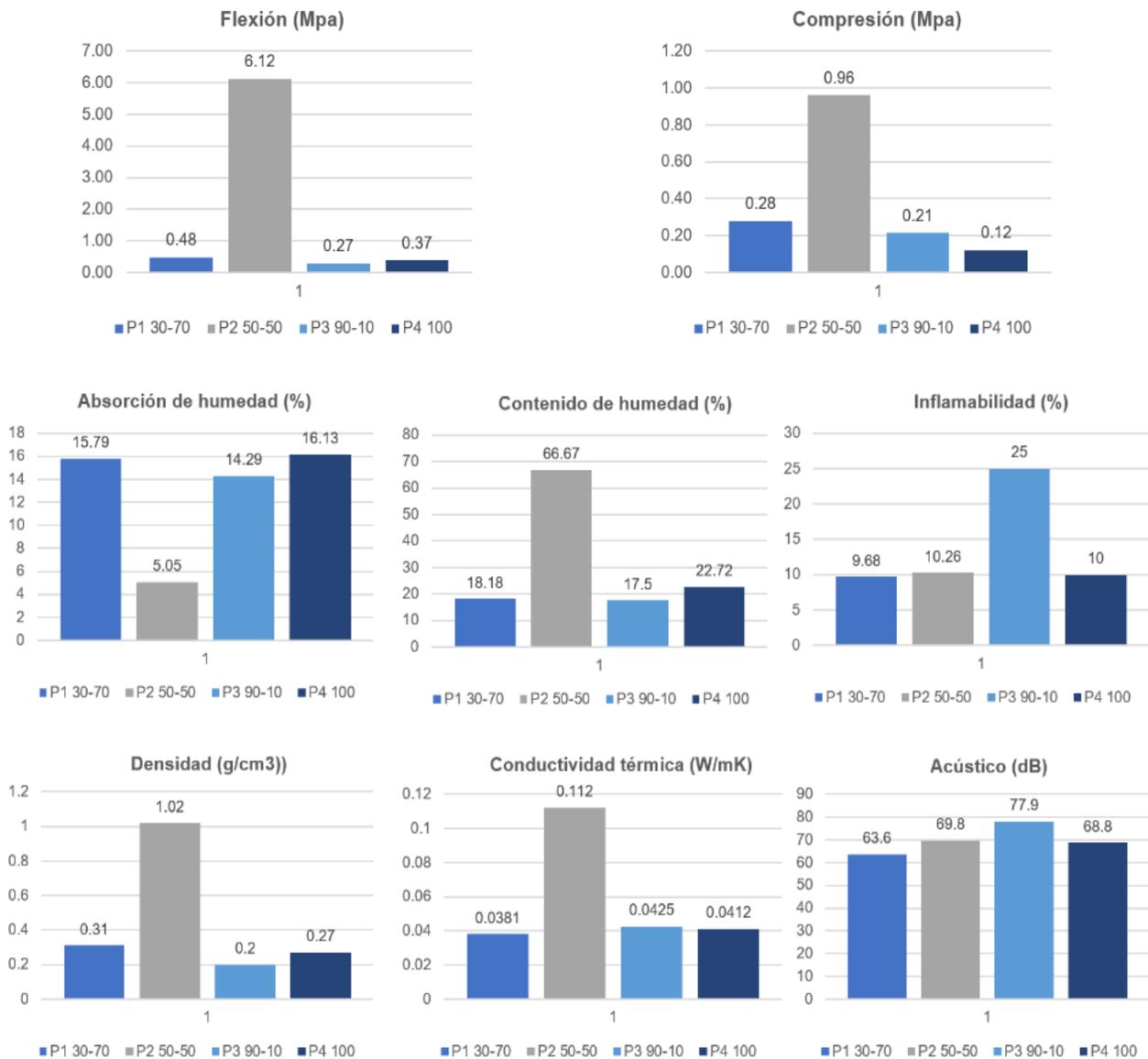
Ilustración 127. Ensayo de impedancia casero.



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

4.5.2 Resultados de propiedades físicas y mecánicas

Ilustración 128. Gráficos de barras representativo de los resultados logrados en los ensayos realizados.



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Decisión:

Con el objetivo de lograr una dosificación precisa en el ensayo, obtener un prototipo óptimo y desarrollar un bloque de biomaterial, se ha creado una tabla para una evaluación más efectiva de los resultados previamente mencionados.

Tabla 45. Criterios valorados en las cuatro dosificaciones.

Características	Bueno	Regular	Deficiente	Muy deficiente
Crecimiento micelial	Fb 30% - Ms 70%	Ms 100%	Fb 50% - Ms 50%	Fb 90% - Ms 10%
Características observables	Fb 30% - Ms 70%	Ms 100%	Fb 90% - Ms 10%	Fb 50% - Ms 50%
Mecánicas	Fb 50% - Ms 50%	Fb 30% - Ms 70%	Fb 90% - Ms 10%	Ms 100%
Densidad	Fb 90% - Ms 10%	Ms 100%	Fb 50% - Ms 50%	-
Absorción de humedad	Fb 50% - Ms 50%	Fb 90% - Ms 10%	Fb 30% - Ms 70%	-
Conductividad térmica	Fb 30% - Ms 70%	Fb 90% - Ms 10%	Ms 100%	-
Termoacústicas	Fb 30% - Ms 70%	Fb 50% - Ms 50%	Fb 90% - Ms 10%	-
Inflamabilidad	Fb 30% - Ms 70%	Fb 50% - Ms 50%	Ms 100%	Fb 90% - Ms 10%

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

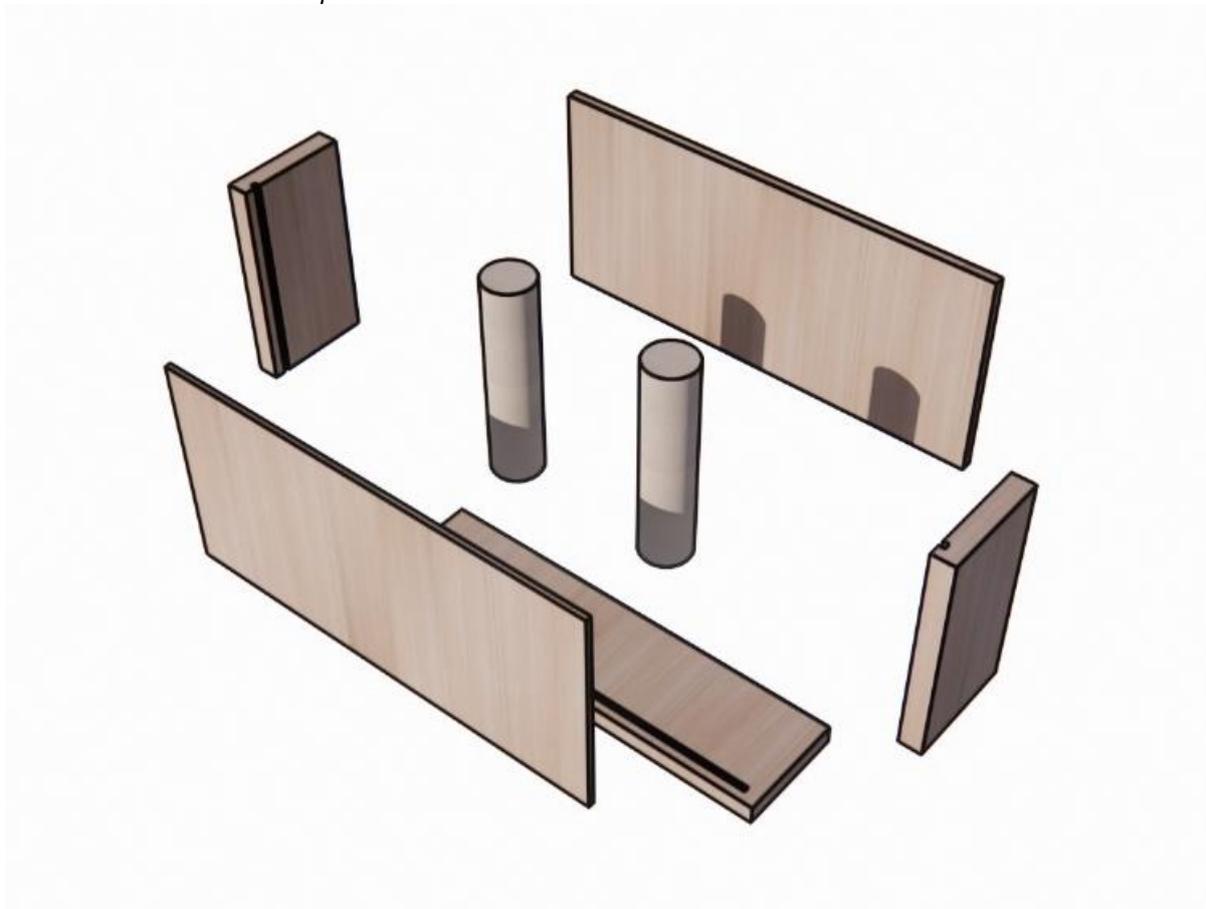
4.6 Propuesta

Basándose en los resultados obtenidos, se propone el diseño y elaboración de un molde para la producción del bloque, utilizando la dosificación seleccionada con medidas estándar. Se siguió todo el proceso estudiado de inoculación, incubación y moldeo más adecuado para su elaboración. Específicamente, este tipo de bloque, debido a su baja resistencia mecánica, se sugiere para ser utilizado en paredes interiores que no soporten cargas, como paredes divisoras de ambiente.

4.6.1 Diseño del molde

El diseño fue una etapa crucial, en la que se utilizaron herramientas de modelado 3D para crear representaciones detalladas del componente. Esto permitió ajustes iterativos y pruebas virtuales antes de proceder con la fabricación, minimizando errores y optimizando el rendimiento.

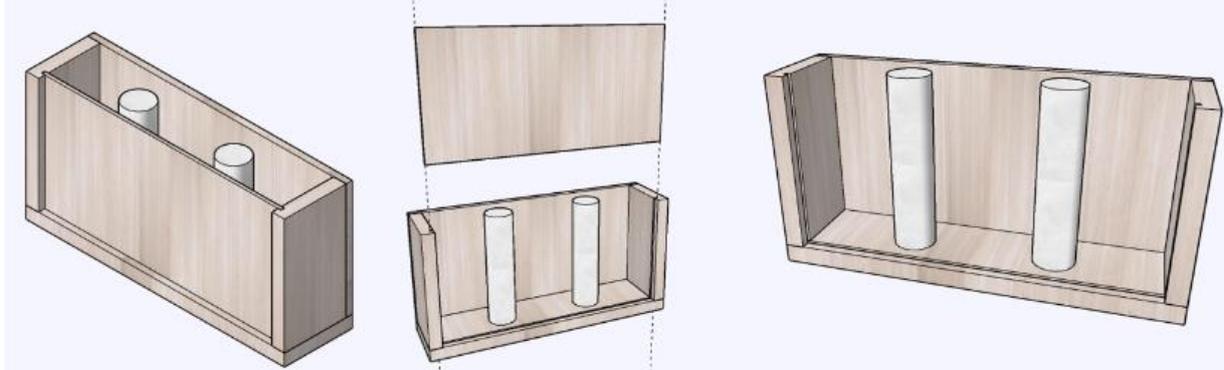
Ilustración 129. *Isometría explotada del diseño del molde*



Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Se crearon varias vistas para facilitar la visualización del diseño del molde. Las representaciones en 3D proporcionaron una perspectiva completa, mientras que las vistas 2D ofrecieron detalles específicos de las dimensiones.

Ilustración 130. *Diseño 3D del funcionamiento del molde*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

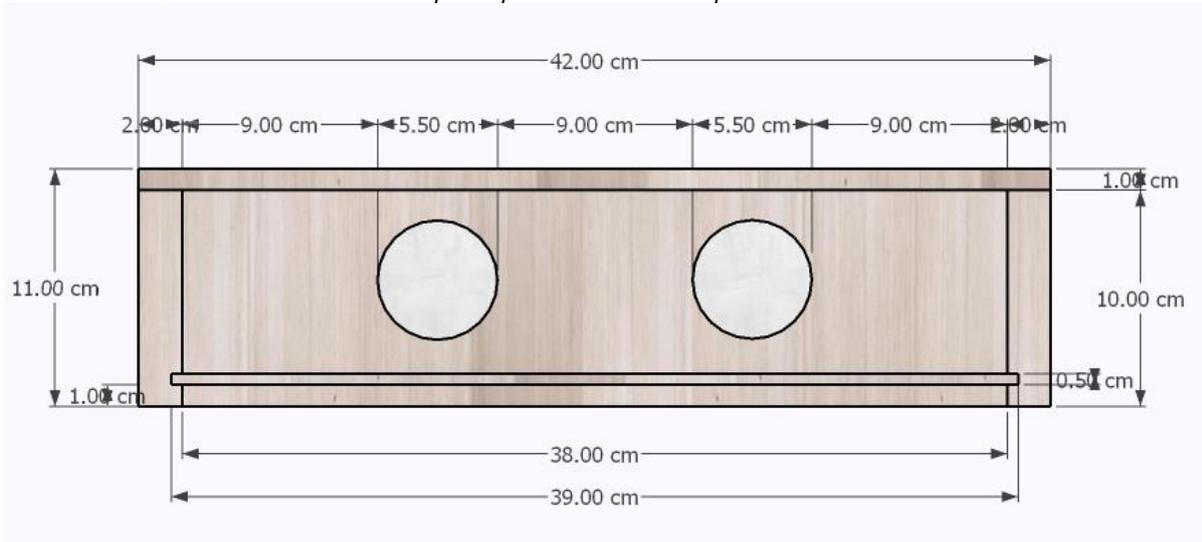
Ilustración 131. *Vistas del diseño 3D del molde del prototipo*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

El molde se diseñó siguiendo las medidas estándar de un bloque de construcción.

Ilustración 132. *Medidas del molde del prototipo desde la vista superior*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 133. Medidas del molde del prototipo desde la vista lateral



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

4.6.2 Elaboración del molde

El material del molde se elaboró a partir de tablas de madera recicladas, las cuales fueron cortadas y ensambladas de manera precisa para dar forma a la estructura del diseño del molde. Posteriormente, se lijaron y recubrieron con una capa de pintura para mejorar su textura y estética. Para los huecos cilíndricos interiores se usó un tubo PVC y un tubo de cartón con las mismas dimensiones.

Ilustración 134. Proceso de elaboración del molde del prototipo



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Se elaboró la tapa del molde utilizando acetato como material, lo que permitió observar diariamente el desarrollo del micelio en el interior del molde.

Ilustración 135. Molde final para el prototipo de bloque



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

4.6.3 Elaboración del bloque

Una vez que se completó la elaboración del molde, se procedió a rellenarlo. El proceso comenzó con una capa de fibra de pseudotallo de banano, seguida de una capa de sustrato compuesta por cartón, aserrín y granos de micelio *Pleurotus Ostreatus*. Este procedimiento se repitió sucesivamente hasta llegar al borde superior del molde.

Ilustración 136. Proceso de relleno del molde del bloque



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 137. Bloque cubierto con tapa de acetato y cubierto con una funda negra para su crecimiento



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 138. *Crecimiento del micelio en el prototipo final*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 139. *Resultado del bloque*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Render aplicando el prototipo

Se diseñaron tres tipos de paredes con los bloques de micelio con pseudotallo de banana, con el objetivo de explorar la variedad en color y crecimiento de estos bloques. Estas características son fundamentales para determinar la estética del producto final, permitiendo así una diversidad en el resultado final de los bloques.

Ilustración 140. *Render tipo de pared 1 bloque de micelio con fibra de pseudotallo de banano y sustrato de cartón*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 141. *Render pared tipo 1 interior de espacios con bloque de micelios y fibra de pseudotallo de banano con sustrato de cartón*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 142. *Render pared tipo 2 bloque de micelio con fibra de banano con sustrato de cascarilla de arroz*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 143. *Render pared tipo 2 vista lateral bloque de micelio con fibra de pseudotallo de banano con sustrato de cascarilla de arroz*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 144. *Render pared tipo 3 bloque de micelios con fibra de pseudotallo de banano con sustrato de aserrín y paja*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Ilustración 145. *Render pared tipo 3 vista perspectiva con bloque de micelio y fibra de pseudotallo de banano con sustrato de aserrín y paja*



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

CONCLUSIONES

Se logró identificar y evaluar las materias primas, en particular, la fibra de pseudotallo de banano y el micelio. Ambas materias primas demostraron propiedades destacadas para su uso en la construcción, tales como buena conductividad térmica, aislamiento acústico y resistencia a la compresión. Estos hallazgos validaron el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto.

Como parte del avance del proyecto, se diseñó un prototipo de bloque con dimensiones de 38x19x9 cm, compuesto por una mezcla que incluye un 70% de micelio combinado con sustrato de aserrín y cartón, y un 30% de fibra de pseudotallo de banano. Este bloque está en conformidad con la Norma INEN 1262 y ha demostrado tener características óptimas para reemplazar los bloques convencionales de construcción no estructurales. Ofrece una resistencia adecuada para su aplicación en particiones y acabados interiores, lo que lo convierte en una alternativa efectiva y sostenible en el ámbito de la construcción.

De las cuatro fórmulas probadas, el prototipo con una mezcla de 30% fibra de pseudotallo de banano y 70% micelio demostró ser la opción más balanceada en términos de propiedades mecánicas y termoacústicas. Este prototipo mostró la menor inflamabilidad y una adecuada resistencia a la flexión y compresión.

Finalmente, se probaron 24 prototipos de las tres composiciones diferentes para validar el producto final. La dosificación 70-30 obtuvo un 100% de aceptación y resultados óptimos en las pruebas físicas, químicas y mecánicas. Esto confirma su viabilidad como una alternativa sostenible y eficaz a los materiales de construcción convencionales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda mejorar los procesos de secado para evitar la retención de humedad en los prototipos, lo cual afectó negativamente la durabilidad de los bloques, especialmente en aquellos que utilizaron resina.

Se recomienda experimentar con diferentes proporciones y tipos de materiales de relleno, incluyendo otros residuos lignocelulósicos, para optimizar aún más las propiedades físicas y mecánicas de los bloques. Además, realizar un análisis detallado del ciclo de vida del bloque, que abarque su producción, uso y disposición, podría ofrecer una comprensión más completa de su impacto ambiental.

Incluir pruebas adicionales, como resistencia al impacto y durabilidad a largo plazo, para evaluar más completamente la viabilidad de estos bloques en aplicaciones prácticas de construcción. Este enfoque permitiría ajustar la densidad y la porosidad del material, lo cual es crucial para mejorar sus capacidades de aislamiento y resistencia estructural

Se recomienda investigar la adaptabilidad del bloque en diferentes contextos arquitectónicos, especialmente en términos de diseño modular y aplicaciones específicas que aprovechen sus propiedades únicas, como la resistencia al fuego y al sonido. Esto podría involucrar colaboraciones con diseñadores y arquitectos para integrar estos bloques en proyectos de construcción innovadores.

Fomentar el desarrollo de técnicas de producción que sean escalables y replicables a nivel industrial es fundamental para la adopción masiva de este biomaterial. Las investigaciones futuras deberían centrarse en la automatización del proceso de cultivo de micelio y en la optimización de la producción del bloque para garantizar su viabilidad comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abhijith, R., Ashok, A., & Rejeesh, C. (2018, Febrero 3). Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: a review. *Materialstoday: Prceedings*, 5, 2139-2145. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.09.211>
- Alaneme, K. K. (15 de Noviembre de 2023). Mycelium based composites: A review of their bio-fabrication procedures, material properties and potential for green building and construction applications. *Alexandria Engineering Journal*, 83, 234-250. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.012>
- Albán Márquez, L. (Enero de 2018). *Cultivo del hongo ostra (pleurotus ostreatus) en tres tipos deresiduos de la madera de bolaina blanca (guazuma crinita)*. Retrieved 18 de Febrero de 2024, from Universidad Nacional Agraria la Molina: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3183>
- Almpani-Lekka, D., Pfeiffer, S., Schmidts, C., & Seo, S.-I. (2021, Noviembre 19). A review on architecture with fungal biomaterials: the desired and the feasible. *Fungal Biology and Biotechnology*, 8-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40694-021-00124-5>
- Aristizábal Gutiérrez, S. (2022). *Universidad EIA*. Retrieved 18 de Febrero de 2024, from Desarrollo de un sustituto al poliestireno a partir de residuos agroindustriales colombianos y micelio de un hongo comercial: <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/7b2d3294-04a5-4215-977f-12fed9c82f55>
- Asmanto, S., y Achmad, C. (28 de Noviembre de 2020). Banana Pseudo-Stem Fiber: Preparation, Characteristics, and Applications. En J. Afam, y A. Tonna, *Banana Nutrition* (pp. 1-19). Yogyakarta: IntechOpen. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.82204>
- Bagheriehnajjar, G., & Yousefpour, H. (2023, Septiembre 28). Multi-objective optimization of mycelium-based bio-composites based on mechanical and environmental considerations. *Construction and Building Materials*, 407, 133346. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133346>
- Basim, E., y Basim, H. (2018). Characterization of *Pseudomonas tolaasii* Isolates , Causing Brown Blotch Disease of Mushroom (*Agaricus bisporus*). *International*

- Journal Of Agriculture & Biology*, 2, 1560-8530.
<https://doi.org/https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20203075198>
- Bloqueras. (2018). *Bloques de Concreto*. Bloqueras: <https://bloqueras.org/bloques-concreto/>
- Cantillana, M., y Fuente, I. (2020). *Bio Fabricación. Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos*. Universidad Politécnica de Madrid: https://oa.upm.es/63507/1/TFG_Jun20_Fuentes_Cantillana_Monereo_Ignacio.pdf
- Carcassi, O. (2022). *Designing the climate-neutrality. How to re-think the construction process of building insulation by growing mycelium-based biocomposites*. Politecnico Milano: <https://hdl.handle.net/10589/188241>
- Coloma Hohlberg, V. S. (Octubre de 2021). *Universidad Tecnológica Pontificia Universidad Católica de Chile*. Retrieved 17 de Febrero de 2024, from Uso de material a base de micelio para la elaboración de componente prefabricado que resulte compatible con construcciones sustentables : construcción de Centro de Interpretación y Turismo en Bahía Exploradores: <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/62940>
- Dessi-Olive, J. (11 de septiembre de 2022). Strategies for Growing Large-Scale Mycelium Structures. *Biomimetics* (Basel, Switzerland). *Biomimetics*, 3, 129. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/biomimetics7030129>
- Elsacker, E., Vandelook, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L., y Peeters, E. (10 de Julio de 2020). A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *Elsevier*, 725, 138431. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138431>
- España Espinoza, J. M. (2019). *Las fibras vegetales: materiales ancestrales para un futuro sostenible en el desarrollo de productos*. Centro de Estudios en Diseño y Comunicación : <http://www.scielo.org.ar/pdf/ccedce/n87/1853-3523-ccedce-87-212.pdf>
- Feijóo, K., Bermúdez, S., Rebolledo, H., Zamora, P., Naranjo, L., & Figueroa, J. (2021). *Bioproductos desarrollados a partir de micelio de hongos: Una nueva cultura material y su impacto en la transición hacia una economía sostenible*. Bionatura: <https://www.revistabionatura.com/2021.06.01.29.html>

- Fernández, N., Gaggino, R., Positieri, M. J., & Kreiker, J. (2020, Octubre 5). Materiales biopoliméricos desarrollados a partir de micelio y residuos lignocelulósicos. Estado de la técnica actual y perspectivas de aplicación en el campo del hábitat. *Jornada de Intercambio y Difusión de los Resultados de Investigaciones de los Doctorandos en Ingeniería*. AJEA. <https://doi.org/https://doi.org/10.33414/ajea.5.774.2020>
- Fuentes Palacios, A., y Rodríguez Jara, S. (2019). *Manual de biofabricación con hongos*. Laboratorio de biofabricación FADEU: <https://www.cclm.cl/wp-content/uploads/2021/09/Manual-de-Biofabricacion-Biofab-UC.pdf>
- Fuentes, I., y Monereo, C. (2020). *Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid*. Bio Fabricación. Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos: https://oa.upm.es/63507/1/TFG_Jun20_Fuentes_Cantillana_Monereo_Ignacio.pdf
- Gallegos, A. (2022). *Universidad Continental*. Aplicación de micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12024/2/IV_FIN_107_TE_Gallegos_Belisario_2022.pdf
- Garzón, S., y Olvera, W. (23 de Febrero de 2023). *Demostración de la propiedad térmica y acústica en paneles a base de micelios, aserrín y materiales tradicionales*. Retrieved 15 de Febrero de 2024, from Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/6046>
- Gashler, K. (19 de Septiembre de 2023). *Fungal nutrient sensing could shed light on obesity, cancer*. Cornell Chronicle: <https://news.cornell.edu/stories/2023/09/fungal-nutrient-sensing-could-shed-light-obesity-cancer>
- IEPS, I. (24 de Marzo de 2023). Hongos Ostra Sumaco. Sumaco, Napo, Ecuador. Retrieved 25 de Mayo de 2024, from <https://www.youtube.com/watch?v=TY38JmnUBN4>
- INEN. (2014). *Fuente: Feijóo & otros*. Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN: <https://www.normalizacion.gob.ec/>

- Isan, A. (2018). *Ladrillos ecológicos*. *Ecología verde*: <https://www.ecologiaverde.com/ladrillos-ecologicos-que-son-tipos-y-ventajas-456.html>
- Jaramillo Orozco, I. (2013). Evaluacion de tres residuos agroindustriales lignocelulosicos provenientes de cebada (*hordeum vulgare l.*), arroz (*oriza sativa.*) y eucalipto (*eucalyptus globulus l.*) para el cultivo de dos cepas de hongo ostra (*pleurotus ostreatus j.*) bajo invernadero. *Evaluacion de tres residuos agroindustriales lignocelulosicos provenientes de cebada (hordeum vulgare l.), arroz (oriza sativa.) y eucalipto (eucalyptus globulus l.) para el cultivo de dos cepas de hongo ostra (pleurotus ostreatus j.) bajo invernadero*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Retrieved 15 de Mayo de 2024, from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2872/1/13T0774%20.pdf>
- Jones , M., Mautner, A., Luenco, S., & Bismarck, A. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, *187*(108397), 5. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>
- Kirupairaja, T., y Navaratnarajah, S. (mar de 2022). Mechanical performance and durability of banana fibre and coconut coir reinforced cement stabilized soil blocks. *Materialia*, *21*, 101309. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mtla.2021.101309>
- Kumar, V., y Mukhopadhyay, S. (22 de Enero de 2022). Banana fibre-based structures for acoustic insulation and absorption. *Journal of Industrial Textiles*, *51*(9), 1355-1375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/1528083720901823>
- Lancheros Redondo, H. O., Martín, L. R., Pérez Mesa, A., Sanmiguel , G., Chiriví-Salomón, J., & Patiño Lagos, M. A. (2022, Noviembre). *La micología enmarcada en los objetivos de desarrollo sostenible*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/memorias/article/view/6703/6046>
- Lanza Alvarado, F. (Enero de 2023). *Universidad Tecnológica Centroamericana*. Retrieved 17 de Febrero de 2024, from Resistencia a la compresión y porcentaje de absorción del micelio de *pleurotus ostreatus* y *ganoderma lucidum*: <https://repositorio.unitec.edu/xmlui/bitstream/handle/123456789/12563/Resist>

- encia%20a%20la%20compresi%20y%20porcentaje%20de%20absorci%20del%20micelio%20de%20Pleurotu%20Ostreatus%20y%20Ganoderma%20Lucidum%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Martian mushrooms. (2024). Retrieved 22 de Mayo de 2024, from Mushroom Contamination: The Beginner's Guide: <https://martian-mushrooms.com/pages/mushroom-contamination-the-beginner-s-guide>
- Micosecha. (2021, Agosto 12). *Inmersión alcalina: Método efectivo para la desinfección de pajas usando cal*. Retrieved Mayo 21, 2024, from Micosecha: <https://www.micosecha.cl/post/inmersi%C3%B3n-alcalina-m%C3%A9todo-efectivo-para-la-desinfecci%C3%B3n-de-pajas-usando-cal>
- Moreno Saenz, D., y Neusa Rey, J. (2021). *Evaluación para la obtención de una fibra textil a partir de pseudotallo de plátano*. Fundación Universidad de América: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8317/1/6161797-2021-1-IQ.pdf>
- NEC. (2023). <https://www.obraspublicas.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion-nec-se-ds/>
- NEC-HS-EE. (4 de marzo de 2023). *Eficiencia energética en edificaciones residenciales (EE)*. Retrieved 8 de agosto de 2024, from Norma Ecuatoriana de la Construcción: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/4.-NEC-HS-Eficiencia-Energetica.pdf>
- Nieri, F. (24 de Agosto de 2021). *Antomía del cuerpo fructífero o esporocarpio del cuerpo. Fungus, del territorio a la fabricación*. Santiago, Santiago de Chile, Chile. Retrieved 26 de Junio de 2024, from <https://x.com/CCPLM/status/1430194085348970503>
- NTE INEN 3066. (noviembre de 2016). *Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo*. Retrieved 7 de Agosto de 2024, from Norma Técnica Ecuatoriana: https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3066.pdf
- Ortega, A. (2022). *Elaboración de hilo en base a la fibra de banano obtenida de los residuos de pseudotallos de las producciones bananeras del Ecuador para aplicación textil*. Universidad de Chile: <file:///C:/Users/dell%20i3/Downloads/elaboracion-de-hilo-en-base-a-la-fibra-de-banano.pdf>

- Pasteurizar el sustrato de Paja.* (s.f.). Cultivo de Setas: <http://www.cultivodesetas.es/setas-comestibles/pasteurizar-el-sustrato-de-paja>
- Pedraza, C. (2019). *Caracterización de la fibra del pseudo tallo de plátano como refuerzo y desarrollo de un material compuesto para fabricación de tejas.* Retrieved 15 de Febrero de 2024, from Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/2768/TGT_1401.pdf;jsessionid=38682F9EF57C476ADFCE9F79A708B0BE?sequence=1
- Pérez, F. (2018). *Ladrillo ecológico.* Cementos Torices: <https://cementostorices.com/blog/construccion/ladrillo-ecologico/>
- PND. (2023). *Plan de desarrollo para el nuevo Ecuador 2024 - 2025.* Secretaría Nacional de Planificación: <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2024/02/PND2024-2025.pdf>
- RAE. (2023). *Definición de bloque.* Real Academia Española: <https://dle.rae.es/bloque>
- Rakesh, S., Hirendra, P., Govind, S., & Chaudhary, T. (2018, Feb). Application and Analysis of Banana Stem Fibre use as Construction Material. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 2, 235-246. <https://doi.org/https://doi.org/10.31142/ijtsrd8382>
- Reid, M. (6 de Marzo de 2023). *Micólogo desarrolla ladrillo de hongos más resistente que concreto.* Retrieved 21 de Abril de 2024, from El Horticultor: <https://elhorticultor.org/micologo-desarrolla-ladrillo-de-hongos-mas-resistente-que-concreto/>
- Rendón , A., y Neyra, L. (2020). *Fibras naturales.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales>
- Rodríguez, B. (septiembre de 2021). *Pleurotus ostreatus (seta de Ostra).* Setas canarias: <https://setascanarias.com/pleurotus-ostreatus/#comment-25133>
- Ruiz, M., & Mican, L. (2023). *Diseño de panel no estructural a partir del micelio de hongo aplicado en una vivienda rural.* Retrieved 15 de febrero de 2024, from Universidad la Gran Colombia: https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/7673/Ruiz_Maria_Mican_Lizeth_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Sarmiento, A., y González, E. (2023). *Aprovechamiento del micelio fúngico del hongo Pycnoporus sanguineus para la generación de paneles acústicos mediante técnicas de micotectura*. Retrieved 15 de Febrero de 2024, from Escuela Superior Politécnica del Litoral: https://idear.espol.edu.ec/sites/default/files/posters/edicion_x/Gonzalez_y_Sarmiento.pdf
- Shroombox. (s.f.). *Shroombox Company*. Retrieved 27 de Junio de 2024, from Common contaminants: <https://shroombox.co/containation-no-grow/>
- Sifuentes Vásquez, E. (2014). *Producción de inóculo de Pleurotus ostreatus para uso en biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo*. Universidad Nacional Agraria la Molina: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1874/T01-S53-T.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Sydor, M., Bonenberg, A., Doczekalska, B., & Cofta, G. (2021, Diciembre 31). Mycelium-Based Composites in Art, Architecture, and Interior Design: A Review. *Polymers*, 14(1), 145. *Polymers*, 14(1), 145. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym14010145>
- Valérie Grenon, W. M.-P. (December de 2023). Multi-property characterization of an experimental material composed of Pleurotus ostreatus mycelium and ash wood chips compared with glass wool and hemp wool. *Construction and Building Materials*, 409, 133941. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133941>

ANEXOS

Anexo 1



NOTA DE COMPRA

NOMBRE: SUSAN PUERO SORIANO
CI:0953015096
FECHA :22/01/24

DOCUMENTO N.º
00016733

CANT.	PRECIO	DESCRIPCIÓN	TOTAL
1	27	KILO DE MICELIO DE HONGO OSTRA BLANCO	27

TOTAL: 27.00

ENVIO: 3.50

IVA: 0%.

IMPORTE A PAGAR: 30.50

FACEBOOK: MUNDO FUNGI INSTAGRAM:MUNDOFUNJIEC.
0962980152-0962924154

Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)



Ensayo: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN				
Información de contacto del cliente				
Nombre del solicitante: Arq. Susan Puerto			Empresa: Arq. Susan Puerto	
Dirección: -			Ciudad: Guayaquil	
Teléfono: +593 99 232 4578			Correo electrónico: spueros@gmail.com	
Información de la muestra				
Código: ver ID			Proforma: LABGC-355v2PROF	
Descripción: viguetas de polímero 40x40x160 mm			Preparación: Preparados por el cliente	
Fecha de recepción: 2/agosto/2024			Cantidad recibida: 12	
Obra: No específica			Ubicación: No específica	
Información del ensayo				
Norma de referencia: ASTM C348 (v carga=			Fecha de emisión del reporte: 06/agosto/2024	
Fecha de ejecución: 05/agosto/2024			Técnico responsable: AB	
Identificación del equipo utilizado en la ejecución del ensayo				
Código	Nombre	Marca/Modelo	No. Serie	Calibración
210783	MUE	SHIMADZU F500KNX	I250555J0071	NOV. 2022
108000	PIE DE REY	ELE	NO ESPECIFICA	NOV. 2023
Determinación de la resistencia a la flexión				
	ID	P (N)	S_f (Mpa)	
	T1-100	143.13	0.40	
	T2-100	133.91	0.37	
	T3-100	126.52	0.35	
	T1-70	168.72	0.47	
	T2-70	145.52	0.41	
	T3-70	202.26	0.57	
	T1-90	107.45	0.30	
	T2-90	87.42	0.24	
	T3-90	101.17	0.28	
	T1-50	2073.84	5.81	
	T2-50	2857.53	8.00	
	T3-50	1627.76	4.56	
Notación				
$S_f = \text{Resistencia a la flexión}$ $P = \text{Carga máxima}$ $S_f = 0.0028 * P$				
DANIEL ANDRES FALQUEZ TORRES <small>Firmado digitalmente por DANIEL ANDRES FALQUEZ TORRES Fecha: 2024.08.06 14:59:36 -05'00'</small>				
Ing. Daniel Falquez T. Jefe del Laboratorio-responsable técnico FICT-ESPOL				
Dirección: Guayaquil- Ecuador ; Campus Gustavo Galindo Velasco- Km. 30.5 Vía Perimetral – Facultad de Ingeniería en Ciencia de la Tierra (FICT) Laboratorio de Geotecnia y Construcción. (+593 4) 2269428				

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)



Ensayo: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
Información de contacto del cliente						
Nombre del solicitante: Arq. Susan Puerto			Empresa: Arq. Susan Puerto			
Dirección: -			Ciudad: Guayaquil			
Teléfono: +593 99 232 4578			Correo electrónico: spueros@gmail.com			
Información de la muestra						
Código: ver ID			Proforma: LABGC-355v2PROF			
Descripción: Cubos de polímero			Preparación: Preparados por el cliente			
Fecha de recepción: 2/agosto/2024			Cantidad recibida: 12			
Obra: No Especifica			Ubicación: No Especifica			
Información del ensayo						
Norma de referencia: ASTM C 109 (v carga= 5mm/min)			Fecha de emisión del reporte: 06/agosto/2024			
Fecha de ejecución: 05/agosto/2024			Técnico responsable: AB			
Identificación del equipo utilizado en la ejecución del ensayo						
Código	Nombre	Marca/Modelo	No. Serie	Calibración		
210783	MUE	SHIMADZU F500KNX	I250555J0071	NOV. 2022		
108000	PIE DE REY	ELE	NO ESPECIFICA	NOV. 2022		
Determinación de la resistencia a la compresión						
ID	a (mm)	l (mm)	Área (mm ²)	Fuerza (N)	Compresión (MPa)	
T1-100	56.00	42.00	2352.00	268.14	0.11	
T2-100	51.70	41.30	2135.21	151.95	0.07	
T3-100	47.30	52.10	2464.33	439.88	0.18	
T1-70	50.00	40.00	2000.00	592.23	0.30	
T2-70	54.00	40.00	2160.00	611.62	0.28	
T3-70	48.00	51.00	2448.00	606.40	0.25	
T1-90	51.00	45.00	2295.00	503.22	0.22	
T2-90	53.00	45.00	2385.00	525.08	0.22	
T3-90	53.00	47.00	2491.00	500.52	0.20	
T1-50	73.50	52.00	3822.00	5612.53	1.47	
T2-50	75.00	53.00	3975.00	3693.58	0.93	
T3-50	73.50	54.00	3969.00	1909.65	0.48	
<p>DANIEL ANDRES FALQUEZ TORRES</p> <p>Firmado digitalmente por DANIEL ANDRES FALQUEZ TORRES Fecha: 2024.08.06 14:59:13 -05'00'</p> <p>Ing. Daniel Falquez T. Jefe del Laboratorio-responsable técnico FICT-ESPOL</p>						
Observaciones						
* El ensayo ha sido realizado con la muestra e información provista por el cliente						
* Sin la aprobación del laboratorio no se debe reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad						
Dirección: Guayaquil- Ecuador ; Campus Gustavo Galindo Velasco- Km. 30.5 Vía Perimetral – Facultad de Ingeniería en Ciencia de la Tierra (FICT) Laboratorio de Geotecnia y Construcción. (+593 4) 2269428						

Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Anexo 4



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Anexo 5



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Anexo 6



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Anexo 7



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Anexo 8



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Anexo 9



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Anexo 10



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Anexo 11



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Anexo 12



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Anexo 13



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Anexo 14



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Anexo 15



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Anexo 16



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Anexo 17



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Anexo 18



Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Anexo 19



Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Anexo 20



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Anexo 21



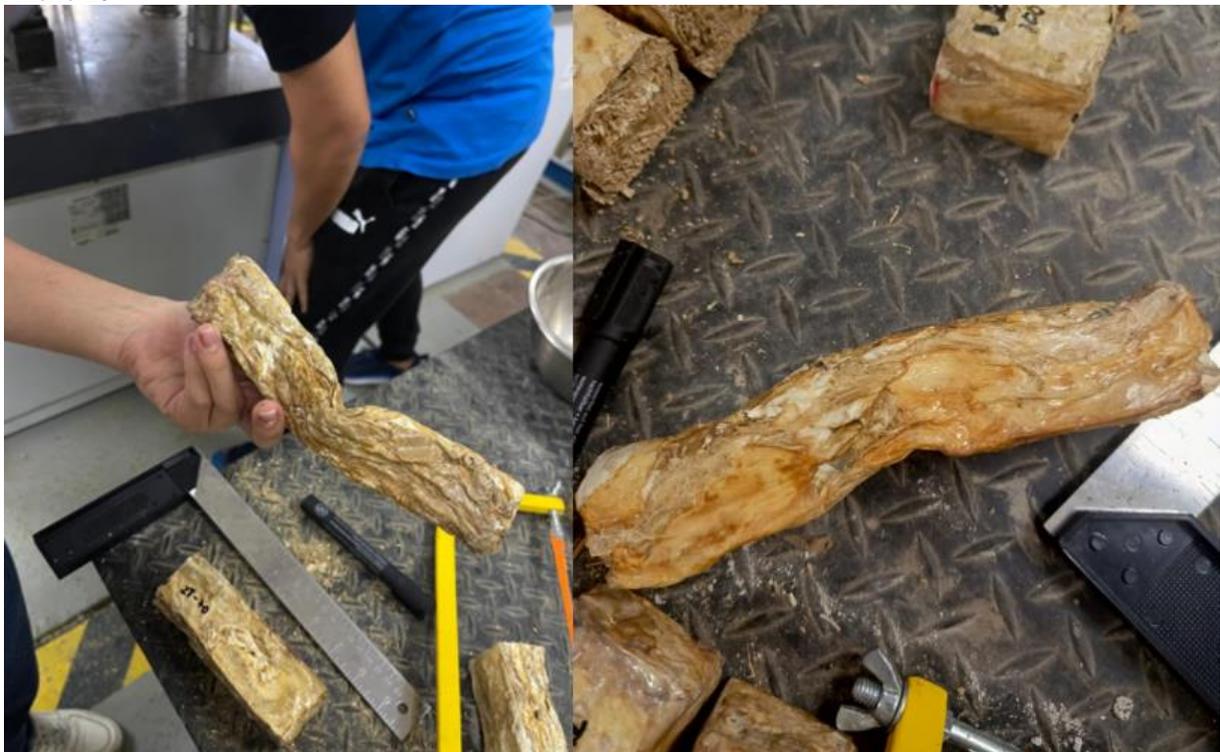
Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Anexo 22



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Anexo 23



Elaborado por: Ortega & Puerro, (2024)

Anexo 24



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Anexo 25



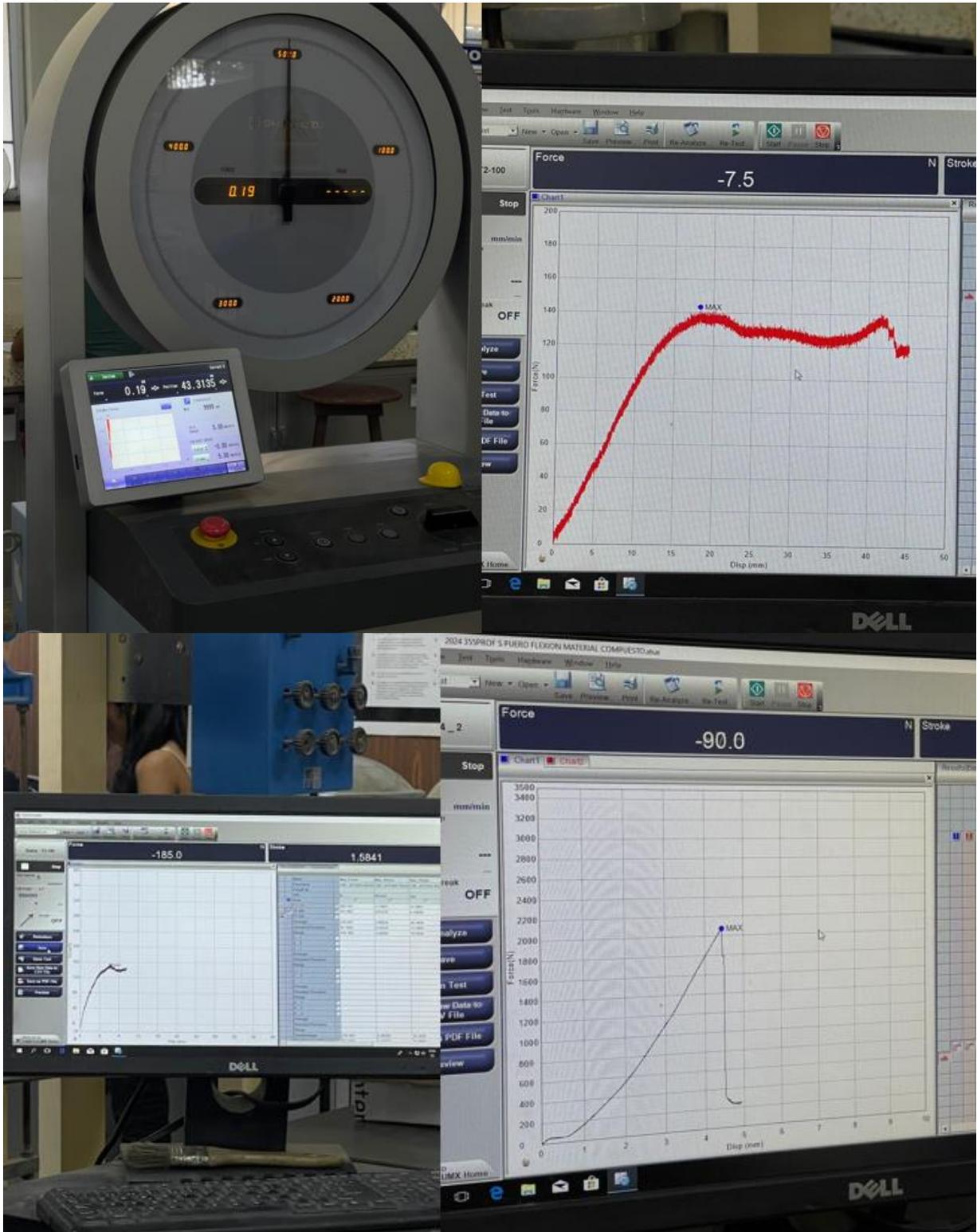
Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Anexo 26



Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Anexo 27



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Anexo 28



Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Anexo 29



Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Anexo 30



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Anexo 31



Elaborado por: Ortega & Puerto, (2024)

Anexo 32



Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Anexo 33



Elaborado por: Ortega & Puero, (2024)

Anexo 34



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)

Anexo 35



Elaborado por: Ortega & Puelo, (2024)